

Vetenskapligt underlag för klimatpolitiken

Rapport från
Vetenskapliga rådet för klimatfrågor



Vetenskapligt underlag för klimatpolitiken

Rapport från Vetenskapliga rådet för klimatfrågor

Miljövårdsberedningens rapport 2007:03

*Vetenskapliga rådet för klimatfrågor
Miljövårdsberedningen
Jo 1968:A*



STATENS OFFENTLIGA
UTREDNINGAR

Miljövårdsberedningen
Miljödepartementet
103 33 Stockholm
Tel 08-405 10 00
Fax 08-20 43 31
www.sou.gov.se/mvb/

Rapporten kan beställas från Miljövårdsberedningens kansli

Omslag: Edita Stockholm

Foto framsida: Fredrik von Malmberg

EDITA VÄSTRA AROS
Stockholm 2007

ISSN 1653-2570

Till statsrådet och chefen för
Miljödepartementet Andreas Carlgren
och den parlamentariska beredningen
för översyn av klimatpolitiken
(M 2007:03)

Statsrådet Andreas Carlgren tillsatte genom beslut den 21 december 2006 Vetenskapliga rådet för klimatfrågor inom Miljövårdsberedningen (Jo 1968:A). Rådet har haft i uppdrag att bidra med vetenskapliga bedömningar som underlag till den parlamentariska beredningen för översyn av klimatpolitiken (M 2007:03). En viktig uppgift har varit att ge underlag och rekommendationer till mål för den svenska klimatpolitiken nationellt, i EU och internationellt. Rådet tillsattes för tiden 1 januari till 1 september 2007.

Vetenskapliga rådet för klimatfrågor överlämnar härmed sin rapport Vetenskapligt underlag för klimatpolitiken (Miljövårdsberedningens rapport 2007:03).

Ledamöter i Rådet har varit professor Lisa Sennerby Forsse (ordförande), professor Christian Azar, professor Sten Bergström, professor Anders Biel, professor Runar Brännlund, professor Katarina Eckerberg, professor Thomas B. Johansson, professor Erland Källén, professor Caroline Leck, doktor Elisabet Lindgren och professor Markku Rummukainen.

I arbetet har från Miljövårdsberedningens kansli deltagit kanslichefen Pernilla Knutsson, departementssekreteraren Åsa Guilamo, departementsrådet Lars Lundberg och docent Fredrik von Malmborg. Departementssekreteraren Anna Forsgren har deltagit som Miljödepartementets representant.

Stockholm den 31 augusti 2007

Lisa Sennerby Forsse
Ordförande
Vetenskapliga rådet för klimatfrågor
Miljövårdsberedningen (Jo 1968:A)

Innehåll

Sammanfattning	9
Executive summary	19
1 Uppdraget, vetenskapens roll och rapportens struktur	29
1.1 Uppdraget.....	29
1.2 Vetenskapens roll.....	29
1.3 Rapportens struktur.....	31
2 Klimatförändringarna	33
2.1 Vad händer med klimatet idag?	34
2.1.1 Uppvärmning och globalt stigande havsnivå, ökad nederbörd och intensivare torrperioder	34
2.1.2 Europa har blivit varmare och nederbörden har både ökat och minskat.....	35
2.1.3 Sverige har blivit varmare och blötare	35
2.2 Uppvärmningen är ett verk av människan.....	37
2.2.1 Ökade utsläpp och förhöjda koncentrationer av växthusgaser och luftburna stoftpartiklar	37
2.2.2 Antropogena jämfört med naturliga förändringar.....	39
2.3 Klimatscenarier	41
2.3.1 Förväntade klimatförändringar globalt de närmaste 100 åren	43
2.3.2 Förväntade klimatförändringar i Europa.....	44
2.3.3 Förväntade klimatförändringar i Sverige.....	44
2.3.4 Globala klimatförändringar efter år 2100.....	45

2.4	Säkerheten i bedömningarna.....	46
2.5	Rådets slutsatser	46
3	Konsekvenser för ekosystem och samhälle.....	49
3.1	Konsekvenser som redan visar sig.....	50
3.2	Framtida förväntade konsekvenser	51
3.2.1	Globalt och i olika sektorer.....	51
3.2.2	I Europa	56
3.3	Rådets slutsatser	57
4	Behov av globala utsläppsreduktioner	59
4.1	Målstruktur för klimatpolitiken	59
4.1.1	Olika typer av mål för att begränsa klimateffekterna	59
4.1.2	Avvägningar mot de samhällsekonomiska konsekvenserna	61
4.2	Bedömningar av farlig mänsklig påverkan på klimatsystemet.....	61
4.2.1	Bedömningar i den vetenskapliga litteraturen.....	61
4.2.2	Politiska bedömningar	62
4.3	Det krävs stabilisering på låga koncentrationsnivåer	63
4.4	Globala utsläppsnivåer för stabilisering av koncentrationen	66
4.4.1	Den globala utsläppstrenden behöver brytas nu.....	66
4.4.2	De globala utsläppen måste minska rejält.....	66
4.5	Rådets slutsatser	69
5	Behov av utsläppsreduktioner för EU och Sverige	71
5.1	Regional fördelning av dagens växthusgasutsläpp.....	71
5.2	Fördelningsmodeller i den klimatpolitiska diskussionen	74
5.2.1	Fördelningsmodeller och internationella reduktionsåtaganden	74
5.2.2	Jämförelse av olika fördelningsmodeller	75

5.3	Beräknade reduktionskrav för EU och Sverige.....	76
5.3.1	Utsläppsreduktioner för EU till 2020 och 2050.....	77
5.3.2	Utsläppsreduktioner för Sverige till 2020 och 2050	79
5.4	Formulering av nationella utsläppsmål.....	80
5.4.1	Behandla verksamheter innanför EU ETS på särskilt sätt i det nationella målet	81
5.4.2	Nationella åtgärder i sektorer utanför EU ETS kan kompletteras med statlig användning av Kyotoprotokollets mekanismer.....	81
5.4.3	Ett nationellt mål bör omfatta de utsläppskällor som regleras av internationella klimatöverenskommelser	83
5.5	Rådets slutsatser.....	84
6	Åtgärder för att minska utsläppen	87
6.1	Utsläpp och trender på sektorsnivå.....	87
6.1.1	Utveckling globalt	87
6.1.2	Utveckling i Sverige.....	91
6.2	Utsläppsminskande åtgärder på kort och medellång sikt.....	94
6.2.1	Global reduktionspotential till år 2030	94
6.2.2	Åtgärder och reduktionspotential i olika sektorer	95
6.2.3	Åtgärder och reduktionspotential i Sverige	99
6.3	Utsläppsminskande åtgärder på lång sikt	101
6.4	Rådets slutsatser.....	102
7	Klimatpolitikens kostnader och intäkter	105
7.1	Allmänna överväganden om klimatpolitikens kostnader och intäkter	105
7.2	Kostnader för att minska utsläppen.....	106
7.2.1	Den internationella nivån.....	106
7.2.2	Den nationella nivån (Sverige).....	108
7.2.3	Faktorer som påverkar kostnaderna.....	111
7.3	Kostnader om uppvärmningen tillåts fortsätta	112
7.3.1	IPCC	112

7.3.2 Sternrapporten	113
7.4 Rådets slutsatser	116
8 Styrmedel i klimatpolitiken	117
8.1 Inledning	117
8.2 Sätta pris på utsläppen: Ekonomiska styrmedel	119
8.3 Främja teknisk utveckling	123
8.4 Klimatpolitik på olika nivåer	126
8.4.1 Globalt	126
8.4.2 EU	129
8.4.3 Nationellt	132
8.5 Rådets slutsatser	134
Bilaga 1 Bilagor till kapitel 1	135
Bilaga 2 Bilagor till kapitel 2	143
Bilaga 3 Bilagor till kapitel 5	159
Referenser	165
Begreppslista	173
Förkortningar	183

Sammanfattning

Vetenskapliga rådet för klimatfrågor har haft i uppdrag av regeringen att bidra med vetenskapliga bedömningar som underlag till den parlamentariska beredningen för översyn av klimatpolitiken. En viktig uppgift har varit att ge underlag och rekommendationer till mål för den svenska klimatpolitiken nationellt, i EU och internationellt.

Kunskapen om klimatförändringarna och deras konsekvenser ökar kontinuerligt. Den fjärde rapporten från FN:s klimatpanel IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) förstärker det tidigare vetenskapliga underlaget i flera avseenden. Rådet baserar i hög grad sina slutsatser på IPCC:s samlade underlag, men har också vägt in vetenskapligt underlag som publicerats så nyligen att det inte hunnit komma med i IPCC:s senaste sammanställning. Även annat relevant underlag har använts. Rådet har också valt att lyfta fram resultat som är relevanta för Sverige enskilt och för Sverige som aktör inom EU och globalt.

Rådet behandlar i de inledande kapitlen klimatförändringarna och bakomliggande orsakssammanhang samt deras konsekvenser för ekosystem och samhälle. Därefter ger Rådet rekommendationer om mål för klimatpolitiken för att minska riskerna för farlig klimatpåverkan, globalt, i EU och nationellt. Rådet ger i de avslutande kapitlen en bild av möjliga åtgärder och styrmedel samt kostnader för att nå målen. Därmed ges ett övergripande underlag till politiska ställningstaganden om avvägningar mellan vad som behöver åstadkommas för att minska riskerna för farlig klimatpåverkan och vad som är möjligt att uppnå, det vill säga avvägningar mellan olika samhällsekonomiska nyttor och kostnader.

Klimatpolitik handlar om riskbedömning under osäkerhet. Det finns idag tillräckligt mycket kunskap om klimatsystemet och klimatförändringarnas påverkan på ekosystem och samhälle för att agera. Osäkerheterna om klimatsystemet och klimatförändringar-

nas påverkan på ekosystem och samhälle är dock betydande. Det finns med andra ord en risk för att konsekvenserna blir allvarigare än vad vi kan bedöma utifrån dagens kunskapsläge, vilket är ytterligare skäl för att agera.

Rådet anser att det är viktigt att Sverige aktivt deltar i forskning och kunskapsutveckling om jordens klimatsystem, climateffekter, sårbarhet, anpassning, åtgärder och styrmedel. Ett viktigt element bör vara att stödja sådan forskning i utvecklingsländer.

Här följer en sammanställning av Rådets viktigaste slutsatser.

Klimatförändringarna och deras konsekvenser för ekosystem och samhälle (kapitel 2 och 3)

Jordens klimat har blivit varmare. Det är mycket sannolikt ett verk av människan. Rådet har gjort en genomgång av underlaget från IPCC och instämmer i IPCC:s samlade bedömningar av klimatförändringarna och konsekvenserna för ekosystem och samhälle.

Klimatförändringarna

Rådet konstaterar

- att den globala medeltemperaturen har höjts med drygt 0,7°C under de senaste 150 åren och den stiger för närvarande med knappt 0,2° C per årtionde
- att det mesta av den globala uppvärmningen som har ägt rum under senare hälften av 1900-talet mycket sannolikt beror på en ökad växthuseffekt orsakad av människans utsläpp av växthusgaser
- att om inte kraftfulla åtgärder vidtas beräknas den globala medeltemperaturen, till år 2100, höjas 1,6–6,9°C jämfört med förindustriell tid, och sedan fortsätta att stiga bortom år 2100
- att hur kraftig klimatförändringen blir, beror bland annat på befolkningsutveckling, socioekonomisk och teknisk utveckling
- att de flesta förändringarna i det fysiska klimatet sker gradvis, men snabba och abrupta förändringar kan inte uteslutas. Risken för abrupta effekter ökar med uppvärmningen.

- att de fortsatta förändringarna i temperatur, havsnivå och nederbörd, i likhet med dem som redan har observerats, kommer att uppvisa kraftiga regionala variationer.

Konsekvenser för ekosystem och samhälle

Rådet konstaterar

- att konsekvenserna för ekosystem och samhälle blir fler och mer omfattande ju högre och snabbare temperaturen stiger. Globalt sett kommer de negativa konsekvenserna att överväga.
- att konsekvenserna kommer att variera kraftigt mellan regionerna beroende på olika stora regionala klimatförändringar och skillnader i naturliga system och samhällens sårbarhet samt anpassningsförmåga. Särskilt utsatta är Arktis, delar av Afrika och Asien.
- att konsekvenserna för ekosystem och samhälle uppkommer såväl gradvis som abrupt. Klimatförändringarna har redan lett till observerbara effekter.
- att de konsekvenser som framför allt ger anledning till oro är risker för minskad livsmedelsproduktion och förändringar i vattentillgång i vissa områden, samt förluster i biologisk mångfald och översvämningar längs kusterna
- att klimatförändringarnas konsekvenser kan förstärkas av andra globala förändringar som pågår samtidigt (till exempel befolkningstäthet, resursanvändning och miljöförstöring). Klimatförändringarna försvårar också möjligheten att möta andra globala utmaningar, som fattigdomsbekämpning.
- att anpassningsåtgärder är nödvändiga och bör integreras i internationell och nationell samhällsutveckling. Primärt fokus bör dock vara att minska utsläppen.

Mål för klimatpolitiken (kapitel 4 och 5)

Det krävs mycket omfattande begränsningar av utsläppen av växthusgaser för att minska risken för farlig klimatpåverkan. Rådet anser att mål behöver sättas för den globala temperaturökningen,

för den globala stabiliseringen av koncentrationen av växthusgaser i atmosfären och för reduktionen av utsläppen. De olika målen på global nivå kan till stor del härledas ur varandra med utgångspunkt i temperaturmålet. Rådets rekommendationer om mål baseras på dagens vetenskapliga kunskap. Målen kan behöva revideras allteftersom kunskapen om klimatsystemet och samhället förbättras.

Rådets slutsatser om klimatmål presenteras nedan och sammanfattas i den efterföljande tabellen.

Globalt: Temperaturmål, koncentrationsmål och utsläppsmål

Rådet anser

- att EU:s tvågradersmål är en rimlig utgångspunkt för utsläppsminskande åtgärder, men det går inte att utesluta att även lägre temperaturökningar ger allvarliga effekter
- att för att tvågradersmålet sannolikt ska klaras behöver koncentrationen av växthusgaser i atmosfären på lång sikt stabiliseras på ca 400 ppmv koldioxidekvivalenter (CO₂e). Vid en stabilisering på 450 ppmv CO₂e är det en betydande risk att vi inte klarar tvågradersmålet.¹
- att de globala utsläppen av växthusgaser till år 2020 behöver minska med ca 10 procent jämfört med 2004 års nivå för att koncentrationen av växthusgaser ska kunna stabiliseras på 400 ppmv CO₂e år 2150²
- att de globala utsläppen till år 2050 behöver minst halveras jämfört med år 1990 (för att nå 400 ppmv CO₂e)
- att de globala utsläppen vid slutet av detta sekel behöver ha reducerats till en nivå nära noll (för att nå 400 ppmv CO₂e).

¹ Koncentrationen av växthusgaser uppgår idag till ungefär 450 ppmv CO₂e och den ökar med drygt 2 ppmv per år. Att detta ännu inte lett till en temperaturökning på mer än drygt 0,7 grader sedan förindustriell tid förklaras av samtida utsläpp av stoftpartiklar med maskerande effekt och trögheter i klimatsystemet. Att koncentrationsnivåer som är lägre än dagens nivå kan nås beror på att växthusgaser kan tas upp eller brytas ner av naturliga system.

² Jämfört med 1990 års nivå motsvarar detta en ökning av utsläppen med ca 10 procent.

EU och Sverige: Utsläppsmål

Reduktionskrav för Sverige och EU har beräknats med ett antal ofta diskuterade modeller för hur man kan fördela krav på utsläppsreduktioner globalt, s.k. fördelningsmodeller. Vilken av de i rapporten behandlade fördelningsmodellerna som väljs har inte någon nämnvärd betydelse för hur stora utsläppsreduktioner som krävs av Sverige. Andra modeller kan ge ett annat utfall.

Rådet anser

- att EU:s utsläpp av växthusgaser jämfört med 1990 års nivå bör minska med 30–40 procent till år 2020 och med 75–90 procent till år 2050 för att EU ska ta sin del av det globala ansvaret för att nå tvågradersmålet
- att Sveriges utsläpp av växthusgaser jämfört med 1990 års nivå bör minska med 20–25 procent till år 2020 och med 70–85 procent till år 2050 för att Sverige ska ta sin del av det globala ansvaret för att nå tvågradersmålet
- att ett nationellt utsläppsmål för Sverige bör formuleras som ett avräkningsmål. Det innebär att den av Sverige tilldelade eller auktionerade mängden utsläppsrätter till verksamheter som omfattas av EU:s system för handel med utsläppsrätter används för bedömning av måluppfyllelse, istället för de faktiska utsläppen från dessa verksamheter.

Tabell Rekommendationer om klimatmål

MÅLTYP	NIVÅ		
<u>Temperaturmål</u>	Globalt		
Högsta temperaturökning jämfört med förindustriell tid	Max 2°C		
<u>Koncentrationsmål</u>	Globalt		
Långsiktig stabiliseringsnivå (år 2150), koncentration av växthusgaser i atmosfären. Sannolikhet att klara tvågradersmålet:			
> 66 %	400 ppmv CO ₂ e		
ca 50 %	450 ppmv CO ₂ e		
<u>Utsläppsmål</u>	Globalt	EU	Sverige
Utsläppsreduktion CO ₂ e i relation till år 1990 förenlig med 400 ppmv CO ₂ e som koncentrationsmål			
2020	0–ökn. 10 %	30–40 %	20–25 %
2050	minst 50 %	75–90 %	70–85 %
2100	nära 100 %	ca 100 %	ca 100 %

Källa: Vetenskapliga rådet för klimatfrågor.

Anmärkning 1: De reduktionskrav som redovisas för Sverige baseras på beräkningar av vad Sverige behöver göra för att ta sin del av det globala ansvaret för att nå tvågradersmålet. Vilket mål Sverige bör ställa upp är avhängigt politiska bedömningar av bland annat temperaturmål, tillämpning av försiktighetsprincipen samt om Sverige ska gå före i den internationella klimatpolitiken.

Anmärkning 2: Utsläppen av växthusgaser i Sverige var år 2005 ungefär 7 procent lägre än 1990 års nivå.

Anmärkning 3: CO₂e är koldioxidekvivalenter och ppmv är parts per million by volume (miljondelar volym).

Åtgärder för att minska utsläppen (kapitel 6)

Rådet har gjort en översikt av möjliga åtgärder för att minska utsläppen. Det är möjligt att minska utsläppen i alla samhällssektorer. Åtgärder krävs också för att undvika framtida utsläppsökningar till följd av befolkningsökning, ökad industrialisering, utbyggd infrastruktur och ekonomisk tillväxt.

Rådet anser

- att de globala utsläppsreduktioner som har bedömts nödvändiga för att nå tvågradersmålet i hög grad kan åstadkommas genom att utnyttja den teknik som finns tillgänglig på marknaden i dag,

och teknik som kan förväntas komma ut på marknaden inom de närmaste årtiondena

- att förändringar av konsumtionsmönster spelar stor roll för att minska utsläppen av växthusgaser
- att en kombination av energieffektivisering, energibesparing och åtgärder när det gäller energitillförsel krävs för att nå önskade klimatmål
- att energieffektivisering och energibesparing har stor potential att till låga kostnader minska utsläppen
- att förnybar energi (bioenergi, sol, vind, vatten), kärnkraft samt avskiljning och lagring av koldioxid kan bidra till utsläppsreduktioner. För kärnkraften måste frågor rörande säkerhet, avfall, risker för kärnvapenspridning och terrorhandlingar ges allmänt accepterade lösningar.
- att de ansträngningar som görs för att minska utsläppen av växthusgaser inom de närmaste årtiondena i stor utsträckning är avgörande för möjligheten att nå tvågradersmålet
- att ett utsläppsmål för Sverige för år 2020 till helt övervägande del bör uppnås genom en kombination av inhemska åtgärder, och då framförallt i transportsektorn, samt en nedskärning av tilldelning av utsläppsrätter till sektorer inom EU:s system för handel med utsläppsrätter. Statliga investeringar i utsläppsminskande projekt i utvecklingsländer, genom mekanismen för ren utveckling (CDM, Clean Development Mechanism), kan komma att behövas som komplement.

Klimatpolitikens kostnader och intäkter (kapitel 7)

Bedömningar av samhällets kostnader och intäkter är centrala i debatten om klimatpolitiken. Det handlar om kostnader som uppkommer i energiförsörjningen, transportsystemen, byggnadssektorn, jord- och skogsbruk med mera för åtgärder som minskar utsläppen av växthusgaser. Det handlar också om intäkter i form av minskade skador och andra fördelar sådana åtgärder kan ha utöver att minska utsläppen. De avgränsningar som görs vid uppskattningar av kostnader och intäkter har avgörande betydelse för beräkningarna.

Rådet anser

- att bedömningar av kostnaderna för skadorna av klimatförändringarna är osäkra, delvis etiskt kontroversiella och starkt beroende av vilka skador som räknas in, hur dessa värderas och hur man värderar framtiden (diskonteringsmetod)
- att det finns betydande osäkerheter i skattningar av kostnaderna för att minska utsläppen av växthusgaser
- att kostnaderna globalt och nationellt för att reducera utsläppen till nivåer som är förenliga med tvågradersmålet är signifikanta men förenliga med en god makroekonomisk utveckling
- att kostnaderna för att minska utsläppen blir lägre om kostnadseffektiva styrmedel väljs
- att kostnaderna för att minska utsläppen blir lägre om man också beaktar andra fördelar av energieffektivisering och förnybar energi, som renare luft och ökad energisäkerhet.

Styrmedel i klimatpolitiken (kapitel 8)

För att önskade åtgärder ska komma till stånd med rimliga kostnader är val av styrmedel och klimatpolitikens inriktning väsentliga. Rådet har utifrån miljöekonomisk och annan forskning diskuterat ett urval huvudfrågor.

Rådet anser

- att klimatfrågan måste lösas i internationell samverkan
- att styrmedlen för att minska utsläppen av växthusgaser helst bör vara breda, internationellt samordnade, likformiga och teknikneutrala, men att avsteg från denna princip ibland är motiverade
- att det är grundläggande att sätta ett pris på utsläppen av växthusgaser med sikte på att nå antagna klimatmål
- att de ekonomiska styrmedlen koldioxidskatt och handel med utsläppsrätter är viktiga och kraftfulla styrmedel om de är rätt utformade

- att ekonomiska styrmedel behöver kompletteras med andra styrmedel som utbildning, information och lagstiftning
- att det är viktigt att Sverige arbetar aktivt inom EU med att förbättra EU:s system för handel med utsläppsrätter. Det är viktigt att utsläppstaket sänks och att auktionering tillämpas.
- att ny teknologi är mycket viktig för att kunna lösa klimatfrågan. Här krävs forskning och utveckling och politik som skapar marknader för kommersialisering av dessa teknologier.
- att Sverige bör verka internationellt för att subventioner till såväl utvinning som användning av fossila bränslen avvecklas.

Executive summary

The Scientific Council on Climate Issues has been commissioned by the Government to provide a scientific assessment as a basis for the work of the Climate Committee, the all-party committee for the review of climate policy. An important part of this task is to provide a basis and recommendations for Swedish climate policy targets at national, EU and international level.

Scientific understanding of climate change and its implications is constantly increasing. The fourth assessment report of the UN's Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, corroborates previous data in many respects. To a great extent, the Scientific Council on Climate Issues bases its conclusions on the knowledge compiled by the IPCC, but it has also taken into account research published at such a recent date that it could not be considered in the latest IPCC assessment report. Other relevant studies, too, have been used. In addition, the Council has chosen to emphasise findings of relevance to Sweden nationally and to Sweden as an actor both in the EU and at global level.

In the opening chapters, the Council looks at climate change, its reasons and its consequences for ecosystems and society. The Council then makes recommendations concerning Swedish climate policy targets at global, EU and national levels, aimed at averting dangerous impact on the climate. In the concluding chapters, the Council presents a number of possible measures and policy instruments, and outlines the likely costs involved if the goals are to be achieved. Taken as a whole, the document represents a comprehensive basis for policy decisions that consider what needs to be achieved to reduce the risks of climate impact and what is actually achievable, i.e. decisions involving trade-offs between economic benefits and costs.

Climate policy involves risk assessment under uncertainty. We now have enough knowledge about the climate system and how

climate change affects ecosystems and society to take action. A considerable degree of uncertainty remains, however, as regards the climate system and the impact of climate change on ecosystems and society. In other words, there is a danger that the consequences will turn out to be more serious than we are in a position to assess on the basis of present knowledge. This is further reason for taking action.

The Council takes the view that Sweden must take an active part in research and development focusing on the earth's climate system, climate impacts, vulnerability, adaptation, measures and policy instruments. An important element in this should be supporting such research in developing countries.

Below is a presentation of the Council's most important conclusions.

Climate change and its consequences for ecosystems and society (Chapters 2 and 3)

The earth's surface has become warmer and it is very likely that this has been caused by human activity. The Council has examined the data from the IPCC and concurs with the IPCC's overall assessment both of climate change and of its implications for ecosystems and society.

Climate change

The Council observes

- that the global mean temperature has risen by just over 0.7°C over the past 150 years and is currently rising by almost 0.2°C per decade
- that most of the global warming that took place during the latter half of the 20th century was very likely due to an amplified greenhouse effect caused by human emissions of greenhouse gases (GHGs)
- that unless vigorous measures are introduced, the global mean temperature is expected to rise by 1.6–6.9°C by the year 2100, compared with the pre-industrial era, and then to continue rising in the next century

- that the extent of future climate change depends on factors such as population trends and socioeconomic and technological development
- that most changes in the physical climate occur gradually but that rapid and abrupt changes cannot be ruled out. The risk of abrupt change increases as the temperature rises.
- that further changes in temperature, sea levels and precipitation, along with those already observed, will display very significant regional variations.

Consequences for ecosystems and society

The Council observes

- that the consequences for ecosystems and society will become more numerous and extensive the faster and higher temperatures rise. In global terms, the negative consequences will outweigh the positive ones.
- that the consequences will differ very significantly between regions, depending on the extent of regional climate change and on variations both in natural systems and in societies' levels of vulnerability and capacity to adapt. Particularly at risk are the Arctic, parts of Africa and Asia.
- that consequences for ecosystems and societies arise both gradually and abruptly. Climate change has already had observable impacts.
- that the consequences that give particular cause for alarm today are the risk of diminished food production and changes in water supply in certain areas, and biodiversity loss and coastal flooding
- that the consequences of climate change may be reinforced by other global changes taking place simultaneously (such as population density, resource use and environmental degradation). Climate change also makes it more difficult to confront other global challenges, including poverty eradication.
- that adaptation measures are essential and should be integrated into international and national efforts to promote social

development. The prime focus, however, should be on emission reduction.

Climate policy targets (Chapters 4 and 5)

Very considerable restrictions on GHG emissions will be needed if the risk of harmful climate impact is to be reduced. The Council takes the view that targets must be established for global temperature rise, for the global stabilisation of GHG concentrations in the atmosphere, and for the reduction of emissions. The various targets at global level can largely be derived from one another on the basis of the temperature target. The Council bases its recommendations concerning targets on the current state of scientific knowledge. These targets may need to be revised as our understanding of the climate system and society improves.

The Council's conclusions regarding climate policy targets are presented below and are summarised in the table that follows.

Globally: Temperature target, concentration target and emission targets

The Council considers

- that the EU's two-degree target is a reasonable basis for emission-reducing measures, but that the possibility of lower temperature rises having severe impacts cannot be ruled out
- that the two-degree target can likely be achieved if GHG concentration in the atmosphere is stabilised in the long term at 400 ppmv carbon dioxide equivalents (CO₂e). If it is stabilised at 450 ppmv CO₂e there is a significant risk that the two-degree target will not be achieved.¹

¹The concentration of greenhouse gases (GHG concentration) currently stands at approximately 450 ppmv CO₂e and is increasing by just over 2 ppmv per year. The fact that this has not yet led to a temperature rise of more than 0.7 degrees since pre-industrial times is due to the simultaneous release of particles that have a masking effect, and to inertia in the climate system. That concentration levels below the present one are achievable is due to the fact that greenhouse gases can be absorbed or broken down by natural systems.

- that global GHG emissions in 2020 will need to be about 10 per cent lower than the 2004 level if GHG concentration is to be stabilised at 400 ppmv CO₂e in 2150²
- that by 2050 global emissions need to be at least halved compared with the 1990 level (if the target of 400 ppmv CO₂e is to be achieved)
- that by the end of the century global emissions need to have been reduced virtually to zero (if the target of 400 ppmv CO₂e is to be achieved).

The EU and Sweden: Emission targets

The reduction requirements for Sweden and the EU have been calculated using a number of frequently discussed models for how emission reductions are to be differentiated globally, known as differentiation models. The choice among models dealt with in the report does not significantly affect the size of the emission reductions required of Sweden. Other models may yield other outcomes.

The Council considers

- that the EU's GHG emissions compared to the 1990 level should be reduced by 30–40 % by 2020 and by 75–90 % by 2050 if the Union is to take its share of the global responsibility for achievement of the two-degree target
- that Sweden's GHG emissions compared to the 1990 level should be reduced by 20–25 % by 2020 and by 70–85 % by 2050 if Sweden is to take its share of the global responsibility for achievement of the two-degree target
- that a national emission target for Sweden should be formulated as a target with deductible emissions allowances, i.e., that assessment of target achievement is based on the amount of emission allowances allocated or auctioned by Sweden to activities covered by the EU emissions trading scheme rather than the actual volume of emissions from these activities.

² Compared with the 1990 level, this corresponds to an increase in emissions of about 10 per cent.

Table Recommendations on targets for climate policy

TYPE OF TARGET	LEVEL		
<u>Temperature target</u>	<i>Global</i>		
Maximum increase in temperature compared to pre-industrial level	Max 2°C		
<u>Concentration target</u>	<i>Global</i>		
Long-term stabilisation level, GHG concentration in the atmosphere			
Probability of achieving the 2°C target:			
>66 %	400 ppmv CO ₂ e		
approx 50 %	450 ppmv CO ₂ e		
<u>Emission targets</u>	<i>Global</i>	<i>EU</i>	<i>Sweden</i>
Reduction in CO ₂ e emissions in relation to 1990 levels, consistent with a concentration target of 400 ppmv CO ₂ e			
2020	0–incr. 10 %	30–40 %	20–25 %
2050	min. 50 %	75–90 %	70–85 %
2100	almost 100 %	approx. 100 %	approx. 100 %

Source: Swedish Scientific Council on Climate Issues.

Note 1: The reduction requirement given for Sweden is based on estimates of what Sweden needs to do to take its share of global responsibility to achieve the two-degree target. The targets that Sweden should set up depend on political assessments that include temperature target, the application of the precautionary principle and whether Sweden should be a frontrunner.

Note 2: Emissions of GHG in Sweden in 2005 were some 7 per cent lower than the 1990 level.

Note 3: CO₂e means carbon dioxide equivalent and ppmv means parts per million by volume.

Measures for reducing emissions (Chapter 6)

The Council has provided an overview of possible measures for reducing emissions. Emissions can be reduced in all sectors of society. Action needs to be taken to avert future increases in emissions as a result of population rise, increased industrialisation, infrastructural development and economic growth.

The Council considers

- that the global emission reductions deemed necessary to the achievement of the two-degree target may be achieved by applying both technologies currently available in the market and technologies that may be expected to arrive in the market over the next few decades

- that changes in consumption patterns are of crucial importance when seeking to reduce GHG emissions
- that a combination of increased energy efficiency, energy saving and measures in respect of energy supply are required if the climate targets are to be achieved
- that increased energy efficiency and energy saving have high potential for reducing GHG emissions at low costs
- that renewable energy (bioenergy, sun, wind, water), nuclear power and the capture and storage of CO₂ can help reduce emissions. In the case of nuclear power, generally acceptable solutions must be found to the problems of safety and security, waste, the risk of nuclear weapons proliferation and terrorist acts.
- that the efforts made to reduce GHG emissions over the next few decades will largely determine the extent to which achievement of the two-degree target will be possible
- that achievement of a Swedish emission target for the year 2020 should to an overwhelming extent be sought via a combination of domestic measures, especially in the transport sector, and a reduced allocation of emission allowances to sectors covered by the EU emissions trading scheme. Government investment in emission-reducing projects in developing countries, via the Clean Development Mechanism (CDM), may be required as a supplement.

Climate policy costs and benefits (Chapter 7)

Assessments of costs and benefits to society are a crucial part of the climate policy discussion. This refers to costs associated with reducing GHG emissions in sectors such as energy supply, transport, construction, and agriculture and forestry. It also refers to benefits in the form of reduced damage and other benefits that such measures may yield over and above reduced emissions. The delimitation lines drawn when estimating costs and benefits have a decisive impact on the calculations.

The Council considers

- that assessments of the costs of damage caused by climate change are uncertain, to some extent ethically controversial, and strongly dependent on what kind of damage is included, what value is attached to it, and how the future is viewed in terms of value (discounting)
- that there are significant uncertainties in estimates of costs associated with GHG emission reduction
- that the global and national costs of reducing emissions to levels compatible with the two-degree target are significant but compatible with sound macroeconomic development
- that the cost of reducing emissions decreases if cost-effective policy instruments are chosen
- that the cost of reducing emissions decreases if other benefits deriving from greater energy efficiency and renewable energy use are taken into account, such as cleaner air and higher security of energy supply.

Climate policy instruments (Chapter 8)

If the desired measures are to be taken at reasonable cost, both the choice of instruments and the direction of climate policy are crucially important. On the basis of research in environmental economics and other disciplines, the Council has discussed a selection of main issues.

The Council considers

- that the climate issue must be solved through international cooperation
- that policy instruments for reducing GHG emissions should preferably be broad, internationally coordinated, uniform and technologically neutral, but that departures from this principle may sometimes be warranted
- that setting a price on GHG emissions with a view to achieving the climate targets is of fundamental importance

- that the economic instruments of CO₂ tax and emission trading are important and powerful policy instruments if properly designed
- that economic instruments need to be supplemented by other policy instruments such as education, information and legislation
- that Sweden must be proactive in the EU in seeking to improve the EU emission trading scheme. It is important that the emission cap is lowered and auctioning of allowances is applied.
- that new technology is crucial to the task of solving the climate problem. The imperatives in this respect are research and development and policies that create markets for the commercialisation of these technologies.
- that Sweden should work actively at international level to abolish subsidies for extraction and use of fossil fuels.

1 Uppdraget, vetenskapens roll och rapportens struktur

1.1 Uppdraget

Statsrådet Andreas Carlgren tillsatte genom beslut den 21 december 2006 Vetenskapliga rådet för klimatfrågor inom Miljövårdsberedningen (Jo 1968:A). Rådet har haft i uppdrag att bidra med vetenskapliga bedömningar som underlag till den parlamentariska beredningen för översyn av klimatpolitiken (Dir. 2007:59). En viktig uppgift har varit att ge underlag och rekommendationer till mål för den svenska klimatpolitiken nationellt, i EU och internationellt. Uppdraget beskrivs mer utförligt i en promemoria som presenterades av statsministern Fredrik Reinfeldt och miljöministern Andreas Carlgren vid en presskonferens den 21 december 2006 (se bilaga 1.1). Rådet tillsattes för tiden 1 januari 2007 t.o.m. 1 september 2007.

1.2 Vetenskapens roll

Det övergripande målet för internationell klimatpolitik finns i FN:s klimatkonvention och innebär att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären ska stabiliseras på en nivå så att farlig mänsklig påverkan på klimatsystemet undviks. Detta är också innebörden i det svenska miljökvalitetsmålet "Begränsad klimatpåverkan".

Vad som utgör farlig mänsklig påverkan på klimatsystemet är centralt för klimatpolitiken, eftersom svaret på frågan är avgörande för omfattningen av och takten i de åtgärder som behöver vidtas. Vetenskapens roll är att beskriva, förklara och göra bedömningar av riskerna med klimatförändringarna och deras effekter. Att däremot ta ställning till vilken typ av effekt och vilken grad av skada som är farlig och vilka risker som är acceptabla är en fråga om värderingar,

som måste hanteras genom samhälleliga processer med politiker och andra aktörer involverade.

Vetenskapen kan också bidra med att ge en bild av vad känd teknik kan åstadkomma och vilka möjligheterna är till innovation och teknisk utveckling samt bedöma effektiviteten av olika åtgärder och styrmedel. Att därefter ta ställning till vilka avvägningar som behöver göras mellan olika samhällsekonomiska nyttor och kostnader är en värderingsfråga.

Ett viktigt underlag för Rådets arbete har varit rapporterna från FN:s klimatpanel IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC har sedan 1990 tagit fram fyra omfattande utvärderingar av det samlade internationella kunskapsläget inom klimatrelaterad forskning. I sina bedömningar väger IPCC också samman vetenskapligt material där slutsatserna avviker från varandra. IPCCs arbetssätt beskrivs i bilaga 1.2.

Den senaste IPCC-rapporten, den fjärde, publiceras successivt under år 2007 genom fyra delrapporter som behandlar

- Den naturvetenskapliga grunden¹
- Klimateffekter, anpassning och sårbarhet²
- Åtgärder för klimatförändringar³
- Syntes av de tre övriga delrapporterna⁴

Rådet har också baserat sitt arbete på vetenskapliga underlag som publicerats så nyligen att de inte hunnit komma med i IPCC:s senaste sammanställning. Även annat relevant underlag än IPCC har använts.

Rådet anser att IPCC driver en stark och trovärdig process som leder till välavvägda och breda sammanställningar av såväl kunskaper som osäkerheter och kunskapsluckor. Rådet stödjer IPCC:s slutsatser och förordar att dessa används även i fortsättningen som en viktig bas och beslutsstöd för det nationella klimatarbetet, inklusive medverkan på europeisk och internationell nivå. Rådet anser att det är viktigt att Sverige även fortsättningsvis aktivt deltar i forskning och kunskapsutveckling om jordens klimatsystem, klimateffekter, sårbarhet, anpassning, åtgärder och styrmedel. Ett viktigt element bör vara att stödja sådan forskning i utvecklingsländer.

¹ IPCC (2007a).

² IPCC (2007b).

³ IPCC (2007c).

⁴ Denna sista delrapport publiceras först efter det att Rådet lämnat sin rapport.

1.3 Rapportens struktur

I sammanfattningen i början av rapporten redovisas Rådets viktigaste slutsatser i sammanställning.

Rådet har valt att inleda med att beskriva klimatförändringarna och bakomliggande orsakssammanhang samt deras effekter på ekosystem och samhälle (kapitel 2 och 3). Frågan om anpassningar berörs bara översiktligt eftersom den behandlas av Klimat- och sårbarhetsutredningen (M 2005:03). Därefter görs en bedömning av vilken minskning som behövs av de globala utsläppen av växthusgaser för att minska risken för farlig klimatpåverkan (kapitel 4). I kapitel 5 görs härledningar från behovet av globala utsläppsminskningar till behovet av minskningar av utsläppen i EU och Sverige.

Därefter övergår Rådet till att behandla möjligheterna att vidta åtgärder. I kapitel 6 behandlas åtgärder och i kapitel 7 kostnader och intäkter. I det avslutande kapitlet 8 diskuterar Rådet ett urval huvudfrågor om styrmedel.

2 Klimatförändringarna

Jordens klimat har otvetydigt blivit varmare. Den globala medeltemperaturen har höjts med drygt 0,7 grader Celsius (°C) under de senaste 150 åren. För närvarande stiger den globala medeltemperaturen med knappt 0,2°C per årtionde. De senaste åren har varit de varmaste alltsedan regelbundna och geografiskt heltäckande temperaturmätningar påbörjades i mitten av 1800-talet.¹ Analyser av trädringar, borrhärdor från landisar och andra data tyder vidare på att dagens medeltemperatur förmodligen är exceptionellt hög även i ett tusenårsperspektiv.

Huvuddelen av den globala uppvärmningen har ägt rum under den senare hälften av 1900-talet, och denna uppvärmning beror *mycket sannolikt*² på en ökad växthuseffekt orsakad av människans utsläpp av växthusgaser. Utsläppen har ökat i takt med befolknings- och välfärdsökningen, genom förbränning av kol och olja, samt förändrad markanvändning som inneburit avverkning av skog, intensivare jordbruk med mer gödsling, ökad risodling och ökad boskapshantering etc.

Framtida utsläpp av växthusgaser kommer *mycket sannolikt* att orsaka en uppvärmning under det kommande århundradet som väsentligt överstiger den som redan har skett. Om inte kraftfulla åtgärder vidtas beräknas den globala medeltemperaturen till år 2100 att kunna höjas 1,6–6,9°C jämfört med förindustriell tid. Det motsvarar en höjning som är över två till tio gånger så stor som den uppvärmning som ägde rum under 1900-talet.

Rådet har som utgångspunkt för resonemangen i detta kapitel framförallt använt IPCC:s första delrapport från 2007 om jordens klimatsystem i förändring och framtida projektioner.³ Den bygger på IPCC:s tidigare kunskapssyntes från år 2001 samt omfattar den fortsatta kunskapsutvecklingen fram till och med hösten 2006.

¹ Se till exempel <http://www.cru.uea.ac.uk/>.

² Se bilaga 2.1 för en beskrivning av sannolikhetsbegrepp.

³ IPCC (2007a).

Rådet har ur det omfattande källmaterialet valt att lyfta fram de resultat som är särskilt relevanta för Sverige enskilt och för Sverige som aktör inom EU och globalt.

2.1 Vad händer med klimatet idag?

2.1.1 Uppvärmning och globalt stigande havsnivå, ökad nederbörd och intensivare torrperioder

I sin senaste kunskapssyntes drar IPCC slutsatsen att uppvärmningen inte bara är uppenbar på den globala skalan, utan nu även observeras på alla kontinenter förutom Antarktis. Bland urskiljbara effekter märks en höjning av havsytans nivå, minskande snötäcke över stora områden, minskad utbredning av havsis och krympande glaciärer i bergsområden. Dessa observerade fysikaliska effekter stämmer väl överens med en uppvärmning. Därtill kommer förändringar i de biologiska systemen jorden runt, som tillsammans med samhällskonsekvenserna, behandlas i kapitel 3.

