

Miljö ekonomi

Specialstudie nr 60. December 2017.

Kostnader och intäkter i Sverige
av långsiktiga klimatförändringar
– en litteraturöversikt





Specialstudie 60: Kostnader och intäkter i Sverige av
långsiktiga klimatförändringar – en litteraturöversikt

Konjunkturinstitutet är en statlig myndighet under Finansdepartementet. Vi gör prognoser som används som beslutsunderlag för den ekonomiska politiken i Sverige. Vi analyserar också den ekonomiska utvecklingen samt forskar inom nationalekonomi.

I **Konjunkturbarometern** publicerar vi varje månad statistik över företagens och hushållens syn på den ekonomiska utvecklingen. Undersökningar liknande Konjunkturbarometern görs i alla EU-länder.

Rapporten **Konjunkturläget** är främst en prognos för svensk och internationell ekonomi, men innehåller också djupare analyser av aktuella makroekonomiska frågor. Konjunkturläget publiceras fyra gånger per år. **The Swedish Economy** är den engelska översättningen av delar av rapporten.

I **Lönebildningsrapporten** analyserar vi varje år de samhällsekonomiska förutsättningarna för lönebildningen.

Den årliga rapporten **Miljö, ekonomi och politik** är en översyn och analys av miljöpolitikens samhällsekonomiska aspekter.

Vi publicerar också resultat av utredningar, uppdrag och forskning i serierna **Specialstudier, Working paper, PM** och som remissvar.

Du kan ladda ner samtliga rapporter från vår webbplats, www.konj.se. Den senaste statistiken hittar du under www.konj.se/statistik.

Förord

Regeringen har i regleringsbrev för 2017 gett Konjunkturinstitutet i uppdrag att analysera de samhällsekonomiska konsekvenserna för Sverige av långsiktiga klimatförändringar.

Uppdragstexten lyder:

”Myndigheten ska utifrån existerande nationella och internationella studier beräkna nationella samhällsekonomiska effekter av de långsiktiga klimatförändringarna. I uppdraget ingår att beskriva, kommentera och analysera de beräkningar som finns. I uppdraget ingår även att peka på osäkerhet och brister i existerande studier och föreslå vad som behövs för att åtgärda dessa. Uppdraget ska redovisas till regeringen (Finansdepartementet) senast den 31 december 2017.”

Denna rapport utgör Konjunkturinstitutets redovisning av uppdraget. För framtagandet av rapporten har Konjunkturinstitutet tagit hjälp av professor Runar Brännlund, Umeå universitet, som är författare av rapporten.

Professor Caroline Leck, Stockholms universitet, professor Patrik Söderholm, Luleå tekniska universitet, samt Björn Carlén och Pelle Marklund på Konjunkturinstitutet har bidragit med värdefulla synpunkter och kommentarer på tidigare utkast till denna rapport.

Stockholm i december 2017

Urban Hansson Brusewitz

Generaldirektör

Innehållsförteckning

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Inledning..... | 3 |
| 1.1 | Varför behövs en kostnadsuppskattning av klimatförändringar? | 5 |
| 2 | Klimatproblemet..... | 9 |
| 2.1 | Växthuseffekten..... | 9 |
| 2.2 | Människan påverkar klimatet..... | 11 |
| 2.3 | Scenarier för framtida klimat | 18 |
| 3 | Effekter och risker av en global uppvärmning | 21 |
| 3.1 | Effekter och konsekvenser i Europa..... | 23 |
| 3.2 | Konsekvenser i Sverige av en klimatförändring | 30 |
| 4 | Kostnader av klimatförändringar | 36 |
| 4.1 | Globala ekonomiska konsekvenser av klimatförändringar | 37 |
| 4.2 | Kostnader i Sverige av klimatförändringar..... | 42 |
| 5 | Sammanfattning, diskussion och rekommendationer..... | 57 |
| 6 | Referenser | 61 |

1 Inledning

Huvudsyftet med föreliggande rapport är att utifrån befintlig litteratur redogöra för uppskattningar av de kostnader som kan uppstå i Sverige av långsiktiga globala klimatförändringar. Vidare syftar rapporten till att analysera osäkerheter och brister i existerande uppskattningar av dessa kostnader, och att även ge förslag på hur uppskattningarna kan förbättras.