Världshavens genomsnittliga nivå steg med nära 8 centimeter under perioden 1961-2003. Det förklaras dels av att havsvattnet expanderar på grund av uppvärmningen, dels av att glaciärer avsmälter. Höjningstakten har accelererat sedan början av 1990-talet, men det är för närvarande osäkert om accelerationen är bestående eller orsakad av naturliga variationer.

Nederbörden över land har generellt ökat på mellan- och höga latituder mellan 1900 och 2005. I de subtropiska och en del tropiska områden finns dock en tendens till minskad nederbörd sedan 1970-talet. Nederbördstrenden kan förknippas med mänsklig påverkan.⁴ Intensivare och längre torrperioder har observerats, särskilt i delar av tropikerna och subtropikerna. Extrema väderhändelser har blivit både vanligare och ovanligare. Till exempel har antalet kraftiga tropiska cykloner över Atlanten ökat medan antalet kalla vinternätter har minskat. Dessa effekter stämmer väl överens med vad som kan förväntas av en global uppvärmning.

⁴ Zhang m.fl. (2007).

2.1.2 Europa har blivit varmare och nederbörden har både ökat och minskat

Uppvärmningen hittills har varit något högre i Europa, ca 0,9°C, än för jorden i genomsnitt. Generellt har uppvärmningen varit högre på vintern än på sommaren. Nederbörden har ökat över maritima områden och över Nordeuropas landområden, men minskat i Medelhavsområdets östra delar.

I Europa har det under senare år dessutom förekommit flera uppmärksammade extrema väderhändelser, bland annat översvämningarna sommaren 2002 som främst drabbade Elbe och Dresden, värmeböljan i Syd- och Centraleuropa sommaren 2003 och den milda hösten 2006. Även om den här typen av extremer kan uppstå inom ramen för naturliga vädervariationer är det fråga om händelser som i ett oförändrat klimat är mycket sällsynta.

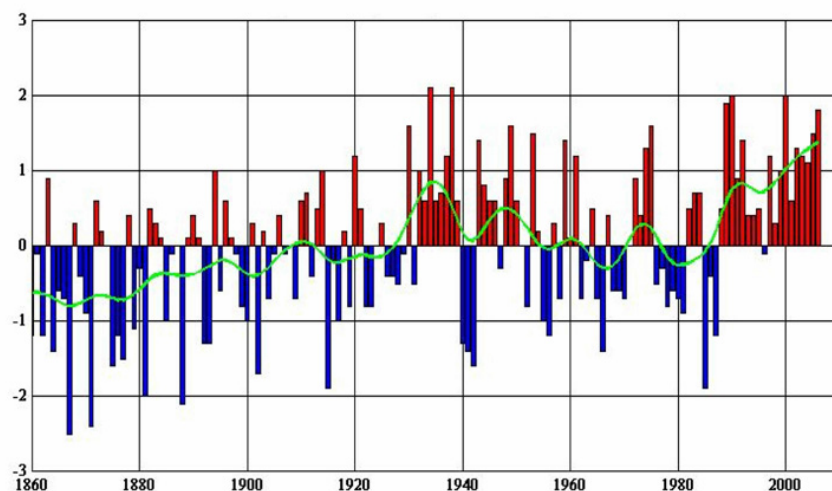
2.1.3 Sverige har blivit varmare och blötare⁵

Sverige har under de senaste 15–20 åren utmärkts av varmare förhållanden, speciellt vinter och vår. Även nederbörden har varit rikligare på vintern, våren och sommaren jämfört med tidigare perioder under 1900-talet.

I Sverige var perioden 1991–2005 nästan 1°C varmare och nederbörden var ca 7 procent rikligare, jämfört med perioden 1961–1990 (se figur 2.1 och figur 2.2). På årsbasis är de senaste årens temperaturer jämförbara med de regionalt varma åren på 1930-talet. Den rikliga nederbörden i Sverige under de senaste 10–15 åren har inte någon motsvarighet tidigare under 1900-talet.

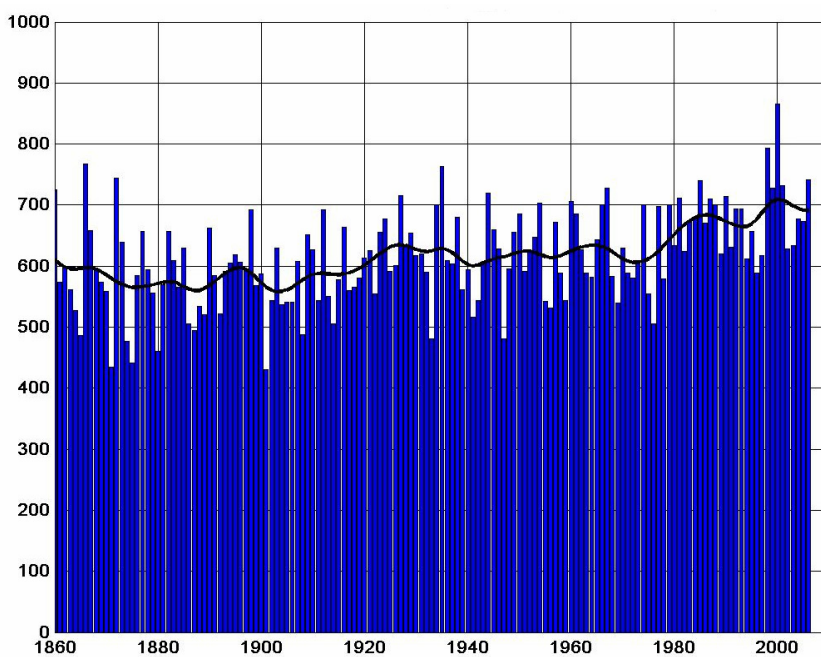
⁵ En ingående beskrivning av observerade förändringar för Sverige görs bl.a. inom ramen för Klimat- och sårbarhetsutredningen. Se även faktabladet, Klimat i förändring, (SMHI, 2006).

Figur 2.1 Sveriges årsmedeltemperatur under perioden 1860–2006, angiven som avvikelse i grader från medelvärdet för perioden 1961–1990



Källa: Baserad på data från SMHI.

Figur 2.2 Sveriges årsmedelnederbörd (mm) under perioden 1860–2006



Källa: Baserad på data från SMHI.

2.2 Uppvärmningen är ett verk av människan

Huvuddelen av uppvärmningen sedan mitten av 1900-talet är *mycket sannolikt* orsakad av de ökade koncentrationerna av antropogena växthusgaser i atmosfären (dvs. skapade genom människans aktiviteter). De mängder som redan har släppts ut kommer att ligga kvar i atmosfären under mycket lång tid och ge fortsatt global uppvärmning på grund av klimatsystemets inneboende tröghet.⁶ Till exempel förväntas den globala medeltemperaturen öka med ca 0,5°C under 2000-talet⁷, även om koncentrationen av växthusgaser hade frysts år 2000 på den dåvarande nivån. En viktig orsak till klimatsystemets tröghet är havets stora kapacitet att lagra värme. Dessutom är växthusgasernas långa uppehållstid i atmosfären förknippad med trögheten i de processer som styr deras naturliga upptag, bland annat kolets kretslopp.

Nuvarande nivåer av koldioxid kommer därför att finnas kvar under lång tid även efter att utsläppen har minskat drastiskt. Cirka 20 procent av den förhöjda koldioxidkoncentrationen orsakad av dagens utsläpp kommer fortfarande att vara kvar i atmosfären efter 1000 år.

2.2.1 Ökade utsläpp och förhöjda koncentrationer av växthusgaser och luftburna stoftpartiklar

Utsläpp

De globala utsläppen av växthusgaser har ökat kraftigt sedan industrialismens genombrott i mitten av 1700-talet. Koldioxid står för den största andelen av människans växthusgasutsläpp. Andra betydelsefulla antropogena växthusgaser är metan, dikväveoxid (så kallad lustgas), marknära ozon samt halokarboner⁸. Om dagens globala utsläpp av växthusgaser omvandlas till koldioxidekvivalenter (dvs. mängd av en växthusgas uttryckt som den mängd koldioxid som ger samma klimatpåverkan, här motsvarande ett

⁶ Se bilaga 2.2.

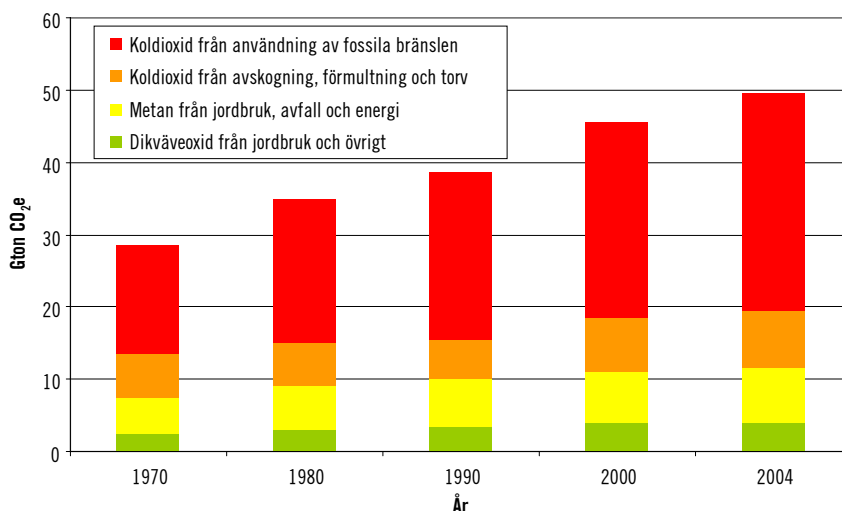
⁷ Jämfört med perioden 1980–99, uppgår detta mått av redan intecknad fortsatt uppvärmning till ca 0,6 grader. Observera att den temperaturökning som redan har ägt rum (ca 0,7 grader), som anges i kapitlets inledning, avser den globala uppvärmningen fram till år 2005. (Som jämförelse, uppgick den globala uppvärmningen fram till år 1990 till ca 0,5 grader och vid år 2000 till ca 0,6 grader).

⁸ Omfattar freoner eller klor-fluor-karboner, hydroklorfluorkarboner, hydrofluorkarboner, haloner samt perhalokarboner.

perspektiv på 100 år) utgörs klimatpåverkan till ca 70 procent av koldioxid. Utsläppen av metan och dikväveoxid bidrar tillsammans med ca 25 procent och de halokarboner som bidrar till växthus-effekten står för ca 5 procent av de nutida växthusgasutsläppens totala klimatpåverkan.

Figur 2.3 visar utvecklingen sedan 1970-talet av de globala utsläppen för koldioxid, metan och dikväveoxid, angivet som miljarder ton (Gton) koldioxidekvivalenter (CO₂e) uppdelat per år.

Figur 2.3 Globala utsläpstrender för antropogena växthusgaser



Källa: Baserad på data från IPCC (2007a).

Koncentrationsnivåer

De globala koncentrationsnivåerna i atmosfären av koldioxid, metan, dikväveoxid och halokarboner har ökat markant som ett resultat av människans utsläpp.

Ökningen när det gäller koldioxidkoncentrationen (ca 35 procent sedan industrialismens genombrott i mitten av 1700-talet) beror på ökad användning av fossila bränslen och förändrad markanvändning, i huvudsak avskogning (framförallt i tropikerna).

Koncentrationsnivåerna för metan och dikväveoxid har ökat i takt med befolknings- och välfärdsökningen, som bland annat

inneburit avverkning av skog, intensivare jordbruk med mer gödsling, ökad risodling och ökad boskapsshantering. Metannivåerna är idag 150 procent högre än för 250 år sedan och dikväveoxid har ökat med 16 procent under samma tidsperiod.

Marknära ozon bildas bland annat när solljus reagerar med bilarnas avgasutsläpp. Koncentrationsnivåerna har förhöjts i framförallt starkt förorenade urbana områden.

Utsläppen av halokarboner, som orsakar nedbrytning av stratosfäriskt ozon (jordens skyddande ozonskikt) och bidrar till växthuseffekten, har minskat kraftigt under senare år tack vare internationell reglering inom ramen för Montrealprotokollet.⁹ Ersättningssubstanserna är dock ofta potenta växthusgaser och förekommer nu i allt snabbare stigande koncentrationer i atmosfären.¹⁰

Samtidigt som koncentrationsnivåerna för de olika växthusgaserna har stigit har också mängden luftburna stoftpartiklar ökat markant, till exempel från utsläpp av svavel och sot. Den ökande koncentrationen av stoftpartiklar verkar i motsats till växthusgaserna främst avkylande på jordytans temperatur då den hindrar solens strålar att värma marken.¹¹

2.2.2 Antropogena jämfört med naturliga förändringar

Genom modellsimuleringar kan naturligt genererade klimatsvängningar med avseende på temperatur eller strålningsdrivning¹² kvantitativt jämföras med dem som beror på ökningarna av utsläppen av växthusgaser och stoftpartiklar. Figur 2.4 sammanfattar den globalt observerade temperaturutvecklingen (se svart linje) sedan början av 1900-talet, samt temperaturutvecklingen uppdelad på hav respektive land. Utvecklingen över hav är långsammare jämfört med markytan, på grund av havets större värmekapacitet och långsamma cirkulation.

I jämförelser mellan den observerade temperaturutvecklingen och den som simulerats i klimatmodeller, är överensstämmelsen god när både antropogena och naturliga klimatpåverkande änd-

⁹ Montrealprotokollet är ett internationellt traktat som är utformat för att skydda ozonskiktet genom att fasa ut produktionen av ett antal skadliga substanser. Traktatet skrevs under den 16 september 1987 och trädde i kraft den 1 januari 1989, och har därefter reviderats ett antal gånger.

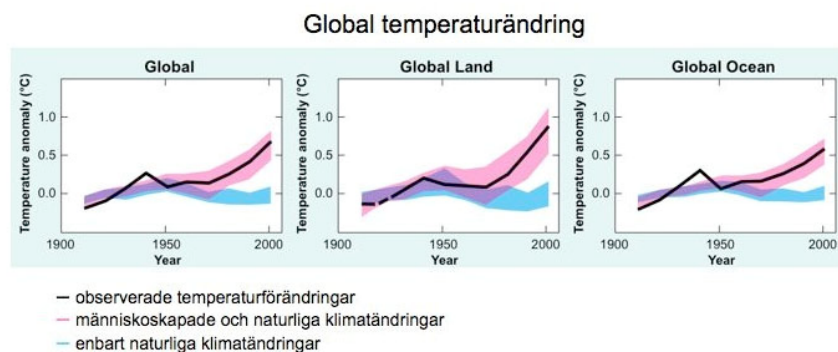
¹⁰ Se bilaga 2.3.

¹¹ Se bilaga 2.2 och 2.3.

¹² Se begreppslista.

ringsfaktorer ingår i simuleringarna (rosa fält). Modell-simuleringarna (ljusblått fält) som enbart beaktar naturliga änderingsfaktorer (ändringar i solinstrålning, vulkanutbrott och andra naturliga svängningar i klimatsystemet) skiljer sig däremot markant från den observerade utvecklingen efter mitten av 1900-talet. Om enbart naturliga variationer hade styrt klimatet borde vi ha observerat en avkylning under de senaste 50 åren. Så är uppenbart inte fallet.

Figur 2.4 Jämförelse mellan observerade och simulerade temperaturförändringar på global skala och fördelade mellan land- och havsområdena (Den svarta linjen visar tioårsgenomsnitt av observerade temperaturförändringar relativt 1901–1950)



Källa: IPCC (2007a).

Den antropogena nettopåverkan kan också uttryckas som en ökande strålningsdrivning, som nu uppgår till 1,6 Watt per kvadratmeter. Sammantaget står koldioxid, metan och dikväveoxid för en strålningsdrivning motsvarande 2,30 Watt per kvadratmeter. Ökningen av marknära ozon bidrar med +0,35 Watt per kvadratmeter. Förändringar i utsläppen av halokarboner¹³ ger en strålningsdrivning av motsvarande storleksordning som marknära ozon. Den kylande effekten som de antropogena utsläppen av stoftpartiklar orsakat uppgår till ca -1,2 Watt per kvadratmeter.

Den naturliga ökningen av solstrålningsdrivningen uppskattas maximalt vara ca 0,12 Watt per kvadratmeter. Strålningsdrivningen

¹³ Jämfört med halokarbonernas relativa bidrag till dagens utsläpp av växthusgaser, står de för en något större andel av den sammanlagda antropogena påverkan hittills. Detta beror på minskade utsläpp av långlivade halokarboner under de senaste decennierna.

orsakad av ökad solinstrålning är således högst en knapp tiondel av den antropogena sedan industrialismens genombrott.¹⁴

Variationer i solinstrålningen förs ibland fram som en förklaring till klimatförändringarna under 1900-talet. Rådet anser att denna förklaring inte är rimlig. Enbart ändringarna i solinstrålningen är klart otillräckliga för att förklara jordytans temperaturvariationer.¹⁵ Slutsatsen om avgörande antropogen klimatpåverkan under de senaste decennierna tar hänsyn till att en mindre naturlig klimatpåverkan samtidigt har ägt rum i form av kraftiga vulkanutbrott och förändringar i solinstrålningen.

Vidare har en del forskare fört fram hypotesen att ändringar i solens magnetfält kan påverka den kosmiska strålningen som i sin tur skulle kunna påverka molnbildningen på jorden och därmed klimatet. Detta orsakssamband är fysikaliskt möjligt, men det stämmer inte med vad som har observerats. Rådets bedömning, baserat på de studier som har publicerats under senare år, är att hypotesen har allvarliga brister och därför inte kan ge en tillfredsställande förklaring till den uppvärmning som har observerats.

När det gäller stoftpartiklarnas klimatpåverkan finns idag en förbättrad precision jämfört med tidigare IPCC-rapporter, men fortfarande kvarstår betydande osäkerheter som kopplar till bristande förståelse av de inblandade processerna. Det gäller särskilt stoftpartiklarnas påverkan på molnens reflektionsförmåga. Överhuvudtaget är molnen den största osäkerhetsfaktorn i dagens klimatprojektioner.¹⁶ Trots dessa osäkerheter är alltså den samlade bedömningen att stoftpartiklarnas avkylningseffekt i dag är mindre än hälften av den totala uppvärmningen orsakad av den förhöjda koncentrationen av växthusgaser.

2.3 Klimatscenarier

Klimatscenarier är projektioner av framtida klimatförhållanden som baseras på olika antaganden om bland annat befolkningsutveckling, ekonomi och teknisk utveckling vilka styr utsläppen av antropogena växthusgaser. Med hjälp av klimatmodeller kan utsläpps-

¹⁴ Se bilaga 2.3 för en mer ingående beskrivning.

¹⁵ Förutom de slutsatser som dras i den fjärde utvärderingen från IPCC har detta också nyligen diskuterats av t.ex. Lockwood och Frölich (2007).

¹⁶ Se bilaga 2.2.

scenarierna översättas till klimatscenarier för studier av effekter på ekosystem och samhälle.

Det finns flera faktorer som skapar osäkerheter i dessa klimatscenarier. En faktor är osäkerheten om hur utsläppen kommer att utvecklas framöver, en annan hur känsligt klimatsystemet är.¹⁷ Eventuella tröskeleffekter och frågor om kolets naturliga kretslopp är andra svårbedömda områden, särskilt med avseende på havens, skogarnas och landytornas förmåga att ta hand om koldioxid vid ett förändrat klimat. För havens del minskar lösligheten för koldioxid vid ökande temperaturer och när ökande koldioxidkoncentrationer försurar havsvattnet. Över land kan till exempel ökande temperaturer och minskad nederbörd minska nettoupptaget av kol. Klimatscenarierna tar enbart i viss utsträckning hänsyn till dessa effekter. Att tolka och dra slutsatser av scenariorisultaten handlar således om att göra riskbedömning under viss osäkerhet.

I IPCC:s utsläppsscenarier¹⁸ finns antaganden om såväl kraftiga som mer begränsade utsläppsökningar och mellanliggande scenarier. Dessa scenarier behandlar tänkbara utvecklingsvägar fram till år 2100. Det handlar om koncentrationer i atmosfären, räknat som koldioxidekvivalenter och inkluderar förutom förändringar i växthusgaserna även förändringar av stoftpartiklarnas förekomst i atmosfären. Koncentrationsnivåerna på mellan 600 och 1 550 ppmv¹⁹ år 2100, skulle innebära markanta ökningar jämfört med dagens koncentrationsnivå (som ligger på ca 450 ppmv CO₂e inräknat samtliga antropogena växthusgaser, med ett netto på ca 380 ppmv när även maskeringseffekten av stoftpartiklarna vägs in).

Vid en minskning av utsläppen från förbränning av kol och olja minskar förekomsten av stoftpartiklar i atmosfären snabbare än för växthusgaserna, vilket innebär att växthusgaserna troligtvis kommer att dominera ännu mer i framtiden. Det totala osäkerhetsintervallet för de globala temperaturökningarna som beräknas fram till år 2100 ligger i den senaste IPCC-rapporten mellan 1,6–6,9°C jämfört med förindustriell tid.

Observera att dessa scenarier inte omfattar några klimatpolitiska åtgärder för att minska utsläppen. IPCC pekar inte heller ut något scenario som mer troligt än något annat.

¹⁷ En beskrivning av den s.k. klimatkänsligheten ges i bilaga 2.4.

¹⁸ Se bilaga 2.5.

¹⁹ ppmv (parts per million by volume) = miljondel av volym.

2.3.1 Förväntade klimatförändringar globalt de närmaste 100 åren

Även i det klimatscenario som ger lägst temperaturökning är det fråga om stora och snabba förändringar. Till exempel skulle temperaturökningen under detta sekel mer än fördubbla den som skett under de senaste 100 åren. I de högre utsläppsscenarierna är det fråga om temperaturhöjningar som är ungefär lika stora som den mellan den senaste istiden och dagens klimat. Dessutom skulle den temperaturökning vi idag står inför utvecklas under 100 år, medan det tog 10 000–20 000 år för den senaste istiden att övergå till ett varmare klimat.

Förutom temperaturökningar, ger klimatsimuleringarna vid handen att även havsytans nivå globalt fortsätter att stiga med ca 20–60 centimeter.²⁰ Det är vidare *mycket sannolikt* att värmeböljor, kraftiga regn och snöfattiga vintrar blir allt vanligare i ett varmare klimat. De projicerade nederbördsförändringarna förstärker i stort också dagens kontraster mellan naturligt fuktiga och torra regioner. Det bedöms som *sannolikt* att intensiv tropisk cyklonaktivitet kommer att öka och att det kan blåsa och regna mer i dessa stormar.

De fortsatta förändringarna kommer i likhet med de observerade klimatförändringarna att uppvisa kraftiga regionala variationer. Över kontinenterna fortskrider den regionala uppvärmningen snabbare än jordens medelvärde. Regionala höjningar av havsytan kan skilja sig från det globala genomsnittet med upp till några decimeter. I det arktiska området kan havsisen försvinna helt och hållet under sommarmånaderna mot slutet av 2000-talet. Över södra halvklotets havsområden samt i norra Atlanten blir uppvärmningen mindre än det globala medelvärdet. Det senare är förknippat med en viss minskning av Golfströmmens styrka. Det är samtidigt *mycket osannolikt* att uppvärmningen kommer att leda till att Golfströmmen kollapsar inom de närmaste 100 åren.

²⁰ I IPCC:s utvärdering från år 2001 angavs den projicerade globala havsytanivåhöjningen som 9–88 cm för perioden 1990–2100. Skillnaden till det nu angivna intervallet beror på förändringar i metodiken, till exempel diskuteras vissa mer osäkra faktorer påverkan nu separat.

2.3.2 Förväntade klimatförändringar i Europa

I Europa förväntas en något högre genomsnittlig uppvärmning än den globala. Skillnaderna i uppvärmning mellan Nord- och Sydeuropa kan bli ganska små på årsbasis, men stora vinter och sommar. Uppvärmningen kan bli större i Nordeuropa än i Sydeuropa på vintern, medan det omvända gäller på sommaren. Platser och årstider som uppvisar störst temperaturförändringar får också uppleva de största förändringarna i extremtemperaturer. Det innebär en kraftig lindring i de kalla extremtemperaturerna i norr på vintern och en ökning när det gäller värmeböljor i Mellan- och Sydeuropa.

De största regionala förändringarna i nederbörden blir ökningsar på vintern i norr, och minskningar på sommaren i Mellan- och Sydeuropa med ökad risk för torka. När det gäller höjningar i havsytans nivå kommer dessa att variera inom Europa, till exempel finns klimatsimuleringar för en 1–2 decimeter större höjning längs den norska Atlankusten och Nordsjön jämfört med den globala nivån fram till slutet av 2000-talet.

2.3.3 Förväntade klimatförändringar i Sverige²¹

De globala klimatförändringarna får stora konsekvenser för Sveriges klimat. Som för övriga Europa förväntas Sveriges årsmedeltemperatur öka något mer än den globala medeltemperaturen, och temperaturökningen förväntas bli störst under vintern. I Skåne och längs Götalandskusten, där snösäsongen redan är kort, försvinner snön i princip helt och hållet. I fjällen beräknas glaciärerna successivt minska eller försvinna helt, samtidigt som snötillgången avtar. Under sommaren beräknas störst temperaturökning i södra Sverige.

Nederbörden under 2000-talet beräknas öka med runt 10–20 procent. Nederbördsökningen är dock större under det kallare halvåret. Under sommaren kan nederbörden minska i Sydsverige. Längst i norr förväntas inga stora förändringar i nederbörden på sommaren. Klimatmodeller ger också antydningar om ökade västvindar på vintern samt möjligen vissa lokala vindökningar när isen drar sig tillbaka på Östersjön och Sveriges stora sjöar.

²¹ En ingående beskrivning av förväntade klimatförändringar i Sverige görs inom ramen för Klimat- och sårbarhetsutredningen.

Östersjöns havsytenivå följer i stort höjningen av havsytan ute på Nordsjön, men påverkas även av regionala förändringar i vindklimatet. Landhöjningen kompenserar en måttlig höjning av havsytans nivå speciellt runt Bottenhavet och Bottenviken, dock inte söder om Stockholmsregionen. En högre havsytenivå blir märkbar, speciellt på vintern, längs Västkusten och runt den egentliga Östersjön²², inklusive den sydsvenska kusten, Öland och Gotland. Att höjningen blir särskilt märkbar i dessa områden beror främst på liten landhöjning samt på en relativt flack kust med stränder som är känsliga för erosion. Dessutom är exploateringstrycket högt.

De kalla extremitetstemperaturerna minskar kraftigt under vinterhalvåret, mer än den genomsnittliga uppvärmningen på vintern. De varma extremitetstemperaturerna på sommaren ökar måttligare, ungefär i takt med sommarens medeluppvärmning. Skyfallen beräknas bli intensivare i hela landet, även i Sydsverige, som annars beräknas bli något torrare sommartid.

2.3.4 Globala klimatförändringar efter år 2100

Även om växthusgaskoncentrationerna i atmosfären stabiliseras under 2000-talet är en fortsatt uppvärmning och höjning av havsytans nivå trolig även efter år 2100. Det mesta av temperaturhöjningarna skulle plana ut och i praktiken helt upphöra inom loppet av ett århundrade efter en stabilisering av växthusgaskoncentrationerna. Fortsatta höjningar av havsytans nivå förväntas dock på grund av havens tröghet. Den fortsatta expansionen av havsvattnet på grund av uppvärmningen kan leda till någon meters höjning på lång sikt. Utöver uppvärmningen skulle avsmältningar av landisar också höja den framtida havsytenivån.

En bibehållen global uppvärmning på mer än 2°C jämfört med den förindustriella temperaturnivån kan leda till att hela Grönlandsisen smälter, något som skulle leda till en successiv höjning av havsytans nivå på upp till 7 meter över några tusen år. I ett varmare klimat kommer samtidigt atmosfärens innehåll av vattenånga att öka, vilket kan innebära att Antarktis glaciärer växer.²³ Det är dock

²² Den "Egentliga Östersjön" innefattar den del av Östersjön som begränsas av Bälthavet, Öresund, Ålands hav, Finska viken och Rigabukten. Inom oceanografin brukar man dock även innefatta Rigabukten och Finska viken, emedan denna i sin mynning saknar naturlig gräns (tröskel) mot Egentliga Östersjön. (www.ne.se).

²³ En stor del av det Antarktiska istäcket är fortfarande kallare än noll grader och en ökad mängd vattenånga innebär att det kan snöa mer över Antarktis vilket bidrar till en tillväxt av ismassan.

möjligt att det samtidigt blir vanligare att stora ismassor lossnar, vilket skulle leda till ytterligare höjningar av havsytans nivå och en reduktion av det antarktiska istäcket. Vilken av dessa processer som kommer att dominera är mycket svårt att uttala sig om. Kvalitativt bedöms att risken för sådana abrupta förändringar ökar med uppvärmningen. När det gäller risken för mer dramatiska förändringar finns det dock i dagsläget ingen bra metodik för beräkningar för tiden efter år 2100.

2.4 Säkerheten i bedömningarna

I kapitlet framgår att en fullständig vetenskaplig bedömning av klimatrelaterade risker är förknippad med osäkerheter om bland annat framtida utsläpp, återkopplingar i naturliga system (till exempel kolcykeln), molnens optiska egenskaper och regionala klimatförändringar. Helhetsbedömningarna innehåller moment av osäkerhet på grund av återkopplingar i klimatsystemet och samband mellan olika effekter.

Rådet kan konstatera att vetenskapssamhället, trots osäkerheter, har tillräcklig kunskap för att kunna bedöma de mest troliga orsakerna bakom dagens klimatförändringar och göra bedömningar av framtida klimatförändringar. Osäkerheterna går att kvantifiera och slutsatserna som dras kan också sannolikhetsbedömas.

2.5 Rådets slutsatser

Rådet har gjort en grundlig genomgång av underlaget från IPCC och instämmer i IPCC:s samlade bedömningar av klimatförändringarna.

Rådet konstaterar

- att det mesta av den globala uppvärmningen som har ägt rum under den senare hälften av 1900-talet mycket sannolikt beror på en ökad växthuseffekt orsakad av människans utsläpp av växthusgaser
- att den globala uppvärmningen på något mer än en halv grad Celsius sedan förindustriell tid, som redan har ägt rum, har inneburit en rad observerade fysikaliska effekter, som stämmer

väl överens med en växthusgasdriven uppvärmning. Det handlar bland annat om höjningar av havsnivån och förändringar i nederbörden.

- att den globala medeltemperaturen sannolikt kommer att öka ytterligare även med en hypotetiskt oförändrad koncentration växthusgaser i atmosfären. Världen står således, oavsett utvecklingsväg, inför en fortsatt uppvärmning på minst en halv grad Celsius under de närmaste 100 åren, vilket motsvarar en sammanlagd global uppvärmning på något mer än 1°C jämfört med förindustriell tid.
- att om inte kraftfulla åtgärder vidtas beräknas den globala medeltemperaturen till år 2100 höjas 1,6–6,9°C jämfört med förindustriell tid, och sedan fortsätta stiga bortom år 2100
- att hur kraftig klimatförändringen blir beror bland annat på befolkningsutveckling, socioekonomisk och teknisk utveckling
- att det flesta förändringar i det fysiska klimatet sker gradvis men snabba och abrupta förändringar kan inte uteslutas. Risker för abrupta effekter ökar med uppvärmningen.
- att de fortsatta förändringarna i temperatur, havsnivå och nederbörd, i likhet med dem som redan har observerats, kommer att uppvisa kraftiga regionala variationer. Medan havsnivån globalt i genomsnitt kan stiga ca 20–60 centimeter inom 100 år kan ökningen i olika regioner komma att variera med ytterligare ett par decimeter över eller under det globala genomsnittet. Havet kommer att fortsätta att stiga under lång tid efter denna tidsperiod. De förväntade nederbördsförändringarna kommer vidare att förstärka dagens kontraster mellan naturligt fuktiga regioner och torra. I ett varmare klimat kommer också värmeböljor, kraftiga regn och snöfattiga vintrar att bli allt vanligare.

3 Konsekvenser för ekosystem och samhälle

Den globala uppvärmningen leder till effekter på ekosystem och samhälle på grund av förändringar i temperatur, havsnivå, nederbördsförhållanden etc. De långsiktiga konsekvenserna för ekosystem och samhälle visar sig gradvis eller uppkommer mer abrupt som tröskeleffekter. Hur omfattande följderna blir beror på sårbarheten som bestäms av:

1. Klimatförändringens art, storlek och snabbhet
2. Ekosystemens känslighet och s.k. buffrande förmåga
3. Samhällets känslighet, anpassningsförmåga och socioekonomiska utvecklingsnivå

Detta kapitel ger en översikt av klimatförändringarnas möjliga konsekvenser inom olika system och sektorer globalt och regionalt. För konsekvenser i Sverige hänvisar Rådet till den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen som har i uppgift att utreda effekterna av klimatförändringar i Sverige och hur samhällets sårbarhet för dessa kan minskas. Utredningen behandlar följande sektorer: teknisk infrastruktur, bebyggelse och fysisk planering (inklusive transport och energi), jord- och skogsbruk, turism, naturvård (inklusive havs- och fjällmiljö), hälsofrågor och vattenförsörjning.

Presentationen här är översiktlig och bygger på den senaste IPCC-utvärderingen som ger det vetenskapliga underlaget om klimateffekter, anpassning och sårbarhet,¹ samt material från framförallt European Environment Agency² (EEA), Europeiska kommissionen³ samt nyttillkomna forskningsresultat efter IPCC:s senaste utvärdering.

¹ IPCC (2007b).

² EEA (2005).

³ Europeiska kommissionen (2007a).

3.1 Konsekvenser som redan visar sig

De klimatförändringar som har observerats under de senaste decennierna har redan lett till effekter i olika delar av världen. Flest observationer av klimateffekter har gjorts i Europa. Från andra områden är tillgången på data ytterst begränsad. Statistiskt säkraställda effekter på naturliga system⁴ har dock observerats på alla kontinenter och många av världens havsområden. Vid flera tillfällen har massiv korallblekning inträffat vid speciellt höga havsvatten-temperaturer sedan mitten av 1980-talet. Ett flertal arters utbredning har påverkats globalt. Under de senaste 25 åren har exempelvis två tredjedelar av de kallvattenanpassade fiskarna i Nordsjön tvingats flytta norröver eftersom vattnen blivit för varma. På land har många växt- och djurarter, inklusive insekter, ändrat sina utbredningar i nord-sydlig riktning samt i höjdded. Malariamyggor kan till exempel överleva högre upp i bergsmassiven i Afrika och Sydamerika. I Europa har flera fjärilsarter spridit sig norröver, och sjukdomsspridande fästingar förekommer nu längre norrut i Skandinavien samt högre upp i bergen i Centraleuropa. Fåglarnas flyttmönster har förändrats och på kalvfjället har buskar och träd börjat få fotfäste. Ändrade säsongsrytmer för insektskläckning, pollenproduktion m.m. har också iakttagits.

Effekterna av en klimatförändring samverkar ofta med effekterna av andra faktorer, inklusive anpassningsåtgärder. Detta är speciellt tydligt när det gäller effekter av mänskliga aktiviteter, vilket gör det mer svårbedömt att kvantifiera hur klimatet påverkar människans system. Klimatrelaterade konsekvenser har hittills observerats inom jord- och skogsbruket, i kustområden som är utsatta för höjningar i havsnivå, mänskliga verksamheter i Arktis och i alpina områden, och vissa hälsoeffekter.⁵

Enstaka extrema väderhändelser kan, som konstaterades i avsnitt 2.1.2, inte direkt kopplas till den pågående uppvärmningen. Sammantaget ligger väderhändelser dock i linje med det som förväntas. Konsekvenserna har varit påtagliga även i länder med förhållandevis god katastrofberedskap. I Europa medförde en synnerligen intensiv värmebölja i augusti 2003 att över 33 000 personer dog (av vilka drygt hälften i Frankrike) som direkt följd av värmen.

⁴ Med naturliga system avses ekosystem, vattensystem och system som karakteriseras av snö, is och permafrost.

⁵ Ökad dödlighet i samband med värmeböljor, ändrad geografisk utbredning av sjukdomsspridande arter och ändrade pollenallergisäsonger.

I Sydeuropa påverkades dessutom jordbruket, kraftproduktionen och kolbalansen i olika ekosystem. Värmen orsakade eller förvärrade också omfattande skogsbränder.

De klimatrelaterade effekterna fram till idag är troligtvis större och mer utbredda än vad som har kunnat konstateras genom direkta observationer. Dagens kunskapsbild kompliceras av dels bristande tillgång till data, dels de ovan nämnda svårigheterna med att kvantifiera just klimatets bidrag till observerade effekter på speciellt människans system samt de naturliga systemen.

3.2 Framtida förväntade konsekvenser

3.2.1 Globalt och i olika sektorer

Framtida konsekvenser kommer att variera med omfattningen och storleken av de fortsatta klimatförändringarna med avseende på ökad temperatur, högre havsnivå och förändrade nederbördsförhållanden samt bestämmas av hur sårbara olika områden är. Sårbarheten beror i sin tur på lokala ekosystem, samhällsutveckling, tillgängliga resurser med mera. Konsekvenserna av klimatförändringarna försvårar generellt möjligheterna att möta andra globala utmaningar, t.ex. FN:s millenniemål. Klimatförändringarnas konsekvenser kan också ses i ett större sammanhang av globala förändringar som pågår samtidigt.⁶

Konsekvenserna av klimatförändringarna förväntas bli allvarligast i områden som redan är sårbara på grund av andra stressfaktorer, som ojämlik resurstillgång, annan miljöpåverkan, problem med livsmedelsförsörjning och samhällets bristande anpassningsförmåga.

Följande regioner har, av IPCC, identifierats som speciellt känsliga för klimatförändringar:

- Det arktiska området – på grund av snabba temperaturökningar och regionens specialiserade ekosystem.
- Afrika, särskilt de sub-sahariska delarna – på grund av låg anpassningsförmåga.
- Mindre ö-nationer, som Tongaöarna och Maldiverna – på grund av att de är särskilt utsatta för höjningar i havsnivån.

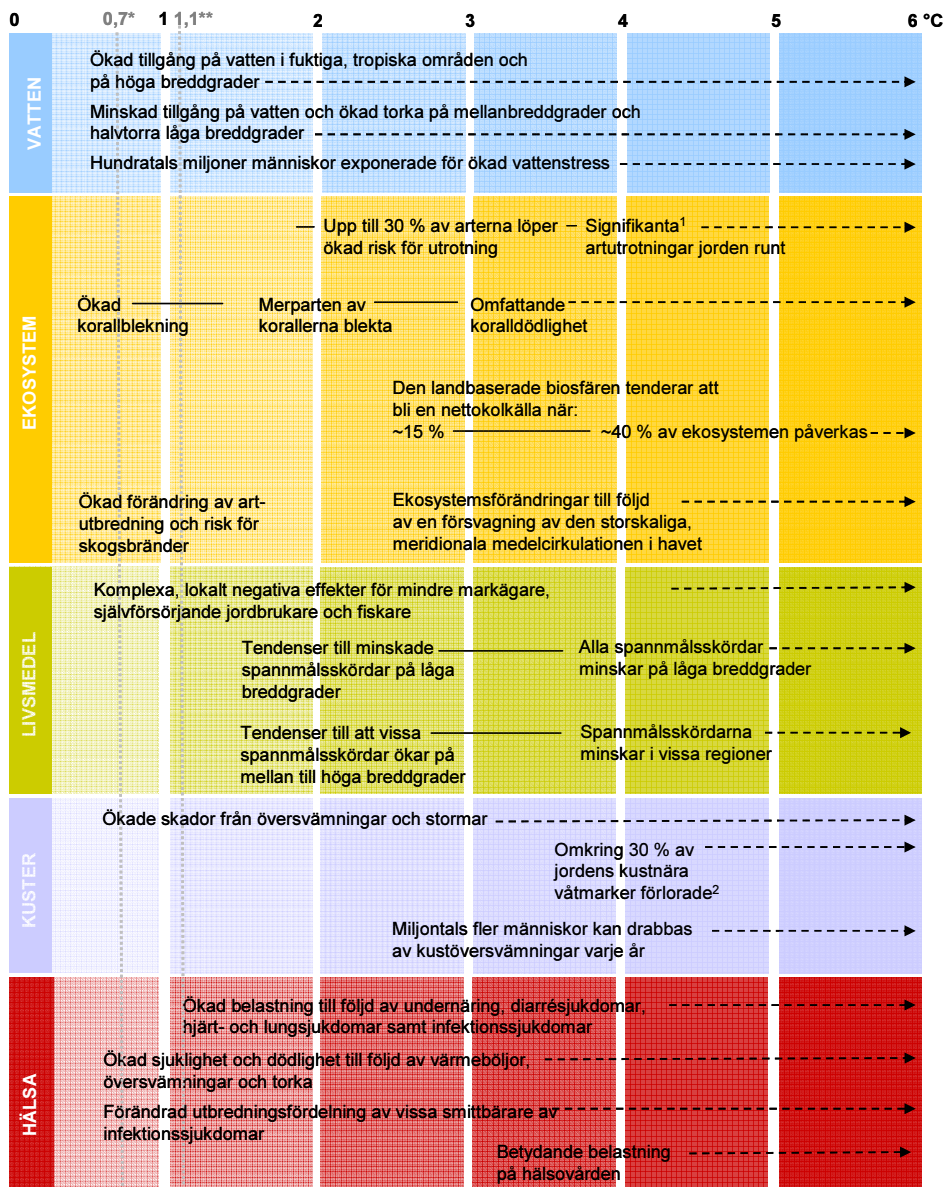
⁶ Se bl.a. IGBP (2004) och WRI (2005).

- Tätbefolkade deltaområden i Asien och Afrika – på grund av kombinationseffekter orsakade av havsnivåstegringar, översvämningar och stormar.

Speciellt känsliga system och sektorer (se även figur 3.1) globalt sett är vattenresurser i redan torra regioner, jordbruksproduktion nära ekvatorn, kustnära områden, marina och terrestra ekosystem,⁷ låglänta kustområden samt människors hälsa i områden med låg anpassningsförmåga.

⁷ Med terrestra ekosystem menas ekosystem på land, till skillnad från marina ekosystem som omfattar hav.

Figur 3.1 Grundläggande konsekvenser i förhållande till global medeltemperaturhöjning jämfört med 1861–1890



* Streck vid 0,7 grader utmärker temperaturhöjningen som hittills har ägt rum.

** Streck vid 1,1 grader utmärker den s.k. inleknade temperaturökningen.

¹ Signifikant definieras här som över 40 %.

² Baserat på en genomsnittlig höjning av havsytans nivå på 4,2 mm/år mellan 2000 och 2080.

Källa: IPCC (2007b). Omarbetning av Naturvårdsverkets svenska översättning, ur "FN:s klimatpanel 2007: Klimateffekter, anpassning och sårbarhet".

Anmärkning: Urvalet som presenteras i figur 3.1 baseras på studier som fastställt kvantifierade effekter utifrån olika stor temperaturförändring med hög konfidensnivå (dvs. 8 av 10 chans att resultaten som anges visar sig vara korrekta).

Observera att dagens nivå i figur 3.1 är markerad med ett vertikalt streck vid 0,7 grader, och den s.k. intecknade fortsatta uppvärmningen som orsakas av tidigare utsläpp (se kapitel 2) med ett streck vid 1,1 grader. Ett flertal effekter inträffar således redan och andra kommer i dagsläget inte att kunna förhindras, även om världens länder snarast vidtog strikta globala åtgärder för att begränsa utsläppen. Anpassningsåtgärder är därmed nödvändiga. Allmänt gäller att climateffekterna globalt sett blir fler och ökar i omfattning vid ytterligare temperaturhöjningar. Det är således viktigt att i första hand vidta åtgärder för att minska utsläppen.

Klimateffekter skapar problem inom framförallt följande sektorer:

Vattenresurser: Förändringar i vattentillgången globalt är bland de effekter som kan komma att skapa de allvarligaste följderna. Förändringarna kan leda till vattenbrist i redan utsatta områden och större översvämningssproblem i andra. Ett exempel är Himalaya, där smältande glaciärer initialt skapar ökade flöden med översvämningssrisker för att därefter minska vattentillgången i avrinningsområdena, vilka omfattar många av de mest tätbefolkade regionerna i världen.

Jord- och skogsbruk: Vattentillgången påverkar också jordbruksproduktionen. Ökad torka i områden söder om Sahara i Afrika kommer exempelvis att skapa stora problem med den lokala livsmedelsförsörjningen. Vid upp till 1–3°C lokal temperaturhöjning⁸ både gynnas och missgynnas jordbruket beroende på region; globalt sett kan livsmedelsproduktionen öka. Ytterligare temperaturhöjningar leder till negativa konsekvenser i allt fler regioner och globalt sett riskerar då produktionen att minska, i synnerhet om anpassningen inte är effektiv. För skogsproduktionens del uppskattas den globala produktiviteten initialt öka, dock med stora regionala variationer.

Ekosystem: Ett ekosystems struktur eller funktion kan ändras abrupt när förändringar i till exempel årstidernas klimat och längd

⁸ Eftersom landområden värms upp snabbare än havsområdena, överstiger den lokala uppvärmningen den globala medeluppvärmningen under 2000-talet. En lokal uppvärmning av viss storlek inträffar således tidigare i jordbruksområdena än på den globala skalan.

påverkar arter i ett område olika mycket. Det kan leda till att vissa arter gynnas på bekostnad av andra. Ett fenomen som redan har iakttagits i Europa är att tidiga vårar leder till att fjärilar snabbt anpassar sig och kläcks tidigare. Småfåglar, vars ungar livnär sig av dessa insekter, fortsätter dock att kläckas vid normal tidpunkt och svälter allt oftare ihjäl eftersom de missar tidpunkten med god tillgång på föda.

Klimatförändringar i kombination med mänskliga aktiviteter, som storskaliga förändringar i markanvändningen och överutnyttjande av naturresurser kan komma att ha allt större negativ påverkan på biologisk mångfald, livsuppehållande ekosystemfunktioner och viktiga ekosystemtjänster⁹. Vid en global uppvärmning med mer än ett par grader jämfört med förindustriell tid har det beräknats att omkring 20-30 procent¹⁰ av jordens växt- och djurarter sannolikt löper ökad risk för utrotning.

Havsnivåstegring och kustzoner: Effekter av att havsnivån stiger förväntas drabba miljontals människor i form av ökad utsatthet för översvämningar. Mest sårbara är de stora deltaområdena i Asien och Afrika, samt världens mindre ö-nationer. Risken ökar för saltinblandning i kustnära åkermarker och dricksvattentäkter, erosion och för uppkomst av nya kläkningsplatser för insekter.

Hälsa: Klimatrelaterade hälsokonsekvenser kommer att bli mest uttalade i de fattiga delarna av världen. Minskad tillgång till mat leder till undernäring och ökad känslighet för många svåra infektionssjukdomar. Förändringar av årstider i tempererade zoner eller i torrperiod/regnsäsong ökar generellt risken för sjukdomar som sprids med insekter, gnagare och fästingar. Många parasiter gynnas också av ett varmare klimat. Med högre temperaturer och ändrade vattenflöden ökar också risken för utbrott av kolera, salmonella och andra diarrésjukdomar som sprids med vatten och livsmedel. Extrema väderrelaterade händelser orsakar allt ifrån döds- och olycksfall i ett akut skede, till utbrott av infektionssjukdomar i efterförloppet. Ett varmare klimat kan även förstärka hälsoeffekter till följd av luftföroreningar som marknära ozon och stoftpartiklar.¹¹

Lokalt kan ett förändrat klimat även leda till vissa positiva hälsoeffekter. Klimatet i ett område kan till exempel bli olämpligt

⁹ Det vill säga tjänster vi får "gratis" av naturen, som pollinerande insekter, vattenrening, naturliga skadedjursbekämpare, kolinlagring och att bördig jord bildas.

¹⁰ Baseras på studier som omfattar ett representativt urval av världens växt- och djurarter.

¹¹ Högre temperaturer ökar bildningen av marknära ozon medan minskad nederbörd ger minskad urtvättning av partiklar ur luften.

för vissa parasiter eller smittspridande arters fortlevnad. På högre breddgrader och höga höjder kan köldrelaterade hälsoeffekter som förfrysningar, köldutlöst kärlkramp och reumatiska besvär komma att minska.

Samhälleliga konsekvenser: Klimateffekterna på samhällssystemen uppvisar generellt stora regionala variationer. Mest utsatta är tätbefolkade och låglänta kustområden i fattiga länder, samt samhällen och verksamheter som är känsliga för extremer eller är beroende av klimatkänsliga lokala resurser. Vissa klimateffekter (till exempel kustnära konsekvenser, minskad vattentillgång och jordbruksproduktion) förväntas kunna orsaka flyktingströmmar och befolkningsförflyttningar, som i sin tur påverkar framförallt närliggande områden.

Säkerhetspolitiska aspekter: Klimatfrågan behandlades för första gången av FN:s säkerhetsråd i april 2007. Det råder fortfarande stor osäkerhet om hur klimatförändringarna kan komma att påverka säkerhetsläget. Politiska konflikter skulle kunna uppstå på grund av både anpassningsåtgärder och åtgärder för att minska utsläpp. Vissa av klimatförändringarnas konsekvenser, som ändringar i vattentillgången och större befolkningsförflyttningar, kan komma att förstärka existerande eller latent konflikter.

3.2.2 I Europa

Merparten av Europa kommer sannolikt inte att drabbas lika hårt av klimateffekterna som delar av Asien och Afrika. Inom EU kan bland annat samverkans- och integrationsprocesser sättas på prov genom att klimatförändringarna beräknas få olikartade konsekvenser för olika regioner inom unionen. Det kan leda till spänningar, till exempel om EU:s jordbrukspolitik behöver omarbetas.¹²

Sydeuropa: Europa förväntas under 2000-talet delvis få en skiftning från syd till nord när det gäller gynnsamma förhållanden för jordbruket. Sydeuropa kan få problem med höga sommartemperaturer, sommartorka och minskad vattentillgång. Detta kan minska skördarna, försämra möjligheterna för vattenkraft samt negativt påverka sommarturismen. Hälsoeffekter av fler och intensivare värmeböljor är att vänta, liksom försämrad luftkvalitet till följd av förhöjda koncentrationer av marknära ozon och stoft-

¹² Haldén (2007).

partiklar. Fler skogsbränder i regionen bidrar också till luftvägsbesvär.

Central- och Östeuropa: Sommarnederbörden förväntas minska, vilket medför ökad vattenbrist. Skogsproduktiviteten förväntas minska, samtidigt som det blir vanligare med bränder på torvmarker. Risken ökar för hälsoeffekter relaterade till bland annat värmeböljor och översvämningar.

Nordeuropa: Inledningsvis förväntas klimatförändringarna medföra både negativa och en del positiva effekter. Exempel på positiva effekter är minskat uppvärmningsbehov, minskade köldrelaterade hälsoeffekter, ökade skördar, ökad skogstillväxt och bättre förutsättningar för vattenkraftsproduktion. I takt med fortsatta klimatförändringar kommer dock negativa effekter, som översvämningar, hotade ekosystem och ökad markinstabilitet, sannolikt att uppväga fördelarna. Skandinavien kan komma att behöva ändra fokus från köldanpassade samhällen till milda vintrar och hetare sommarhalvår. Utbredningen av många s.k. ekosystemsrelaterade sjukdomar (till exempel borreliainfektion) kommer att öka.

Sverige: För en ingående beskrivning av klimatförändringarnas konsekvenser för mänskliga och biologiska system samt ekonomiska analyser för Sveriges del, hänvisar Rådet till Klimat- och sårbarhetsutredningens slutbetänkande som redovisas 1 oktober 2007 samt dess delbetänkande om översvämningsrisker.¹³

3.3 Rådets slutsatser

Rådet har gjort en grundlig genomgång av underlaget från IPCC och instämmer i IPCC:s samlade bedömningar av klimatförändringarnas konsekvenser för ekosystem och samhälle.

Rådet konstaterar

- att konsekvenserna för ekosystem och samhälle blir fler och mer omfattande ju högre och snabbare temperaturen stiger. Globalt sett kommer de negativa konsekvenserna att överväga.
- att konsekvenserna kommer att variera kraftigt mellan regionerna beroende på olika stora regionala klimatförändringar och

¹³ SOU 2006:94 Översvämningshot. Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern.

skillnader i naturliga system och samhällens sårbarhet och anpassningsförmåga. Särskilt utsatta är Arktis, delar av Afrika och Asien.

- att konsekvenserna för ekosystem och samhälle uppkommer såväl gradvis som abrupt. Klimatförändringarna har redan lett till observerbara effekter.
- att de konsekvenser som framförallt ger anledning till oro är risker för minskad livsmedelproduktion och förändringar i vattentillgång i vissa områden samt förluster i biologisk mångfald och ökad utsatthet för översvämningar längs kusterna
- att klimatförändringarnas konsekvenser kan förstärkas av andra globala förändringar som pågår samtidigt (till exempel förändringar i befolkningstäthet, resursanvändning och miljöförstöring). Klimatförändringarna försvårar också möjligheten att möta andra globala utmaningar, som fattigdomsbekämpning.
- att utifrån ett nationellt perspektiv bör klimateffekterna tas hänsyn till i arbetet för att nå de svenska miljömålen
- att anpassningsåtgärder är nödvändiga och bör integreras i internationell och nationell samhällsutveckling. Primärt fokus bör dock vara att minska utsläppen.

4 Behov av globala utsläppsreduktioner

4.1 Målstruktur för klimatpolitiken

Det övergripande målet för internationell klimatpolitik är fastslaget i FN:s klimatkonvention från år 1992, och innebär att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären ska stabiliseras på en nivå som förebygger farlig mänsklig påverkan på klimatsystemet. I konventionen anges också att en sådan nivå bör uppnås inom en tidsram som tillåter ekosystemen att anpassa sig, som inte hotar livsmedelsproduktionen och som möjliggör ekonomisk utveckling att fortsätta på ett hållbart sätt.

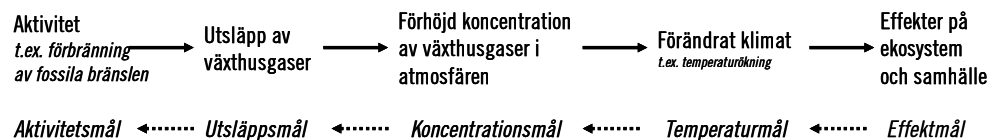
4.1.1 Olika typer av mål för att begränsa climateffekterna

Det mest övergripande klimatmålet borde egentligen vara ett mål om att begränsa climateffekterna (se figur 4.1). Ett sådant mål är emellertid svårt att formulera eftersom det finns en mångfald effekter och dessutom kunskapsluckor. I stället används temperatur-, koncentrations-, utsläpps- och aktivitetsmål med följande innebörd.

- *Temperaturmål*: mål för högsta acceptabla ökning av den globala medeltemperaturen. En högsta acceptabel uppvärmningstakt kan ingå i målformuleringen.
- *Koncentrationsmål*: mål för högsta acceptabla koncentration av växthusgaser i atmosfären (s.k. stabiliseringsnivå).
- *Utsläppsmål*: mål för högsta acceptabla nivå för utsläppen. De kan också anges som behov av minskning över en viss tidsperiod.

- *Aktivitetsmål*: mål om särskilda åtgärder eller aktiviteter som förväntas bidra till utsläppsminskningar (till exempel mål om energieffektivisering, om satsningar på forskning och utveckling för ny energiteknik eller om att förnybara energislag ska utgöra en viss andel av den primära energitillförseln).

Figur 4.1 Sambandet mellan mänskliga aktiviteter, utsläpp av växthusgaser, klimatförändringarna och deras effekter på ekosystem och samhälle, samt olika typer av klimatomål



Temperaturmål sätts utifrån vilka effekter på ekosystemen och samhälle som olika stora klimatförändringar, uttryckta i termer av global medeltemperaturökning, kan förutses ge. Vad som är acceptabelt är en värderingsfråga och kan inte avgöras på vetenskaplig grund (se kapitel 1).

Koncentrationsmål sätts utifrån vetenskapligt konstaterade samband mellan ökad koncentration av växthusgaser och temperaturökning. Både temperaturmål och koncentrationsmål är globala, eftersom de påverkas av världens samlade utsläpp av växthusgaser.

Ett globalt utsläppsmål kan sedan härledas från koncentrationsmålet genom vetenskapligt uppskattade samband om vilka utsläppsnivåer (globalt) som är förenliga med olika koncentrationer av växthusgaser i atmosfären. Utsläppsmål kan anges som en utsläppsmängd, antingen totalt eller per capita, som inte får överskridas vid ett visst årtal. Det kan också räknas om till hur mycket utsläppen behöver minska över en viss tidsperiod. Utsläppsmål är den typ av mål som är enklast att omsätta till strategier och åtgärder.

Regionala och nationella utsläppsmål kan inte bestämmas vetenskapligt, men de kan beräknas med utgångspunkt i globala utsläppsmål och en politiskt bestämd fördelning mellan olika regioner och länder. De kan också till största delen baseras på politiska bedömningar av vad som är politiskt nödvändigt eller möjligt. Utsläppsmål kan också sättas för olika samhällssektorer på

nationell såväl som på regional nivå. Dessa sektorsmål är i allmänhet satta efter en avvägning av vad som behöver göras och vad som är möjligt.

Aktivitetsmål kan formuleras för att stödja önskade utsläppsmål, men har inte ett kvantifierbart samband med de(t) senare.

4.1.2 Avvägningar mot de samhällsekonomiska konsekvenserna

Förutom de värderingar och politiska bedömningar som ligger till grund för att bestämma vad som är farligt, behöver en politisk avvägning också göras mot de samhällsekonomiska konsekvenserna. Nyttor och kostnader för klimatpolitiskt motiverade insatser kan då behöva ställas i relation till nyttor och kostnader för insatser inom andra mer eller mindre relaterade politikområden. Avvägningar kan dessutom göras med hänsyn till om åtgärderna ska omfatta enbart den egna regionen, det egna landet eller kan kompletteras med åtgärder i andra länder, givet att detta är tillåtet enligt internationella överenskommelser.

Underlag för politiska avvägningar av föreslagna målnivåer mot samhällsekonomiska konsekvenser behandlas i kapitel 6, 7 och 8.

4.2 Bedömningar av farlig mänsklig påverkan på klimatsystemet

4.2.1 Bedömningar i den vetenskapliga litteraturen

I den vetenskapliga litteraturen har det vid några tillfällen argumenterats för att risken för oacceptabel inverkan på klimatsystemet ökar kraftigt om den globala medeltemperaturen ökar mer än 2°C jämfört med förindustriell nivå.

Inför klimatkonventionens första partsmöte i Berlin år 1995 bedömde det tyska vetenskapliga rådet för global förändring (WBGU) att en ökning av den globala medeltemperaturen på mer än 2°C jämfört med förindustriell tid är absolut oacceptabel. WBGU menade även att temperaturökningen inte bör överstiga 0,2°C per decennium, för att olika system ska ha möjlighet att anpassa sig.

En av FN initierad internationell vetenskaplig expertgrupp (SEG) presenterade en rapport om klimatförändring och hållbar utveckling till ett FN-möte om hållbar utveckling våren 2007.¹ Rapporten innehöll rekommendationer om att målet för samhällets ansträngningar för att minska utsläpp av växthusgaser måste vara att begränsa ökningen av jordens medeltemperatur till 2°C (om det är möjligt), och under alla omständigheter till 2,5°C över förindustriell nivå. SEG:s bedömning var att en temperaturökning på mer än 2–2,5°C kan innebära kraftigt stigande risker för att klimatrelaterade brytpunkter passeras, bortom vilka oacceptabla effekter på mänskligt välbefinnande kan inträffa, oavsett anpassningsförsök.

Viktigt att notera är att IPCC inte tar ställning till vilken nivå på temperaturökning som är eller kan vara farlig.

4.2.2 Politiska bedömningar

Det finns i dagsläget inte någon global politisk konsensus om var gränsen för farlig klimatpåverkan går. Däremot har såväl EU som Sverige politiskt beslutade mål som anger konkreta gränser för vad som skulle kunna betraktas som farlig nivå av mänsklig påverkan på klimatsystemet.

EU:s tvågradersmål

Mot bakgrund av informationen i IPCC:s andra utvärderingsrapport antog Europeiska rådet redan 1996 som mål att den globala medeltemperaturen inte ska tillåtas öka med mer än 2°C jämfört med förindustriell nivå. Detta mål har därefter vid flera tillfällen upprepats i slutsatser från såväl miljørådet som Europeiska rådet, senast 8–9 mars 2007, som utgångspunkt för EU:s långsiktiga klimatstrategi. Ursprungligen uppfattade man att tvågradersmålet kunde uppnås om koldioxidkoncentrationen i atmosfären stabiliserades på 550 ppmv CO₂, vilket motsvarar en koncentration av växthusgaser på ca 650 ppmv CO₂e.² Mot bakgrund av nuvarande vetenskapliga kunskap om klimatsystemet bedöms nu att den stabiliseringsnivå som är förenlig med tvågradersmålet är betydligt

¹ Bierbaum m.fl. (2007).

² Som jämförelse kan nämnas att koldioxidkoncentrationen innan industrialismens genombrott var ungefär 280 ppmv CO₂.

lägre. I Europeiska kommissionens meddelande från januari 2007 om en strategi för att klara tvågradersmålet utgår man från en koncentration av växthusgaser på högst 450 ppmv koldioxid-ekvivalenter (CO₂e).

Sveriges miljö kvalitetsmål ”Begränsad klimatpåverkan”

Sveriges riksdag beslutade 2002 om målet att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären (enligt Kyotoprotokollets och IPCC:s definitioner) tillsammans ska stabiliseras på en nivå lägre än 550 ppmv CO₂e.³ Som framgår nedan (se avsnitt 4.3) är denna nivå *mycket sannolikt* oförenlig med EU:s tvågradersmål, som Sverige ställt sig bakom genom beslut i Europeiska rådet och miljöministerrådet.

I samband med 2005 års miljömålsbeslut⁴ angav riksdagen att målet för begränsad klimatpåverkan bör ändras till ett temperaturmål som överensstämmer med EU:s långsiktiga mål om en global uppvärmning på högst 2°C jämfört med förindustriella nivåer. I 2006 års klimatpolitiska beslut⁵ hänsköts dock frågan om det långsiktiga klimatmålets utformning till den s.k. klimatpolitiska kontrollstationen 2008.⁶

Naturvårdsverket och Statens energimyndighet har i sitt gemensamma underlag till den klimatpolitiska kontrollstationen 2008 föreslagit att det nuvarande koncentrationsmålet ska ersättas med ett temperaturmål. Som förslag till målnivå anges en högsta ökning av den globala medeltemperaturen med 2°C jämfört med förindustriell nivå.

4.3 Det krävs stabilisering på låga koncentrationsnivåer

Sambandet mellan atmosfärens koncentration av växthusgaser och den globala ökningen av medeltemperaturen anges av den s.k. klimatkänsligheten (se bilaga 2.4). Klimatkänsligheten är ett mått på hur mycket den globala medeltemperaturen väntas öka vid en

³ Prop. 2001/02:55, bet. 2001/02:MJU10, rskr. 2001/02:163.

⁴ Prop. 2004/05:150, bet. 2005/06:MJU3, rskr. 2005/06:48.

⁵ Prop. 2005/06:172, bet. 2005/06:MJU14, rskr. 2005/06:389.

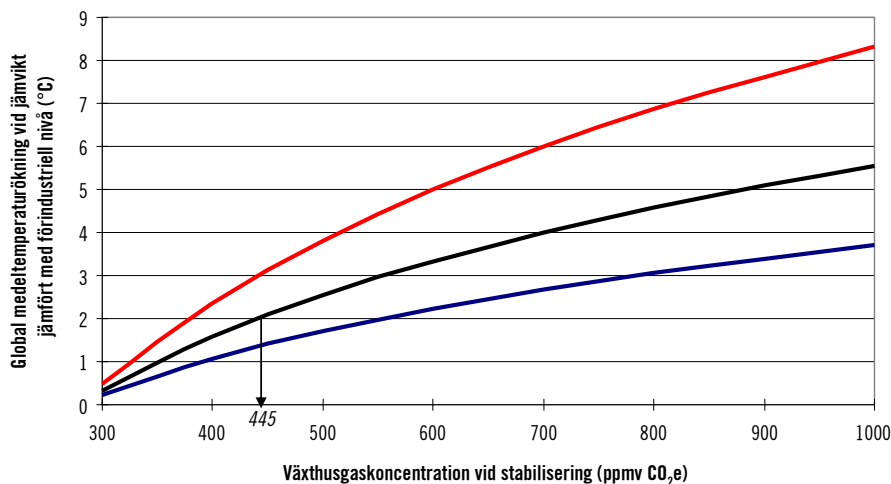
⁶ Enligt 2002 års klimatpolitiska beslut ska den svenska klimatstrategin ses över och vid behov revideras vid återkommande kontrollstationer.

ökning av växthusgaskoncentrationen som motsvarar en fördubbling av den förindustriella koldioxidkoncentrationen. Enligt IPCC är det mest troligt att klimatkänsligheten är 3 °C. Av figur 4.2 framgår att koncentrationen av växthusgaser därmed behöver stabiliseras på en nivå strax under 450 ppmv CO₂e för att den globala medeltemperaturen inte ska öka mer än 2 °C jämfört med förindustriell nivå. Detaljerade studier av klimatkänslighetens sannolikhetsfördelning antyder dock att det är lika sannolikt att temperaturökningen stannar vid 2 °C om koncentrationen av växthusgaser stabiliseras på en nivå om 450 ppmv CO₂e, som att den blir högre.⁷ En stabilisering på denna nivå är också förknippad med en icke försumbar risk att den globala temperaturökningen kommer att överstiga 3 °C. Om temperaturökningen *sannolikt*⁸ ska begränsas till 2 °C behöver koncentrationen av växthusgaser på lång sikt (år 2150) stabiliseras på en nivå motsvarande 400 ppmv CO₂e eller lägre. Risken för allvarlig klimatpåverkan minskar ju lägre stabiliseringsnivån är för koncentrationen av växthusgaser.

⁷ Meinshausen (2006).

⁸ Sannolikhetsbegreppet enligt IPCC förklaras i bilaga 2.1.

Figur 4.2 Stabiliseringsscenarier och deras relation till ökning av global medeltemperatur vid jämvikt



Källa: IPCC (2007c).

Anmärkning: Den övre linjen (röd) anger temperaturökning vid en klimatkänslighet på 4,5°C. Den mittersta linjen (svart) anger temperaturökning vid klimatkänslighet på 3°C. Den understa linjen (blå) anger temperaturökning vid klimatkänslighet på 2°C.

Koncentrationen av koldioxid uppgår idag till ungefär 380 ppmv CO₂, medan koncentrationen av växthugaser uppgår till ungefär 450 ppmv CO₂e. Koncentrationen av växthugaser stiger nu med omkring 2–2,5 ppmv CO₂e per år. Som nämnts motverkas växthugasernas inverkan på den globala uppvärmningen av antropogena utsläpp av stoftpartiklar (se bilaga 2.3). Stoftpartiklarnas kylande effekt råkar vara ungefär lika stor som den uppvärmande effekten av icke-koldioxidväxthugaser, så att nettoeffekten av växthugaser och stoftpartiklar på den globala uppvärmningen motsvarar bidraget från enbart koldioxid. På medellång och lång sikt bedöms dock denna dämpande effekt minska.⁹ Detta beror på att utsläppen av stoftpartiklar förväntas minska, bland annat till följd av hälsofrämjande åtgärder (se avsnitt 2.3). Vi ligger således redan mycket nära den stabiliseringsnivå som är förenlig med tvågradersmålet, samtidigt som utsläppen fortsätter att öka.

⁹ Detta återspeglas i olika klimatmodellens scenarier för utsläppsutvecklingen för olika strålningsdrivande föroreningar.

4.4 Globala utsläppsnivåer för stabilisering av koncentrationen

4.4.1 Den globala utsläppstrenden behöver brytas nu

Till följd av klimatsystemets dynamik, och inte minst en del av växthusgasernas långa livslängd (100–1000 år) i atmosfären, är det de ackumulerade utsläppen av växthusgaser över längre tidsperioder snarare än de momentana utsläppen som avgör vid vilken nivå koncentrationen av växthusgaser kan komma att stabiliseras (se bilaga 2.2). Det innebär att det finns flera vägar sett över tiden, s.k. utsläppsbanor, att nå en viss stabiliseringsnivå.

Ett viktigt resultat från studier av utsläppsbanor för olika stabiliseringsnivåer är att de globala utsläppen bör nå sin högsta nivå inom 10–15 år för att sedan minska om koncentrationen av växthusgaser på lång sikt (omkring år 2150 och framåt) ska kunna stabiliseras på nivåer runt 400–450 ppmv CO₂e. Om högre stabiliseringsnivåer är utgångspunkt för klimatpolitiska åtgärder kan utsläppen börja minska något senare, men då minskar sannolikheten att temperaturökningen begränsas till 2°C jämfört med förindustriell nivå.

Om startpunkten för en global utsläppsreduktion fördröjs blir kravet på nödvändiga utsläppsminskningar på medellång sikt högre. En fördröjning med fem till tio år kan leda till att reduktionstakten behöver fördubblas inom några decennier för att möjligheten att nå en viss stabiliseringsnivå vid en given tidpunkt inte ska äventyras. Det är mycket riskfyllt att vänta med åtgärder för att minska de globala utsläppen av växthusgaser.

4.4.2 De globala utsläppen måste minska rejält

IPCC:s sammanställning av forskningen om hur mycket utsläppen behöver minska för att koncentrationen av växthusgaser ska stabiliseras fokuserar på utsläpp av koldioxid. Av de studier som analyserat utsläppsbanor för stabilisering av fler växthusgaser än koldioxid, s.k. multigasstudier, är det få som har analyserat aggregerade stabiliseringsnivåer ner mot 400 ppmv CO₂e.

De globala utsläppen av växthusgaser, enligt Kyotoprotokollets definition¹⁰ och inräknat utsläpp från markanvändning och skogsbruk samt utrikes transporter, uppgick år 1990 till 39 miljarder ton (Gton) CO₂e. År 2004 hade utsläppen stigit till 49 Gton CO₂e.¹¹

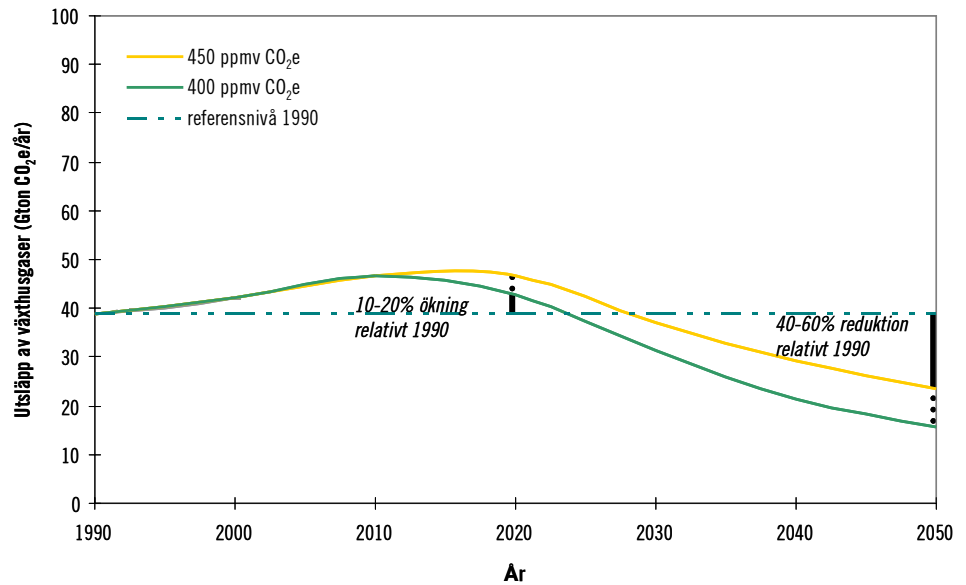
I figur 4.3 redovisas hur utsläppen av växthusgaser (inkl. utsläpp från markanvändning och skogsbruk) kan behöva utvecklas fram till 2050 för att en stabilisering av koncentrationen vid 400 ppmv CO₂e (grön linje) respektive 450 ppmv CO₂e (gul linje) ska vara möjlig.

Om klimatpolitiken utgår från att koncentrationen av växthusgaser på lång sikt (omkring år 2150 och framåt) behöver stabiliseras vid 400 ppmv CO₂e kan de globala utsläppen öka med ungefär 10 procent till år 2020 jämfört med 1990 års nivå (se figur 4.3). Detta innebär dock en reduktion på drygt 10 procent jämfört med dagens utsläppsnivå. År 2050 behöver de globala utsläppen ha minskat med ungefär 55–60 procent jämfört med 1990 års nivå, eller motsvarande 70 procent jämfört med dagens nivå.

¹⁰ Koldioxid (CO₂), metan (CH₄), lustgas (N₂O), hårda fluorkarboner (HFC), polyfluorkarboner (PFC) och svavelhexafluorid (SF₆).

¹¹ IPCC (2007c).

Figur 4.3 Utsläppsbanor 1990–2050 för växthusgaser (inkl. utsläpp från markanvändning och skogsbruk) för olika nivåer för stabilisering av koncentrationen i atmosfären



Källa: Baserat på data från den Elzen & Meinshausen (2006).

Om utgångspunkt för utsläppsminskande åtgärder i stället tas i en stabiliseringsnivå på 450 ppmv CO₂e kan något högre nivåer tillåtas för de globala utsläppen. År 2020 kan de vara ungefär 20 procent högre och år 2050 behöver de vara ungefär 40 procent lägre än 1990 års nivå.

Till slutet av detta sekel behöver de globala utsläppen av växthusgaser enligt vissa studier minska till en nivå runt 5–10 Gton CO₂e per år. Det finns även studier som antyder att de globala nettoutsläppen vid slutet av seklet kan behöva vara negativa under en period för att koncentrationen, efter en övergående ökning från dagens nivå, på lång sikt ska kunna stabiliseras på nivåer under 400–450 ppmv CO₂e. Sammantaget innebär detta att utsläppen år 2100 behöver vara nära nog noll.

För att koncentrationen av växthusgaser ska hållas stabil får de globala utsläppen på lång sikt inte överstiga naturens förmåga att ta upp eller bryta ner växthusgaser. Hur mycket vi årligen kan släppa ut på lång sikt bedöms ligga på ungefär 3–9 Gton CO₂e per år

omkring 2150–2300.¹² De senaste årens forskningsrön indikerar dock att det möjliga utrymmet för antropogena utsläpp vid jämvikt kan reduceras till följd av återkopplingsmekanismer från den globala kolcykeln. Dels kan de naturliga utsläppen av exempelvis metan och koldioxid komma att öka, dels kan havens och biosfärens förmåga att ta hand om antropogena utsläpp komma att minska (se kapitel 2).

4.5 Rådets slutsatser

Rådet anser¹³

- att det kan vara både omöjligt och ohållbart att göra en för alla acceptabel gränsdragning mellan ofarlig och farlig klimatpåverkan
- att EU:s tvågradersmål är en rimlig utgångspunkt för utsläppsminskande åtgärder, men det går inte att utesluta att även lägre temperaturökningar ger allvarliga effekter
- att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären på lång sikt behöver stabiliseras på en nivå under 400–450 ppmv CO₂e för att den globala medeltemperaturen inte ska öka mer än 2°C jämfört med förindustriell nivå
- att för att tvågradersmålet sannolikt ska klaras behöver koncentrationen stabiliseras på en nivå om ca 400 ppmv CO₂e
- att vid en stabilisering på 450 ppmv CO₂e är det en betydande risk att vi inte klarar tvågradersmålet
- att de globala utsläppen av växthusgaser till år 2020 behöver minska med ca 10 procent jämfört med 2004 års nivå för att koncentrationen av växthusgaser ska kunna stabiliseras på 400 ppmv CO₂e år 2150. Jämfört med 1990 års nivå motsvarar detta en ökning av utsläppen med ca 10 procent.
- att de globala utsläppen till år 2050 behöver minst halveras jämfört med 1990 (för att nå 400 ppmv CO₂e)

¹² IPCC TAR (Prentice m.fl., 2001).

¹³ De målnivåer som Rådet anger baseras på dagens vetenskapliga kunskap. Målnivåerna (för temperaturökning, koncentration och utsläppsreduktioner) kan därför behöva revideras allteftersom kunskapen om klimatsystemet och samhället m.m. förbättras.

Behov av globala utsläppsreduktioner

- att de globala utsläppen i slutet av detta sekel behöver ha reducerats ned till en nivå på nära noll (för att nå 400 ppmv CO₂e).

5 Behov av utsläppsreduktioner för EU och Sverige

Syftet med detta kapitel är att bryta ner det globala reduktionsbehovet till reduktionskrav för EU och Sverige. Inledningsvis presenteras en aktuell bild av hur de globala utsläppen av växthusgaser fördelar sig mellan olika nationer och grupper av nationer. Därefter behandlas teoretiska modeller för hur ansvaret att minska de globala utsläppen ska fördelas mellan olika (grupper av) nationer. Särskilt analyseras utfallet för Sverige och EU,¹ för år 2020 och 2050. Kapitlet baseras till stor del på en jämförande analys av olika fördelningsmodeller som genomförts av Ecofys på uppdrag av det brittiska miljödepartementet.²

En central utgångspunkt för kapitlet är att fördelningen anger hur många utsläppsrättigheter respektive nation ska erhålla initialt inom ramen för en internationell klimatregim. Varje utsläppsrättighet ger rätten att släppa ut 1 ton CO₂e. Den initialt tilldelade mängden utsläppsrättigheter kan sedan överlätas mellan olika länder.

5.1 Regional fördelning av dagens växthusgasutsläpp

År 2004 uppgick de globala utsläppen av växthusgaser enligt Kyotoprotokollets definition³ till ungefär 49 Gton CO₂e. Utsläppen fördelar sig ojämnt mellan världens nationer och regioner.

¹ Notera att kapitlet inte explicit behandlar den interna bördefördelningen av EU:s utsläppsmål för 2020, inte heller Sveriges åtagande i nästa åtagandeperiod i en internationell klimatregim. De allmänna resonemang som förs om fördelning kan dock tillämpas i dessa fall.

² Höhne m.fl. (2007).

³ Koldioxid (CO₂), metan (CH₄), lustgas (N₂O), hårda fluorkarboner (HFC), polyfluorkarboner (PFC) och svavelhexafluorid (SF₆).

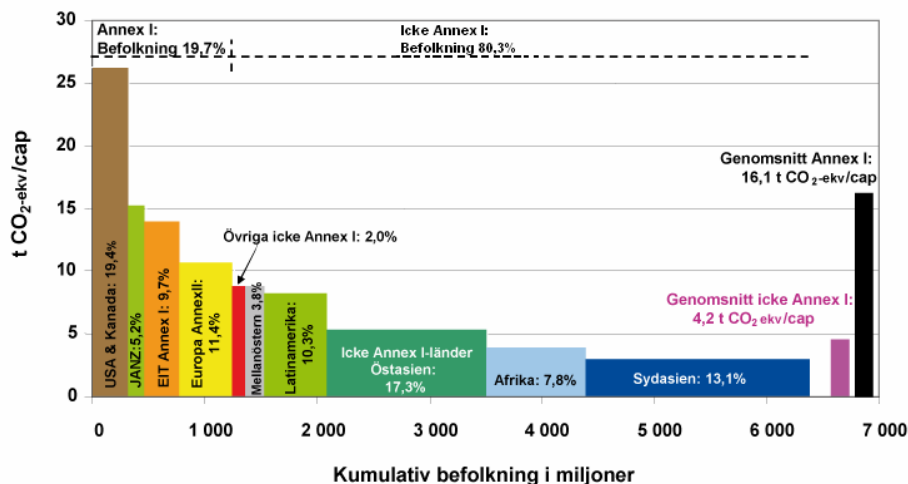
Om man ser till de samlade utsläppen av växthusgaser fram till år 2000, står världens industrialiserade nationer (s.k. Annex I-länder under Klimatkonventionen) för nära 60 procent och utvecklingsländerna (s.k. icke-Annex I-länder) för ungefär 40 procent.⁴ Utvecklingsländernas bidrag till den globala uppvärmningen ökar dock stadigt. År 2004 svarade utvecklingsländerna för 54 procent av de globala utsläppen av växthusgaser. Till bilden ska fogas det faktum att de industrialiserade nationerna svarar för en betydligt mindre andel av världens samlade befolkning, samt en större andel av världens samlade BNP. Utsläppen per capita är högre i industrialiserade länder än i utvecklingsländer. För utsläpp per BNP är förhållandet det omvända (se figur 5.1 och 5.2). Även om utsläppen förväntas öka snabbare i utvecklingsländerna bedöms den ojämna fördelningen av utsläpp per capita och utsläpp per BNP att bestå.

De genomsnittliga utsläppen av växthusgaser per capita i världen uppgick år 2004 till ungefär 7,5 ton CO₂e. De svenska utsläppen av växthusgaser per capita ligger något högre än världsgenomsnittet, 8,1 ton CO₂e.⁵ Genomsnittet i den industrialiserade världen uppgick till 16,1 ton CO₂e per capita, medan genomsnittspersonen i utvecklingsländerna släppte ut 4,2 ton CO₂e år 2004. Skillnaden är dock mycket stor inom respektive grupp av nationer, även bland utvecklingsländerna. Som exempel kan nämnas att ett femtiotal utvecklingsländer, däribland Brasilien, Indonesien, Sydafrika och Argentina, har utsläpp av växthusgaser per capita som ligger över världsgenomsnittet. Kina släppte år 2004 ut ungefär 5 ton CO₂e per capita och år, medan Indien släppte ut omkring 3 ton CO₂e.

⁴ Höhne & Blok (2005).

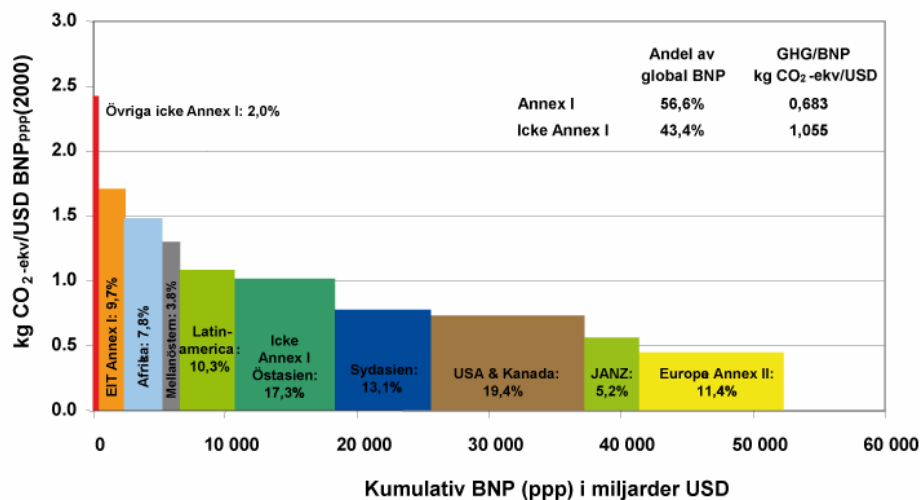
⁵ Siffran inkluderar utsläpp från utrikes luft- och sjöfart, samt nettoutsläpp från markanvändning och skogsbruk.

Figur 5.1 Fördelning av globala utsläpp av växthusgaser per capita år 2004 mellan befolkningen i olika ländergrupper. (Procentsatserna anger regionernas andel av globala utsläpp av växthusgaser)



Källa: IPCC (2007c).

Figur 5.2 Fördelning år 2004 av globala utsläpp av växthusgaser per enhet köpkraftskorrigerad BNP (USD) och sammanlagd BNP för olika ländergrupper. (Procentsatserna anger regionernas andel av globala utsläpp av växthusgaser).



Källa: IPCC (2007c).