Rapporten består huvudsakligen av tre delar. I den första delen redogörs för orsakerna till klimatproblemet och tänkbara framtida scenarier vad gäller globala och regionala klimatförändringar. I denna del ingår även en översiktlig beskrivning av troliga effekter/konsekvenser av en klimatförändring på miljö, hälsa och andra livsbetingelser på global nivå.

I den andra delen görs en genomgång av förväntade risker och effekter i Europa och Sverige till följd av en global klimatförändring, samt en genomgång av de uppskattningar som finns vad gäller de ekonomiska konsekvenserna i Sverige. En stor del av beskrivningen av risker och effekter och de ekonomiska konsekvenserna i Sverige baseras på den genomgång och analys som finns i Klimat och sårbarhetsutredningens betänkande, SOU 2007:60.

Den tredje delen består av en sammanfattning och en diskussion kring brister vad gäller framförallt svenska kostnadsuppskattningar, samt ett antal förslag och rekommendationer till vad framtida svenska studier skulle kunna fokusera på i syfte att förbättra uppskattningarna.

En uppskattning av samhällets kostnader av en klimatförändring innebär i allt väsentligt en jämförelse mellan två eller flera olika tänkbara utvecklingsbanor, eller scenarier, för klimatet. De kan sägas vara projektioner av framtida klimatförhållanden som baseras på olika antaganden om bland annat befolkningsutveckling, ekonomisk utveckling, teknisk utveckling och klimatpolitik. Med hjälp av klimatmodeller kan utsläppsscenerierna översättas till klimatscenarier. Exempelvis kan vi tänka oss att det ena scenariot, referensscenariot, är ett scenario där vi inte har någon global uppvärmning orsakad av mänsklig aktivitet, medan andra scenarier beskriver klimatförändringar orsakade av olika grad av mänsklig aktivitet. Skillnaden i kostnad mellan referensscenariot och de alternativa scenarierna kan därmed betraktas som den samhällsekonomiska konsekvensen av den av människan orsakade klimatförändringen. Ett annat sätt att betrakta detta är att skillnaden utgör nyttan, eller värdet, av en klimatpolitik som innebär att utsläppen reduceras så att ingen klimatpåverkan från mänsklig aktivitet uppstår.

Det går att ifrågasätta om ett scenario med noll mänsklig påverkan är ett relevant referensalternativ. Värdet, globalt sett, av ett sådant scenario är förmodligen positivt och stort, men samtidigt är förmodligen kostnaden för den klimatpolitik som krävs närmast oändligt hög. Man kan därför tänka sig två alternativa, och mer rimliga, referensscenarier. Det ena är den klimatförändring som skulle bli följd av en global optimal klimatpolitik, medan de alternativa scenarierna beskriver avvikelser från den globalt optimala klimatförändringen.¹ Ett annat alternativ är att referensalternativet baseras på

¹ En global optimal politik är en politik som till lägsta möjliga kostnad begränsar den globala uppvärmningen till den punkt där värdet av ytterligare begränsningar (till exempel reduktioner av växthusgasutsläppen) är lika högt som kostnaden för en sådan begränsning.

ett specifikt globalt temperaturmål, som exempelvis det mål som majoriteten av världens länder kom överens om vid klimatmötet COP21 i Paris.² Där antogs en överenskommelse om att minska utsläppen så att den globala temperaturökningen inte ska överstiga 2°C och allra helst begränsas till 1,5°C över den förindustriella temperaturen. De två sistnämnda alternativen korresponderar mot de analyser som finns i den så kallade Sternrapporten (Stern, 2006) och de analyser som gjorts av bland andra William Nordhaus. Valet av scenarier, det vill säga vilka jämförelser som görs, är naturligtvis av helt central betydelse vid en uppskattning av framtida kostnader av klimatförändringar. Oavsett vilka jämförelsealternativ som väljs är utgångspunkten i denna rapport de globala scenarierna som återfinns i IPCC (2013), och som vidare har brutits ned på regional och nationell nivå av SMHI (se <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarioer>). Här kan nämnas att 2-gradersmålet i Parisavtalet korresponderar väl mot det scenario som benämns RCP4.5 i IPCC (2013), medan en begränsning till 1,5 graders uppvärmning korresponderar mot scenariot RCP2.6. Det senare scenariot förutsätter att de globala utsläppen når sin topp före 2020, för att därefter minska kraftigt, medan RCP4.5 förutsätter att utsläppen når sin topp 2040 för att därefter minska. I Klimat och Sårbarhetsutredningens analys är utgångspunkten det scenario som benämns ”A2” i IPCC (2000, 2001). Scenariot innebär en klimatförändring på mellan 3-5 graders global uppvärmning till slutet av seklet, med ett genomsnitt över alla modeller på 3,4 grader. För att få ett klimatscenario för Sverige valdes resultatet från en av klimatmodellerna, vilket sedan ”skalas ned” till ett scenario för Sverige.³