Om den globala medeltemperaturen *sannolikt* inte ska stiga mer än 2°C jämfört med förindustriell nivå, krävs att de globala utsläppen av växthusgaser vid mitten av detta sekel begränsas till ungefär 16–18 Gton CO₂e per år.⁶ Omräknat till utsläpp per capita motsvarar detta 2 ton CO₂e per år med en förväntad världsbefolkning år 2050 på 9 miljarder. Mot slutet av detta sekel bör per capita utsläppen begränsas till under 1 ton CO₂e per år. Det är således uppenbart att utsläppsminskande åtgärder inte bara krävs i de industrialiserade nationerna, utan även i många utvecklingsländer. Som exempel kan nämnas att Indien, som siktar på kraftig ekonomisk utveckling med förmodat ökade utsläpp som följd, redan idag ligger över den utsläppsnivå per capita som långsiktigt kan betraktas som hållbar.

5.2 Fördelningsmodeller i den klimatpolitiska diskussionen

5.2.1 Fördelningsmodeller och internationella reduktionsåtaganden

De åtaganden om utsläppsreduktioner som återfinns i Kyoto-protokollet fastställdes inte utifrån någon särskild princip eller modell för fördelning, utan var resultatet av förhandlingar där hänsyn togs till olika parterers intressen och nationella omständigheter. Den enda egentliga princip som tillämpades var klimatkonventionens grundläggande princip om gemensamt men differentierat ansvar, och att de industrialiserade nationerna, till följd av sitt dominerande bidrag till de ackumulerade utsläppen av växthusgaser, skulle ta täten i ansträngningarna för att minska utsläppen av växthusgaser. Detta tog sig uttryck i att bara parter i en kategori (s.k. Annex I-länder) har bindande åtaganden att minska sina utsläpp av växthusgaser till år 2012. Denna princip begränsar dock inte möjligheten att även utvecklingsländer, som nu står för mer än hälften av de årliga utsläppen av växthusgaser, tar på sig åtaganden att minska utsläppen inom ramen för framtida internationella klimatöverenskommelser. Detta är också en kärnfråga i de pågående förhandlingarna om en internationell klimatregim efter år 2012.

⁶ Det motsvarar en koncentration på 400 ppmv CO₂e (se figur 4.3).

Det är möjligt att fördelning av utsläppsutrymme och beslut om reduktionsåtaganden inom ramen för klimatkonventionen eller ett protokoll knutet till denna även i framtiden kommer att vara ett resultat av förhandlingar, snarare än att någon specifik fördelningsmodell tillämpas. En eller flera modeller, var för sig eller i kombination, kan dock komma att tillämpas för att vägleda enskilda parter i förhandlingarna. Fördelningsmodeller kan även tjäna som utgångspunkt för formulering av nationella utsläppsmål.

Diskussionerna om den internationella klimatpolitiken efter år 2012 har fört med sig ett antal förslag till modeller för fördelning av åtaganden om utsläppsreduktioner på klimatområdet. Ett exempel på princip för fördelning av utsläppsminskningar kan var "lika per capita utsläpp år 2050". Några av de mest diskuterade fördelningsmodellerna beskrivs i bilaga 3.1.

5.2.2 Jämförelse av olika fördelningsmodeller

Ett flertal fördelningsmodeller har analyserats och jämförts kvalitativt och kvantitativt i olika studier. Det viktigaste resultatet och slutsatsen från de jämförande analyserna, vilket också lyfts fram av IPCC, är att kravet på utsläppsreduktion för flertalet industrialiserade nationer och regioner, dock inte USA, i högre grad påverkas av vilken stabiliseringsnivå som väljs än av vilken fördelningsmodell som används. För en viss nation och en viss stabiliseringsnivå ger de olika fördelningsmodeller som Rådet använts sig av (se bilaga 3.1) relativt små variationer i reduktionskrav. Reduktionskraven kan dock skilja sig mellan olika nationer. Andra fördelningsmodeller, som inte analyserats, skulle kunna ge ett mer varierat utfall. Exempelvis skulle en tilldelning som baseras på principen "lika per capita utsläpp *nu*" ställa högre krav på tidiga utsläppsreduktioner i industrivärlden.

De olika fördelningsmodellerna tycks dock ha stor inverkan på reduktionskrav för vissa Annex I-länder, särskilt USA, som inte har ratificerat Kyotoprotokollet. De ger också ett varierat utfall för många utvecklingsländer, som i dagsläget inte har några bindande åtaganden om utsläppsminskningar. Olika modeller ställer olika krav på när och hur olika utvecklingsländer ska omfattas av åtaganden om utsläpsbegränsningar. Modeller som är mest gynnsamma för de fattigaste utvecklingsländerna, däribland Indien, tenderar att missgynna de rikare utvecklingsländerna, som Kina, men även

USA. Detta kan komma att komplicera förhandlingarna om en framtida internationell klimatregim efter år 2012.

5.3 Beräknade reduktionskrav för EU och Sverige

Ecofys har på uppdrag av den brittiska regeringen analyserat utfallet av olika fördelningsmodeller för ett stort antal industri- och utvecklingsländer. Beräkningar har gjorts för olika stabiliseringsnivåer för växthusgaskoncentrationen och olika antaganden om befolknings- och BNP-utveckling med mera. Data för Sverige har tillhandahållits av Ecofys på särskilt uppdrag av Rådet.^{7,8} I tabell 5.1 återges de beräknade utsläppsreduktionerna (genomsnitt för olika modeller) för industriländerna (Annex I) som helhet, EU, Sverige samt Storbritannien och Tyskland. De två senare EU-medlemsstaterna har varit betydelsefulla för utvecklingen av den europeiska klimatpolitiken, och liksom Sverige tidigt formulerat nationella utsläppsmål vid sidan om internationella åtaganden, varför en jämförelse kan vara intressant. Kraven på minskningar för att koncentrationen av växthusgaser ska stabiliseras på motsvarande 400 respektive 450 ppmv CO₂e redovisas för åren 2020 och 2050.

För att det globala utsläppsmålet för respektive tidpunkt ska uppnås förutsätts att samtliga nationer möter de reduktionskrav som beräkningarna antyder. Om ett eller flera länder inte kan bidra enligt den beräknade fördelningen måste övriga nationer reducera sina utsläpp mer än fördelningen anger för att de globala utsläppen inte ska överskrida den övre gräns som bedömts nödvändig.

⁷ Höhne & Moltmann (2007).

⁸ Ecofys rapporter, med beskrivning av de olika modellerna, utgångspunkter för beräkningarna samt resultat från dessa finns tillgängliga på Miljövårdsberedningens hemsida: www.sou.gov.se/mvb

Tabell 5.1 Relativa förändringar i utsläppsutrymme (före utsläppshandel) för olika (grupper av) nationer för 2020 och 2050 jämfört med 1990 års nivå vid olika nivåer för stabilisering av växthusgas-koncentrationen i atmosfären

Stabiliseringsnivå [ppmv CO ₂ e]	Region	2020	2050
400	Världen	+10%	-40%
	Annex I	-25% till -45%	-70% till -95%
	EU 25	-30% till -40%	-75% till -90%
	Sverige	-20% till -25%	-70% till -85%
	Storbritannien	-35% till -40%	-80% till -90%
	Tyskland	-40% till -45%	-80% till -95%
450	Världen	+30%	-10%
	Annex I	-15% till -30%	-55% till -90%
	EU 25	-20% till -30%	-65% till -90%
	Sverige	-5% till -15%	-60% till -80%
	Storbritannien	-25% till -30%	-70% till -90%
	Tyskland	ca -35%	-75% till -90%

Källa: Höhne m.fl. (2007), Höhne & Moltmann (2007).

Anmärkning: Intervallen anger spridning i resultat mellan olika fördelningsmodeller. Observera att reduktionskraven inte omfattar nettoutsläpp från markanvändning och skogsbruk respektive utrikes luft- och sjöfart. De globala reduktionskraven vid olika tidpunkter kan därför avvika jämfört med vad som redovisats i kapitel 4. Observera vidare att Ecofys beräkningar av fördelning har gjorts utifrån globala utsläppsbanor som skiljer sig något från de utsläppsbanor som redovisas i kapitel 4. De senare utgår från att koncentrationen av växthusgaser under en övergående period kan överskrida stabiliseringsnivån och därefter sjunka, medan de förra utgår från att stabiliseringsnivån nås utan s.k. överskjutning. Detta innebär att den av Ecofys använda utsläppsbanan för en stabilisering på 450 ppmv CO₂e i stort överensstämmer med den utsläppsbanan som redovisas i kapitel 4 (figur 4.3) för en stabilisering på 400 ppmv CO₂e. På samma sätt gäller att Ecofys utsläppsbanan för stabilisering på 550 ppmv CO₂e i stort motsvarar den i figur 4.3 angivna utsläppsbanan för stabilisering på 450 ppmv CO₂e. Se vidare bilaga 3.2.

5.3.1 Utsläppsreduktioner för EU till 2020 och 2050

Resultat av fördelningsmodeller

Utfallet av olika fördelningsmodeller visar att EU⁹ behöver minska sina utsläpp jämfört med 1990 med i storleksordningen 30–40 procent till år 2020 och 75–90 procent till 2050 för att tvågradersmålet *sannolikt* ska klaras (motsvarande 400 ppmv CO₂e,

⁹ Avser EU exklusive Malta och Cypern, som inte är Annex I-länder och därför inte har bindande åtaganden om utsläppsreduktioner.

se tabell 5.1). Reduktionskraven för olika medlemsstater varierar, och kan vara både högre eller lägre än för EU som helhet.

Ingen analys av fördelning har gjorts för år 2100, men med tanke på de låga utsläppsnivåer som krävs globalt är det en rimlig bedömning att utsläppen för EU och andra industrialiserade regioner reduceras till så gott som noll mot slutet av seklet.

EU:s mål om minskade utsläpp av växthusgaser

Med utgångspunkt i bland annat Europeiska kommissionens analyser av den globala klimatförändringen¹⁰ har EU, genom beslut i Europeiska rådet och miljöministerrådet, antagit som ståndpunkt att världens industrialiserade nationer gemensamt behöver minska sina utsläpp av växthusgaser med i storleksordningen 30 procent till 2020 och 60–80 procent till 2050 jämfört med 1990 års nivå.

Europeiska rådet beslutade i mars 2007 att EU ska minska sina utsläpp med 30 procent till 2020 jämfört med 1990 års nivå, under förutsättning att andra industrialiserade nationer åtar sig jämförbara utsläppsreduktioner och att ekonomiskt mer avancerade utvecklingsländer bidrar till de globala utsläppsreduktionerna i förhållande till sitt ansvar respektive sina förutsättningar. EU beslutade även att minska sina utsläpp av växthusgaser med *minst* 20 procent under samma tidsperiod, oberoende av vad andra nationer gör. Målet ska nås genom en kombination av inhemska åtgärder och åtgärder i länder utanför EU.

Mot bakgrund av de resultat som presenteras i föregående avsnitt kan EU:s målsättning om utsläppsreduktioner, både för Annex I-länder sammantaget och för EU som helhet, tyckas vara i underkant. Avvikelsen kan bero på att EU:s mål tar sin utgångspunkt i att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären bör stabiliseras på 450 ppmv CO₂e (jfr kapitel 4.2.2), samt att det är avvägt mot samhällsekonomiska konsekvenser av utsläppsreduktioner.¹¹

¹⁰ Europeiska kommissionen (2006, 2007b).

¹¹ Europeiska kommissionen (2007c) har bedömt att EU kan minska sina inhemska utsläpp av växthusgaser med ungefär 21 procent till år 2020 med 0,09 procent reduktion av årlig BNP-tillväxt.

5.3.2 Utsläppsreduktioner för Sverige till 2020 och 2050

För svensk del pekar beräkningarna med olika fördelningsmodeller på att Sverige, för att bidra med sin andel av det globala ansvaret för att långsiktigt stabilisera växthusgaskoncentrationen på 400 ppmv CO₂e, behöver minska utsläppen med ungefär 20–25 procent till år 2020 jämfört med 1990 års nivå (se tabell 5.1). År 2050 skulle utsläppen behöva minska med 70–85 procent jämfört med 1990 års nivå. Om utgångspunkt tas i en stabilisering på 450 ppmv CO₂e blir reduktionskraven lägre; 5–15 procent till år 2020 och 60–80 procent till 2050.

Jämfört med EU, andra medlemsstater i EU och andra Annex I-länder resulterar de olika fördelningsmodellerna i lägre reduktionskrav för svensk del (se tabell 5.1). Detta gäller särskilt för år 2020, men även för år 2050. Anledningen är att Sverige redan har förhållandevis låga utsläpp av växthusgaser relativt befolkning och BNP-nivå.

Liksom för flertalet industrialiserade länder spelar valet av fördelningsmodell en förhållandevis liten roll för utfallet för svensk del. Skillnaden i reduktionskrav enligt beräkningarna är i huvudsak mindre mellan olika modeller vid en given stabiliseringsnivå än mellan olika stabiliseringsnivåer. En modell (Multistage-modellen, se bilaga 3.1) ger dock ett betydligt högre reduktionskrav än andra modeller för Sverige för år 2050; 85 procent istället för 70–75 procent (vid stabilisering på 400 ppmv CO₂e). Detta beror på att utvecklingsländer har låga eller inga reduktionskrav enligt denna modell, och att industriländer generellt får ta en större del av det globala ansvaret.

Resultaten för Sverige år 2020 påverkas i hög grad av vilka ingångsvärden som används för utsläpp av växthusgaser år 2010.¹² Beräkningarna baseras på antagandet att Sveriges utsläpp år 2010 överensstämmer med vårt Kyotoåtagande efter den interna överenskommelsen om bördefördelning inom EU15, dvs. +4 procent jämfört med 1990. Sverige har dock ett eget mål för perioden 2008–2012 om inhemska utsläpp som ligger 8 procentenheter lägre, dvs. -4 procent jämfört med 1990 års nivå. Prognoser pekar på att Sverige kommer att uppfylla det målet. Om den lägre utsläppsnivån används som utgångspunkt för beräkningar av

¹² Vid beräkningarna av nationella reduktionskrav med olika fördelningsmodeller beräknas först framtida utsläppsnivåer fram till 2050 utifrån en bedömd utsläppsnivå år 2010. Därefter relateras utsläppsnivåer för 2020 och 2050 till 1990 års nivå (se Höhne m.fl., 2007; Höhne & Moltmann, 2007).

fördelning av reduktionskrav för Sverige kommer reduktionskravet för år 2020 jämfört med 1990 att bli ungefär 5 procentenheter hårdare, dvs. 25–30 procent. Om hänsyn tas till de aktuella utsläppen vid kommande fördelning inom EU och förhandlingar om framtida åtaganden, kan Sverige till följd av att vi förväntas uppnå det egna och mer ambitiösa utsläppsmålet komma att få bära en större del av ansvaret för att minska de globala utsläppen till 2020 än vad som varit fallet om vi bara haft vårt Kyotoåtagande som nationellt utsläppsmål för 2008–2012. Detsamma kan gälla för andra EU-stater, exempelvis Storbritannien och Tyskland, som förväntas klara sina Kyotoåtaganden enligt EU:s bördefördelningsbeslut med råge.

Det omvända gäller för länder som exempelvis USA och Spanien, vars inhemska utsläpp enligt prognoser förväntas vara betydligt högre än vad som stipuleras av deras Kyotoåtagande. Valet av ingångsvärde för att bestämma framtida åtaganden kommer därför troligen att bli mycket betydelsefullt i kommande förhandlingar om åtaganden i en internationell klimatregim, men även vid fördelning av EU:s nyligen antagna utsläppsmål för år 2020. Vetenskapliga rådet bedömer därför att Sverige inom EU och FN bör agera för att fördelningen inte baseras på hur mycket växthusgaser olika nationer släpper ut i dagsläget eller enligt prognoser bedöms släppa ut år 2010. Om fördelning skulle göras utifrån sådan hänsyn riskerar en incitamentsstruktur att byggas upp som gör att en nation tjänar på att ha höga utsläpp och förlorar på att ha låga. Detta främjar inte en god klimatpolitik.

De ovan angivna reduktionskraven för Sverige baseras på beräkningar av vad Sverige behöver göra för att ta sin del av det globala ansvaret för att nå tvågradersmålet. Vilket utsläppsmål Sverige bör anta är avhängigt politiska bedömningar av bland annat temperaturmål, försiktighetsprincipen samt bedömningar av samhällsekonomiska konsekvenser och huruvida Sverige bör gå före i den internationella klimatpolitiken (se även kapitel 8).

5.4 Formulering av nationella utsläppsmål

Ett utsläppsmål för en nation eller en grupp av nationer kan formuleras på i huvudsak två sätt: antingen med avseende på att minska utsläpp i nationen eller med avseende på att minska utsläpp för nationen. I det senare fallet kan en nation genom att köpa

överlåtbara utsläppsrättigheter via Kyotoprotokollets mekanismer¹³ komplettera inhemska utsläppsminskningar med utsläppsminskningar i andra länder.

5.4.1 Behandla verksamheter innanför EU ETS på särskilt sätt i det nationella målet

Bilden kompliceras av EU:s gemensamma system för handel med utsläppsrätter mellan företag (EU ETS). EU ETS möjliggör för företag som omfattas av systemet i en EU-medlemsstat att istället för att genomföra egna utsläppsreduktioner köpa utsläppsrätter från företag som omfattas av systemet i valfri EU-medlemsstat. Företag inom EU ETS har även viss möjlighet att köpa utsläppsrättigheter som skapats genom de projektbaserade mekanismerna, gemensamt genomförande (JI) och mekanismen för ren utveckling (CDM), som komplement till egna utsläppsreduktioner eller europeiska utsläppsrätter.

Med anledning härav bedömer Rådet att de verksamheter och utsläppskällor som omfattas av EU ETS, den s.k. handlande sektorn, bör särskiljas från övriga verksamheter och utsläppskällor (s.k. icke-handlande sektorer) inom ramen för ett nationellt utsläppsmål. För den handlande sektorn bör den initialt tilldelade mängden utsläppsrätter till Sveriges anläggningar och verksamheter inom EU ETS, och inte de faktiska utsläppen från samma anläggningar, stå i fokus för ett nationellt utsläppsmål. Detta brukar kallas avräkningsmål. Det är på detta sätt EU-institutioner som Europeiska kommissionen och Europeiska miljöbyrån behandlar verksamheter inom EU ETS då de bedömer olika medlemsstaters väg mot uppfyllelse av sina Kyotoåtaganden.

5.4.2 Nationella åtgärder i sektorer utanför EU ETS kan kompletteras med statlig användning av Kyotoprotokollets mekanismer

Beträffande de verksamheter som inte omfattas av EU ETS, de s.k. icke-handlande sektorerna (dvs. transporter, viss industri, bostäder

¹³ Med Kyotoprotokollets mekanismer avses internationell handel med utsläppsrätter mellan stater, samt de två projektbaserade mekanismerna "gemensamt genomförande" (JI, Joint Implementation) och "mekanismen för ren utveckling" (CDM, Clean Development Mechanism).

och service, jordbruk, avfallshantering samt markanvändning och skogsbruk), kan ett nationellt utsläppsmål avse utsläpp såväl *i* som *för* sektorn. Målet kan fokusera strikt på inhemska utsläppsreduktioner, eller medge användning av Kyotoprotokollets mekanismer. Oavsett målformulering är det inom dessa icke-handlande sektorer som staten har möjlighet att påverka de nationella utsläppen genom att införa olika styrmedel.

Om ett nationellt mål formuleras med hänsyn till användningen av Kyotoprotokollets mekanismer är förutsättningen sådan att det är staten som köper utsläppsrättigheter, antingen genom mellanstatlig handel eller genom de projektbaserade mekanismerna, gemensamt genomförande (JI) respektive mekanismen för ren utveckling (CDM), som komplement till nationella åtgärder. Staten kan alltså välja att köpa utsläppsrättigheter i viss utsträckning i stället för att vidta åtgärder fullt ut inom exempelvis transportsektorn. Användningen av Kyotoprotokollets mekanismer får dock bara vara supplementär till inhemska åtgärder: en betydande andel av ansträngningen att minska utsläppen måste ske i Sverige. Enskilda aktörer inom de icke-handlande sektorerna kan handla med utsläppsrätter, men dessa kan inte användas för annat än att uppfylla företagets egna mål.

Huruvida staten ska använda Kyotoprotokollets mekanismer som komplement till inhemska åtgärder för att nå ett nationellt utsläppsmål (frivilligt eller tvingande genom internationell överenskommelse) är en mångbottnad fråga. Rådet noterar bland annat följande:

1. En omfattande användning av framförallt CDM ställer stora krav på utvecklingen av de regler som garanterar att de minskade utsläpp som åstadkoms genom projekt i utvecklingsländer, som inte har internationellt bindande åtaganden om utsläppsreduktioner, sker utöver de utsläppsbegränsningar som enligt olika fördelningsmodeller behöver åstadkommas i dessa länder för att koncentrationen av växthusgaser ska stabiliseras på 400–450 ppmv CO₂e.
2. Omfattande bruk av Kyotoprotokollets mekanismer kan även ta bort fokus från nödvändiga åtgärder som krävs för en mer långsiktig strukturförändring som bidrar till att utsläppen *i* Sverige (och globalt) i slutet av seklet blir nära nog noll.

3. Omfattande användning av Kyotoprotokollets mekanismer, särskilt CDM, *i stället* för att minska utsläppen på hemmaplan riskerar att skicka signalen till utvecklingsländerna att inte ens Sverige, som talar mycket om vikten av att vidta åtgärder för att begränsa klimatförändringarna, tror att det är möjligt att förena hög välfärd med låga koldioxidutsläpp.
4. Användning av Kyotoprotokollets mekanismer ger Sverige som land möjligheten att på kort och medellång sikt neutralisera (100-procentig reduktion) sina utsläpp (jfr Norges förslag till Stortinget nr. 34 Norsk klimapolitikk (2007)).
5. Genom användning av Kyotoprotokollets mekanismer kan Sverige delta aktivt i utvecklingen av desamma som instrument i den internationella klimatsamarbetet och andra nationer till godo.
6. Givet de låga priserna på utsläppsrättigheter från till exempel CDM relativt kostnaderna för inhemska åtgärder för utsläppsreduktion i de sektorer som inte omfattas av EU ETS, torde det vara kostnadseffektivare att använda Kyotoprotokollets mekanismer, åtminstone på kort sikt. Om åtaganden för att minska utsläpp skulle uppfyllas genom uteslutande inhemska åtgärder skulle de nationella såväl som de globala kostnaderna för att nå en viss global utsläppsreduktion öka.

5.4.3 Ett nationellt mål bör omfatta de utsläppskällor som regleras av internationella klimatöverenskommelser

En annan fråga av vikt för ett nationellt utsläppsmål gäller vilka sektorer och (typer av) utsläppskällor som ska omfattas av målet. I det nationella utsläppsmålet för 2008–2012 omfattas inte utsläpp från utrikes luft- och sjöfart samt nettoutsläpp från markanvändning och skogsbruk. Sveriges åtagande enligt Kyoto-protokollet innefattar däremot möjlighet att använda kolsänkan i skog för att uppfylla åtagandet, men bara i begränsad och förutbestämd omfattning. Ur ett internationellt perspektiv är dessa typer av utsläppskällor betydelsefulla (se kapitel 6), antingen för att de står för en stor andel av de globala utsläppen (skogsbruk), eller för att de står för snabbt växande utsläpp (utrikes transporter). De borde enligt många bedömare, till exempel Stern (2007), omfattas

tydligare i en framtida klimatregim. Om så sker bör de också omfattas av ett svenskt utsläppsmål. Rådet bedömer överlag att utformningen av ett nationellt utsläppsmål för Sverige bör ses över i takt med utvecklingen av regelverk för den internationella klimatpolitiken.

5.5 Rådets slutsatser

Rådet anser¹⁴

- att EU:s utsläpp av växthusgaser jämfört med 1990 års nivå bör minska med 30–40 procent till år 2020 och med 75–90 procent till år 2050 för att EU ska ta sin del av det globala ansvaret för att nå tvågradersmålet
- att Sveriges utsläpp av växthusgaser jämfört med 1990 års nivå bör minska med 20–25 procent till år 2020 och med 70–85 procent till år 2050 för att Sverige ska ta sin del av det globala ansvaret för att nå tvågradersmålet
- att ett nationellt utsläppsmål för Sverige bör formuleras som ett avräkningsmål. Det innebär att den av Sverige tilldelade eller auktionerade mängden utsläppsrätter till verksamheter som omfattas av EU:s system för handel med utsläppsrätter används för bedömning av måluppfyllelse, istället för de faktiska utsläppen från dessa verksamheter.
- att valet av modell för hur man fördelar krav på utsläppsreduktioner har liten betydelse för hur stora utsläppsreduktioner som krävs av Sverige och flertalet andra industrialiserade nationer och regioner. Kravet på nationella utsläppsreduktioner påverkas i högre grad av vilket koncentrationsmål som väljs som utgångspunkt för utsläppsminskande åtgärder.
- att valet av fördelningsmodell däremot har betydelse för många utvecklingsländer liksom för några industrialiserade länder, särskilt USA
- att valet av ingångsvärde på utsläpp för att bestämma framtida åtaganden kan komma att bli mycket betydelsefullt i kommande

¹⁴ De målnivåer som Rådet anger baseras på dagens vetenskapliga kunskap och kan behöva revideras allteftersom kunskapen om klimatsystemet och samhället m.m. förbättras.

förhandlingar om åtaganden i en internationell klimatregim, samt vid fördelningen av EU:s utsläppsmål för 2020

- att Sverige bör agera inom EU och FN för att fördelningen av EU:s mål och fastställande av framtida åtaganden inte baseras på hur mycket växthusgaser olika nationer släpper ut i dagsläget eller bedöms släppa ut år 2010.

6 Åtgärder för att minska utsläppen

I detta kapitel avhandlas frågor om åtgärder för att minska utsläppen av växthusgaser, globalt och nationellt. Inledningsvis ges en bild av hur utsläppen av växthusgaser fördelar sig mellan olika sektorer. Därefter jämförs utsläppsnivåer för olika koncentrationsmål med utsläppsnivåer enligt referensbanor för utsläppsutvecklingen om inga nya åtgärder och styrmedel för utsläppsminskningar införs. Avslutningsvis behandlas förslag till utsläppsminskande åtgärder liksom potentialen att minska utsläppen i olika sektorer.

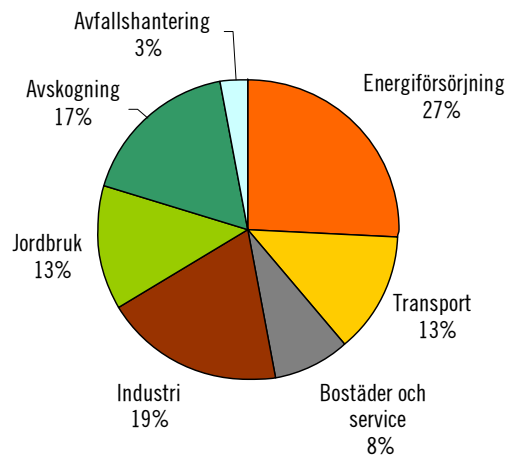
6.1 Utsläpp och trender på sektorsnivå

6.1.1 Utveckling globalt

De globala utsläppen av växthusgaser enligt Kyotoprotokollets definition¹ uppgick år 2000 till ungefär 45 miljarder ton (Gton) CO₂e och år 2004 till ungefär 49 Gton CO₂e. Det senare är en ökning med 70 procent sedan 1970. Av de samlade utsläppen härrör närmare 60 procent från förbränning av fossila bränslen.

¹ Koldioxid (CO₂), metan (CH₄), lustgas (N₂O), hårda fluorkarboner (HFC), polyfluorkarboner (PFC) och svavelhexafluorid (SF₆).

Figur 6.1 Olika sektors bidrag till utsläpp av växthusgaser globalt år 2004



Källa. Baserat på data från IPCC (2007c).

Anmärkning: Utsläpp från utrikes sjöfart och flygtransporter samt nettoutsäpp från markanvändning och skogsbruk (avskogning) är inkluderade. Totala utsläpp uppgår till 49 miljarder ton (Gton) CO₂e.

Av figur 6.1 framgår att energiförsörjning är den sektor som svarar för den största andelen utsläpp globalt. Det är även i denna sektor som utsläppen ökat mest sedan år 1970, mer än 145 procent. Ungefär 80 procent av utsläppen utgjordes av koldioxid, resten är huvudsakligen metan. Utsläppen från transportsektorn har också ökat markant (120 procent) sedan år 1970, och står nu för ungefär en åttondel av de globala utsläppen. Jordbrukssektorn, med utsläpp av framförallt metan och lustgas, står för en lika stor andel av de globala utsläppen. Utsläppsökningen i denna sektor har dock varit betydligt lägre än i andra sektorer (27 procent). Bostads- och servicesektorn har också haft en jämförelsevis låg utsläppsökningstakt (26 procent). Industrisektorn står för ungefär en femtedel av de globala utsläppen; utsläppen har vuxit med 65 procent sedan 1970. Markanvändning och skogsbruk, inklusive avskogning (framförallt i tropikerna), är den tredje största utsläppskällan globalt. Denna sektor svarar för nära en sjättedel av de globala utsläppen av växthusgaser (framförallt koldioxid), vilket är mer än transportsektorns bidrag. Efter en svag nedgång från år 1970 till år 1995 har

utsläppen i denna sektor ökat med närmare 50 procent sedan år 1995.

Under perioden 1970–2000 skedde en utveckling på energiområdet globalt som ledde till sänkt energiintensitet (uttryckt som total tillförsel av primärenergi per BNP-enhet) och sänkt koldioxidintensitet (uttryckt som utsläpp av koldioxid per enhet total tillförsel av primärenergi såväl som per BNP-enhet). De utsläppsminskande effekterna av denna utveckling motverkades dock av en hög BNP-tillväxt och befolkningsökning. Utsläppen har inte ökat i samma takt som den globala ekonomin har vuxit. Vid år 2000 skedde dock ett trendbrott, varefter energi- och koldioxidintensiteten i den globala energiförsörjningen har börjat öka.² I takt med att resurserna av konventionell olja minskar finns risk för en övergång till produktion av flytande drivmedel från kol. Detta är oroande ur klimatsynpunkt, eftersom koldioxidutsläppen från denna energikälla är dubbelt så höga som för bensin och diesel.

Enligt IPCC:s referensbanescenarier (SRES, se bilaga 2.5) kan de globala utsläppen av växthusgaser komma att öka med 25–90 procent under perioden 2000–2030 om inga ytterligare åtgärder och styrmedel införs för att bryta dagens trender. Enligt scenarierna kommer fossila bränslen att fortsatt behålla sin dominerande roll i den globala energimixen. Utsläppen av koldioxid från energisystemet bedöms öka med 45–110 procent under samma period. Minst två tredjedelar av denna ökningen bedöms ske i utvecklingsländer.

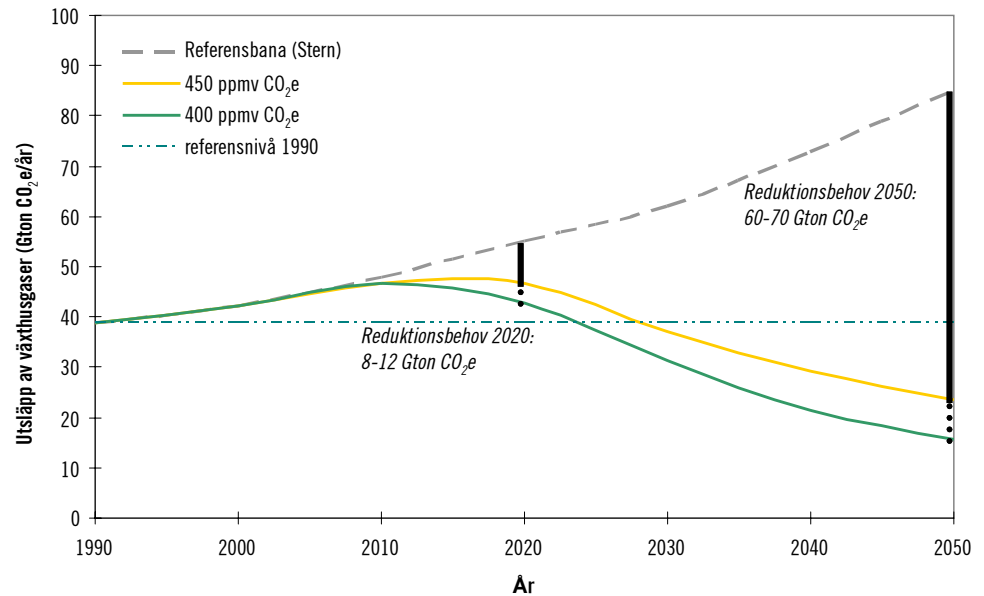
I Sternrapporten³ görs bedömningar av utsläppsutvecklingen fram till år 2050 om inga åtgärder vidtas för att bryta dagens trend. Enligt dessa prognoser, som bland annat baseras på underlag från IEA (International Energy Agency) om det globala energisystemets utveckling, uppskattas att de totala utsläppen av växthusgaser globalt kan komma att uppgå till ungefär 55 miljarder ton (Gton) CO₂e år 2020 och 85 Gton CO₂e år 2050. Det är väsentligt högre än de globala utsläppsnivåer som bedöms vara nödvändiga för att den globala medeltemperaturen *sannolikt* inte ska öka mer än 2°C jämfört med förindustriell nivå (se kapitel 4). Sterns uppskattningar ligger i det övre intervallet av IPCC:s referensbanescenarier. Men givet att de baseras på mer detaljerade bedömningar av exempelvis energisystemets utveckling, samt det faktum att den globala utsläppstrenden hittills varit högre än de högsta utsläpps-

² IPCC (2007c).

³ Stern (2007).

scenarierna enligt IPCC, utgör de en rimlig grund för att åskådliggöra vilka krav som ställs på de åtgärder som måste vidtas för att minska utsläppen. Det faktiska behovet att minska utsläppen globalt till år 2020 respektive 2050 är större än vad jämförelser med basåret 1990 antyder.

Figur 6.2 Utsläppsbänor 1990–2050 för globala utsläpp av växthusgaser för olika stabiliseringsscenarier och referensbanescenario



Källa: Baserat på data från den Elzen & Meinshausen (2006) och Stern (2007).

Anmärkning: Utsläppsbänorna inkluderar utsläpp från markanvändning och skogsbruk.

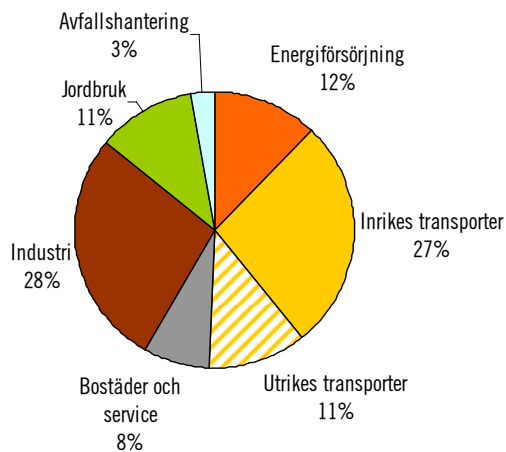
Som illustreras i figur 6.2 behövs åtgärder som kan bidra med årliga utsläppsreduktioner relativt referensbanan på ungefär 10 miljarder ton (Gton) CO₂e år 2020, och så mycket som 60–70 Gton CO₂e år 2050. Detta ska ske samtidigt som den globala ekonomin växer, jordens befolkning ökar och den totala tillförseln av primärenergi ökar. Utmaningen är således en kombination av att undvika framtida utsläppsökningar till följd av befolkningsökning, ökad industrialisering, utbyggd energiinfrastruktur samt ekonomisk tillväxt, och att åstadkomma faktiska utsläppsreduktioner i den redan befintliga ekonomin.

6.1.2 Utveckling i Sverige

De totala utsläppen av växthusgaser i Sverige uppgick år 2005 till nära 72 miljoner ton (Mton) CO₂e.⁴ I denna siffra ingår utsläpp på nära 9 Mton CO₂e från utrikes luft- och sjöfart och en kolsänka på drygt 5 Mton CO₂e i markanvändning och skogsbruk.⁵ De svenska utsläppen, så som de rapporteras till FN:s klimatsekretariat, uppgick år 2005 till nära 67 Mton CO₂e. Det är en minskning med 7 procent jämfört med 1990 års nivå.

Av figur 6.3 framgår att transportsektorn (inrikes och utrikes transporter sammanräknat) står för mer än en tredjedel av de svenska utsläppen av växthusgaser. Utsläppen i denna sektor har ökat stadigt sedan år 1990. Snabbast är ökningen inom utrikes sjöfart. Utsläppen från utrikes flyg och tunga vägtransporter står också för en stor del av ökningen.

Figur 6.3 Olika sektors bidrag till utsläpp av växthusgaser i Sverige år 2005



Källa: Baserat på data från Naturvårdsverket (2006).

Anmärkning: Utsläpp från utrikes sjöfart och flygtransporter visas i figuren, men ingår inte i rapportering relaterat till Sveriges internationella åtaganden om utsläppsbegränsningar enligt Kyotoprotokollet. Nettoutsläpp från markanvändning och skogsbruk visas inte eftersom de var negativa år 2005. Totala utsläpp uppgår till 72 Mton CO₂e.

⁴ Naturvårdsverket (2006).

⁵ Nettoutsläppen från markanvändning och skogsbruk, dvs. skillnaden mellan utsläpp och upptag av koldioxid i mark och vegetation, har under ett flertal år varit negativa i Sverige. Denna sektor är således en kolsänka.

Tillsammans med transportsektorn står industrin för den största andelen av svenska utsläpp av växthusgaser. Utsläppen i denna sektor är i stort oförändrade jämfört med år 1990. Energiförsörjning, som globalt sett står för den största andelen av växthusgasutsläpp, utgör i Sverige en knapp åttondel av utsläppen. Utsläppen varierar kraftigt mellan olika år till följd av temperatur och nederbördsförhållanden. Utsläppen i denna sektor har minskat sedan 1990, bland annat till följd av en kraftig övergång till förbränning av biobränslen.⁶ Jämfört med år 1970 har utsläppen från energisektorn minskat mycket kraftigt. Hur utvecklingen ser ut framöver beror på hur den svenska energipolitiken utvecklas. Utsläppen från övriga sektorer har minskat stadigt från år 1990. Störst har minskningen varit i bostads- och servicesektorn, som en följd av kraftigt utbyggd fjärrvärme.

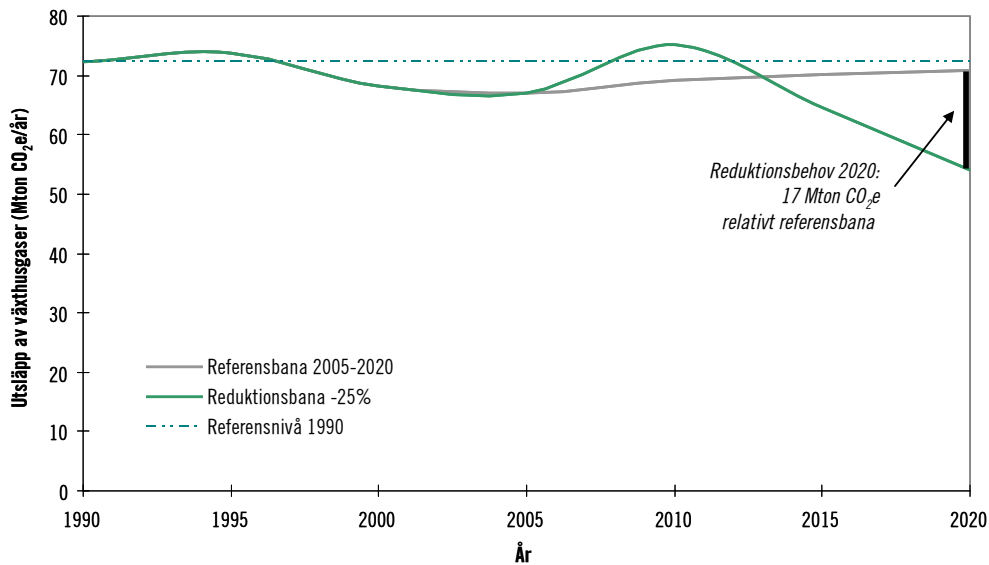
Som nämnts var nettoutsläppen från markanvändning och skogsbruk negativa under år 2005. Detta är således en kolsänka. Så har varit fallet för varje år sedan 1990, men variationerna har varit mycket stora mellan olika år. Som störst har kolsänkan varit omkring 33 Mton CO₂e år 1996 och 2000, och som minst omkring 4 Mton CO₂e år 1990 och 2005.

Energimyndigheten och Naturvårdsverket har i sin senaste prognos för utsläppsutvecklingen i Sverige fram till år 2020 uppskattat att utsläppen av växthusgaser enligt Kyotoformatet (dvs. exklusive utsläpp från utrikes luft- och sjöfart och från markanvändning och skogsbruk) med oförändrade styrmedel kommer att vara omkring 4 procent lägre än 1990 års nivå år 2010 och 2 procent lägre än 1990 års nivå år 2020.⁷ Det är framförallt utsläppen i transportsektorn och industrin som fortsätter att öka, och därmed uppväger utsläppsreduktioner i andra sektorer.

⁶ Under år 2005 släpptes drygt 20 Mton CO₂ ut från förbränning av biomassa (Naturvårdsverket, 2006). Dessa utsläpp räknas enligt internationella rapporteringsregler inte med i statistiken eftersom tillväxten av biomassa varit större än avverkningen i Sverige. Nettoutsläppen av koldioxid från levande biomassa, dvs. skillnaden mellan utsläpp från avverkad biomassa och upptag i biomassa uppgick år 2005 till -16 Mton CO₂. Om avverkningen skulle vara större än tillväxten skulle detta synas som en förändring i nettoutsläpp från markanvändning och skogsbruk.

⁷ Energimyndigheten & Naturvårdsverket (2007a).

Figur 6.4 Utsläppsbanor 1990–2020 för växthusgaser (exkl. utsläpp från markanvändning och skogsbruk samt utrikes luft- och sjöfart) för Sverige



Källa: Baserat på data från Energimyndigheten & Naturvårdsverket (2007a) och Höhne & Moltmann (2007).

Anmärkning: Perioden 1990–2005 visar faktiska utsläpp i Sverige. Perioden 2005–2020 visar referensbana (grå kurva) respektive utsläppsbanor för reduktion om 25 procent (grön kurva).