En annan central del i analysen av kostnaderna i Sverige av en global klimatförändring, är att belysa och diskutera de stora osäkerheter som den här typen av uppskattningar är behäftade med. Effekterna på svensk samhälls ekonomi och välfärd beror dels på de direkta effekterna som följer av den klimatförändring som sker i Sverige, dels på vad som kan sägas vara indirekta effekter som följer av effekter på världsekonomin. Inte minst de senare är behäftade med mycket stor osäkerhet. Exempelvis får en global klimatförändring med stor sannolikhet effekter på den globala jordbruksproduktionen, vilket sannolikt leder till priset effekter på jordbruksprodukter vilket kommer att påverka svenska konsumenter men även svenska producenter av jordbruksprodukter. Ovan nämnda ”Klimat och sårbarhetsutredningen” beräknar endast direkta effekter. Syftet här är att kritiskt diskutera även indirekta effekter.

Avslutningsvis vill jag ytterligare betona att syftet med rapporten är att ge en översikt av de kostnadsuppskattningar som finns för Sverige som en följd av en framtida global klimatförändring. Rapporten syftar *inte* till att utvärdera klimatpolitiken, vare sig globalt eller nationellt, ej heller till att ge förslag till politikåtgärder på området. Rapporten skiljer sig således från många andra ”klimatrapporter”, som exempelvis den kända Sternrapporten (Stern 2006). Sternrapporten har ett globalt fokus där syftet är att se vilka åtgärder som bör vidtas för att *förhindra eller begränsa* en global uppvärmning. Eftersom Sverige är i fokus i denna rapport är det överhuvudtaget inte relevant, eller ens möjligt, med den typ av analys som görs i Sternrapporten eftersom Sverige som ett enskilt litet land inte kan förhindra eller begränsa den globala uppvärmningen.

² COP21 var Förenta Nationernas 21:a klimatkonferens. Mötet hålls årligen mellan parterna i Förenta nationernas ramkonvention om klimatförändringar (UNFCCC, eller Klimatkonventionen). Konferensen i Paris var också det 11:e mötet mellan parterna i Kyotoprotokollet (CMP11).

³ Se kapitel 3.4 i SOU 2007:60 för detaljer.

1.1 Varför behövs en kostnadsuppskattning av klimatförändringar?

En relevant fråga att ställa sig är naturligtvis varför det är av intresse, och viktigt, att uppskatta framtida kostnader i Sverige av klimatförändringar? Klimatproblemet är ett globalt problem och Sverige kan som enskilt litet land inte påverka graden av uppvärmning, och därmed inte de direkta geofysiska effekter som blir följden. Den svenska klimatpolitiken avseende utsläppsminskningar saknar därmed mer eller mindre betydelse för själva klimatförändringen och de eventuella skador eller intäkter som uppstår.⁴

Vad vi däremot kan göra är att anpassa oss till ett förändrat klimat, det vill säga försöka minska sårbarheten och mildra eventuella skadeeffekter, eller i det fall positiva effekter är kopplade till uppvärmningen, anpassa oss i syfte att utnyttja de möjligheter som uppstår till följd av klimatförändringarna, till exempel ökade intäkter från turism. Vissa typer av anpassningsåtgärder till ett varmare klimat sker spontant, eller är autonoma, och drivs av förändrade beteenden hos både konsumenter och producenter. Det kan till exempel vara att jordbrukaren byter gröda, gödslar mer eller mindre, eller på annat sätt anpassar sin produktionsteknologi till nya omständigheter. För konsumenter kan det exempelvis innebära att efterfrågan på energi för uppvärmning minskar, och/eller att efterfrågan på luftkonditioneringsapparater ökar. Det kan även innebära att vanor förändras mer fundamentalt. Exempelvis kan ett varmare klimat innebära att man på sikt förändrar fritidsvanor, från exempelvis skidåkning till mer barmarksorienterade fritidsaktiviteter. Ytterligare ett exempel på en indirekt effekt som kan härledas till direkta klimateffekter i andra länder är omflyttning av människor mellan regioner och länder. En global uppvärmning kan leda till att det blir en ökad inflyttning till Sverige, vilket påverkar samhället på en rad olika sätt, inte minst arbetsmarknaden. Den här typen av förändringar kan ses som en direkt autonom anpassning. Dessa direkta anpassningar kommer i sin tur att leda till marknadsanpassningar av olika slag, så kallad indirekt anpassning, genom att relativpriserna i ekonomin förändras. Den totala anpassningen blir då summan av direkt och indirekt anpassning.