I föregående kapitel angavs att utfallet för svensk del av en fördelning för år 2020 av det globala ansvaret att minska utsläppen för att nå tvågradersmålet kan innebära ett reduktionskrav för Sverige på omkring 20–25 procent jämfört med 1990 års nivå. Jämfört med utsläppsutvecklingen enligt referensbanan innebär detta att det behövs åtgärder som år 2020 leder till en årlig utsläppsreduktion på knappt 17 Mton CO₂e (se figur 6.4). Det finns ingen genomarbetad prognos för utsläppsutvecklingen i Sverige fram till 2050, men det faktiska reduktionsbehovet per år relativt 1990 års nivå uppgår till ungefär 50–60 Mton CO₂e år 2050. Som jämförelse uppgick de svenska utsläppen av växthusgaser år 2005 till 67 Mton CO₂e. Det är sammantaget fråga om mycket omfattande reduktioner och därmed behov av kraftfulla åtgärder.

6.2 Utsläppsminskande åtgärder på kort och medellång sikt

IPCC har sedan sin första utvärderingsrapport pekat på ett flertal mer eller mindre tillgängliga åtgärder för att minska de globala utsläppen av växthusgaser. I sin senaste utvärderingsrapport pekar IPCC på behovet av och möjligheterna med såväl tekniska åtgärder som livsstilsförändringar för att realisera de utsläppsreduktioner som krävs på kort och medellång sikt för att klara olika nivåer för stabilisering av atmosfärens växthusgaskoncentration.

6.2.1 Global reduktionspotential till år 2030

Potentialen att minska utsläpp av växthusgaser kan uttryckas på olika sätt. Den *ekonomiska potentialen* är den potential för utsläppsminskning som speglar samhällsekonomisk lönsamhet under antagande av perfekt fungerande marknader. *Marknadspotentialen* är den potential för utsläppsminskning som grundas på privata kostnader, med hänsyn till de styrmedel och åtgärder som finns för närvarande, och med beaktande av vad det finns för hinder som begränsar möjligheten att vidta åtgärder. Den ekonomiska potentialen är generellt större än marknadspotentialen.

Enligt IPCC uppskattas den ekonomiska potentialen globalt att minska de årliga utsläppen av växthusgaser år 2030 till ungefär 5–31 miljarder ton (Gton) CO₂e beroende på vilket pris som ”sätts” på utsläpp av växthusgaser, eller rättare sagt vilken kostnadsnivå som avses för utsläppsminskande åtgärder. Med ett pris på motsvarande 140 kronor per ton CO₂e uppskattas potentialen till 9–18 Gton CO₂e per år.⁸ Med ett pris på motsvarande 350 kronor per ton CO₂e ökar potentialen till 13–26 Gton CO₂e per år, och med ett pris på motsvarande 700 kronor per ton CO₂e uppskattas potentialen till 16–31 Gton CO₂e per år. Noterbart är att IPCC pekar på en reduktionspotential år 2030 på omkring 5–7 Gton CO₂e per år med negativa kostnader, dvs. att åtgärder är lönsamma direkt. För att dessa åtgärder ska vidtas krävs dock att man undanröjer de hinder som finns för genomförandet.

⁸ Växelkurs om 7 kronor per USD har antagits.

Dessa uppskattningar kan jämföras med de referensbanor som presenterats ovan (avsnitt 6.1). Därigenom kan man få en fingerisning om hur långt den uppskattade reduktionspotentialen räcker i förhållande till de uppskattade reduktionsbehoven för att klara tvågradersmålet. Det årliga reduktionsbehovet år 2020 är ungefär 8–12 Gton CO₂e jämfört med referensbanan. Ur figur 6.2 framgår att motsvarande årliga reduktionsbehov år 2030 är ungefär 25–30 Gton CO₂e. Det tycks således som att det globala behovet att minska utsläppen på kort och medellång sikt (till år 2030) kan nås med teknik som redan finns på marknaden eller som beräknas finnas på marknaden inom några årtionden. Det krävs dock olika former av styrmedel, inte minst en prislapp på utsläpp av växthusgaser, för att förverkliga detta.

6.2.2 Åtgärder och reduktionspotential i olika sektorer

Den globala potentialen för att minska utsläppen fördelar sig ojämnt mellan olika sektorer och regioner. IPCC uppskattar att den ekonomiska potentialen år 2030 är störst inom sektorn ”byggnader” (jfr ”Bostäder och service” i figur 6.1). Hit har även räknats in indirekta utsläppsreduktioner till följd av minskad elanvändning i bostäder och service.

IPCC bedömer även att huvuddelen av den ekonomiska reduktionspotentialen finns i länder utanför OECD, dvs. i utvecklingsländer. Det är en följd av en generellt sett högre energi- och utsläppsintensitet i dessa länder, samt det faktum att de omfattande investeringar i ny energiinfrastruktur som kommer att göras i utvecklingsländerna fram till år 2030, med rätt incitament, kan göras koldioxidsnål från början.⁹ Det beror också på att världens samlade utsläpp från jord- och skogsbruk i huvudsak sker i utvecklingsländer.

Inom respektive sektor finns många möjligheter att minska utsläppen. I tabell 6.1 ges en sammanställning av de tekniker och metoder som IPCC bedömer vara viktiga.

⁹ IEA (2006) har bedömt att det fram till 2030 kommer fattas beslut om investeringar i energiinfrastruktur runt om i världen på sammanlagt upp till 20 000 miljarder USD. En stor del av dessa kommer att ske i utvecklingsländer. Dessa beslut kommer på grund av den långa livslängden på energianläggningar och annan infrastrukturell kapitalstock att få långsiktiga effekter på utsläppen av växthusgaser. De extrainvesteringar som krävs för att få tillbaka globala energirelaterade koldioxidutsläpp till 2005 års nivå år 2030, trots en kraftigt utbyggd energiinfrastruktur och en ökad primärenergianvändning, har bedömts uppgå till 0–10 % netto.

Tabell 6.1 Viktiga tekniker och metoder för utsläppsminskning per sektor

Sektor	Nyckeltekniker och metoder som redan finns på marknaden	Nyckeltekniker och metoder som beräknas finnas på marknaden före år 2030
Energiförsörjning	Effektivare tillförsel och distribution; byte från kol till gas; kärnkraft; förnybara värme- och kraftkällor (vattenkraft, sol, vind, geotermisk energi och bioenergi); kraftvärme; tidiga tillämpningar av CCS (t.ex. lagring av koldioxid från naturgas)	Avskiljning och lagring av koldioxid (carbon capture and storage, CCS) för anläggningar som producerar el med gas, biomassa eller kol; vidareutvecklad kärnkraft; vidareutvecklad förnybar energi, bl.a. från tidvatten och vågor, koncentrerad solstrålning och solcellsteknik
Transport	Mer bränslesnåla fordon; hybridfordon; renare dieselfordon; biodrivmedel; byte av färdväg från vägtransporter till järnväg och kollektivtrafik; icke-motoriserade transporter (cykla, gå); fysisk planering och trafikplanering	Andra generationens biodrivmedel; effektivare flygtransporter; vidareutvecklade el- och hybridfordon med kraftfullare och mer tillförlitliga batterier
Bostäder och service	Effektiv belysning och dagsljus-insläpp; effektivare apparater och värme- och kylanläggningar; bättre spisar, bättre isolering; passiv och aktiv solenergianvändning för uppvärmning och nedkylning; alternativa köldmedier, insamling och återvinning av fluorerade gaser	Integrerad utformning av kommersiella byggnader med teknik som intelligenta mätare som medger återkoppling och kontroll; inbyggd solcellsteknik i byggnader
Industri	Effektivare elutrustning för slutanvändare; återvinning av värme och kraft; återanvändning och substitution av material; kontroll av utsläpp av andra gaser än CO ₂ ; samt en rad processspecifika tekniker	Vidareutvecklad energieffektivitet; CCS-teknik för cement-, ammoniak- och stålproduktion; inerta elektroder för aluminiumbearbetning
Jordbruk	Bättre förvaltning av odlings- och betesmark för att öka kolinbindningen i marken; återställning av brukad torvmark och ödelagd mark; bättre tekniker för risodling, boskapsuppfödning och gödselhantering för att minska utsläppen av CH ₄ ; bättre tekniker för användning av kvävehaltiga gödningsämnen för att minska utsläppen av N ₂ O; energigrödor för att ersätta fossila bränslen; bättre energieffektivitet	Förbättrad avkastning på grödor
Markanvändning och skogsbruk	Skogsplantering; återbeskogning; skogsförvaltning; minskad avskogning; bättre utnyttjande av skördade skogsprodukter; utnyttjande av skogsprodukter till bioenergi som kan ersätta fossila bränslen	Förädlade trädsorter som kan öka produktionen av biomassa och bindning av koldioxid. Bättre teknik för fjärranalys av potentialen för koldioxidbindning i växtlighet och mark, samt kartläggning av förändringar av markanvändningen

Sektor	Nyckeltekniker och metoder som redan finns på marknaden	Nyckeltekniker och metoder som beräknas finnas på marknaden före 2030
Avfall	Utvinning av deponigas; avfallsförbränning med utnyttjande av energin; kompostering av organiskt avfall; kontrollerad behandling av avloppsvatten; återvinning och minimering av avfall	Biotäckning och biofilter för att optimera oxideringen av metan

Källa: IPCC (2007c).

Anmärkning: Sektorerna och teknikerna är inte listade i någon särskild ordning.

Som framgår av tabell 6.1 finns många alternativ för att minska utsläppen i flera sektorer. Det står även klart att ingen enskild teknik eller sektor kan bidra med de utsläppsminskningar som är nödvändiga för att vi avsevärt ska kunna minska risken för farlig mänsklig påverkan på klimatsystemet. IPCC:s bedömningar om möjligheterna att minska utsläppen på kort och medellång sikt inom olika sektorer kan sammanfattas i följande punkter:

- Nya investeringar i energiinfrastruktur i industriländer och utvecklingsländer, uppgradering av energiinfrastruktur i industriländer och strategier som främjar energisäkerheten kan i många fall skapa möjligheter att minska utsläppen av växthusgaser i jämförelse med referensbanor för utsläppsutvecklingen. Ytterligare sidovinster är landspecifika men inkluderar ofta minskade luftföroreningar, bättre handelsbalans, tillhandahållande av moderna energitjänster till landsbygden och sysselsättnings-tillfällen.
- El från förnybara energikällor stod för 18 procent av elproduktionen år 2005 och kan bidra med 30–35 procent av elproduktionen år 2030.
- Kärnkraft stod för 16 procent av elproduktionen år 2005 och kan bidra med 18 procent av elproduktionen år 2030, men frågor kring säkerhet, kärnvapenspridning och avfall utgör fortfarande begränsningar.
- Det finns många alternativ för att minska utsläpp inom transportsektorn, men effekterna av dem kan motverkas av sektorns tillväxt. Det finns också många hinder för de olika

alternativen till utsläppsminskning, som kunders preferenser för bilars prestanda och storlek.

- Möjligheter till energieffektivisering i nya och befintliga byggnader kan minska koldioxidutsläppen markant och med ekonomiska nettovinster. Det finns många hinder för utnyttjandet av denna potential, men det finns också stora sidovinster, exempelvis förbättrad luftkvalitet.
- Den ekonomiska potentialen inom industrisektorn finns huvudsakligen inom de energiintensiva industrierna. Varken industriländerna eller utvecklingsländerna använder fullt ut de alternativ som finns för att minska utsläppen.
- Åtgärder inom jordbruket kan till en ringa kostnad sammantaget spela stor roll för att öka kolsänkorna i jordbruksmarken, minska utsläppen av växthusgaser och bidra med biomassa för energiändamål.
- Skogsrelaterade åtgärder kan till låga kostnader avsevärt minska utsläppen från skogsbruket och öka bindningen av koldioxid genom kolsänkor i mark och vegetation. Dessa åtgärder kan utformas för att skapa synergieffekter med anpassningsåtgärder och hållbar utveckling.
- Konsumentavfall bidrar i ringa grad till de globala utsläppen av växthusgaser, men avfallssektorn kan ändå bidra till att minska växthusgasutsläppen till låg kostnad, samt främja en hållbar utveckling.

Rådet menar vidare att ingenjörsmässiga alternativ (s.k. geo-engineering), som gödning av haven för att öka direktupptaget av koldioxid från atmosfären eller avskärmning av solinstrålningen genom att föra upp material i atmosfärens övre lager, är spekulativa med risk för okända sidoeffekter. Med tanke på hur komplicerat klimatsystemet är menar Rådet att en sådan utveckling vore olycklig.

Utöver de tekniker och metoder som redovisas i tabell 6.1 pekar IPCC i sin senaste rapport på att mer övergripande, icke-tekniska insatser behövs för att minska utsläppen av växthusgaser och för att komplettera de mer tekniska åtgärderna. I vissa fall kan de vara nödvändiga för att undanröja hinder för att genomföra tekniska åtgärder och därmed frigöra den ekonomiska potentialen.

Ett exempel på insatser är styrning av efterfrågan på transporter, vilket omfattar stadsplanering (som kan minska behovet av transporter), information och utbildning (som kan minska bilanvändningen och leda till energieffektivare körning).

Inom industrin kan ledningsverktyg som personalutbildning, bonussystem, regelbunden återkoppling och dokumentering av befintlig praxis bidra till att undanröja organisatoriska hinder, minska energianvändningen och minska utsläppen av växthusgaser.

På det hela taget bedömer Rådet att tekniska åtgärder, understödda av icke-tekniska åtgärder såsom utbildning med mera, troligen kan bidra till nödvändiga utsläppsreduktioner inom de flesta områden, till exempel vägtransporter, uppvärmning och elproduktion och -konsumtion. Rådet ser dock två problemområden där tekniska lösningar möjligen inte är tillräckliga, och där förändringar måste ske i konsumtionsmönster: flygtransporter samt storskalig produktion och konsumtion av kött (framförallt nötkött).¹⁰ Båda är dessutom områden där utsläppen ökar globalt.

6.2.3 Åtgärder och reduktionspotential i Sverige

Bedömning av åtgärder och reduktionspotential för att klara nationella (eller regionala, till exempel EU) mål för utsläppsreduktioner måste, till skillnad från bedömningar på global nivå, ta hänsyn till hur utsläppsmålet är formulerat. Som behandlades i kapitel 5 kan ett nationellt eller regionalt utsläppsmål formuleras på ett sätt så att det uteslutande avser inhemska utsläpp, eller på ett sätt som i någon grad tillåter användning av Kyoto-protokollets mekanismer. Det senare innebär att utsläppsminskningar som genomförs i andra länder, genom köp av överlåtbara utsläppsrättigheter, kan användas för måluppfyllelse.

Rådet noterar att Energimyndigheten och Naturvårdsverket i sitt underlag till Kontrollstation 2008 har gjort en samlad sektorsvis genomgång av åtgärdsalternativ i Sverige.¹¹ Myndigheterna drar slutsatsen att utsläppen av växthusgaser i Sverige kan minska i ett medellångt perspektiv (dvs. fram till år 2020), och att åtgärder

¹⁰ Enligt Steinfeld m.fl. (2006) svarar köttproduktionen för 18 procent av de globala utsläppen av växthusgaser.

¹¹ Energimyndigheten & Naturvårdsverket (2007b).

kan genomföras i samtliga sektorer.¹² I nästan alla sektorer har energieffektivisering identifierats som den billigaste åtgärden. Rådet konstaterar att de åtgärder som lyfts fram som viktiga av IPCC (se tabell 6.1) gäller även i Sverige, även om de relativa potentialerna kan skilja sig åt. Till exempel är reduktionspotentialen i den svenska energisektorn och jordbruket relativt andra sektorer mycket lägre än på det globala planet. Vissa tekniker, till exempel avskiljning och lagring av koldioxid (CCS) och andra generationens biodrivmedel, förväntas inte ha nått marknaden i sådan utsträckning att de nämnvärt skulle påverka utsläppen av växthusgaser i Sverige år 2020. I flera fall visas en stor teknisk och ekonomisk potential att minska utsläppen genom energieffektivisering, men myndigheterna pekar på att marknadspotentialen för denna typ av åtgärder kan vara betydligt lägre.

Myndigheterna har även analyserat möjligheterna och konsekvenserna av att minska utsläppen för Sverige med 25 procent jämfört med 1990 års nivå fram till år 2020.¹³ Myndigheterna föreslår inledningsvis, i likhet med Rådet (jfr kapitel 5.4), att ett nationellt utsläppsmål bör formuleras med fokus på den totalt tilldelade mängden utsläppsrätter till verksamheter som omfattas av EU:s system för handel med utsläppsrätter (EU ETS), och inte på de faktiska utsläppen. Detta är en viktig utgångspunkt för deras analys av konsekvenser.

Enligt myndigheterna kan åtgärder och styrmedel i de sektorer som inte omfattas av EU ETS, särskilt transportsektorn, bidra med utsläppsreduktioner på 4–6 miljoner ton (Mton) CO₂e per år (år 2020) utan allvarliga negativa konsekvenser för samhällsekonomin. Detta är endast en mindre del av de ungefär 17 Mton CO₂e per år som utsläppen måste minska med för att ett utsläppsmål om -25 procent till år 2020 ska kunna uppfyllas (jfr figur 6.4). Energimyndigheten och Naturvårdsverket bedömer därför att det är nödvändigt med en betydande nedskärning av tilldelningen av utsläppsrätter till sektorerna inom EU ETS för att ett utsläppsmål om -25 procent ska kunna nås. De bedömer att rimliga utsläppsreduktioner i de sektorer som omfattas av EU ETS ligger i storleksordningen 6–10 Mton CO₂e per år.

¹² Analysen omfattar de utsläppskällor som i dagsläget ingår i redovisningen enligt Kyoto-protokollet. Utsläpp från utrikes luft- och sjöfart, som är starkt växande, samt nettoutsläpp från markanvändning och skogsbruk omfattas således inte.

¹³ Energimyndigheten & Naturvårdsverket (2007c).

Myndigheterna bedömer att staten kan behöva investera i klimatprojekt utomlands (CDM och JI) under perioden 2008–2017 för att målet ska kunna nås utan väsentliga negativa effekter på samhällsekonomin. Behovet av utsläppsrättigheter från utsläppsminskande projekt i andra länder kan enligt myndigheterna uppgå till motsvarande 2–4 Mton CO₂e årligen under perioden 2013–2022. Detta skulle kräva en årlig avsättning för projektinvesteringar på 200–600 Mkr under perioden 2008–2013. Om Kyotoprotokollets mekanismer inte skulle användas för måluppfyllelse bedömer myndigheterna att ytterligare åtgärder och styrmedel samt skärpta styrmedelsnivåer (till exempel drivmedelsbeskattning) kommer att krävas för att en utsläppsreduktion om 25 procent ska kunna nås.

Som behandlats tidigare (se avsnitt 5.4.2) anser Rådet att frågan om huruvida staten ska använda Kyotoprotokollets mekanismer som komplement till inhemska åtgärder är mångbottnad.

6.3 Utsläppsminskande åtgärder på lång sikt

Jämfört med bedömningar av utvecklingen fram till år 2030 är bedömningar av den globala reduktionspotentialen på längre sikt mer osäker. IPCC menar att stabiliseringsnivåer ner till 490 ppmv CO₂e kan uppnås genom att utnyttja tillgänglig teknik och teknik som kan förväntas komma ut på marknaden inom de närmaste årtiondena. Rådet noterar att IPCC inte har bedömt reduktionspotentialer för stabilisering av koncentrationen av växthusgaser i atmosfären ner mot 400 ppmv CO₂e. Rådet anser därför att det är mycket troligt att teknik som idag befinner sig på tidiga utvecklingsstadier kommer att behöva användas för att nå mycket låga stabiliseringsnivåer (400 ppmv CO₂e och lägre).

Rådet delar IPCC:s uppfattning att de olika teknikernas bidrag till den utsläppsminskning som krävs kommer att variera över tid, mellan regioner och med stabiliseringsnivå. Det är dock otvetydigt att energieffektivisering och energibesparing kommer att spela en nyckelroll oavsett tidsskala och stabiliseringsnivå. Detsamma gäller åtgärder för att minska utsläpp av andra växthusgaser än koldioxid, liksom åtgärder för att minska utsläpp av koldioxid från markanvändning och skogsbruk. För lägre stabiliseringsnivåer behöver större tonvikt läggas på att utnyttja koldioxidsnåla energikällor, som förnybar energi och kärnkraft, och på avskiljning och lagring

av koldioxid (CCS-teknik) från såväl fossila som förnybara bränslen. Om el eller värme som produceras med biomassa kombineras med CCS kan koldioxid föras bort från atmosfären. (Som nämnts i avsnitt 4.4.2 kan det mot slutet av seklet vara nödvändigt med negativa utsläpp av koldioxid globalt. Vidare bedöms modern bioenergiteknik kunna bidra i väsentlig grad till andelen förnybar energi i portföljen av reduktionsåtgärder. I dessa scenarier måste kolintensiteten i energiförsörjningen och i hela ekonomin minska mycket snabbare än hittills.

För att nå olika stabiliseringsnivåer och minska kostnaderna för olika tekniska lösningar kommer det att krävas investeringar i teknik för låga utsläpp av växthusgaser, en bred spridning av denna teknik och teknikförbättringar genom offentlig och privat forskning, utveckling och demonstration. Ju lägre stabiliseringsnivåerna är, särskilt när de ligger på 450 ppmv CO₂e och lägre, desto större är behovet av effektivare forskning, utveckling, demonstration och investeringar i ny teknik under de närmaste årtiondena. Detta kräver att man på ett effektivt sätt tar itu med hindren för utveckling, anskaffande, användning och spridning av teknik.

6.4 Rådets slutsatser

Rådet anser

- att de globala utsläppsreduktioner som bedömts nödvändiga för att nå tvågradersmålet i hög grad kan åstadkommas genom att utnyttja den teknik som finns tillgänglig på marknaden idag, och teknik som kan förväntas komma ut på marknaden inom de närmaste årtiondena
- att förändringar av konsumtionsmönster spelar stor roll för att minska utsläppen av växthusgaser
- att en kombination av energieffektivisering, energibesparing och åtgärder när det gäller energitillförsel krävs för att nå önskade klimatmål
- att energieffektivisering och energibesparing har stor potential att till låga kostnader minska utsläppen
- att förnybar energi (bioenergi, sol, vind, vatten), kärnkraft samt avskiljning och lagring av koldioxid kan bidra till utsläppsreduktioner. För kärnkraften måste frågor rörande säkerhet, avfall,

risker för kärnvapenspridning och terrorhandlingar ges allmänt accepterade lösningar.

- att de ansträngningar som görs för att minska utsläppen av växthusgaser inom de närmaste årtiondena i stor utsträckning är avgörande för möjligheten att nå tvågradersmålet
- att ett utsläppsmål för Sverige för år 2020 till helt övervägande del uppnås genom en kombination av inhemska åtgärder, och då framförallt i transportsektorn, samt en nedskärning av tilldelning av utsläppsrätter till sektorer inom EU:s system för handel med utsläppsrätter. Statliga investeringar i utsläppsminskande projekt i utvecklingsländer, genom mekanismen för ren utveckling (CDM, Clean Development Mechanism), kan komma att behövas som komplement.

7 Klimatpolitikens kostnader och intäkter

7.1 Allmänna överväganden om klimatpolitikens kostnader och intäkter

Frågan om klimatpolitikens kostnader och intäkter är komplicerad och sammansatt. Samtidigt är den central i diskussionerna om klimatpolitikens ambitionsnivå och inriktning.

Den konventionella metoden för att värdera miljöförbättrande åtgärder är en kostnads- och intäktskalkyl. I en sådan kalkyl ställs nyttan mot kostnaderna. Principen är enkel, men i praktiken kan det vara svårt att rättvisande kalkylera såväl kostnader som intäkter. En sak är att effekterna av klimatförändringarna är mycket stora. Det rör sig på lång sikt om djupgående förändringar av jordens livsbetingelser som är svåra eller omöjliga att sätta monetära värden på. Sådan värdering kan vara etiskt kontroversiell. En annan sak är att många av förändringarna är irreversibla. Om de får fortgå går det inte att återställa klimatet. En tredje omständighet är att osäkerheterna är stora. Vi saknar säkra kunskaper om effekterna, särskilt på lång sikt. Sammantaget talar detta för att klimatpolitiken bör utgå från den s.k. försiktighetsprincipen som innebär att förebyggande åtgärder för att skydda miljön och människors hälsa ska vidtas, även om det föreligger vetenskaplig osäkerhet om riskerna.

När man bedömer åtgärds-kostnader har valet av systemgräns stor betydelse. Det handlar om huruvida man ser snävt till klimatåtgärder eller om man sätter in klimatåtgärderna i ett vidare sammanhang. För att illustrera med energisektorn, kan man å ena sidan anta att alla förändringar av energisystemen sker uteslutande för att minska utsläppen av växthusgaser. Då skulle kostnaderna för alla förändringar belasta klimatpolitikens konto. Om man i stället antar att andra skäl än klimatet föranleder ändringar av energisystemen och att åtgärderna därutöver medför minskade utsläpp av

växthusgaser, blir bilden annorlunda. Klimateffekten blir då ett av flera resultat, och man kan till och med få den ”på köpet”.

Energisystemen står idag inför flera olika slags krav och utmaningar. De innefattar, förutom att minska utsläppen av växthusgaser, också att säkerställa tillgången på energi (i takt med att de konventionella resurserna av olja och gas förväntas bli allt mer knappa), att begränsa luftföroreningarna, att hantera politiska risker exempelvis i form av kärnvapenspridning och terrorism samt att förse de två miljarder människor som idag inte har tillgång till moderna energibärare med energi. Lösningar som samtidigt tillgodoser alla relevanta krav på energisystemet medför att kostnaderna för klimatpolitiken blir avsevärt lägre eller kanske till och med gratis. Enligt vissa bedömningar finns det lösningar som samtidigt uppfyller de olika kraven på energisystemen på ett bättre sätt än om nuvarande trender fortsätter.¹ En slutsats är att det är viktigt att tydligt ange vad som ingår i beräkningar av kostnaderna för klimatpolitiken.

Vad gäller kostnader för skador vill Rådet framhålla att kostnaderna kan vara mycket höga regionalt och lokalt för de människor som drabbas. Exempel är folkomflyttningar till följd av översvämmade kustområden.

7.2 Kostnader för att minska utsläppen

7.2.1 Den internationella nivån

Reduktioner av utsläppen av växthusgaser medför samhälleliga kostnader eftersom resurser måste allokeras till utrustning, ändrade processer och beteenden samt ny teknologi.

I IPCC:s fjärde rapport redovisas beräkningar av de globala makroekonomiska kostnaderna för reduktioner av utsläpp (tabell 7.1). Det är mest intressant att se på den lägsta stabiliseringsnivån för koncentrationen växthusgaser i atmosfären (445–535 ppmv CO₂e), eftersom den ligger närmast det som Rådet rekommenderar. Där anger IPCC för år 2030 en BNP-minskning på upp till 3 procent och för år 2050 en BNP-minskning på upp till 5,5 procent. Det är fråga om globala genomsnitt kring vilka de regionala variationerna kan vara betydande. När man räknar om till hur den årliga BNP-tillväxten påverkas blir resultatet upp till

¹ IEA (2006), UNDP (2004).

0,12 procentenheter i lägre tillväxt. För högre koncentrationsnivåer rör det sig om en tillväxtnivå som är 0,05 till 0,1 procentenheter lägre än vad den annars skulle vara.

Tabell 7.1 Beräknade makroekonomiska kostnader år 2030 och 2050 för att nå olika långsiktiga stabiliseringsnivåer för koncentration av växthusgaser i atmosfären

Stabiliseringsnivå (ppmv CO ₂ e)	Minskning i BNP, procent, median		Minskning i BNP, spann, procent		Årlig minskning i tillväxt av BNP, procentenheter	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
590–710	0,2	0,5	-0,6–1,2	-1–2	<0,06	<0,05
535–590	0,6	1,3	0,2–2,5	liten ökning–4	<0,1	<0,1
445–535	Uppgift saknas		<3	<5,5	<0,12	<0,12

Källa: IPCC, 2007c.

Anmärkning: Avser BNP till marknadspriser. Negativa tal betyder ökning av BNP. Beräkningarna förutsätter fungerande marknader och kostnadseffektiv politik. Intäkter av reduktionsåtgärder beaktas inte och heller inte skillnader mellan rika och fattiga länder.

Stern (2007) anger siffran 1 procent av BNP i samhällsekonomisk kostnad. Siffran är ett genomsnitt inom ett osäkerhetsintervall på +/- 3 procent. Till denna kostnad skulle en stabilisering på nivån 500–550 ppmv CO₂e åstadkommas. Om ambitionen sätts till 450–500 ppmv CO₂e, vilket ökar sannolikheten att nå tvågradersmålet (men ändå inte tillräckligt jämfört med vad Rådet anser, se kap. 4), skulle kostnaderna trefaldigas (Stern, 2007, s. 276). Sternrapporten anser att kostnaderna för att reducera utsläppen är signifikanta, men hanterbara.

Det bör betonas att kostnadsberäkningarna hos Stern och IPCC bygger på antaganden om en global kostnadseffektiv politik och fungerande marknader. I verkligheten kan kostnaderna bli betydligt högre. Å andra sidan bygger beräkningarna i de flesta fall på en relativt statisk syn på reduktionskostnader. Man kan inte utesluta att ny teknik gör kostnaderna lägre, i vart fall på sikt (se avsnitt 8.3).

Europeiska kommissionen (2007c) gör i konsekvensanalysen till det klimatpolitiska meddelandet i januari 2007 en bedömning av de makroekonomiska kostnaderna. Beräkningarna utgår från tvågradersmålet med en långsiktig stabilisering av koncentrationen av växthusgaser i atmosfären på 450 ppmv CO₂e. År 2030 skulle

global BNP vara 4,6 procent mindre än i basalternativet; detta skulle motsvara en lägre årlig tillväxt i BNP på 0,19 procentenheter för perioden 2005–2030. För EU 27 skulle siffrorna vara 5,8 procent i minskad BNP respektive 0,24 procentenheter i lägre årlig tillväxt. Den övergripande slutsatsen som kommissionen drar är att reduktion av växthusgaser är fullt förenligt med en god ekonomisk tillväxt. Kostnaderna för utsläppsminskningar ger endast marginella minskningar av BNP. Detta gäller enligt analysen för både industri- och utvecklingsländer. För Kina skulle den årliga tillväxten minska med 0,06 procentenhet och för Indien med 0,1 procentenhet.

En studie som Nordiska Ministerrådet (2007) har låtit göra har analyserat möjligheter och kostnader för Norden som helhet att reducera utsläppen av växthusgaser till 60–80 procent av 1990 års nivå till år 2050. Enligt studien är en reduktion på knappt 60 procent till en kostnad på 0,5 till 1 procent av BNP per år möjlig. Resultaten bygger på analyser av en del av utsläppen, främst inom energi och transporter.

De här studierna ger vid handen att kostnaderna för att reducera utsläppen till långsiktigt hållbara nivåer är hanterbara och att de inte skulle innebära någon chock för världsekonomin. Det är dock av betydelse vilken ambitionsnivå som väljs, att kostnadseffektiva lösningar för klimatpolitiken väljs och att utsläppsreduktionerna genomförs gradvis. Det ska vidare beaktas att kostnaderna är ojämnt fördelade mellan branscher och regioner.

7.2.2 Den nationella nivån (Sverige)

Det finns några studier av makroekonomiska kostnader för den svenska klimatpolitiken. Konjunkturinstitutet (KI) har gjort analyser för bland annat FlexMex-utredningen (SOU 2005:10) och kontrollstationerna 2004 och 2008 med hjälp av sin allmänna jämviktsmodell för den svenska ekonomin (EMEC). En sådan modell har fördelen att kunna ge en helhetsbild av svensk ekonomi och att fånga upp återverkningar på olika sektorer och ekonomiska variabler. Andra studier att märka är Carlén (2004), Bohm (2004) och Hill & Kriström (2005). Inriktningen på studierna har i huvudsak varit att jämföra de samhällsekonomiska konsekvenserna av olika alternativa utformningar av mål och styrmedel i den svenska klimatpolitiken. Studierna är inte direkt jämförbara med

den ovan refererade typ som IPCC sammanställt. Ett skäl till det kan vara att det är svårt att etablera ett referensalternativ att jämföra med, framförallt att fastställa vad skatter och andra styrmedel skulle vara utan klimatpolitik.

Konjunkturinstitutet (2003) jämförde tre alternativ i klimatpolitiken för målet 4 procent reduktion av utsläppen i genomsnitt för perioden 2008-2012 jämfört med år 1990. Det första var ett mål som avser utsläpp i Sverige utan internationell handel. Det andra alternativet var deltagande i EU ETS och att ETS-sektorns nettoimport av utsläppsrätter räknas av mot utsläppen (avräkningsmål). Det tredje alternativet var deltagande i EU ETS men det nationella målet ska uppnås oberoende av inköpta utsläppsrätter. I alternativen två och tre skiljer sig situationen för ETS-sektorn jämfört med alternativ ett. I alla alternativ ersätts nuvarande skattesystem med ett nationellt handelssystem för de utsläppskällor som inte deltar i EU ETS.

Enligt studien uppgår den årliga minskningen av BNP till 0,1 procent för det mest kostnadseffektiva alternativet (avräkningsmål + internationell handel) och 0,3 procent för det minst kostnadseffektiva alternativet (endast utsläpp i Sverige räknas och ingen internationell handel). För det andra är det enligt studien sättet att formulera målet (avräkning eller inte) som har störst betydelse för kostnaderna; utan avräkning blir vinsten av utsläppshandel liten. För det tredje beror vinsten av utsläppshandel på marknadspriset på utsläppsrätter. I en studie för FlexMex-utredningen (KI, 2005) redovisas modellanalyser enligt vilka det blir samhällsekonomiska vinster av ett avräkningsmål och av vidgat deltagande i EU ETS.

Konjunkturinstitutet (2007) har gjort modellanalyser på uppdrag av Naturvårdsverket och Energimyndigheten som underlag för Kontrollstation 2008. Flera olika alternativa utformningar av klimatpolitiken jämförs på tre målnivåer till år 2020; 10 procent, 25 procent respektive 40 procent reduktion av de svenska utsläppen jämfört med år 1990. Ett avräkningsmål förutsätts (den handlande sektorns tilldelade utsläpp räknas av utsläppsmålet). Enligt resultaten har det stor betydelse hur politiken utformas. Särskilt betydelsefull är storleken på tilldelningen till den handlande sektorn (EU ETS). Om den får stor tilldelning innebär det att sektorer som inte omfattas av EU ETS måste bära en stor del av reduktionsbördan och att många dyra åtgärder måste vidtas där. En annan faktor som enligt studien ökar kostnaderna är om den hand-

lande sektorn också fortsättningsvis måste betala koldioxidskatt. Det mest kostnadseffektiva alternativet är restriktiv tilldelning till den handlande sektorn och att den sektorn inte betalar koldioxidskatt.

I tabell 7.2 jämförs studiens BNP-effekter avseende de billigaste och de dyraste politikalternativen. BNP jämförs med ett referensalternativ med oförändrade styrmedel. Det framgår att BNP-effekten kan vara liten, även på målnivån minus 40 procent. Men om inte kostnadseffektiva alternativ väljs så utvecklas BNP signifikant sämre.

Tabell 7.2 Effekter på årlig BNP i Sverige av olika reduktionsmål till 2020

Reduktionsmål 2020	BNP % per år med:	
	Billigaste politik	Dyraste politik
Minus 10 %	+0,01	0,00
Minus 25 %	-0,01	-0,31
Minus 40 %	-0,07	-0,71

Källa: KI, 2007.

Anmärkning: Reduktioner för år 2020 avser jämförelse med utsläppsnivå år 1990.

Carlén (2004) har med utgångspunkt från Konjunkturinstitutet (2003) försökt beräkna kostnaderna för att Sverige har valt ett ambitiösare mål än det internationella åtagandet (-4 procent i stället för +4 procent förändring av utsläpp av växthusgaser i genomsnitt för 2008–2012 jämfört med 1990). Slutsatsen är att totalkostnaden för nuvarande mål (-4 procent) uppgår till 5–9 miljarder kronor per år 2008–2012 (eller totalt 25–45 miljarder kronor för hela perioden) jämfört med ett referensalternativ utan klimatpolitik. Om Sverige skulle nöja sig med att uppfylla Kyotoåtagandet på +4 procent skulle kostnaderna stanna vid 1,2–2,3 miljarder kronor per år (relaterat till BNP cirka 0,05–0,1 procent) eller totalt 6–11,5 miljarder kronor för hela perioden 2008–2012. Med andra ord skulle kostnaderna i det senare fallet kunna begränsas till 25 procent av det som följer av nuvarande mål (-4 procent).

Hill & Kriström (2005) analyserar de samhällsekonomiska kostnaderna vid olika utformning av målet för klimatpolitiken (inhemskt mål eller klimatmål) och av EU ETS. Deras slutsats är att det kan vara samhällsekonomiskt lönsamt, beroende på priset på utsläppsrätter, att övergå till ett avräkningsmål. De konstaterar

också att utsläppen inom Sverige inte nödvändigtvis blir större vid ett avräkningsmål, utan att de kan bli mindre beroende av priset på utsläppsrätter. De gör vidare analyser av effekter för olika branscher som ger resultatet att utsläppshandel gynnar elproducenter, medan järn-, stål- och metallverk samt petroleumraffinaderier inte gynnas.

7.2.3 Faktorer som påverkar kostnaderna

Det är naturligtvis svårt, för att inte säga omöjligt, att exakt beräkna kostnaderna för utsläppsminskningar, men de beräkningar som finns ger dock förhoppningsvis en grov uppskattning. Kalkyler på kostnader och av förändringar av tillväxten ger en tydlig bild av att en ambitiös klimatpolitik är förenlig med en god tillväxt i världsekonomin. Den är också förenlig med fortsatt utveckling av jordens fattiga länder och de snabbt växande utvecklingsekonomierna. Det bör dock noteras att med de mer ambitiösa koncentrationsmål som Rådet förordar (långsiktig stabilisering av koncentrationen av växthusgaser i atmosfären på ner mot 400 ppmv CO₂e) bör den högre änden av spannet för reduktionskostnader användas.

De globala kostnaderna för klimatpolitiken som redovisas bygger på

- att kostnadseffektiva styrmedel väljs
- att reduktionsbanan för utsläppen inte blir alltför brant i början
- att ny, kostnadseffektiv teknologi blir tillgänglig.

Är inte dessa förutsättningar uppfyllda blir kostnaderna förmodligen högre än vad som beräknats.

För den svenska nationella politiken är dessutom följande faktorer viktiga:

- ambitionsgraden för det nationella målet
- vad som räknas in i det nationella målet (om internationell handel med utsläppsrätter får räknas eller inte).

En verkkningsfull klimatpolitik har ett antal positiva sidoeffekter som i de flesta fall inte inkluderats i kalkylerna. De kanske viktigaste sidoeffekterna är de positiva effekter som kommer att uppstå inom andra miljöområden. Exempelvis kommer det att

innebära positiva effekter i luftkvalitet på lokal och regional nivå. Andra positiva effekter kan vara säkrare energiförsörjning, bättre energieffektivitet och utveckling av nya företag och branscher för miljö- eller energiteknik. Tar man sådana positiva effekter i beaktande påverkas naturligtvis kostnadsbilden positivt.

Ytterligare en aspekt som kan vara viktig i enskilda fall eller verksamheter är att reduktionsåtgärder kan vara lönsamma. Det gäller framförallt energieffektiviseringar, där det finns en stor potential som av olika skäl (som brist på information) inte realiserats. Det bör dock poängteras att det kan vara så att reduktionsåtgärder är lönsamma i vissa enskilda fall, men knappast i allmänhet.

7.3 Kostnader om uppvärmningen tillåts fortsätta

7.3.1 IPCC

IPCC² redovisar beräkningar av kostnaderna för skador till följd av olika ökningar av jordens medeltemperatur. Resultat baserade på ett stort antal studier redovisas. Kostnaderna består bland annat av produktionsbortfall i jordbruk och andra klimatrelaterade näringar, skador av översvämningar och stormar och effekter på infrastruktur, biodiversitet, hälsa samt vattenförsörjning (se kapitel 3). Dessa kostnader kan tolkas som intäkter av klimatpolitiken; de utgör värdet av skador som undviks om politiken är framgångsrik.

Det bör inledningsvis framhållas att det finns betydande osäkerheter också i denna typ av skattningar. Även om våra kunskaper om effekterna har ökat, finns fortfarande frågetecken om när, var och hur olika effekter uppträder. Vidare, det är svårt, eller omöjligt i en del fall, att sätta monetära värden på konsekvenserna för ekosystem och samhälle.

I den senaste rapporten säger IPCC att de globala genomsnittliga förlusterna kan komma att uppgå till 1–5 procent av BNP vid en uppvärmning på 4°C jämfört med 1990 års nivå. Utvecklingsländerna förväntas drabbas av ännu större förluster.³ Denna uppgift upprepas från IPCC tredje rapport 2001 och bygger på tre studier, bland andra Nordhaus & Boyer (2000). Siffrorna är

² IPCC (2007b). Skadekostnaderna för Sveriges del beräknas av Klimat- och sårbarhetsutredningen.

³ ibid.

diskonterade värden av skadorna längs vissa utvecklingsbanor. De diskonterade skadekostnaderna relaterar till BNP. Enligt Nordhaus & Boyer (2000) stiger kostnaderna väsentligt för större temperaturökningar. De kostnader som är relaterade till katastrofer väger i deras studie betydligt tyngre än andra slag av kostnader. IPCC framhåller att aggregerade kalkyler av skadekostnaderna mycket sannolikt undervärderar skadorna eftersom icke kvantifierbara effekter inte räknas in.

I den senaste rapporten redovisar IPCC samhällsekonomiska kostnader för klimatförändringarna enligt en metod som mött ökande intresse på senare år. Det är *social cost of carbon* (SCC), det vill säga de samhällsekonomiska kostnaderna av kol.⁴ Detta är en uppskattning av det ekonomiska värdet av skadorna som orsakas av ett extra ton kol i atmosfären (vilket också kan tolkas som intäkterna eller nyttan av att reducera utsläppen med ett ton kol). Kalkylerna av SCC är (liksom skattningarna ovan) behäftade med metodproblem. I teorin är SCC ett användbart instrument. Om beräkningarna innefattar alla relevanta kostnadsposter och under antagande av väl fungerande marknader, borde reduktionerna av utsläppen fortgå tills dess att kostnaden för den sista eliminerade kvantiteten utsläpp är lika med SCC. En skatt bör enligt teorin sättas lika med SCC; i praktiken är det möjligt endast om de nämnda villkoren och antagandena är uppfyllda.

IPCC refererar till ett stort antal beräkningar av SCC. Spannet i resultat är stort. Forskargranskade beräkningar har ett medelvärde på 84 kronor per ton CO₂, med stor spridning runt medelvärdet. Stern uppskattar SCC till 600 kronor per ton CO₂. Dessa siffror kan relateras till den svenska koldioxidskatten, vars normalsats uppgår till 930 kronor per ton CO₂, det vill säga en bra bit högre än de beräknade globala genomsnitten på SCC.

7.3.2 Sternrapporten

Sternrapporten⁵ presenterar beräkningar av de samhällsekonomiska kostnaderna för klimatförändringar som blivit mycket uppmärksammade. Enligt beräkningarna skulle den årliga konsumtionsförlusten år 2200 av ett BAU-scenario (business-as-usual) med temperaturökningar på 5–6 grader Celsius över förindustriell nivå

⁴ ibid.

⁵ Stern (2007, spec. kap. 2 och 6).

uppgå till i storleksordningen 5–20 procent av BNP. Stern jämför de ekonomiska effekterna med 1930-talsdepressionen och världskriget. (Som en kommentar till den jämförelsen kan man säga att klimatförändringarna kanske är likartade i magnitud men de torde bli mycket mer långvariga). Sterns resultat ger betydligt högre kostnader än tidigare analyser, bland annat jämfört med dem som redovisades i IPCC:s tredje rapport 2001 och jämfört med Nordhaus & Boyer (2000).

Det finns två huvudskäl till att Stern kommer till så pass höga siffror. Det ena är att fler olika effekter innefattas i kalkylen, det vill säga att Stern har en vidare "systemgräns" än många andra bedömare. Det andra är att en låg diskonteringsränta (1,4 procent) används.

När det gäller typ av effekter har tidigare analyser ofta begränsats till gradvisa förändringar och marknadsmässiga effekter, det vill säga sådana där det finns ett marknadspris som exempelvis produktionsbortfall i jordbruk som är den näringsgren som väntas drabbas av det klart största produktionsbortfallet. Stern går vidare och beaktar dels icke marknadsprissatta effekter på miljö och hälsa, dels effekter av chocker och katastrofer. Det finns enligt Stern en genuin osäkerhet om konsekvenserna; vi kan inte utesluta händelser av katastrofal art som innebär sammanbrott av sociala och ekonomiska system. Vidare anser Stern att möjligheten av dramatiska tröskeeffekter som kraftiga avgångar av metangas och minskad förmåga hos oceanerna att ta upp CO₂ med mera bör vägas in.

Beräkningarna visar på förluster i konsumtion på 5–7 procent (den högre siffran avser ett scenario med högre klimatkänslighet) när man ser till marknadsmässiga effekter och risker för katastrofer, och 11–14 procent när man också inkluderar icke marknadsmässiga effekter. När man ökar vikten av effekterna för utvecklingsländerna⁶ och överslagsmässigt inkluderar en del möjliga självförstärkande negativa effekter i klimatsystemet, kommer Stern fram till den högsta siffran 20 procent i förlust av konsumtion per capita år 2200. Sammantaget menar ändå Stern att dessa skattningar är rätt konservativa och att ännu värre utfall är möjliga. Ett viktigt element i Sterns analys är att osäkerhet och risk beaktas, det vill säga möjligheten av dramatiska händelser.

⁶ En korrigering av de samhällsekonomiska kostnaderna för att ta hänsyn till att utvecklingsländernas ekonomier är mindre och att man därför undervärderar skadekostnader där.

Rådet håller med Sternrapporten om att till bilden av klimatförändringarnas effekter hör i hög grad katastrofala händelser med låg sannolikhet. Exempel är metanutsläpp från smältande permafrostområden. Den typen av risker (låg sannolikhet, stora konsekvenser) är framträdande i kärnkraftsdebatten. I mindre skala är det denna typ av risker som vi i vardagslivet brukar försäkra oss mot (med en brandförsäkring till exempel).

Som nämnts är en av de viktigaste orsakerna till de stora skillnaderna i resultat relaterade till *diskontering*. Diskontering är inom ekonomi ett väl accepterat tillvägagångssätt för att jämföra nutida och framtida ekonomiska storheter. Diskontering görs med en räntesats med vilken man justerar värdet av framtida flöden. Eftersom klimatförändringarna handlar om långa tidsperioder – flera hundra och till och med tusentals år – får diskonteringsprinciperna mycket stor betydelse. Exempelvis blir nuvärdet av 1 miljon kronor som utfaller om hundra år 52 000 kronor vid en diskonteringsränta på 3 procent, men endast 3 000 kronor om räntan är 6 procent. Sterns diskonteringsmetod har varit föremål för en hel del debatt.

Valet av räntesats är inte givet. I princip avgörs räntesatsen av tre element: (1) en tidspreferens – att man föredrar att ha en summa pengar idag hellre än senare, (2) en faktor som uttrycker att ytterligare ökningsar av inkomsten värderas allt lägre samt (3) en faktor för tillväxten i ekonomin.⁷

Stern menar att traditionella diskonteringsmetoder är relevanta för jämförelser mellan marginellt olika alternativ. Sådana alternativ är det dock inte fråga om när det gäller klimatförändringarna, menar han. De gäller fundamentala förändringar. Det är därför enligt Stern nödvändigt att göra etiska överväganden om fördelningen mellan nuvarande och kommande generationer. Stern intar hållningen att om framtida generationer vore representerade i den klimatpolitiska diskussionen så skulle de kräva samma rättigheter som den nuvarande generationen. Därför sätter Stern ett lågt värde (0,1 procent) på den rena tidspreferensen.

Rådet anser att diskontering till en del kan ses som en etisk fråga när det gäller långa tidsperspektiv. En hög tidspreferens ger framtida generationer liten vikt. Andra element i frågan om räntan är inte av etisk art. De gäller inkomst och den avtagande nyttan av

⁷ Matematiskt uttrycks det med Ramseys ekvation: $r = \delta + \gamma g$ där r är räntan, δ är den rena tidspreferensen, γ är elasticiteten av marginalnyttan av förändringar i konsumtion och g är ökningen (i procent) av BNP(inkomst).

inkomstökningar. Klimatförändringarna påverkar många människors liv och hälsa, särskilt om de alls icke försumbara sannolikheterna för katastrofala händelser och effekter beaktas. Detta är saker som Rådet anser är svåra att rättvisande spegla med diskontering.

7.4 Rådets slutsatser

Rådet anser

- att bedömningar av kostnader för skadorna av klimatförändringarna är osäkra, delvis etiskt kontroversiella och starkt beroende av vilka skador som räknas in, hur dessa värderas och hur man värderar framtiden (diskonteringsmetod)
- att det finns betydande osäkerheter i skattningar av kostnaderna för att minska utsläppen av växthusgaser
- att kostnads- och intäktskalkyler och liknande bedömningar av klimatpolitiken därför bör tolkas med försiktighet men att de ändå kan ge värdefull information om storleksordningar och ekonomiska samband
- att kostnaderna globalt och nationellt för att reducera utsläppen till nivåer som är förenliga med tvågradersmålet är signifikanta men förenliga med en god makroekonomisk utveckling
- att kostnaderna för att minska utsläppen blir lägre om kostnadseffektiva styrmedel väljs
- att kostnaderna för att minska utsläppen blir lägre om man också beaktar andra fördelar av energieffektivisering och förnybar energi, som renare luft och energisäkerhet.

8 Styrmedel i klimatpolitiken

8.1 Inledning

I kapitel 6 diskuterades olika åtgärder för att minska utsläppen av växthusgaser. Frågan är hur samhället kan styra för att de önskade åtgärderna ska komma till stånd. Det finns flera olika styrmedel som kan delas in i tre huvudtyper: *Regleringar* genom lagar och andra regler, *ekonomiska styrmedel* i form av skatter eller subventioner samt *informativa styrmedel* i form av exempelvis kunskapsöverföring. Styrmedel kan vidare delas in i övergripande och sektorsspecifika. Klimatpolitiken påverkas också av styrmedel inom andra politikområden. Förutsättningarna för klimatpolitiken påverkas på ett övergripande plan även av hur staten och övrig offentlig sektor, marknaden och civilsamhället aktiveras i klimatpolitiken. Rollerna för dem kan vara olika stora.

Klimatfrågan är långsiktig med komplexa processer som kan rymma betydande mått av osäkerhet. Frågan är bred och berör många sektorer och den måste hanteras på olika nivåer från den globala till den lokala. Det finns idag ett stort engagemang för klimatfrågan bland medborgare, företag och frivilligorganisationer. Många kommuner arbetar aktivt. Frivilliga insatser spelar en viktig roll. Detta ska inte bara ses som komplement till nationell och internationell politik utan det utgör även en drivkraft som hjälper till att möjliggöra sådan politik både genom att utveckla nya lösningar och bidra till att höja medvetenheten bland medborgare och företag. Vidare är arbete över sektorsgränser och samverkan mellan privata och offentliga aktörer delar av klimatarbetet. Sektorsövergripande arbetssätt lyfts fram av IPCC i den senaste rapporten. Det betonas att vinster finns att hämta genom att söka synergier och gemensamma insatser över sektorsgränser. Information och kunskapsspridande kan i sig ha positiva effekter,

men framförallt verka stödjande för andra klimatåtgärder. De är medel för att skapa ett mer klimatvänligt samhälle.

Det framhölls i början av kapitel 7 att klimatpolitiken kan behöva ses i ett vidare sammanhang. Valet av systemgräns är viktigt. Ett exempel är att Kinas ambitiösa mål för energi-effektivisering kan ha betydande positiva klimateffekter.

Klimatpolitiken rymmer således en lång rad frågeställningar. Rådet har inte möjlighet att ge dem någon mera heltäckande ingående behandling, utan har valt att främst inrikta sig på två huvudelement i en verkningsfull politik för att reducera utsläppen av växthusgaser:

1. Sätta ett *pris* på utsläpp av växthusgaser.
2. Främja *teknisk utveckling* (utöver de effekter som följer av prissättning).

Några ytterligare kommentarer är inledningsvis på sin plats.

För det första, klimatproblemet är *globalt*. Det spelar ingen roll var utsläppen sker, utan de sprider sig nästan utan undantag likformigt i atmosfären oavsett var utsläppen sker. Ett enskilt land kan inte ensamt kontrollera effekten på klimatet. Detta faktum talar för att åtgärder måste vidtas av så många länder som möjligt. Detta reser samtidigt frågan vad ett litet land bör göra för att bidra till att andra länder börjar minska sina utsläpp.

För det andra, åtgärder och styrmedel måste vara *kraftfulla*. Som framgått av tidigare kapitel är uppgiften mycket stor. På längre sikt är det fråga om att nära nog eliminera utsläppen av växthusgaser. Detta innebär en betydande omställning av världsekonomin. Uppgiften ska klaras samtidigt som produktionen växer och energibehoven ökar.

För det tredje, *kostnadseffektivitet* – största möjliga miljöförbättring för en given kostnad – är önskvärd. För att få acceptans för klimatpolitiken kan dock avvägningar mot andra principer i vissa situationer vara motiverade.

För det fjärde, *långsiktighet och transparens* behövs så att tydliga signaler sänds till ekonomins aktörer (konsumenter och producenter). Klimatpåverkan under de kommande decennierna avgörs i hög grad av investeringsbeslut som tas redan idag. Den långsiktiga utvecklingen mot låga utsläpp behöver stå klar för ekonomins aktörer när de tar investeringsbeslut.

8.2 Sätta pris på utsläppen: Ekonomiska styrmedel

Ekonomiska styrmedel utgör viktiga och kraftfulla instrument i dagens svenska klimatpolitik. Koldioxidskatten och EU:s system för handel med utsläppsrätter är potentiellt sett de två viktigaste styrmedlen som särskilt är utformade för klimatpolitiken. Men det finns också andra ekonomiska styrmedel av stor betydelse för klimatpolitiken (energiskatterna inklusive drivmedelsskatter, inmatningstariffer, elcertifikatsystemet med mera).

Klimatproblemet är ett marknadsmisslyckande i den meningen att marknadspriserna inte har återspeglat det faktiska priset för att använda atmosfären för att släppa ut växthusgaser. Vi kan inte heller förvänta att ett rättvisande pris uppstår av sig själv, utan det behöver etableras genom politiska ingrepp, exempelvis genom en skatt på koldioxid. Det resonemang som förs nedan är i mångt och mycket tillämpligt också för handel med utsläppsrätter.

Koldioxidskatten har flera goda egenskaper. För det första är den, om den utformas på rätt sätt, kostnadseffektiv. En rätt utformad skatt leder till en kostnadseffektiv fördelning av den beslutade utsläppsreduktionen. En skatt per enhet utsläpp av koldioxid (för närvarande är standardskattesatsen 93 öre per kilogram CO₂ i Sverige) ställer varje enskild utsläppskälla inför valet att antingen släppa ut koldioxid och betala skatten eller reducera utsläppen och därmed minska skattebetalningen. Om det är billigare att minska utsläppen än att betala skatten så minskar man (givet att man har tillräcklig information om möjligheterna och inga andra hinder föreligger). Det blir därmed lönsamt att minska utsläppen så länge som reduktionskostnaden är lägre än skatten. I slutläget kommer alla utsläppskällor i teorin att ha samma marginalkostnad (= skatten) för utsläppsminskning, vilket ger kostnadseffektivitet.

En annan god egenskap med en skatt, vilken är kopplat till den första, är att de politiska beslutsfattarna inte behöver ha detaljkunskaper om teknologier, produktionsprocesser och annat som avgör kostnaderna för utsläppsreduktioner. Kostnaderna och möjligheterna skiljer sig åt mycket mellan olika konsumenter och företag, men den detaljerade kunskapen är svår eller omöjlig att skaffa sig; i praktiken finns det många, förmodligen tusentals, olika möjliga åtgärder med varierande kostnader. Med en skatt kan man överlåta åt företaget eller hushållet att välja åtgärd. Detta är en viktig fördel jämfört med ett system med en kvantitativ gräns för

utsläppen (som antingen kan sättas likformigt för alla anläggningar som ett gränsvärde eller individuellt genom ett koncessionsförfarande). I ett sådant system kan man inte räkna med att reduktionsåtgärderna kommer att vidtas där kostnaderna är lägst.

En tredje god egenskap är att en skatt ger, i alla fall på kort sikt, skatteintäkter som kan användas bland annat för att korrigera för oönskade effekter som en skatt kan ge upphov till. Exempelvis är det väl utforskat att koldioxidskatten har en regressiv fördelningseffekt, det vill säga att hushåll med låga inkomster tenderar att få bära en relativt stor skattebörd. Intäkterna från skatten skulle därmed kunna användas till att korrigera för en sådan effekt.

Med en koldioxidskatt korrigeras priset för att släppa ut växthusgaser uppåt, så att det i högre grad reflekterar den samhällsekonomiska kostnad som utsläppen orsakar. Det högre priset på utsläpp leder därmed till beteendeförändringar och effektivisering i samtliga sektorer (dock i olika grad beroende på reduktionskostnader) som utsätts för skatten.

Tabell 8.1 Global ekonomisk potential för reduktion av utsläpp 2030

Pris USD per CO ₂ e	Ekonomisk potential GtCO ₂ e/år	Reduktion relativt SRES A1 B (68 GtCO ₂ e/år) (%)	Reduktion relativt) SRES B2 e/år (49 GtCO ₂ e/år) (%)
20	9–18	13–27	18–37
50	14–23	21–34	29–47
100	17–27	25–38	35–53

Källa: IPCC, 2007c.

Anmärkning: SRES syftar på IPCC:s klimatscenarier. Scenario A1 B innebär i korthet snabb ekonomisk tillväxt till cirka 2050, snabb teknikutveckling och balans mellan energiförsörjningskällor. Scenario B2 innebär mindre snabb ekonomisk tillväxt, moderat befolkningstillväxt och mindre snabb teknikutveckling. (Se vidare bilaga 2.5).

Enligt IPCC (tabell 8.1, se även avsnitt 6.2.1) skulle en global höjning av priset på utsläpp av växthusgaser resultera i avsevärda utsläppsreduktioner. En höjning av priset kan åstadkommas genom en global skatt eller en global utsläppsmarknad. Exempelvis skulle ett globalt pris på USD 20 (140 kronor eller 1/7 av normalsatsen för den svenska koldioxidskatten) per ton CO₂e resultera i en reduktion på 9–18 miljarder ton (Gton) CO₂e. För högre priser visar tabellen att ännu högre reduktioner kan åstadkommas. Med

andra ord visar IPCC:s sammanställning att ett ur svenskt perspektiv relativt lågt pris kan ge stora effekter globalt.

Ett grundläggande problem i klimatpolitiken kan därmed sägas vara att det för den större delen av världsekonomin är för billigt att släppa ut växthusgaser. Det är endast EU-länderna och ett fåtal andra länder som antingen har infört en explicit skatt på växthusgaser eller har infört ett system för handel med utsläppsrätter.¹ Med andra ord är incitamenten för energieffektivisering och beteendeförändringar som leder till minskade utsläpp svaga i merparten av jordens länder. Detta är utan tvekan den viktigaste orsaken till att de globala utsläppen av växthusgaser fram till nu fortsätter att växa enligt ett referensscenario med höga utsläpp.

En global och med svenska mått relativt låg koldioxidskatt skulle därmed vara ett kraftfullt generellt verkande instrument i klimatpolitiken. En sådan global skatt skulle i ett slag skapa incitament för beteendeförändringar med stora energieffektiviseringar och utsläppsreduktioner som följd. I många länder och regioner skulle det dessutom uppstå positiva sidoeffekter, inte minst i form av förbättrad luftkvalitet. Det skulle vara ett alternativ som kräver mindre internationell samordning och gemensam administration än den ekonomiskt likvärdiga metoden med system för handel med utsläppsrätter. Nordhaus (2007) har argumenterat för en global skatt i stället för ett globalt handelssystem. Hans argument är i stort sett desamma som de argument som anförs ovan.

Resonemanget om marginalkostnader leder också till slutsatsen att mål för utsläppsreduktioner bör gälla på så övergripande nivå som möjligt – i princip helst globalt och för alla sektorer i ekonomin och för alla växthusgaser. Eftersom kostnaderna för att minska utsläppen kan skilja sig mycket mellan olika företag, branscher och sektorer så är det inte kostnadseffektivt att kräva en likformig minskning av utsläppen av alla, vare sig vi talar om sektorer, regioner eller nationer. Om exempelvis alla sektorer skulle avkrävas en minskning av utsläppen på 10 procent – vilket kunde betraktas som en ”rättvis” politik – skulle det innebära att man bortser från att kostnaderna skiljer sig åt mellan olika sektorer. En del onödigt dyra åtgärder skulle vidtas. Samma resonemang kan föras för nationer. Det är inte givet att bördan för

¹ Även andra energiskatter som inte har direkt klimatpåverkande motiv har en återhållande effekt på utsläpp av växthusgaser. De flesta av dessa är motiverade av främst fiskala skäl, dvs. syftar till att få in skatteinkomster och inte till miljöeffekter.

en bestämd global utsläppsreduktion ska fördelas lika mellan länderna eftersom reningskostnaderna skiljer sig åt. Det är kostnadseffektivt om utsläppen minskas i länder där kostnaden är låg. På så sätt får man en större klimateffekt för en given kostnad.

En implikation av detta är att en koldioxidskatt bör vara likformig för alla sektorer och den bör helst omfatta hela ekonomin. I praktiken har det emellertid visat sig vara svårt att upprätthålla en likformig skattesats på grund av att skatten påverkar konkurrensförhållandena. För sektorer som är utsatta för internationell konkurrens, där produktionen kan utföras i flera länder och där energikostnaderna väger tungt, som svensk basindustri, finns motiv att ha en lägre skatt. Man behöver även beakta miljöskälen, eftersom en verksamhet kan utföras i länder med lägre miljökrav, och då kan miljöeffekten av en skatt bli negativ. Konkurrens- och miljöskälen får då vägas mot den snedvridningseffekt (välfärdsförlust) och minskade utsläppseffekt i hemlandet som en differentiering av skatten innebär. Detta motiverar att den svenska koldioxidskatten har en viss grad av differentiering.

Svårigheten att upprätthålla en likformig beskattningsnivå är en nackdel med miljöskatten. En annan nackdel är att det kan vara svårt att nå måluppfyllelse i fall där detta kräver mycket höga skattesatser vilka bedöms vara omöjliga av politiska eller andra skäl.

I en värld där koldioxidbeskattningen skiljer sig mycket åt mellan olika länder kommer länder med hög koldioxidskatt att uppleva nackdelar i den internationella konkurrensen. En intressant fråga som därmed uppstår och som torde accentueras då kraven på utsläppsreduktioner stiger är om alltför låg koldioxidskatt ska betraktas som ett otillåtet statsstöd i den internationella handeln. Därmed kan man resa frågan om att införa koldioxidbeskattning av import av energiintensiva varor (exempelvis stål, aluminium, cement). Det är en tekniskt, ekonomiskt och politiskt komplicerad fråga som Rådet inte har haft möjlighet att ta ställning till.

Rådet noterar vidare att det fortfarande finns omfattande direkta och indirekta subventioner till fossila bränslen. Detta är inte förenligt med god klimatpolitik. Ett undantag kan vara subventioner till gasol för matlagning i fattiga länder, eftersom det kan leda till minskad avskogning och minskade utsläpp av växthusgaser.

8.3 Främja teknisk utveckling

Det finns ett brett stöd inom IPCC för uppfattningen att teknologin har stor betydelse för klimatfrågan. Teknologin ägnas ett betydande utrymme i IPCC:s fjärde rapport. Det framhålls att teknikutveckling är en komplicerad process som inte kan fångas i någon väl accepterad enkel bild. Det är fråga om en process med flera olika steg, komponenter och kopplingar till olika delar av samhället. Teknikutveckling innefattar forskning och utveckling (FoU) där ny kunskap utvecklas under medverkan av universitet, företag, staten och andra aktörer; lärande där ny kunskap tas upp och används; samt kunskapsöverföring mellan individer, företag, branscher och länder. Alla tre källor är viktiga för teknisk utveckling i samhället.

Ett framsteg sedan IPCC:s tredje rapport 2001 är att modellanalyser har gjorts för att behandla teknologi som en endogen variabel. Det innebär att man, i stället för att ta teknologin som given, så låter man den variera och bestämmas av värden på andra variabler som ingår i modellen. I takt med att investeringar sker i de olika teknologierna så minskar kostnaden för att använda dem (learning-by-doing). Resultaten av sådana analyser indikerar större fördelar av tekniksatsningar och av att vara tidigt ute med reduktionsåtgärder. De indikerar vidare betydande positiva effekter på kostnaderna, och i en del fall nettointäkter.² Enligt modellberäkningar skulle priser på 140–560 kronor per ton CO₂e år 2030 och till mellan 210–1 100 kronor till år 2050 vara konsistenta med en stabilisering på cirka 550 ppmv CO₂e i atmosfären år 2100. Enligt modellberäkningar som beaktar teknologisk förändring skulle det räcka om priserna vore en bit lägre: 35–450 kronor per ton CO₂e år 2030 och 100–900 kronor per ton CO₂e år 2050. Dessa siffror bygger på antaganden bland annat om kostnadseffektiv politik.

IPCC bedömer att på lång sikt och för att få väsentliga tekniksiften till stånd behövs stora satsningar på teknisk utveckling. Skatter och handelssystem är mycket viktiga för att få teknikutveckling och teknikspridning till stånd. De har en långsiktig dynamisk effekt. De stimulerar företag att utveckla ny teknik och att använda teknik som reducerar utsläppen. Men ändå är det så att marknaden inte kan förväntas generera en tillräcklig teknisk

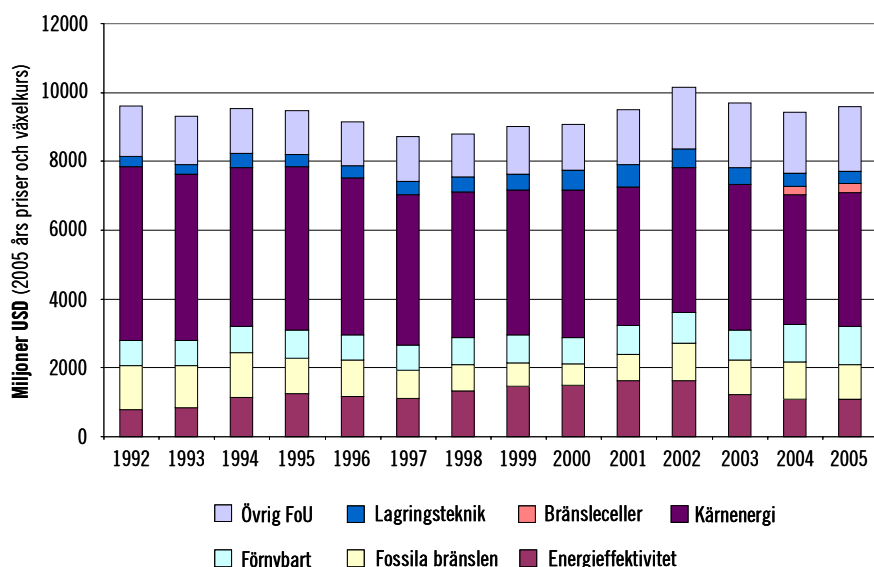
² IPCC (2007c).

förändring utan ytterligare styrmedel utöver skatter och handelssystem. Det finns två väl etablerade huvudskäl till det:

1. *Prissignalerna* reflekterar i dagsläget inte den fulla kostnaden för miljöskadan av utsläpp av växthusgaser. Eftersom priserna globalt sett är för låga på utsläppen blir incitamenten till teknikutveckling för låga. Därutöver kommer att ett handelssystem ger osäkra incitament eftersom de som investerar i FoU inte kan vara säkra på framtida priser. En koldioxidskatt är behäftad med en politisk osäkerhet med samma effekt.
2. Det kan vara svårt för ett företag som utvecklar ny teknik att *tillgodogöra sig tillräckliga intäkter* för att täcka sina kostnader. Detta är ett klassiskt problem i FoU som har att göra med begränsade möjligheter att skydda kunskap med patent eller andra metoder.

Mot bakgrund av dessa skäl kunde man förvänta att offentligt finansierad forskning på ett för klimatpolitiken centralt område som energiforskning och kanske särskilt förnybar energi skulle vara stigande. Det är emellertid inte fallet (figur 8.1).

Figur 8.1 Offentligt finansierad energiforskning i IEA-



länderna 1992–2005

Källa: Baserad på data från IEA (2006).

IPCC ger inte bestämda rekommendationer om hur teknikpolitik bör föras. Rådet vill för sin del göra några kommentarer. Vid sidan av högre offentlig finansiering för FoU, så kan det behövas stöd för att ny teknologi ska komma ut på marknaden. Staten kan behöva skapa marknader så att teknologier kan komma från laboratoriestadiet till kommersialisering. Det gäller att få igång en självförstärkande process driven av dynamiskt lärande och skal-effekter, där kostnadsreduktioner genererar marknadstillväxt, som i sin tur ger investeringar och lärande som leder till ytterligare kostnadsreduktioner. Detta kan ske genom olika politiska instrument, bland andra reglerade inmatningstariffer, investeringssubventioner, gröna certifikat, standarder och offentlig upphandling (till exempel av miljöbilar eller av etanolbussar). I praktiken krävs det dock noggranna överväganden för att utforma sådana insatser så att de verkligen ger rätt incitament och resulterar i ny teknik som kan klara sig utan stöd.

Två exempel på vad politik av detta slag kan åstadkomma gäller vindkraft och solceller. I det förra fallet har bland andra Tyskland,

Danmark och Spanien skapat incitament som lett till ett trefaldigande av den installerade kapaciteten vindkraft mellan 1998-2002, det vill säga en tillväxttakt på över 30 procent per år. Vad gäller solceller har program i Japan och Tyskland lett till att den globala installerade kapaciteten ökat med mer än 25 procent per år från 1980 till 2002.

Det finns mycket att säga om utformningen av åtgärder. En observation gäller stöd till mera avancerade nya teknologier i förhållande till enklare nya teknologier. Det kan bli så att mer avancerade teknologier som vid den aktuella tidpunkten för stödet har längre tid kvar till kommersialisering inte får en ordentlig chans. Exempelvis, om man idag skulle stödja det kommersiellt mest konkurrenskraftiga alternativet av biobränslen på ett teknik-neutralt sätt skulle det leda till stöd för etanol från majs, vete eller sockerbetor. Därmed skulle man göra det svårt för etanol från cellulosa eller gasifiering av trä som allmänt anses vara mer lovande. Valet av tidpunkt är viktigt och det finns risk att låsa fast utvecklingen genom att för tidigt främja stora investeringar i ett visst slag av teknologi.

8.4 Klimatpolitik på olika nivåer

8.4.1 Globalt

Klimatförändringarna är en genuint global fråga. Inget enskilt land kan lösa problemet, utan agerande på global skala är nödvändigt. Rådet vill mycket starkt betona att internationellt samarbete är absolut nödvändigt för att möta klimathotet.

Erfarenheten så här långt är att det är svårt att få till stånd de nödvändiga åtgärderna och de globala utsläppen följer för närvarande i stort sett ett referensbanescenario med höga utsläpp.³

Den globala klimatfrågan kan relateras till väl analyserade problemställningar om hur enskilda aktörer agerar rationellt utifrån egna intressen, men där de bidrar till ett resultat som är sämre för allmännyttan och kollektivet. Ostrom (1990) har identifierat ett antal principer som samverkar för att resursdilemman kan hanteras i lokalsamhället. Hit hör bland annat att de som har tillgång till resursen är klart definierade. Andra principer är att regler för bruk av resursen kan modifieras, att resursens tillstånd kan övervakas, att

³ Raupach m.fl. (2007).

gradvisa sanktioner för överutnyttjande och mekanismer för konfliktlösning finns. Givet dessa principer kan normer för användning utvecklas. Frågan är om dessa principer också gäller för storskaliga resursdilemman som klimatet. Där finns uppenbara definitionsproblem och övervakning, sanktioner och normer är svåra att få till stånd, vilket i sin tur kan innebära att tillit inte etableras.

Kyotoprotokollet inom FN:s Klimatkonvention är ett steg på vägen mot en global lösning och den mest näraliggande basen för det fortsatta internationella samarbetet. Men det finns svagheter i Kyotoprotokollet som Rådet vill framhålla:

- Deltagandet är alltför smalt. USA och Australien har signerat protokollet men inte ratificerat det. Bland de tolv största utsläpparna räknat i totalvolym saknar därutöver Kina, Indien och Brasilien tak för sina utsläpp. De länder som har tak svarar inte för mer än cirka en tredjedel av de globala utsläppen. En framtida uppgörelse behöver ett mycket bredare deltagande och innefatta inte bara USA utan även många utvecklingsländer.
- Det är alltför lätt att dra sig ur. Sanktionsreglerna är alltför svaga.
- Det råder osäkerhet om vilka spelregler som ska gälla på sikt.
- Tillräckliga incitament för teknikutveckling saknas.

Kyotoprotokollets mekanismer

Klimatkonventionen säger i artikel 3.3 att åtgärder för att möta klimatförändringarna ska vara kostnadseffektiva så att man försäkras om globala fördelar till lägsta möjliga kostnad. Under konventionen och Kyotoprotokollet etableras möjligheter till handel med utsläppsrätter mellan nationer och genom de projektbaserade mekanismerna CDM (Clean Development Mechanism) och JI (Joint Implementation) kan samarbetsprojekt både mellan industriländer och mellan industri- och utvecklingsländer komma till stånd.

Handeln innebär att länder med kvotåtaganden (s.k. Annex I-länder) kan utbyta kvoter (AAU, Assigned Amount Units) så att länder som inte behöver utnyttja sina kvoter fullt ut kan sälja till länder som önskar komplettera nationella åtgärder för att möta sina

åtaganden. Sådan handel kan förmodas komma till stånd i större volymer mot slutet av den första Kyotoperioden.

CDM inrättades som ett sätt att stimulera till utsläppsminskningar i utvecklingsländer (som inte har kvantitativa åtaganden) och till samarbete mellan dem och industriländer och till teknologiöverföring. Ett CDM-projekt ska enligt reglerna innebära en additionell reduktion av utsläpp. Ett administrativt förfarande verifierar om ett projekt uppfyller kraven och hur stor kvantitet reduktion som det ger. Stocken av CDM-projekt har vuxit snabbt. I augusti 2007 fanns cirka 760 registrerade projekt som totalt väntades ge en reduktionspotential på över 1 miljard ton CO₂e för perioden 2008-2012. Det administrativa förfarandet är rätt omfattande och behäftad med en del osäkerhet. CDM kan spela en värdefull roll, men relaterat till de mycket stora behoven av utsläppsminskningar och av investeringar i energisektorn i utvecklingsländer kan CDM inte väntas ha en stor kvantitativ betydelse. En viktig poäng är dock att CDM har givit utvecklingsländerna ett intresse i Kyotoprotokollet.⁴

JI har inte tillämpats så länge och erfarenheterna är färre. Med JI kan Annex I-länder i samarbete genomföra projekt för utsläppsreduktioner i ett Annex I-land. Förväntningen var att i första hand utsläppsminskande projekt i övergångsekonomier skulle komma till stånd.

Rådet konstaterar att när Kyotoprotokollets projektmekanismer i högre grad blir tillgängliga så förbättras förutsättningarna för kostnadseffektivitet i klimatpolitiken.

Andra frågor

Det finns många frågor av global karaktär på klimatområdet. En gäller utvecklingsbiståndet. Det bör fortsatt vara inriktat på fattigdomsbekämpning, men klimatfrågorna bör få ökad vikt. Särskild uppmärksamhet bör ges matlagning och bränsleinsamling som ger upphov till betydande utsläpp i utvecklingsländerna.

⁴ Statistik om CDM finns på www.cdm.unfccc.int. Erfarenheter av CDM diskuteras i Lecocq & Ambrosi (2007) och Stern (2007).

8.4.2 EU

EU-nivån har en särskild roll i internationell och svensk klimatpolitik. Den bygger på

- att Sveriges klimatpolitik och EU:s klimatpolitik delvis är integrerade med varandra eftersom en del styrmedel är lagstiftning som beslutas på EU-nivå (till exempel om EU ETS, avgaskrav på bilar, energibeskattnings)
- att EU har mandat att agera på den globala arenan. Förutom att vara part i Klimatkonventionen och Kyotoprotokollet har EU bilaterala toppmöten med USA, Ryssland, Kina, Indien och andra viktiga länder där klimatfrågan behandlas.

EU har spelat en mycket viktig och positiv roll i klimatpolitiken så här långt. EU bidrog verksamt till att Kyotoprotokollet räddades. EU har etablerat EU:s system för handel med utsläppsrätter (EU ETS) som är ett av de mest omfattande internationella styrmedlen på miljöområdet hittills. EU håller på att utveckla en energi- och klimatpolitik med såväl gemenskapslagstiftning som samordning av nationell politik. EU har genom besluten på Europeiska rådets möte i mars 2007 satt ambitiösa mål för sin energi- och klimatpolitik. Europeiska mål och rättsakter om bland annat energieffektivisering, förnybar energi och biodrivmedel är viktiga på nationell nivå.

Nackdelar med beslut på EU-planen kan vara att ambitionsnivå, inriktning och snabbhet inte blir optimalt utifrån vad enskilda medlemsstater önskar.

EU ETS

EU:s system för handel med utsläppsrätter (ETS = Emissions Trading Scheme) som startade år 2005 är ett medel för EU att möta sina åtaganden enligt Kyotoprotokollet (minus 8 procent i genomsnitt 2008–2012 jämfört med 1990). Det är hittills det enda operativa internationella systemet för handel med utsläppsrätter för växthusgaser. Idag omfattas energiproduktion och energiintensiv industri av systemet (cirka 11 000 anläggningar som svarar för ungefär 40 procent av utsläppen av växthusgaser i EU). Systemet är ett viktigt element i Sveriges och andra EU-länders klimatpolitik. Rådet anser att det finns både för- och nackdelar med EU ETS.

Ett handelssystem är som nämnts i princip likvärdigt med en koldioxidskatt. I fallet med en skatt äger staten samtliga utsläppsrätter och säljer dessa till ett fixt pris (= skattesatsen). I ett handelssystem ägs utsläppsrätterna av företag (som fått dem gratis eller köpt dem genom auktion). Alla utsläppsrätter tillsammans utgör de totala tillåtna utsläppen. De som har överskott kan sälja till dem som har underskott. Det marknadspris som kommer att etableras bestäms av det totala utsläppstaket (utbudet) i förhållande till reduktionskostnader (efterfrågan). Företag med höga reduktionskostnader väljer att köpa rättigheter från företag med låga kostnader, vilka i högre grad väljer att minska sina utsläpp. På så vis gör ett handelssystem att den påbjudna totala reduktionen uppnås till lägsta kostnad (kostnadseffektivitet).

En fördel med ett handelssystem är att slutresultatet är känt på förhand (utsläppsnivåerna vid slutåret för respektive period, givet fungerande kontrollsystem). De totala utsläppsrätterna är lika med taket för de utsläpp som man önskar. I teorin skulle man kunna sätta vilken önskad nivå som helst på utsläppen. I praktiken är det naturligtvis så att de samhällsekonomiska kostnaderna blir högre, ju ambitiösare målen sätts, eftersom det blir allt svårare att finna billiga sätt att reducera utsläppen. För en skatt däremot kan man inte i förväg vara säker på slutresultatet vad gäller reduktionens storlek. En viktig aspekt i valet mellan skatt och utsläppsrätter i praktiken är möjligheter och kostnader för att implementera politiken.

EU ETS har åren 2005-2007 en inkörningsperiod som demonstrerat en del nackdelar med systemet.

- Tilldelningen av kvoter blev alltför generös, vilket innebar att priserna på utsläppsrätter föll kraftigt (till under 1 euro per ton CO₂ sommaren 2007, ned från som högst drygt 30 euro). Priset för kommande handelsperiod ligger dock i skrivande stund (augusti 2007) betydligt högre (cirka 20 euro), vilket tyder på en förväntan att tilldelningen då bättre kommer att anpassas till det verkliga behovet.
- I inkörningsperioden delades utsläppsrätter ut i huvudsak gratis. Reglerna tillåter auktionering av upp till 5 procent av rättigheterna för perioden 2005–2007 och upp till 10 procent för perioden 2008–2012. Gratistilldelning kan begrundas av både politiska och ekonomiska skäl men innebär en förmögenhetsöverföring till de förorenande företagen och ett brott mot

principen att "förorenaren betalar". Gratis tilldelning kan göras på basen av historiska utsläpp eller riktmärken. En övergång till auktionering, helst på basen av en harmoniserad ansats i EU, bör eftersträvas. En viktig sak att observera är att valet av tilldelningsmetod (gratis eller auktionering) teoretiskt sett inte påverkar incitamenten att reducera utsläppen, eftersom det är alternativkostnaden som i det avseendet är avgörande. Alternativkostnaden utgörs av marknadspriset på utsläppsrätter, och det påverkas inte av tilldelningsmetoden. I praktiken kan gratis tilldelning baserat på historiska utsläpp ge felaktiga incitament att öka utsläppen, det vill säga att de som varit ambitiösa förlorar.

- Långsiktiga spelregler är viktiga så att rätt signaler styr teknikutveckling och investeringar. Efter de första och andra perioderna bör strävan vara att etablera långsiktiga förväntningar om ett sjunkande tak och om centrala element i systemets utformning (som tilldelning).

Det finns principiella fördelar med att bredda systemet till fler sektorer och fler länder (man får samma koldioxidpris över ett stort område). I praktiken är det dock inte så enkelt att utvidga systemet. Det är bland annat viktigt att villkoren för tillkommande länder eller regioner sätts på ett riktigt sätt. Om exempelvis nya länder får alltför generös tilldelning så kan detta innebära en orättfärdig förmögenhetsöverföring och felaktiga incitament för förorenande företag i det anslutande landet samt att prisbildningen snedvrids om utbudet av utsläppsrätter ökar på grund av över-tilldelning. Anslutning av länder utan ambitioner i klimatpolitiken kan försämra systemets funktion.

Handelssystem, liksom koldioxidskatt, har den goda egenskapen att ge incitament för teknikspridning och teknikutveckling. De sprider teknik genom att företagen har incitament att skaffa sig ny teknik som minskar utsläppen från växthusgaser så länge den nya tekniken medför kostnader som motsvaras av priset på utsläppsrätter. Företag som levererar utrustning som nedbringar utsläppen får långsiktiga incitament att utveckla ny, kostnads-effektiv teknologi. Det är dock så att ett handelssystem är mer effektivt för att *sprida* teknologi än för att *utveckla* teknologi.

Sverige bör verka för en fortsatt stark roll för EU i klimatpolitiken. Det innebär bland annat att förbättra EU ETS (det är viktigt att utsläppstaket sänks och att auktionering tillämpas).

Det är av stor vikt för EU:s trovärdighet att EU:s åtaganden om utsläppsreduktioner för 2008–2012 nås.

Liksom i den nationella klimatpolitiken bör marknadsbaserade instrument spela en huvudroll i EU:s klimatpolitik. En koldioxid-skatt kan spela en viktig roll utanför den handlande sektorn. (Idag har utöver Sverige endast Finland, Danmark och Nederländerna av EU:s medlemsstater en koldioxidskatt). Det är idag svårt att använda skatteinstrumentet som styrmedel eftersom det kräver enhällighet.⁵ Det kan övervägas att släppa enhällighetskravet för klimatrelaterade skatter.