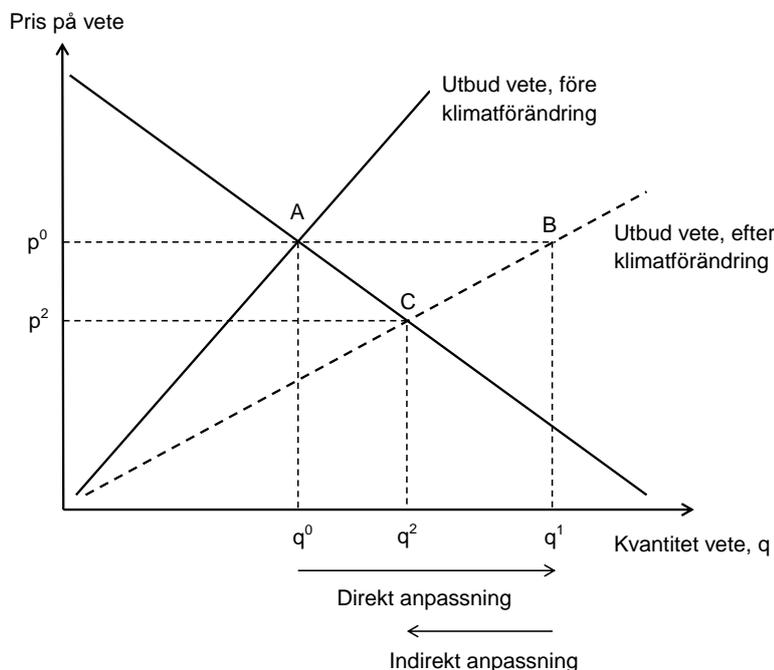
I figur 1.1 ges en enkel illustration av direkt och indirekt autonom anpassning i exemplet med förändrad produktivitet i jordbruket (exempelvis ökad produktion av vete).

I utgångsläget, innan klimatförändringen, produceras q^0 enheter vete till priset p^0 per enhet (punkt A). I illustrationen antas klimatförändringen leda till att produktiviteten i veteproduktionen ökar, vilket illustreras med ett skift nedåt av utbudet av vete (Det blir enklare och/eller billigare att producera, den streckade linjen). Det betyder att till rådande pris är veteodlarna villiga att producera q^1 enheter (punkt B). Skillnaden mellan q^1 och q^0 är då den direkta anpassningen till följd av klimatförändringen. Den di-

⁴ Den svenska klimatpolitiken kan möjligen bidra indirekt, dels genom att visa vägen för andra länder, dels genom att bidra till teknikutveckling. I Hoel (2012) diskuteras dessa effekter, och slutsatsen är att en ambitiös ensidig svensk klimatpolitik innebär att utsläpp i viss utsträckning "flyttar" till andra länder (koldioxidläckage), men att den kan bidra till teknikutveckling som gör det billigare att minska utsläppen även i andra länder. Hoel konstaterar dock att inte minst den senare effekten är mycket osäker.

rekta anpassningen från A till B innebär ett utbudsöverskott på vete som i sin tur leder till en marknadsanpassning, eller indirekt anpassning, till punkt C.⁵

Figur 1.1. Direkt och indirekt anpassning av en klimatförändring.



Ifall marknaden för vete fungerar på det ideala sätt som beskrivs i figur 1.1, och utbudskurvan och efterfrågekurvan reflekterar samtliga kostnader och värderingar, så kommer den anpassning som sker att vara den samhällsekonomiskt bästa anpassningen. Det finns med andra ord inga motiv för stat eller myndigheter att utforma eller vidta särskilda ”klimatanpassningsåtgärder”. Marknadsaktörerna, producenter och konsumenter, kommer själva att vidta de åtgärder de finner bäst utifrån kostnader och preferenser, och detta är sin tur bäst för samhället. Går klimatförändringen relativt långsamt kommer aktörerna att anpassa sig gradvis, med följderna att anpassningskostnaderna kan hållas relativt låga. Sker klimatförändringen snabbt, eller i abrupta steg, så kan anpassningen kräva snabba och relativt kostsamma omställningar för både producenter och konsumenter. Det är lätt att inse att den här typen av anpassningar och indirekta effekter sker överallt på alla marknader, och de är dessutom av olika karaktär, samtidigt som det endast är inom relativt få områden som vi har någon bra empirisk kunskap om riktningen och storleken av effekterna.