8.4.3 Nationellt

En fråga i den nationella klimatpolitiken är om man ska göra mer och gå före andra. Det kan innebära nationella mål som är mer ambitiösa än vår del av det globala ansvaret (se kapitel 5). En annan tolkning skulle kunna vara att vi tar på oss starkare reduktionskrav än vad de flesta andra industriländer gör. Vad man lägger i begreppet ”gå före” har stor betydelse för huruvida man bör göra det.

Här diskuterar Rådet några argument för och emot att gå före i den nationella politiken.

Följande argument för att gå före kan anges:

- Sverige kan med trovärdighet vara vägledande i det internationella klimatsamarbetet. Med en egen ambitiös och effektfull klimatpolitik är Sverige i bättre position att vara pådrivande i internationella förhandlingar.
- Sverige kan tjäna som gott exempel för andra. Att Sverige, liksom ett fåtal andra länder, i handling har visat att det går att förena en ambitiös klimatpolitik med en god ekonomisk utveckling kan ge inspiration för andra länder att följa samma väg.
- En ambitiös klimatpolitik kan återspegla vad svenska folket efterfrågar. Enligt ekonomisk teori bör miljöpolitiska mål sättas med hänsyn till dels kostnaderna för rening, dels till betalnings-

⁵ En viss skatteharmonisering på energiområdet etableras genom Energiskattedirektivet (Rådets direktiv 2003/96/EG av 27.10.2003) som antogs efter flera års förhandlingar.

viljan hos dem som berörs. (Optimal utsläppsreduktion ges av marginalnyttan och marginalkostnaden). Det är möjligt att svenska folket önskar att betala den extra samhällsekonomiska kostnad som det extra ambitiösa klimatmålet innebär, och då bör Sverige gå före. Huruvida det är fallet har Rådet ingen uppfattning om.

- Ett annat argument är att man genom att börja minska utsläppen kan bygga upp industriverksamheter som kan generera arbetstillfällen och exportmöjligheter i framtiden när andra länder börjar vidta liknande åtgärder. Argumentet är en del av den s.k. Porterhypotesen som säger att en stringent miljöpolitik, rätt utformad, ger konkurrensfördelar.⁶

Man kan ange tre skäl att inte gå före:

- För det första finns det analyser som visar att hårdare utsläppskrav leder till extra samhällsekonomiska kostnader (se kap. 7).
- För det andra kan inte Sverige påverka de globala utsläppen märkbart eftersom de svenska utsläppen utgör en så liten andel. Det spelar ingen roll med en extra reduktion – inte ens om de svenska utsläppen helt upphörde skulle det spela någon roll.
- För det tredje finns en risk för ”läckage” av miljöförstörande verksamhet, det vill säga att produktion med höga utsläpp kommer att utföras i länder med en mindre stringent politik. I så fall kan miljöeffekten neutraliseras eller bli negativ. Denna typ av effekt kan dock motverkas genom att styrmedel utformas med hänsyn till risken för geografisk omlokalisering av produktion.

Sammantaget finns det skäl både att gå före och att inte göra det. Det är rimligt att Sverige tar på sig sin del av det globala ansvaret för att nå tvågradersmålet. Frågan om huruvida Sverige ska ta på sig ett mer ambitiöst nationellt mål är komplex och handlar i slutänden om politiska överväganden.

⁶ Efter den amerikanske ekonomen Michael Porter (se Porter & van der Linde, 1995). Porterhypotesen är dock omtvistad, se Palmer m.fl. (1995).

8.5 Rådets slutsatser

Rådet anser

- att klimatfrågan måste lösas i internationell samverkan
- att styrmedlen för att minska utsläppen av växthusgaser helst bör vara breda, internationellt samordnade, likformiga och teknikneutrala, men att avsteg från denna princip ibland är motiverade
- att det är grundläggande att sätta ett pris på utsläppen av växthusgaser med sikte på att nå antagna klimatmål
- att de ekonomiska styrmedlen koldioxidskatt och handel med utsläppsrätter är viktiga och kraftfulla styrmedel om de är rätt utformade
- att ekonomiska styrmedel behöver kompletteras med andra styrmedel som utbildning, information och lagstiftning
- att det är viktigt att Sverige arbetar aktivt inom EU med att förbättra EU:s system för handel med utsläppsrätter. Det är viktigt att utsläppstaket sänks och att auktionering tillämpas.
- att ny teknologi är mycket viktig för att kunna lösa klimatfrågan. Här krävs forskning och utveckling och politik som skapar marknader för kommersialisering av dessa teknologier.
- att Sverige bör verka internationellt för att subventioner till såväl utvinning som användning av fossila bränslen avvecklas.

Bilagor till kapitel 1

Bilaga 1.1 Promemoria, 21 december 2006, med uppdraget

Regeringen samlar näringsliv, forskning och politik för klimatet (Pressbakgrund till pressmeddelande 061221)

Klimatförändringarna berör och ställer krav på oss alla. Den snabba ökningen av halten växthusgaser behöver dämpas och stabiliseras på den nivå som inte ger skadliga effekter på människor och natur.

Regeringen har högt ställda ambitioner för klimatarbetet. Vi vill att Sverige ska ta ledningen både vad gäller det vi gör här hemma och internationellt. Vår målsättning är att Sverige ska vara en ledande förebild för ett modernt samhälle, som är miljöanpassat, byggt på förnybara resurser, där en tillväxtvänlig politik kan bedrivas i samklang med jordens klimatvillkor.

Sverige har gjort en kraftfull omställning från olja till bl.a. bio-bränslen och minskat sina utsläpp av växthusgaser med över 40 procent sedan 1970-talet. Mellan 1990 och 2005 har utsläppen minskat med drygt sju procent. Detta har skett samtidigt som tillväxten har ökat med 36 procent sedan 1990.

Att genomföra fortsatt stora utsläppsminskningar är nödvändigt, men utifrån den omställning som redan har gjorts, blir uppgiften en allt större utmaning. Det står också klart att de flesta svar på klimatutmaningarna inte står att finna nationellt, utan kräver en målmedveten politik som sträcker sig även utanför Sveriges gränser och en fördjupad internationell samverkan.

För fortsatt omställning krävs att olika aktörer inom politik, näringsliv och vetenskap, i långt högre grad än i dag, engageras och samlas för de viktiga uppgifter som ligger framför oss. Regeringen vänder sig därför till hela det svenska samhället, till varje samhällssektor, med en inbjudan till arbete med den förändring som nu förestår.

- Utsläppsminskningar måste kombineras med offensiv utveckling som mobiliserar näringslivet i forskning, innovationer, teknikutveckling, snabb teknikintroduktion och export-satsningar.

- Klimatpolitiska mål behöver bygga på kvalificerade underlag från vetenskap och ledande experter, och inte vara ett resultat av politisk budgivning.
- Handlingsplaner och åtgärder behöver byggas utifrån en bred förståelse för den stora utmaning vi står inför. Spelregler för näringslivet behöver vara långsiktiga och tydliga. Den klimatpolitiska utmaningen behöver diskuteras i bred politisk anda.

I samband med riksdagens klimatpolitiska debatt presenterades grunderna för regeringens klimatpolitiska arbete. Regeringen tar nu tre initiativ till en breddad och fördjupad samverkan mellan näringsliv, forskning och politik:

- Kommission för hållbar utveckling
- Vetenskapligt råd för klimatfrågor
- Parlamentarisk beredning

Med dessa initiativ vill regeringen öppna för en fördjupad analys av utmaningar och möjligheter inom klimatområdet, vilka ska kunna läggas till grund för slutsatser, mål och konkreta åtgärder.

Initiativen kommer bl.a. att utmynna i den klimatpolitiska proposition som regeringen avser att lämna 2008. De olika initiativen ska även möjliggöra för Sverige att ta en ledande roll i de internationella förhandlingar om en ny klimatordning som behöver komma till stånd under Sveriges ordförandeskap i EU 2009.

Kommission för hållbar utveckling

Regeringen inrättar en Kommission för hållbar utveckling. Den höjda klimatpolitiska ambitionen kräver fördjupad och utvecklad samverkan mellan näringsliv, politik och forskning. Kommissionens arbete kommer att vara avgörande för omställningen i det svenska samhället.

Kommissionen ska med utgångspunkt från hållbar utveckling, främja arbete över sektorsgränser, anlägga ett internationellt perspektiv och se till såväl ekologiska, sociala och ekonomiska aspekter.

Klimatförändringarna ska stå i fokus för kommissionens arbete. Kommissionen tar särskilt sikte på ordförandeåret i EU 2009. Kommissionen ska se över hur effektiviseringar och

moderniseringar av organisation, regelverk och styrmedel kan underlätta arbetet för en hållbar utveckling och miljödriven tillväxt.

Statsminister Fredrik Reinfeldt är ordförande i kommissionen, miljöminister Andreas Carlgren vice ordförande. Kommissionen ska i övrigt ha en bred sammansättning med ledamöter från näringsliv, fristående organisationer, forskning, myndigheter och politik.

Inom ramen för kommissionens arbete ska regeringen även bjuda in till överläggningar om näringslivsutveckling, teknikutveckling m.m. utifrån såväl internationella som nationella perspektiv. Olika ministrar blir delaktiga i kommissionens arbete beroende på fråga.

Regeringen fattar beslut om tidsplan, arbetssätt och organisation våren 2007.

Klimatseminarium 7 mars

Den 7 mars 2007 inleds kommissionens arbete med ett seminarium som regeringen arrangerar tillsammans med Klimat- och sårbarhetsutredningen. FN:s vetenskapliga klimatpanel presenterar då de senaste uppgifterna om vetenskapliga bakgrunden till klimatproblemet.

Vetenskapligt råd för klimatfrågor

Regeringen inrättar ett vetenskapligt råd för klimatfrågor. Rådet kommer att ha en huvudroll att bidra med vetenskapliga bedömningar till den klimatpolitiska propositionen 2008.

En viktig uppgift blir att ge vetenskapligt underlag och rekommendationer för EU:s och Sveriges framtida åtaganden. Rådets rekommendationer bör i första hand gälla vilket eller vilka mål som bör gälla för den svenska klimatpolitiken, både nationellt och internationellt.

Uppgiften är att:

- samla in, bearbeta och sammanställa tvärvetenskaplig information på klimatområdet,
- ge plats för olika uppfattningar och diskutera målkonflikter,
- ge en bild av det internationella klimatarbetet samt

- ge ett aktuellt och balanserat underlag för den svenska klimatpolitiken.

Verksamheten kan komma igång snabbt, då Miljövårdsberedningen som i dag finns omformas till det vetenskapliga rådet.

Ordförande i det Vetenskapliga rådet för klimatfrågor blir Lisa Sennerby Forsse, professor och rektor vid Sveriges Lantbruksuniversitet. Övriga ledamöter med specifik kompetens i klimatfrågor har utsetts (se bilaga).

Avsikten är att rådet sommaren 2007 ger rekommendationer till nya mål för klimatpolitiken.

Parlamentarisk beredning för klimatfrågan

Samtliga riksdagspartier inbjuds att delta i en parlamentarisk beredning vars huvuduppgift blir att utgöra beredning för den klimatpolitiska propositionen. Kommittédirektiv och ordförande i beredningen presenteras under början av 2007. Regeringen eftersträvar att få till stånd en bred politisk uppslutning för Sveriges klimatpolitiska insatser.

Naturvårdsverket och Statens Energimyndighet har ett gemensamt regeringsuppdrag att utarbeta underlag inför utvärderingen av klimatpolitiken. Delar av detta underlag levereras våren 2007 och blir en viktig del i beredningens startskede.

Beredningen kommer tidigt att ha tillgång till den senaste utvärderingsrapporten från FN:s internationella klimatpanel och annat internationellt material för bedömning av de svenska insatserna.

Ett ytterligare viktigt underlag blir Vetenskapliga rådets rekommendationer, som kommer överlämnas till den parlamentariska beredningen.

Bilaga 1.2 FN:s klimatpanel IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

Resultat från internationell klimatforskning sammanfattas regelbundet av FN:s klimatpanel, IPCC. I IPCC:s rapporter beskrivs vad vi känner till om klimatförändringarna och de bakomliggande orsakerna, konsekvenserna av klimatförändringarna och möjliga åtgärder för att begränsa klimatförändringarna och deras konsekvenser. IPCC etablerades i slutet av 1980-talet inom ramen för FN-systemet (WMO, Meteorologiska världsorganisationen och UNEP, FN:s miljöprogram var initiativtagare) och har hittills arbetat fram fyra omfattande utvärderingsrapporter. Syftet med rapporterna är att ge en samlad bild av klimatforskningen och att förmedla denna bild till politiker och samhället i stort. I rapporterna görs en djupgående sammanställning av den internationella forskningsfronten inom klimatområdet. Utgångspunkten är publicerade vetenskapliga artiklar i den internationella litteraturen. Rapporterna diskuterar dels vad vi med stor säkerhet vet om klimatsystemet och dels var kunskapsluckorna finns och inom vilka områden en vetenskaplig diskussion pågår där olika åsikter och uppfattningar ställs emot varandra. Vetenskapen drivs framåt genom att redan publicerade artiklar ifrågasätts och nya tolkningar av tidigare presenterade samband förs fram. Denna process hindrar inte att vissa delar av vår kunskap om klimatsystemet är väl etablerad och att man därför med stor säkerhet kan slå fast orsakssammanhang och möjliga framtida klimatutvecklingar.

Den senaste IPCC-rapporten, den fjärde, publiceras successivt under år 2007 genom fyra delrapporter. Tre av delrapporterna har utarbetats av arbetsgrupper och den fjärde är en syntesrapport av de tre övriga. Den första delrapporten, utarbetad av arbetsgrupp ett (WG1), behandlar den fysiska delen av klimatsystemet och utgår främst från naturvetenskapliga discipliner såsom meteorologi, oceanografi och naturgeografi. Den andra arbetsgruppen (WG2) diskuterar klimatförändringarnas effekter på ekosystem och samhälle samt sårbarhet och anpassningsåtgärder. Denna arbetsgrupp får underlag från bland annat biologer, hydrologer, medicinare och samhällsvetare. I den tredje arbetsgruppen (WG3) diskuteras möjligheter att begränsa växthusgasutsläpp och vilka andra åtgärder som kan vidtas för att begränsa människans inverkan på klimatet.

Det är bland andra ingenjörer, ekonomer och andra samhällsvetare som bidrar till WG3.

De tre olika grupperna arbetar parallellt, men materialet som sammanställs i WG1 är givetvis också mycket relevant som underlag inom WG2 och WG3. Inom IPCC bedrivs ingen egen forskning; klimatpanelens uppdrag är att sammanfatta de forskningsresultat som publicerats under de senaste åren. Med den genomslagskraft som IPCC har och har haft sker dock en viss samordning av den internationella klimatforskningen så att resultaten blir så jämförbara som möjligt. Inom IPCC har till exempel ett antal scenarier för framtida utsläpp av växthusgaser tagits fram och många av de klimatmodellexperiment som utförs använder sig av dessa utsläppsscenarier. Det gör att olika modellresultat blir jämförbara och att osäkerhetsuppskattningar kan göras på ett konsekvent sätt. Arbetet kring utveckling av klimatmodeller är emellertid inte samordnat; här har det internationella vetenskapssamhället full frihet att koncentrera sina insatser på de delar av klimatsystemet som man finner mest angelägna. Olika klimatmodeller har därför utvecklats utifrån olika utgångspunkter och spridningen i resultaten ger, baserat på dagens kunskapsläge, en uppskattning av osäkerheten som beror på ofullständigheter i kunskapen om de processer som bestämmer klimatsystemets känslighet för ändringar i växthusgaskoncentrationerna.

När en ny rapport skall tas fram bestäms först vilka personer som får huvudansvaret för respektive arbetsgrupper. Detta beslut tas av IPCC:s styrande råd (panelen), som består av representanter från länder som är medlemmar av de ovan nämnda FN-organisationerna WMO och/eller UNEP. I förberedelsearbetet ingår också möten och konferenser där aktuella klimatfrågeställningar behandlas och där det internationella forskarsamhället ges tillfälle att diskutera och presentera olika synpunkter.

Ledarna för arbetsgrupperna har ansvar för att en rapport tas fram inom en given tidsram. För detta arbete engageras en större grupp medförfattare som väljs ut efter konsultationer med de myndigheter i olika länder som är nationellt ansvariga för IPCC arbetet. Här eftersträvas både att få med erfarna och väletablerade klimatforskare och att engagera yngre forskare samt forskare från länder som traditionellt inte har en framträdande internationell forskningsprofil inom klimatområdet. Detta gäller särskilt utvecklingsländer som inte har resurser för att bedriva en omfattande klimatforskning men där enskilda forskare uppmanas att delta.

Samtidigt som författargrupperna etableras utses också särskilda granskare till varje delkapitel i rapporterna. Dessa granskare är väl etablerade experter och/eller internationellt respekterade forskare.

Författargrupperna arbetar fram två på varandra följande rapportutkast som sänds runt i den del av forskarsamhället som berörs av frågeställningarna för en första granskning ("peer review"). Både de särskilt utsedda granskarna och ett stort antal av de övriga forskarna deltar i granskningsprocessen. Därefter arbetas ett tredje utkast fram som genomgår en ny granskning inom en bredare krets av forskare och myndigheter med specialistkunskap. Ett mycket viktigt krav är att granskningsprocessen dokumenteras och finns tillgänglig för alla. Alla inskickade kommentarer skall skriftligen besvaras av respektive kapitelförfattare; antingen beskrivs hur författaren tagit hänsyn till kommentaren i texten eller varför författaren valt att bortse från kommentaren.

Huvudförfattarna ("lead authors") och arbetsgruppsledarna ("convening lead authors", CLA) har ansvar för granskningsprocessen på liknande sätt som en redaktör för en vetenskaplig tidskrift. Efter den tredje granskningen slutförs huvudtexten till rapporterna; varje del omfattar normalt drygt tusen sidor. Samtidigt tas också en sammanfattande text fram för beslutsfattare (Summary for Policymakers). Även sammanfattningen genomgår en granskningsprocess. Sammanfattningarna för beslutsfattare skall inte vara mer än ca 30 sidor långa och de genomgår ytterligare en granskningsrunda innan de slutligen fastställs vid en konferens där alla medlemsländer i FN-organisationerna WMO och/eller UNEP inbjuds att delta med forskare och myndighetsexperter. Även representanter från andra FN-organ liksom NGOs (Non-Governmental Organisations, till exempel industriella branschorganisationer och miljöorganisationer) inbjuds att delta som observatörer. Deltagandet från myndigheterna gör att politiker och beslutsfattare tar processen på allvar, deltagandet från forskarsamhället garanterar den vetenskapliga kvalitén och trovärdigheten. Diskussionerna vid dessa möten kan bli både långvariga och detaljerade, det gäller att precis hitta de uttryck och ordvändningar som på ett korrekt sätt sammanfattar det vetenskapliga underlagsmaterialet. Efter respektive möten inom de tre arbetsgrupperna ändras inte innehållet i sammanfattningarna.

Innehållet i huvudrapporten ifrågasätts inte vid dessa möten, detta har ju redan granskats av det internationella forskarsamhället. Grunden för trovärdigheten är dels att utgångspunkten är

internationellt granskade forskningsartiklar och dels att själva IPCC rapporterna genomgår en både omfattande och högkvalitativ granskningsprocess.

Bilagor till kapitel 2

Bilaga 2.1 Beskrivning av sannolikhet

Med sannolikhet avses en utvärdering av att ett specifikt utfall har skett eller kommer att äga rum i framtiden. Sannolikhetsutvärderingen baseras antingen på kvantitativ analys eller på expertbedömningar. Rådet använder följande termer vid utvärderingen av specifika utfalls sannolikhet, i linje med IPCC (2007a):

Term	Sannolikhet för att utfallet gäller
Praktiskt taget säkert	> 99 % sannolikhet
Mycket sannolikt	90–99 %
Sannolikt	66–90 %
Lika sannolikt som inte	33–66 %
Osannolikt	10–33 %
Mycket osannolikt	1–10 %
Ytterst osannolikt	< 1 %

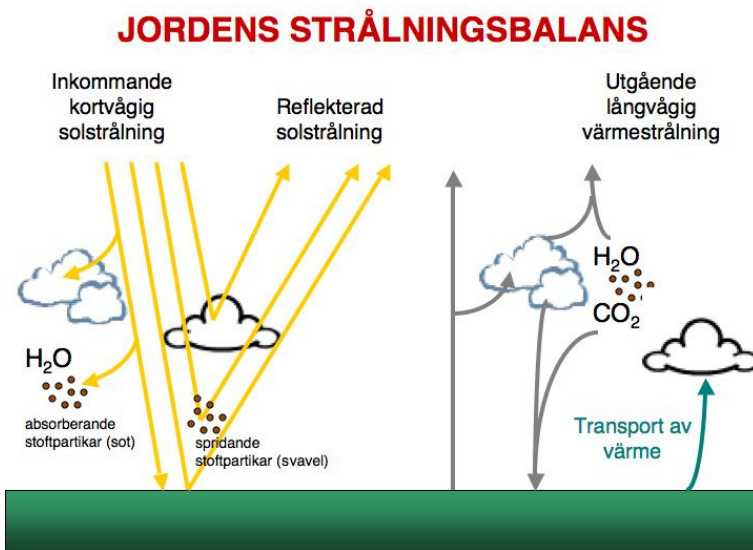
Bilaga 2.2 Klimatsystemet

Klimatsystemets funktion och naturliga variabilitet

Atmosfären ligger som ett tunt skyddande gasskikt kring jorden. Solinstrålningen som efter reflektion eller absorption tränger igenom atmosfären värmer upp jordens yta. Jordytan skickar i sin tur värmestrålning upp mot världsrymden vilken till stor del absorberas av atmosfärens innehåll av strålningsaktiva gaser, s.k. växthusgaser, och moln (se figur B2.1). Därvid värms atmosfären upp och skickar värmestrålning både ner mot jordytan och ut mot världsrymden. Den nedåtriktade värmestrålningen värmer upp jordytan ytterligare och den får därmed en mycket högre temperatur än den skulle ha haft utan en skyddande atmosfär. Denna uppvärmning uppgår till drygt 30°C och kallas för växthuseffekten. Den naturliga växthuseffekten är en förutsättning för liv på jorden.

De viktigaste naturligt förekommande växthusgaserna är vattenånga, koldioxid, metan, dikväveoxid (lustgas) och ozon. Den avgjort största delen av den *naturliga* växthuseffekten beror på vattenånga och molnen, närmast kommer koldioxiden. Både vattenånga och koldioxid finns endast i små mängder i atmosfären. Vattenånga är knappt en procent av atmosfärens totala massa medan koldioxiden endast utgör 0,04 procent av den totala massan. Trots de små mängderna är dessa gaser avgörande för växthuseffekten. Syrgas och kvävgas, som tillsammans utgör 99 procent av atmosfärens massa, påverkar inte växthuseffekten.

Figur B2.1 Jordens strålningsbalans



Anmärkning: Figuren illustrerar hur omkring hälften av den inkommande kortvågiga solstrålningen absorberas vid jordens yta och värmer jorden. Resten reflekteras tillbaka till rymden eller absorberas i atmosfären. Värmestrålningen från jordens yta fångas upp av växthusgaserna i atmosfären. Atmosfären i sin tur skickar värmestrålning både ner mot jorden och ut mot världsrymden. Den nedåtriktade värmestrålningen värmer upp jorden ytterligare. Detta kallas växthuseffekten. Växthuseffekten bestäms i huvudsak av vattenånga (H_2O), koldioxid (CO_2) och moln. Moln och partiklar påverkar reflektionen av den inkommande solstrålningen. Sotpartiklar absorberar solinstrålning och värmer atmosfären. Atmosfären värms också upp genom värmetransport från jorden. Temperaturen vid jorden kan därmed påverkas av förändringar av atmosfärens innehåll av växthusgaser och stoftpartiklar, förändringar i markytans beskaffenhet samt ändrad solinstrålning.

Molnen påverkar både hur stor del av solinstrålningen som reflekteras tillbaka mot världsrymden samt bidrar till växthuseffekten. Molnens form, innehåll av vattendroppar och iskristaller samt fördelning i höjddel bestämmer om reflektion av solstrålning och bidraget till växthuseffekten tillsammans ger en avkylning eller uppvärmning vid jorden. En avkylande effekt på jorden har även förekomsten av luftburna stoftpartiklar vilka direkt kan sprida inkommande solinstrålning tillbaka till världsrymden. Beroende av kemisk sammansättning kan stoftpartiklar som innehåller absorberande ämnen, till exempel sot, även värma luften.

Atmosfären värms också upp från jordytan genom direkt värmeöverföring och genom värme som frigörs när moln bildas av att vattenånga övergår till små vattendroppar och iskristaller. Uppvärmningen i samband med molnbildning är till exempel särskilt kraftig i tropikerna där stora mängder vattenånga finns tillgänglig för molnbildning. I tropikerna finns därför ett värmeöverskott som direkt hör ihop med den kraftiga solinstrålningen. I närheten av polerna, där solinstrålningen är mycket svagare, har vi istället ett värmeunderskott. Skillnaden i uppvärmning mellan tropikerna och högre breddgrader kompenseras genom atmosfärens och havens värmetransport som bestäms av vindar och havsströmmar (cirkulationsmönster).

Klimatet vid jordytan bestäms därför av ett komplext samspel mellan solinstrålning, värmeutstrålning och transport av värme. I stora drag bestäms klimatet på en viss plats av latituden; ju längre norr eller söder om ekvatorn man är desto kallare blir det. I Norden har vi dock ett mycket varmare klimat än på andra platser som befinner sig på samma breddgrad, till exempel Alaska eller Sibirien. Detta beror dels på Golfströmmen, en varm havsström som transporterar värme från tropiska delar av Atlanten norrut, och dels på en allmän sydvästströmning i atmosfären som också transporterar varm luft från subtropiska områden norrut. Atmosfärens och havens cirkulation har därför ett avgörande inflytande över det regionala klimatet som kraftigt kan avvika från medelklimatet på en viss breddgrad.

Om vi ändrar atmosfärens innehåll av växthusgaser och stoftpartiklar får vi en direkt effekt på jordytans klimat. En ökning av koldioxidkoncentrationen ger en ökad värmestrålning mot jordytan och därmed en uppvärmning. Samtidigt påverkas också atmosfärens innehåll av vattenånga; vid en uppvärmning ökar avdunstningen och varmare luft kan innehålla mer vattenånga. Denna naturliga återkoppling förstärker därför uppvärmningen vid jordytan. Samtidigt påverkas också molnigheten (se bilaga 2.3), atmosfärens och havens cirkulation. Cirkulationen drivs ju primärt av skillnader i uppvärmning. Ändras värmebalansen påverkar detta också cirkulationen. Ett ändrat cirkulationsmönster i vissa regioner kan ge en förstärkning eller försvagning av uppvärmningen. Hur kraftig denna återkoppling är bestäms av det intrikata samspelet mellan värmebalansen och cirkulationen.

Klimatmodellering och kända osäkerhetsfaktorer

För att bestämma den totala klimateffekten av en viss ändring i atmosfärens sammansättning av strålningsaktiva gaser, stoftpartiklar och moln används fysikens grundläggande lagar på klimatsystemets olika komponenter. De fysikaliska lagarna kan formuleras som matematiska samband vilka utnyttjas för att kvantitativt bestämma klimatets ändring. Klimatsystemets komplexitet nödvändiggör, trots de förenklingar som ingår i klimatmodellerna, mycket omfattande beräkningsmodeller som kräver kraftfulla datorer.

Med hjälp av klimatmodeller kan vi beräkna effekten av föreskrivna ändringar i ovan exemplifierade parametrar, i jämförelse med de naturliga faktorer som påverkar klimatet. Detta kan utnyttjas både för att förstå hur stor del av en redan inträffad uppvärmning som till exempel kan bero på en ökad växthuseffekt och hur stor uppvärmningen kan bli i framtiden.

Naturliga ändringar i solens styrka påverkar klimatet, likaså kan kraftiga vulkanutbrott påverka det globala klimatet genom att stoftpartiklar från vulkanerna hindrar solens strålar att nå jordytan. Även naturliga svängningar i atmosfärens och havens cirkulationsmönster påverkar klimatet vid jordytan, till exempel de storskaliga temperatursvängningarna i Stilla Havsområdet som kallas för El Niño. Under s.k. El Niño-år överförs stora mängder värme från havet till atmosfären vilket leder till en uppvärmning. Dessutom påverkas cirkulationsmönstren och därmed även nederbörd och torka över stora områden. Efter en El Niño läggs cirkulationen om igen; värmeinnehållet återförs till havet och temperaturen i atmosfären sjunker. Det finns många andra exempel på liknande naturliga svängningar som starkt påverkar klimatet i olika regioner under kortare eller längre tidsperioder. Vissa svängningar är så kraftiga och så utbredda att de har ett märkbart inflytande på den globala medeltemperaturen.

En ändrad växthuseffekt kan både påverka den globala medeltemperaturen och regionala klimatvariationer. Effekten på den globala medeltemperaturen är den tydligaste signalen. Regionala effekter är mer osäkra eftersom de så starkt påverkas av ändringar i atmosfärens och havens cirkulationsmönster.

I dagens klimatmodeller är molnen den största osäkerhetsfaktorn. Både brister i den modellerade geografiska fördelningen av molnigheten och molnens totala bidrag till solinstrålning som når

marken, värmeutstrålning och värmetransport bidrar till osäkerheten. Dels är molnens bildning och upplösning starkt knuten till svaga vertikallrörelser i atmosfären, som i sin tur är knutna till små variationer i de storskaliga, horisontella rörelsemönstren. Dels kan små fel i de horisontella vindarna leda till stora relativa fel i vertikallrörelserna. Den andra stora osäkerheten beror av molnens vithet eller reflektionsförmåga och deras värmestrålningsegenskaper. Molndroppars storleksfördelning och moln-is-kristallers strukturer spelar härvid en mycket stor roll.

Olika klimatmodeller skiljer sig framförallt åt i beskrivningen av processer som reglerar molnigheten. Det har visat sig att stora delar av de osäkerhetsintervall som anges i IPCC:s klimat-scenarioreultat direkt kan hänföras till olika modellers beskrivning av molnens egenskaper. Osäkerheten i molnighetsbeskrivningen är dock ganska väl fångad genom att resultat från olika klimatmodeller jämförs med varandra.

Bilaga 2.3 Klimatpåverkande gaser och stoftpartiklar i förändring – ett verk av människan

Koldioxid

Koldioxid är en viktig växthusgas och släpps ut främst vid förbränning av fossila bränslen som kol, olja och naturgas. Den resterande delen utgörs av avverkning och bränder i skogsområden, framförallt tropiska skogar, och utsläpp från cementproduktion. Koldioxidkoncentrationen i atmosfären har ökat med drygt 35 procent sedan industrialismens genombrott i mitten av 1700-talet (från runt 280 ppmv år 1850 till 379 ppmv år 2005). Dagens koldioxidnivå är unik ur ett långt perspektiv och är sannolikt det högsta värdet på åtminstone 650 000 år, vilket motsvarar sex istidsperioder.

Metan och dikväveoxid

Sammantaget utgör metan och dikväveoxid (lustgas), efter koldioxid, de mest betydelsefulla antropogena växthusgaserna. Dessa gaser är starkt kopplade till befolknings- resp. välfärdsökningen, på grund av livsstilsmönster som ger förändrad markanvändning. För 25 år sedan överskreds för första gången de naturliga utsläppen av metan från våtmarker av antropogena utsläpp från utsläppen från risodlingar, boskaps- och sophantering, läckande gasledningar etc. Metannivåerna är idag 150 procent högre än för 250 år sedan, ökningstakten har dock avtagit sedan början av 1990-talet. Forskar-samhället har ingen entydig förklaring till detta. Dikväveoxid har ökat med 16 procent under motsvarande tidsperiod. Dikväveoxid-utsläppen från gödslingen av åkermark är idag lika stora som de naturliga utsläppen från världens hav.

Marknära ozon

En substantiell ökning av marknära/ troposfäriskt ozon kopplat till utsläpp av ozonbildande ämnen (kväveoxider, koloxid och kolväten) har ägt rum sedan industrialismens genombrott. Mest framträdande är ozonbildningen över starkt förorenade områden. De ökade utsläppen av de ozonbildande gaserna är orsakade av en ökad användning av fossila bränslen, förbränning av biomassa och

ett jordbruk med högre utväxling. En uppskattning av ozons strålningsdrivning baseras på fotokemiska modellberäkningar då de förindustriella nivåerna inte kan fastställas med tillräcklig noggrannhet.

Halokarboner

Halokarboner är ett samlingsnamn för alla organiska ämnen som innehåller halogener och omfattar freoner eller klor-fluor-karboner (till exempel CFC-11 och CFC-12), hydroklorfluorkarboner, hydrofluorkarboner, haloner samt perhalokarboner. Några av de mest kortlivade, perhalokarbonen koltetraklorid, och CFC-11, har påvisat sjunkande nivåer (med till exempel ca 2 procent per år för CFC-11) sedan mitten av 1990-talet. Att inte nivåerna i atmosfären har minskat mer, de stora utsläppsminskningarna till trots, förklaras av att dessa föreningar är mycket svåra att bryta ned i atmosfären med långa livslängder som följd. CFC-12 är ytterligare än mycket strålningsaktiv freon som nu nått ett jämviktsläge i atmosfären (dvs. utsläpp=sänkor). Dess långa livstid om 100 år medför en minskning om 1 procent per år även då utsläppen upphört.

I kraft av Montrealprotokollet har de ozonnedbrytande halokarbonerna ersatts av föreningar som inte alls påverkar ozonskiktet. Dessa förekommer nu i stigande koncentrationer i atmosfären och är oftast potenta växthusgaser.

Stratosfäriskt ozon

I stratosfären, i ett skikt mellan ca 10 till 30 km, är växthusgasen ozon betydligt mer förekommande än i marknära luftlager. Ozonförtunningen till följd av tidigare utsläpp av halokarboner har på dessa höjder bidragit till att lufttemperaturen avtagit. Färre ozonmolekyler kan absorbera utgående värmestrålning (se bilaga 2.2) vilket bidrar till att reducera det stratosfäriska ozonets växthuseffekt och ger vid handen en svag negativ strålningsdrivning om -0,05 Watt per kvadratmeter, som ger en avkylningseffekt.

Förekomsten av strålningsaktiva halokarboner i stratosfären kommer å andra sidan att mycket effektivt absorbera utgående värmestrålning. Denna förstärkta växthuseffekt beräknas till ca 0,34

Watt per kvadratmeter i troposfären och uppväger med stor marginal den avkylning som ozonförtunningen orsakat.

Stoftpartiklar

Samtidigt som kol- och oljeförbränning har förstärkt växthuseffekten har mängden stoftpartiklar (luftburna aerosolpartiklar) ökat. Exempel på det sistnämnda är partiklar som skapas i atmosfären från utsläpp av svaveldioxid. Utsläpp av sotpartiklar är ett annat exempel. Den ökande stoftpartikelkoncentrationen verkar främst (både direkt och indirekt via bildning av moln) avkylande på jordytans temperatur då den hindrar solens strålar att värma marken.

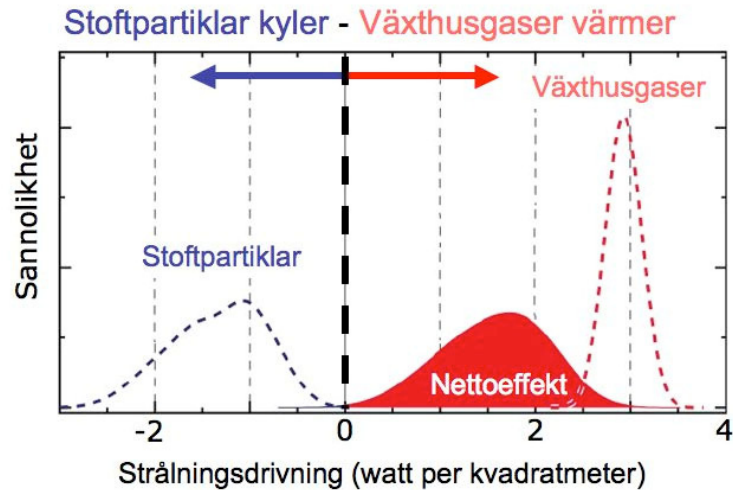
Moln består av miljarder vattendroppar. I varje droppe finns en mycket liten stoftpartikel, en kondensationskärna som är cirka en tusendels millimeter i diameter. Utan kondensationskärnor skulle luftens vattenånga inte kunna kondenseras till vattendroppar och bilda moln. Ökar antalet kondensationskärnor (stoftpartiklar) i atmosfären så måste fler partiklar dela på samma mängd vatten. Det bildas då fler men mindre molndroppar (vitare moln med längre livslängd) och följden blir att mer solljus reflekteras tillbaka till rymden istället för att värma marken. För samma mängd vatten är alltså de rena molnen mindre vita.

Det är inte bara antalet tillgängliga partiklar som bestämmer molnens optiska egenskaper eller "vithet". Vad stoftpartiklarna består av kemiskt är dessutom viktigt. Består de bara av sot, kommer vattenången ha svårt att fästa och inga molndroppar bildas. Om partikelpopulationen istället domineras av vattenlösliga svavelinnehållande ämnen som sulfat så tas vatten upp effektivt. Att partikelpopulationen skulle bestå av enbart sot eller att partiklarna skulle vara för få till antalet till exempel i områden med liten antropogen påverkan är inte sannolikt. Tillgången på partiklar är således i allmänhet inte en begränsande faktor för att moln ska bildas, dock påverkar det relativa antalet partiklar och deras kemiska sammansättning molnens vithet eller reflektionsförmåga av solinstrålningen.

Det finns idag en förbättrad precision kring bestämningen av stoftpartiklarnas klimatinflytande jämfört med tidigare IPCC-rapporter, men det kvarstår fortfarande betydande osäkerheter som kopplar till bristande förståelse av de inblandade processerna. Det

gäller särskilt stoftpartiklarnas påverkan på molnens reflektionsförmåga. Överhuvudtaget är molnbeskrivning den största källan till osäkerhet i dagens klimatmodeller (se bilaga 2.2).

Figur B2.2 Sannolikhetsfördelning av strålningsdrivningsändringen dels från växthusgaserna och dels orsakad av stoftpartiklar och ändringar i molnens vithet (reflektionsförmåga)



Källa: Figuren är omarbetad från IPCC (2007a).

Anmärkning: I sannolikhetsfördelningen av den samlade påverkan, nettoeffekten, tas även hänsyn till de mindre bidragen från markreflektion (albedo), kondensationsstrimmor från flygplan samt förändringen av vattenånga i stratosfären.

Illustrationen i figur B2.2 visar att den samlade påverkan av stigande växthusgas- och stoftpartikelkoncentrationer från år 1750 fram till år 2005 ger en uppvärmning vid markytan, även när man räknar in den kylande effekt om ca 1,2 Watt per kvadratmeter som antropogena utsläpp av stoftpartiklar har lett till. Uppvärmningen kan uttryckas som en ökad strålningsdrivning vid markytan och den uppgår till 1,6 Watt per kvadratmeter.

Bilaga 2.4 Klimatkänslighet

Klimatkänsligheten definieras som *den temperaturökning vid jämvikt som erhålls till följd av en fördubbling av koldioxidkoncentrationen jämfört med förindustriella koncentrationen*. Klimatkänslighet är ett sätt att uttrycka hur stor temperaturökningen beräknas bli till följd av ökade utsläpp av växthusgaser. Klimatkänsligheten bestäms med hjälp av mer eller mindre idealiserade modellsimuleringar. Resultaten stöds även av studierna baserade på observerade klimatsvängningar, inklusive paleoklimatologiska data.

IPCC har tidigare bedömt att klimatkänsligheten för en fördubbling av den förindustriella halten av växthusgaser ligger inom intervallet 1,5–4,5°C. De senaste årens forskning tyder dock på att klimatsystemet är något känsligare än så. Klimatkänsligheten anses nu sannolikt ligga inom intervallet 2–4,5°C, med det troligaste värdet kring 3°C. IPCC bedömer att det är mycket osannolikt att klimatkänsligheten skulle vara mindre än 1,5°C. Vidare utesluts inte att den kan vara högre än 4,5°C.¹

Klimatkänsligheten spelar en viktig roll för de förenklade beräkningar av temperaturändringar som görs i samband med ekonomiskt baserade modeller för olika utsläppsscenarier. Detta förekommer framförallt i del 3 av den senaste IPCC-rapporten. I de temperaturscenarier som diskuteras i del 1 har fullständiga cirkulationsmodeller för klimatsystemet använts och där är klimatkänsligheten ett resultat av beräkningarna snarare än en föreskriven parameter. Fullständiga klimatmodeller är emellertid mycket resurskrävande, både i termer av datorkraft och specialiserade forskningsinstitut. Därför utnyttjas klimatkänslighetsparametern när beräkningar för en stor mängd olika utsläppsscenarier utförs.

Med hjälp av kunskap om klimatkänsligheten kan relationen mellan stabiliseringsnivåer för koncentrationen växthusgaser i atmosfären och långsiktig global uppvärmning kvantifieras (se tabell B2.1). Notera att global medeltemperatur vid jämvikt inte är densamma som global medeltemperatur år 2100. På grund av klimatsystemets inneboende trögheter inträffar jämviktstemperaturen flera århundraden efter att koncentrationen växthusgaser stabiliserats.

¹ IPCC (2007a). Det har dock hävdats att det av statistiska skäl inte går att kvantifiera sannolikheten för den övre gränsen för klimatkänslighet. Se bl.a. Allen m.fl. (2006).

Tabell B2.1 Projektion av temperaturökning vid jämvikt relativt förindustriell nivå för olika nivåer för stabilisering av halten växthusgaser i atmosfären

Stabiliseringsnivå [ppmv CO ₂ e]	Temperaturökning vid jämvikt [°C]		
	Mest troliga värde	Högst sannolikt högre än	Sannolikt intervall
350	1,0	0,5	0,6–1,4
450	2,1	1,0	1,4–3,1
550	2,9	1,5	1,9–4,4
650	3,6	1,8	2,4–5,5
750	4,3	2,1	2,8–6,4
1000	5,5	2,8	3,7–8,3
1200	6,3	3,1	4,2–9,4

Källa: IPCC, 2007a.