Det är viktigt att ha detta i åtanke, det vill säga att mycket av anpassningen till klimatförändringar sker mer eller mindre autonomt på det sätt som beskrivits ovan. På ett principiellt plan kan således klimatförändringen beskrivas som ett exogent teknologiskifte som marknadens aktörer kommer att anpassa sig till. Det betyder att om det finns marknader för allt som påverkar vår välfärd, och alla dessa marknader fungerar på det perfekta sätt som beskrevs ovan, samt att aktörerna har kunskap och är välinformerade om framtida klimatförändringar, finns det inte något samhällsekonomiskt motiv för politik som syftar till klimatanpassning. Det betyder i sin tur att det inte

⁵ En liknande analys kan göras av en förändring av efterfrågan, men det lämnas till läsaren.

finns något egentligt behov att uppskatta kostnaderna för klimatförändringar i ett enskilt litet land. Man skulle kunna säga att det ”blir vad det blir”. Om vi som ett tankeexperiment antar att det sker en klimatförändring som är mycket långsam, säg 1000-tals år. Det betyder att vi från ett år till ett annat inte kommer att märka av klimatförändringen. Den anpassning som kommer att ske i ett sådant fall är mycket långsam och kan ske gradvis, och de kostnader som är förknippade med den kommer att vara små. Vi kan jämföra det med fallet när det går mycket snabbt. Ett bra exempel är flytten av Kiruna stad som måste ske under relativt kort tid. Det betyder att hus och byggnader som ännu inte deprecierats förlorar sitt värde, vilket betyder att ”anpassningskostnaden” är hög.

Det som gör frågan om klimatförändringens kostnader extra viktig är att det inte finns marknader för allt som påverkas av klimatförändringar och som påverkar vår välfärd, och i de fall det finns marknader är det långt ifrån alla dessa som fungerar på det ideala sätt som beskrivs ovan. Vidare saknar kanske aktörerna relevant och korrekt information om omfattningen och effekterna av klimatförändringar på den verksamhet de bedriver.

Ett viktigt skäl till att det inte finns väl fungerande marknader är att effekterna av klimatförändringar och anpassningar i många fall är kollektiva till sin karaktär. Med det menas att en anpassningsåtgärd som vidtas av en individ eller ett företag inte bara påverkar dem själva, utan även andra, negativt eller positivt. Det betyder i sin tur att individen ur ett samhällsperspektiv kommer att ”underinvestera” i anpassning ifall någon annan har nytta av investeringen, och ”överinvestera” ifall andra drabbas negativt av hans anpassningsåtgärd.⁶ För effekter av klimatförändring, och relaterade anpassningsåtgärder med karaktär av kollektiva varor, fungerar inte den oregerade marknaden som en effektiv allokeringmekanism.

Kopplat till exemplet ovan med veteproduktion är att förutom den positiva effekten på produktiviteten kanske det sker en negativ påverkan på den biologiska mångfalden. Någon ”marknad” finns dock inte för biologisk mångfald, beroende bland annat på att det är kollektiv vara, vilket betyder att veteproducenten saknar incitament för att ”producera” biologisk mångfald. Ett annat exempel är förstärkning av en damm eller liknande. En fastighetsägare som hotas av stigande vattennivå i ett vattendrag på hans mark väljer att investera i en damm så länge kostnaden för detta är mindre än värdet av fastigheten som ska skyddas. Dammen ger dock skydd även till andra fastighetsägare i området, utan att den som investerat i dammen kan göra något åt det. Det betyder att dammens värde är summan av alla fastighetsägares värdering. Det följer därmed att om fastighetsägaren inte kan exploatera övrigas värden av dammen är sannolikheten stor att dammen inte byggs eller underdimensioneras trots att det samlade värdet för samhället av den överstiger kostnaden.