Bilaga 2.5 IPCC:s utsläppsscenarier

A1

A1-scenariot beskriver en framtida värld med mycket snabb ekonomisk tillväxt, snabb introduktion av ny och effektivare teknik, en befolkningsökning fram till mitten av seklet och därefter en befolkningsminskning. Huvudteman är utjämning mellan regioner, kapacitetsuppbyggnad och utökat socialt och kulturellt utbyte, med en betydande utjämning av de regionala skillnaderna i inkomst per capita. A1-scenariot indelas i tre undergrupper som beskriver olika tekniska utvecklingsvägar för energisystemet. De tre A1-grupperna skiljer sig åt i fråga om den tekniska utvecklingens tyngdpunkt: fossilbränsleintensiva energikällor (A1FI), icke fossilbaserade energikällor (A1T), eller en balans mellan alla typer av energikällor (A1B) (där man med balans menar att man inte förlitar sig enbart på en typ av energikälla, baserat på antagandet att alla tekniker för energiförsörjning och slutanvändning har förbättrats i jämförbar mån).

A2

A2-scenariot beskriver en heterogen värld. Det underliggande temat är självförsörjning och bevarande av lokal identitet. Befolkningsutvecklingstrenderna utjämnas mycket långsamt mellan regionerna, vilket resulterar i en kontinuerligt växande befolkning. Den ekonomiska utvecklingen är framför allt regional och inkomstökningen per capita och den teknologiska förändringen är mer fragmenterad och långsammare än för övriga scenarier.

B1

B1-scenariot beskriver en mer homogen värld med samma befolkningsutvecklingsmönster som A1, med en topp kring 2050 och därefter en minskning, men med en snabbare förändring av den ekonomiska strukturen mot en ekonomi grundad på tjänster och information. Den materiella intensiteten minskar och rena och resurseffektiva tekniker införs. Tyngdpunkten ligger på globala lösningar för ekonomisk, social och miljömässig hållbarhet, med ökad rättvisa, men utan ytterligare klimatinitiativ.

B2

B2-scenariot beskriver en värld i vilken tyngdpunkten ligger på lokala lösningar för ekonomisk, social och miljömässig hållbar utveckling. Det är en värld med kontinuerligt växande befolkning i en takt som är långsammare än i A2, den ekonomiska utvecklingen är på medelnivå, och teknikförändringarna är långsammare och mer spridda än i B1 och A1. Scenariet är också orienterat mot miljövård och social rättvisa, men mer fokuserat på lokala och regionala nivåer.

Ett exemplifierande scenario valdes ut för var och en av de sex scenariegrupperna A1B, A1FI, A1T, A2, B1 och B2. Alla ska betraktas som lika rimliga.

Scenarierna i SRES innefattar inte ytterligare klimatinitiativ, vilket innebär att det inte finns något scenario i vilket man uttryckligen antar att FN:s ramkonvention om klimatförändringar eller utsläppsmålen i Kyotoprotokollet genomförs.

Uppskattningar av tillgängligt fossilt kol, olja och naturgas

Tillgängligheten av fossila bränslen är inte en begränsande faktor för fortsatta utsläpp under 2000-talet. Enligt uppskattningar (IPCC, 2007c) finns en större mängd fossilt kol, olja och gas tillgänglig i konventionella och icke-konventionella fyndigheter än de mängderna som antas gå åt i IPCC:s scenarier. Även om det efter hand kommer att bli dyrare att få upp först olja och sedan naturgas med befintlig teknik när kända reserver utarmas, gäller detsamma knappast för de stora tillgängliga reserverna av kol.

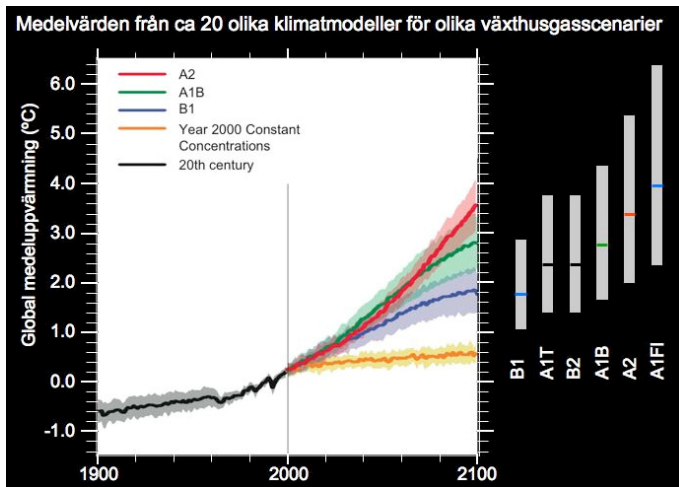
Scenarioreultat

IPCC:s huvudsakliga scenarier är, som beskrivs ovan, indelade i fyra olika "familjer" (A1, A2, B1, B2), med olika antaganden om demografisk, social, ekonomisk, teknisk och miljömässig utveckling. I dessa referensbanescenarier ökar koncentrationen av växthusgaser i atmosfären olika mycket beroende på utvecklingsväg.

Enligt scenarierna ökar växthusgasmängderna i atmosfären fram till år 2100, räknat som koldioxidekvivalenter, till mellan 600 och 1550 ppmv CO₂e. Inget scenario pekas ut som mer troligt än något

annat. Observera också att scenarierna inte omfattar några antaganden om klimatpolitiska åtgärder för att minska utsläppen.

Figur B2.3 Medelvärden för olika scenarier



Källa: IPCC (2007a).

Anmärkning: De heldragna linjerna är s.k. multi-modellgenomsnitt av den globala uppvärmningen vid jordytan i förhållande till ca. år 1990 för fyra utsläppsscenarier. Den orangefärgade linjen visar resultatet när koncentrationerna hålls konstanta på 2000 års nivåer. Skuggningen visar ett mått för spridningen mellan olika modeller (plus/minus en standardavvikelse). De grå staplarna till höger visar troligaste värde som ett horisontellt streck i varje stapel, och osäkerhetsintervallet som uppskattats för totalt sex olika referensbanescenarier.

I klimatsimuleringar för tidsperioden 1990–2095 erhålls för det lägsta utsläppsscenariet (B1) en ökning av den globala medeltemperaturen med 2,3°C jämfört med förindustriell tid (1,8°C jämfört med 1990) med ett osäkerhetsintervall mellan 1,6 och 3,4°C (se figur B2.3). Det högsta utsläppsscenariot (A1FI) ger en temperaturökning på 4,5°C jämfört med förindustriell tid (4,0°C jämfört med 1990) med ett osäkerhetsintervall mellan 2,9 och 6,9°C. De övriga utsläppsscenarierna ligger mellan dessa två såväl för utsläppen som för temperaturhöjningarna. Observera att temperaturförändringarna skulle fortsätta även bortom år 2100.

Förutom temperaturökningar, ger klimatsimuleringarna vid handen att även havsytans nivå kommer att fortsätta höjas. Det lägsta utsläppsscenariot ger en höjning på mellan 18 och 38 centimeter mellan 1990 och 2095, medan det högre scenariot ger mellan

26 och 59 centimeter. Dessa beräkningar inkluderar inte möjligheten att isavsmältningen kan accelerera som en följd av den fortsatta uppvärmningen eftersom vår kunskap om dessa processer är bristfällig. En sådan isavsmältning skulle kunna ge en ytterligare höjning av havsytans nivå på mellan 10 och 20 centimeter.

Bilagor till kapitel 5

Bilaga 3.1 Modeller för fördelning av globalt utsläppsutrymme och reduktionsåtaganden

Diskussionerna om den internationella klimatpolitiken efter 2012 har fört med sig ett stort antal förslag till modeller för formulering och fördelning av åtaganden om utsläppsreduktioner på klimatområdet. I tabell B3.1 ges en kort beskrivning av de mest debatterade modellerna. Modeller som markeras med asterisk (*) ingår i den analys som gjorts av Ecofys på uppdrag av den brittiska regeringen och vars resultat i delar återges i kapitel 5.3. Dessa modeller beskrivs närmare i Ecofys rapporter,¹ vilka finns tillgängliga på Miljövårdsberedningens hemsida.²

Tabell B3.1 Klimatpolitiska fördelningsmodeller

Modell	Beskrivning
Common but differentiated convergence *	Endast nationer vars utsläpp per capita överstiger/når en viss tröskelnivå behöver reducera utsläpp. De ska inom en viss tid därefter (t.ex. 40 år) reducera utsläpp per capita ner till en jämlik nivå. Tröskelnivån sänks med tiden.
Contraction & convergence *	Samtliga nationer ska ha samma utsläpp per capita från en viss tidpunkt (t.ex. 2050). En nations behov av utsläppsreduktion fram till tidpunkt för konvergens beror på relation till aktuellt världsgenomsnitt för utsläpp per capita. Totalt utsläppsutrymme minskar över tiden.
Fish-trap	Samtliga Annex I-länder, och de icke-Annex I-länder vars BNP per capita överstiger/når en viss tröskelnivå behöver reducera utsläpp. Förväntade utsläpp från nationer som inte behöver reducera utsläpp dras av från det globala taket. Utsläppsutrymme för de nationer som ska reducera utsläpp fördelas i förhållande till deras andel av global BNP. Utsläppsutrymme (utsläpp per BNP) justeras därefter uppåt eller nedåt beroende på om nationens BNP per capita är lägre eller högre än världsgenomsnittet. För Annex I-länder finns gränser för högsta och lägsta reduktionskrav relativt 2002 års nivå vid olika tidpunkter.
Historiskt ansvar *	Utsläppsutrymme för samtliga nationer inom en viss period bestäms av deras historiska bidrag till växthuseffekten. Olika indikatorer kan väljas.

¹ Höhne m.fl. (2007), Höhne & Moltmann (2007).

² www.sou.gov.se/mvb

Modell	Beskrivning
Intensitetsmål *	Alla nationer ska minska sina utsläpp per BNP-enhet med samma procentsats.
Multistage *	Nationer deltar i fyra differentierade steg med utgångspunkt i utvecklingsnivå (BNP per capita) och utsläppsnivå (utsläpp per capita). Tröskelnivåer mellan steg baserade på utsläpp per capita. (1) Minst utvecklade nationer har inga åtaganden, (2) åtagande om åtgärder för hållbar utveckling, (3) icke-bindande åtaganden om absolut utsläppsbegränsning, (4) bindande åtaganden om absolut utsläppsminskning ner till en låg utsläppsnivå per capita. Tröskelnivå för steg 4 sänks (linjärt) med tiden. Nationer i steg 4 har samma procentuella reduktionskrav, dock justerat med hänsyn till utsläpp per capita.
Triptych *	Fördelning av utsläppsutrymme inom en grupp nationer bestäms sektorsvis "bottom-up", med hänsyn till olikheter i nationella förutsättningar av relevans för utsläpp och reduktionspotential (t.ex. struktur i nationellt energisystem). Ett antal randvillkor sätts upp för utsläppsutveckling inom olika sektorer, t.ex. konvergens i utsläpp per capita i hushållssektorn och konvergens i energieffektivitet i industrin.

De olika modellerna, som ibland är knutna till förslag om övergripande arkitektur av en framtida internationell klimatregim, skiljer sig i huvudsak åt på två punkter. Dels ifråga om principer för deltagande (dvs. vilka länder som ska omfattas av åtagande och när de ska omfattas), dels ifråga om principer för rättvisa och fördelning mellan de som deltar.

Några modeller, till exempel "Triptych", "Contraction & convergence", "Intensitetsmål" samt "Historiskt ansvar", utgår från att alla länder deltar med bindande åtaganden om utsläppsreduktioner. Andra modeller, till exempel "Multistage", "Common but differentiated convergence" och "Fish-trap", förespråkar ett differentierat deltagande som innebär att utvecklingsländer omfattas av bindande åtaganden om någon form av utsläppsreduktion (absolut eller dynamisk) först då de nått en viss tröskelnivå avseende till exempel BNP per capita eller utsläpp per capita. De tar därmed indirekt hänsyn till framförallt utvecklingsländers behov som en grundläggande rättvis princip.

När det gäller fördelning av reduktionsbehov mellan de deltagande nationerna föreslår några modeller, till exempel "Contraction & convergence" och "Common but differentiated convergence", med utgångspunkt i ett jämlikhetsperspektiv på rättvisa att utsläppen av växthusgaser per capita i olika nationer ska

konvergera vid en viss tidpunkt (oftast 2050). "Fish-trap", som utarbetats av den svenska energikoncernen Vattenfall, utgår från en kombination av jämlikhets- och jämviktsperspektiv på rättvisa med konvergens av BNP per capita och utsläpp per capita år 2100 och fördelar utsläppsrättigheter i huvudsak utifrån nationernas andel av global BNP (köpkraftskorrigerad) vid olika tidpunkter.³ Några modeller, till exempel "Intensitetsmål" och "Multistage", föreslår att nationer med bindande åtaganden om absoluta utsläppsreduktioner erhåller utsläppsrättigheter i enlighet med en enhetlig årlig reduktionstakt. Den mest komplicerade modellen, "Triptych", fördelar utsläppsrättigheter med hänsyn till olika nationers förutsättningar vad gäller till exempel industristruktur och energisystemets sammansättning. Jämfört med övriga modeller, som i huvudsak utgår från antaganden om framtida förhållanden, föreslår modellen "Historiskt ansvar", som lades fram av Brasilien inför klimatförhandlingarna i Kyoto 1997, att tilldelning av utsläppsrättigheter ska göras utifrån nationernas historiska ansvar för den globala uppvärmningen.

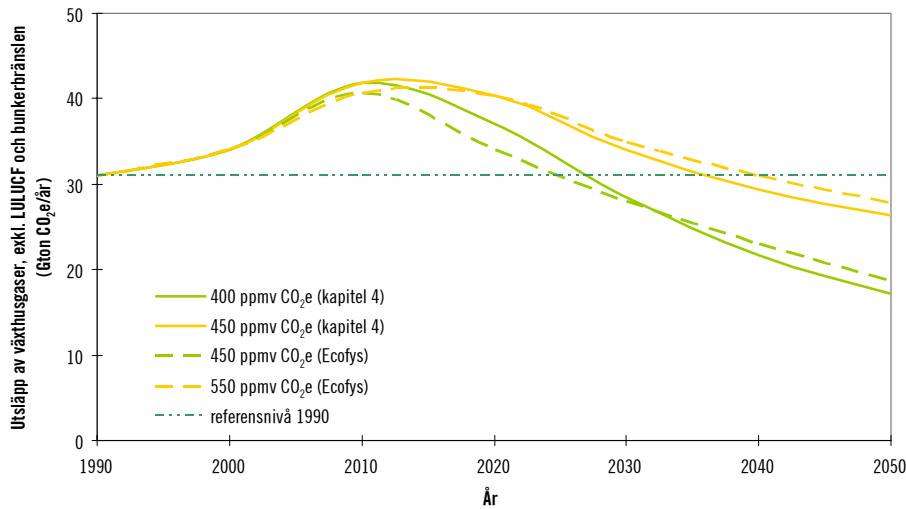
³ Rika nationer (dvs. nationer med hög BNP per capita) får dock tilldelningen korrigerad något nedåt, medan fattiga länder får tilldelningen korrigerad något uppåt.

Bilaga 3.2 Jämförelse av utsläppsbanor som utgångspunkt för fördelning av globala reduktionsbehov för att nå tvågradersmålet

Beräkningar av fördelning av globala reduktionsbehov i tabell 5.1 (se kapitel 5) och underlagsrapporter från Ecofys har utgått från globala utsläppsbanor som skiljer sig något från de utsläppsbanor som redovisas i kapitel 4. Fördelningen omfattar inte utsläpp från förbränning av bunkerbränslen (dvs. utrikes luft- och sjöfart) eller markanvändning och skogsbruk. Den är dessutom gjord för utsläppsbanor som för en given nivå för stabilisering av växthusgaskoncentrationen ställer krav på större globala utsläppsreduktioner fram till år 2050. Detta eftersom de till skillnad från de utsläppsbanor som redovisas i kapitel 4 inte räknar med att koncentrationen av växthusgaser under en övergångsperiod kan överskrida stabiliseringsnivån och därefter sjunka utan att den globala medeltemperaturen stiger mer än 2°C över förindustriell nivå.

Som framgår av figur B3.1 är dock utsläppsbanorna för stabilisering på 450 ppmv CO₂e enligt fördelningsberäkningarna (grön streckad linje) respektive stabilisering på 400 ppmv CO₂e enligt kapitel 4 (exkl. utsläpp från utrikes luft- och sjöfart samt markanvändning och skogsbruk) (grön heldragen linje) förhållandevis lika under perioden 1990–2050. Detsamma gäller för utsläppsbanorna för stabilisering på 550 ppmv CO₂e enligt Ecofys (gul streckad linje) respektive stabilisering på 450 ppmv CO₂e enligt kapitel 4 (korrigerad för att omfatta samma utsläppskällor) (gul heldragen linje).

Figur B3.1 Utsläppsbanor för olika stabiliseringsscenarier



Källa: Baserad på data från den Elzen & Meinshausen (2006) samt Höhne m.fl. (2007).

På det hela taget bedöms därför resultaten för en stabilisering på 450 ppmv CO₂e enligt Ecofys (och tabell 5.1) ge en god approximation för fördelning fram till år 2050 för utsläppsbanan för en stabilisering på 400 ppmv CO₂e enligt kapitel 4 (korrigerad för att omfatta samma utsläppskällor). Resultat för stabilisering på 550 ppmv CO₂e enligt Ecofys (och tabell 5.1) är på samma sätt en god approximation för fördelning fram till år 2050 för utsläppsbanan för stabilisering på 450 ppmv CO₂e enligt kapitel 4 (korrigerad för att omfatta samma utsläppskällor).

Referenser

Kapitel 1

IPCC, 2007a. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (red. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor och H.L. Miller), Cambridge University Press, Cambridge/New York.¹

IPCC, 2007b. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (red. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden och C.E. Hanson), Cambridge University Press, Cambridge/New York.

IPCC, 2007c. *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (red. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave och L.A. Meyer), Cambridge University Press, Cambridge/New York.

Kapitel 2

IPCC, 2007a. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (red. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor och H.L. Miller), Cambridge University Press, Cambridge/New York.

¹ Sammanfattning för beslutsfattare (SPM) från de olika arbetsgruppernas delrapporter har översatts till svenska och publicerats av Naturvårdsverket, Rapport 5677, 5704 respektive 5713.

- Lockwood, M. och C. Frölich, 2007. Recent oppositely directed trends in solar climate forcings and the global mean surface air temperature, *Proc. R. Soc.*, doi:10.1098/rspa.2007.1880
- Zhang, X., W. Francis, F.W. Zwiers, G.C. Hegerl, F.H. Lambert, N.P. Gillett, S. Solomon, P.A. Stott, och T. Nozawa, 2007. Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends, *Nature*, doi:10.1038/nature06025.

Kapitel 3

- EEA, 2005. *Vulnerability and adaptation to climate change in Europe*, Technical report 7/2005, European Environment Agency, Köpenhamn.
- Europeiska kommissionen, 2007a. *Grönbok från Kommissionen till Rådet, Europaparlamentet, Europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt regionkommittén – Anpassning till klimatförändringar i Europa: tänkbara EU-åtgärder*, KOM(2007) 354, Bryssel, 29.6.2007.
- Haldén, P., 2007. *Klimatförändringarnas samhälleliga och säkerhetsmässiga konsekvenser*, Rapport till Miljövårdsberedningen, Totalförsvarets forskningsinstitut/FOI, Stockholm.
- IGBP, 2004. *Global change and the Earth System: A Planet Under Pressure*, W. Steffen, A. Sanderson, P.D. Tyson, J. Jäger, P.A. Matson, B. Moore III, F. Oldfield, K. Richardson, H.J. Schnellhuber, B.L. Turner, R.J. Wasson, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- IPCC, 2007b. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (red. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden och C.E. Hanson), Cambridge University Press, Cambridge/New York.
- SOU 2006:94. *Översvämningshot. Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Väneren*. Delbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen, Stockholm.
- SMHI, 2006. *Klimat i förändring. En jämförelse av temperatur och nederbörd 1991-2005 med 1961-1990*. Faktablad nr 29. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI), oktober 2006. www.smhi.se

WRI, 2005. *Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC

Kapitel 4

- Bierbaum, R., J.P. Holdren och M. MacCracken m.fl., 2007. *Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable, Managing the Unavoidable*, United Nations–Sigma Xi Scientific Expert Group on Climate Change and Sustainable Development UN Foundation/Sigma Xi, New York.
- den Elzen, M. och M. Meinshausen, 2006. Multi-gas emission pathways for meeting the EU 2°C climate target, ur *Avoiding Dangerous Climate Change* (red. H. Schellnhuber m.fl.), Cambridge University Press, Cambridge/New York, pp. 299–309.
- Meinshausen, M., 2006. What does a 2°C target mean for greenhouse gas concentrations? A brief analysis based on multi-gas emission pathways and several climate sensitivity uncertainty estimates, ur *Avoiding Dangerous Climate Change* (red. H. Schellnhuber m.fl.), Cambridge University Press, Cambridge/New York, pp. 265–279.
- Meinshausen, M., B. Hare och T. Wigley m.fl. (2006) Multi-gas emission pathways to meet climate targets, *Climatic Change*, 75, 151–194.
- Prentice, I.C., G.D. Farquhar och M.J.R. Fasham m.fl., 2001. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide, ur *Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (red. Houghton m.fl.), Cambridge University Press, Cambridge.

Kapitel 5

- Europeiska kommissionen, 2006. *Meddelande från Kommissionen till Rådet, Europaparlamentet, Europeiska ekonomiska och sociala kommittén och Regionkommittén – Seger i kampen mot den globala klimatförändringen*, KOM(2005)35, Bryssel, 9.2.2006.
- Europeiska kommissionen, 2007b. *Meddelande från Kommissionen till Rådet, Europaparlamentet, Europeiska ekonomiska och sociala kommittén och Regionkommittén – Att begränsa den globala*

- klimatförändringen till 2 grader Celsius: Vägen framåt mot 2020 och därefter*, KOM(2007)2, Bryssel, 10.1.2007.
- Europeiska kommissionen, 2007c. *Commission staff working document, Accompanying document to the Communication from the Commission to the Council, the European parliament, The European economic and social committee and the Committee of the regions – Limiting Global Climate Change to 2 degrees Celsius: The way ahead for 2020 and beyond, Impact Assessment*, SEC(2007)8, Bryssel, 10.1.2007.
- Höhne, N. och K. Blok, 2005. Calculating historical contributions to climate change – discussing the "Brazilian Proposal", *Climatic Change*, 71, 1, 141–173.
- Höhne, N. och S. Moltmann, 2007. *Implications of proposals for future international climate policy after 2012 on Sweden*, Report for the Swedish Environmental Advisory Council, Ecofys, Köln.
- Höhne, N., D. Phylipsen och S. Moltmann, 2007. *Factors underpinning future action*, Report for the UK Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA), Ecofys, Köln.
- IPCC, 2007c. *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (red. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave och L.A. Meyer), Cambridge University Press, Cambridge/New York.
- Stern, N., 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, Cambridge.

Kapitel 6

- den Elzen, M. och M. Meinshausen, 2006. Multi-gas emission pathways for meeting the EU 2°C climate target, ur *Avoiding Dangerous Climate Change* (red. H. Schellnhuber m.fl.), Cambridge University Press, Cambridge/New York, pp. 299–309.
- Energimyndigheten och Naturvårdsverket, 2007a. *Prognoser för utsläpp och upptag av växthusgaser*, Delrapport 1 i Energimyndighetens och Naturvårdsverkets underlag till Kontrollstation 2008, Energimyndigheten/Naturvårdsverket, Eskilstuna/Stockholm.
- Energimyndigheten och Naturvårdsverket, 2007b. *Åtgärdsmöjligheter i Sverige – en sektorsvis genomgång*, Delrapport 3 i Energimyndighetens och Naturvårdsverkets underlag till Kontroll-

- station 2008, Energimyndigheten/Naturvårdsverket, Eskilstuna/Stockholm.
- Energimyndigheten och Naturvårdsverket, 2007c. *Konsekvensanalys av klimatmål*, Delrapport 4 i Energimyndighetens och Naturvårdsverkets underlag till Kontrollstation 2008, Energimyndigheten/Naturvårdsverket, Eskilstuna/Stockholm.
- Höhne, N. och S. Moltmann, 2007. *Implications of proposals for future international climate policy after 2012 on Sweden*, Report for the Swedish Environmental Advisory Council, Ecofys, Köln.
- IEA, 2006. *World Energy Outlook 2006*, International Energy Agency, Paris.
- IPCC, 2007c. *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (red. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave och L.A. Meyer), Cambridge University Press, Cambridge/New York.
- Naturvårdsverket, 2006. *Sweden's National Inventory Report 2007*, Rapport till FN:s klimatkonvention UNFCCC, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales och D. de Haan, 2006. *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*, FAO, Rom.
- Stern, N., 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, Cambridge.

Kapitel 7

- Bohm, P., 2004. *Den svenska klimatpolitikens kostnader och betydelse*, ITPS A2004:003, Institutet för tillväxtpolitiska studier, Östersund.
- Carlén, B., 2004. *BNP-effekter av svensk klimatpolitik – en kommentar*, ITPS A2004:008, Institutet för tillväxtpolitiska studier, Östersund.
- Europeiska kommissionen, 2007c. *Commission staff working document, Accompanying document to the Communication from the Commission to the Council, the European parliament, The European economic and social committee and the Committee of the regions – Limiting Global Climate Change to 2 degrees Celsius: The way ahead for 2020 and beyond, Impact Assessment*, SEC(2007)8, Bryssel, 10.1.2007.

- Hill, M. och B. Kriström, 2005. *Klimatmål, utsläppsandel och svensk ekonomi*, SNS förlag, Stockholm.
- IEA, 2006. *World Energy Outlook 2006*, International Energy Agency, Paris.
- IPCC, 2007b. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (red. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden och C.E. Hanson), Cambridge University Press, Cambridge/New York.
- IPCC, 2007c. *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (red. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave och L.A. Meyer), Cambridge University Press, Cambridge/New York.
- Konjunkturinstitutet, 2003. *Samhällsekonomiska konsekvenser för Sverige av begränsad handel med utsläppsrätter enligt EU:s direktiv*, Rapport 2003:1, Konjunkturinstitutet Stockholm.
- Konjunkturinstitutet, 2005. EMEC-körningar för FlexMex2: Utvidgat handelssystem, ur *Handla för bättre klimat, Slutbetänkande av FlexMex2-utredningen SOU 2005:10*, Bilaga 4, Stockholm.
- Konjunkturinstitutet, 2007. *Tilldelning av utsläppsrätter för utsläppsmålet 2020*, Konjunkturinstitutet, Stockholm.
- Nordhaus, W. & J. Boyer, 2000. *Warming the World. Economic models of global warming*, MIT Press, London och Cambridge.
- Nordiska Ministerrådet, 2007. *Climate 2050. The road to 60–80 percent reduction in the emissions of greenhouse gases in the Nordic countries*, TemaNord 2007:535.
- SOU 2005:10. *Handla för bättre klimat*, Slutbetänkande av FlexMex2-utredningen, Stockholm
- Stern, N., 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, Cambridge.
- UNDP, 2004. *World Energy Assessment*, UNDP, New York.

Kapitel 8

- IPCC, 2007c. *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (red. B. Metz, O.R.

- Davidson, P.R. Bosch, R. Dave och L.A. Meyer), Cambridge University Press, Cambridge/New York.
- Lecocq, F. och P. Ambrosi, 2007. The clean development mechanism – history, status and prospects, *Review of Environmental Economics and Policy*, 2007, 1, 134–151.
- Nordhaus, W., 2007. To tax or not to tax: Alternative approaches to slowing global warming, *Review of Environmental Economics and Policy*, 2007, 1, 26–44.
- Ostrom, E., 1990. *Governing the Commons: The evolution of institutions for collective action*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Palmer, K., W.E. Oates och Portney, P., 1995. Tightening environmental standards: The benefit-cost or the no-cost paradigm?, *Journal of Economic Literature*, 9, 119–132.
- Porter, M.E. och C. van der Linde, 1995. Towards a new conception of the environment-competitiveness relationship, *Journal of Economic Literature*, 9, 97–118.
- Raupach m.fl., 2007. Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, DOI:101073/pnas.0700609104 published online May 22, 2007.
- Stern, N., 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, Cambridge.

Bilaga 2

- Allen, M., N. Andronova, B. Booth, m.fl., 2006. Observational constraints on climate sensitivity, ur *Avoiding Dangerous Climate Change* (red. H. Schellnhuber m.fl.), Cambridge University Press, Cambridge/New York, pp. 281–289.
- IPCC, 2007a. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (red. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor och H.L. Miller), Cambridge University Press, Cambridge/New York.

Bilaga 3

- den Elzen, M. och M. Meinshausen, 2006. Multi-gas emission pathways for meeting the EU 2°C climate target, ur *Avoiding Dangerous Climate Change* (red. H. Schellnhuber m.fl.), Cambridge University Press, Cambridge/New York, pp. 299–309.
- Höhne, N. och S. Moltmann, 2007. *Implications of proposals for future international climate policy after 2012 on Sweden*, Report for the Swedish Environmental Advisory Council, Ecofys, Köln.
- Höhne, N., D. Phylipsen och S. Moltmann, 2007. *Factors underpinning future action*, Report for the UK Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA), Ecofys, Köln.

Begreppslista

Här förklaras begreppen på det sätt som de används i den här rapporten

Aktivitetsmål

Mål om särskilda åtgärder eller aktiviteter som förväntas bidra till utsläppsminskningar (till exempel mått om energieffektivisering eller om förnyelsebara energislag som ska utgöra en viss andel av den primära energitillförseln).

Annex I-länder

Huvudsakligen industrialiserade länder och länder med övergångs-ekonomier, som har särskilda åtaganden enligt Klimatkonventionen (Artikel 4.2). Annex I-länderna överensstämmer i stort med de länder som har kvotåtaganden enligt Kyotoprotokollets Annex B.

Anpassningsförmåga

Den förmåga ett system har för att anpassa sig till klimatförändringar (inklusive klimatvariationer och extremer) genom att dämpa potentiella skador, ta vara på möjligheter eller handskas med konsekvenser.

Avräkningsmål

Nationellt utsläppsmål som då måluppfyllelse avgörs fokuserar på initialt tilldelad mängd utsläppsrätter till verksamheter inom ett

system för handel med utsläppsrätter istället för verksamheternas faktiska utsläpp.

BAU-scenario

(Business-as-usual) scenario för utvecklingen framöver om gällande trender fortsätter.

CDM-projekt (Clean Development Mechanism)

Utsläppsminskande projekt som genomförs i ett icke Annex I-land med finansiering från ett Annex I-land, och som efter godkännande enligt internationellt fastslagna regler kan generera utsläppsrättigheter. Utsläppsrättigheterna kan sedan användas av investeraren för måluppfyllelse i en internationell klimatregim.

Diskontering/diskonteringsränta

En vedertagen metod för att jämföra nutida och framtida ekonomiska storheter. Diskontering görs med en räntesats med vilken man justerar det monetära värdet av framtida kostnader och intäkter.

Ekonomisk potential

Potential att minska utsläpp som speglar samhällsekonomiska kostnader utan beaktande av eventuella hinder för att genomföra en viss åtgärd.

Ekosystemens buffrande förmåga

Här avses resiliens, dvs. förmåga att ta hand störningar samtidigt som grundläggande struktur och funktionssätt bibehålls, samt anpassningsförmåga till stress och förändring.

Ekosystemtjänster

De tjänster naturen utför som kan uppfattas som fördelaktiga för människan och det mänskliga samhället. Det gäller till exempel produktion av mat, pollinerande insekter, vattenrening, naturliga skadedjursbekämpare, kolinlagring och att bördig jord bildas.

Energiintensitet

Graden av energianvändning, till exempel mätt som kvoten mellan energianvändning och produktionsvärde inom en industrigren eller en nation. För nationer ofta uttryckt per BNP-enhet.

EU ETS (European Union Emission Trading Scheme)

EU:s gemensamma system för handel med utsläppsrätter för koldioxid. EU ETS startade år 2005 och möjliggör för företag inom EU att köpa och sälja utsläppsrätter. Handeln omfattar i den första handelsperioden 2005–2007 totalt cirka 12 000 anläggningar inom industri- och energiproduktion i EU:s samtliga 27 medlemsländer.

Fördelningsmodell

En modell för kvantifierad fördelning av utsläppsrättigheter mellan olika nationer.

Globala energisystemet

Det samlade systemet för tillförsel och användning av el och värme samt drivmedel på global nivå.

Halokarboner

Se bilaga 2.3.

Icke Annex I-länder

Alla länder som har ratificerat Klimatkonventionen och som inte är Annex I-länder. Huvudsakligen utvecklingsländer.

JI-projekt (Joint Implementation)

Utsläppsminskande projekt som genomförs i ett Annex I-land med finansiering från ett annat Annex I-land, och som efter godkännande enligt internationellt fastslagna regler kan generera utsläppsrättigheter. Utsläppsrättigheterna kan sedan användas av investeraren för måluppfyllelse i en internationell klimatregim.

Klimatkonventionen

Ett internationellt traktat inom FN, Förenta Nationerna, (the United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) som 191 av världens länder har anslutit sig till för att samarbeta i frågan vad som kan göras för att förhindra den globala temperaturökningen. Klimatkonventionen är en ramkonvention som undertecknades vid Riokonferensen år 1992 och trädde i kraft år 1994. Vid ett möte i Kyoto i Japan år 1997 försågs konventionen med ett protokoll, det s.k. Kyotoprotokollet, som bl.a. innehåller bindande åtaganden för att minska utsläppen av sex olika växthusgaser för flera länder.

Klimatkänslighet

Se bilaga 2.4.

Klimatneutralitet

En enhet (anläggning, företag eller ett land) neutraliserar sin påverkan på klimatet genom att reducera utsläppen med 100 procent eller köpa utsläppsrätter som motsvarar de totala utsläpp som enheten orsakar.

Kolcykeln

Uttryck som används för att beskriva flödet av kol (i olika former, t.ex. koldioxid) i geobiosfären (dvs. litosfären, hydrosfären, atmosfären och biosfären).

Koldioxidekvivalenter koncentration

Den koncentration av koldioxid som skulle orsaka samma mängd strålningsdrivning som en bestämd blandning av koldioxid och andra växthusgaser. Anges som ppmv CO₂e.

Koldioxidekvivalenter utsläpp

Den mängd koldioxidutsläpp som skulle orsaka samma strålningsdrivning över en given tidsperiod, som ett utsläpp av en annan välblandad växthusgas eller en blandning av välblandade växthusgaser. Motsvarande mängd koldioxidutsläpp fås fram genom att multiplicera de olika växthusgaserna med sina respektive globala uppvärmningspotentialer, för att ta hänsyn till de olika tidslängder gaserna stannar kvar i atmosfären. Anges som ton CO₂e.

Kolintensitet

Ett mått på hur mycket koldioxid som släpps ut relativt en viss ekonomisk aktivitetsnivå. Till exempel utsläpp per tillförd mängd primärenergi eller utsläpp per BNP-enhet.

Kolsänka

En process eller aktivitet som tar bort koldioxid från atmosfären. Till exempel koldioxid som genom fotosyntes tas upp av växande skog och grödor. Se också under nettoutsläpp.

Koncentrationsmål

Mål för högsta acceptabla koncentration av växthusgaser i atmosfären (s.k. stabiliseringsnivå).

Kostnads- och intäktskalkyl

Ekonomisk metod för att jämföra olika handlingsalternativ. Kostnader och intäkter (nytta) kalkyleras och jämförs.

Kyotoprotokollet

Se under klimatkonventionen och växthusgaser.

Kyotoprotokollets mekanismer

Ett samlingsbegrepp för de tre mekanismer som infördes i Kyoto-protokollet för att öka kostnadseffektiviteten för att minska utsläpp av växthusgaser och ge länder med bindande åtaganden ökad flexibilitet för att nå sina kvotåtaganden: "internationell handel med utsläppsrätter" mellan stater, "gemensamt genomförande" (JI, Joint Implementation) samt "mekanismen för ren utveckling" (CDM, Clean Development Mechanism).

Marknadspotential

Potential att minska utsläpp som förväntas uppstå under antagna marknadsförhållanden, med hänsyn till de åtgärder och styrmedel som finns för närvarande, och med beaktande av vad det finns för hinder som begränsar genomförandet av utsläppsminskande åtgärder.

Marknära ozon

Se bilaga 2.3.

Montrealprotokollet

Ett internationellt traktat inom FN, Förenta Nationerna, som undertecknades i Montreal år 1987 och trädde i kraft år 1989, utformat för att skydda ozonskiktet genom att fasa ut produktionen av ett antal skadliga substanser; i första hand freoner och haloner.

Naturliga system

Ekosystem, biologiska system, vattensystem och system som karakteriseras av luft, snö, is och permafrost.

Nettoutsläpp

Skillnad mellan utsläpp och upptag av växthusgaser i en särskild sektor, till exempel skogsbruk och markanvändning. Nettoutsläpp kan vara negativa om upptaget är större än utsläppet. En sektor kan därigenom vara en kolsänka (netto), vilket t.ex. är fallet med skogsbruk och markanvändning i Sverige.

Peer review

Se bilaga 1.2.

Primärenergi

Energi som inte har genomgått någon omvandling, till exempel råolja, kol, naturgas och vatten i utbyggda älvar. Exempel på omvandlad energi är el och värme.

Projektbaserade mekanismer

Ett samlingsbegrepp för mekanismerna ”gemensamt genomförande” (JI, Joint Implementation) och ”mekanismen för ren utveckling” (CDM, Clean Development Mechanism).

Referensbanescenario/referensbana

Beskrivning av hur utsläpp utvecklas över tiden baserat på antaganden om t.ex. befolknings-, teknik- och ekonomisk utveckling, men utan några antaganden om ytterligare utsläppsminskande åtgärder utöver de som redan tillämpas.

Reglerade inmatningstariffer

Ett sätt att subventionera priset för ny teknik (till exempel solceller eller vindkraft) i ett introduktionsskede. Genom läreffekter utvecklas teknik- och produktionsmetoder så att den nya tekniken så småningom kan stå på egna ben.

Sektorsmål

Utsläpps- och/eller aktivitetsmål för olika samhällssektorer eller branscher på såväl nationell som regional nivå.

Stoftpartiklar

Se bilaga 2.3.

Stratosfäriskt ozon

Se bilaga 2.3.

Strålningsdrivning

Strålningsdrivningen är ett mått på i vilken grad en faktor kan ändra balansen mellan in- och utstrålning i lägre luftlager (närmast marken) och visar vilken betydelse just den faktorn har som en potentiell klimatförändringsmekanism. Se vidare avsnitt 2.2.2 och bilaga 2.3.

Sårbarhet

Ett mått på i vilken utsträckning ett system är känsligt för, eller inte klarar av, negativa effekter av klimatförändringarna, inklusive klimatvariationer och extremer.

Temperaturmål

Mål för högsta acceptabla ökning av den globala medeltemperaturen. En högsta acceptabel uppvärmningstakt kan ingå i målformuleringen.

Terrestra ekosystem

Ekosystem på land, till skillnad från marina ekosystem som omfattar hav.

Utsläppsbana

Beskrivning av hur utsläpp behöver utvecklas över tid för att ett visst koncentrationsmål ska nås.

Utsläppsmål

Mål för högsta acceptabla nivå för utsläppen. De kan också anges som behov av minskning över en viss tidsperiod.

Växthusgaser

Gaser som förekommer i atmosfären och kan absorbera värmestrålning och därigenom bidrar till växthuseffekten. De flesta av dessa gaser förekommer naturligt i atmosfären, medan det också finns gaser som uppkommit på grund av mänsklig aktivitet (antropogena). Antropogena utsläpp ökar i förekommande fall atmosfärskoncentrationen av naturligt förekommande gaser. Exempel på växthusgaser är vattenånga, koldioxid, metan, dikväveoxid (lustgas), ozon och halokarboner (till exempel fluorkolväten, fluorkarboner och svavelhexafluorid). Växthusgaserna som omfattas av Kyotoprotokollet är koldioxid, dikväveoxid, metan, fluorkolväten, fluorkarboner och svavelhexafluorid.

Förkortningar

AAU	Assigned Amount Units (tilldelad mängdenhet)
BNP	Bruttonationalprodukt
CCS	Carbon Capture and Storage (kolavskiljning och lagring)
CDM	Clean Development Mechanism (mekanismen för ren utveckling)
CO ₂	Koldioxid
CO ₂ e	Koldioxidekvivalenter
COP	Conference of the Parties (parts-möte inom Klimatkonventionen)
EEA	European Environment Agency (Europeiska miljöbyrån)
EMEC	Environmental Medium Term Economic Model (modell vid Konjunkturinstitutet)
EU	Europeiska unionen
EU ETS	Emission Trading Scheme (EU:s gemensamma system för handel med utsläppsrätter för koldioxid)
FAO	The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FN:s fackorgan för livsmedels- och jordbruksfrågor)
FN	Förenta Nationerna
Gton	Gigaton (miljarder ton)
IEA	International Energy Agency (självständig organisation inom ramen för OECD för det internationella energisamarbetet)

IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (FN:s klimatpanel)
JI	Joint Implementation (mekanismen för gemensamt genomförande)
KI	Konjunkturinstitutet
Mton	Megaton (miljoner ton)
NGO	Non-Governmental Organizations (icke-statliga organisationer)
ppmv	parts per million by volume (miljondelar volym)
PPP	Purchasing Power Parity (köpkraftsjustering)
SCC	Social Cost of Carbon
SMHI	Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
SOU	Statens Offentliga Utredningar
UN	United Nations (Förenta Nationerna)
UNDP	United Nations Development Programme (FN:s utvecklingsprogram)
UNEP	United Nations Environment Programme (FN:s miljöprogram)
UNFCCC	The United Nations Framework Convention on Climate Change (FN:s ramkonvention om klimatförändringar)
USD	Dollar (USA)
WBGU	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (Det tyska vetenskapliga rådet för global förändring)
WG1-3	Working group/ arbetsgrupp 1–3
WMO	World Meteorological Organization (Meteorologiska Världsorganisationen, FN-organ)
WTO	World Trade Organization (Världshandelsorganisationen)