Ett annat skäl till att marknader inte fungerar fullt ut i fallet med klimatförändringar har att göra med risk, osäkerhet, och informationsbrister, och det i sin tur gör att det är mycket stora transaktionskostnader förknippade med anpassningsåtgärder. Ett tredje skäl är att många anpassningsåtgärder är, förutom att de är kollektiva varor, storskaliga och ofta förknippade med mycket höga fasta kostnader. Enskilda individer

⁶ För en mer formell och exakt definition av kollektiva varor, se exempelvis Brännlund och Kriström (2012), eller någon annan grundläggande lärobok i miljöekonomi.

och företag kommer därför i många fall inte att vidta åtgärder i den utsträckning som vore bäst för samhället som helhet. Exempel på den typen av åtgärder är åtgärder kopplade till vattenförsörjning, avloppssystem, och översvämningsrisker.

Sammantaget kan man säga att för många av de effekter som följer av en klimatförändring sker anpassningen autonomt, och det behövs i grunden därmed ingen specifik anpassningspolitik. Det betyder dock inte att det inte finns ett behov att från samhällets sida utforma specifika anpassningsstrategier eller anpassningsåtgärder. Ett skäl till detta är att såväl många av de förväntade effekterna av en klimatförändring som anpassningsåtgärder är kollektiva till sin karaktär (min konsumtion påverkar inte din konsumtion). Ett annat skäl är att klimatanpassning i många fall är förknippade med stora transaktionskostnader beroende dels på osäkerheten vad gäller effekterna av klimatförändringar, dels på att många åtgärder är av storskalig natur. Givet detta kan vi konstatera att det finns ett behov av att försöka uppskatta kostnaden för samhället av klimatförändringar, dels för att uppskatta nivån, eller storleksordningen, på åtgärderna, dels vilka områden som ska prioriteras.

2 Klimatproblemet

FN:s klimatpanel IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) sammanställer det senaste kunskapsläget vad gäller klimatets förändringar, deras följder och hur man skulle kunna förhindra dem. Det gör man på uppdrag av WMO (World Meteorological Organization) och UNEP (United Nations Environmental Programme). Sammanställningen presenteras i en utvärderingsrapport (Assessment Report - AR). Första gången man gjorde detta var år 1990. Därpå följde ytterligare rapporter (år 1995, år 2001 och år 2007). Den femte och senaste sammanställningen är AR5, där del 1 (WG1), ”Den naturvetenskapliga grunden”, presenterades i Stockholm i september 2013, och där del 2 (WG2), ”Klimat effekter, anpassning och sårbarhet” och del 3 (WG3), ”Åtgärder för att begränsa klimatförändringar”, presenterades under våren 2014.

Sammantaget ger AR5 vid handen att utsläpp av koldioxid och andra så kallade växthusegaser ger en ökad eller förstärkt växthuseffekt och att detta påverkar klimatet genom att temperaturen ökar för jorden i helhet (globalt).

Nedan i avsnitt 2.1 ges en enkel beskrivning av de grundläggande mekanismerna bakom växthuseffekten. Vidare redogörs det i avsnitt 2.2 för hur mänskliga aktiviteter i form av utsläpp av växthusegaser påverkat klimatet historiskt. I avsnitt 2.3 redogörs för olika tänkbara scenarier för framtida klimat. De scenarier som redogörs för är de scenarier som finns redovisade i AR5. Scenarierna går under benämningen RCP:er, som kommer från engelskans "representative concentration pathways".

2.1 Växthuseffekten⁷

Klimatproblemet kan enklast beskrivas som en av människan förstärkt växthuseffekt. Växthuseffekten påverkar balansen mellan inkommande solstrålning och utgående värmestrålning. En stor del av den inkommande solstrålningen passerar genom atmosfären och värmer upp jordytan. Den uppvärmda jordytan skickar i sin tur ut värmestrålning som delvis hindras av de växthusegaser som finns i atmosfären. Delar av den värmestrålning som stoppas strålas därefter tillbaka mot jorden, vilket gör att temperaturen på jordytan blir högre och jämnare. Avsaknaden av växthusegaser i atmosfären skulle således innebära en betydligt kallare planet. Utan växthusegaser i atmosfären skulle jordens medeltemperatur på ytan vara ca -5°C , vilket ska jämföras med dagens ca $+14^{\circ}\text{C}$ (Nationalencyklopedin).⁸

⁷ En mer utförlig, men relativt enkel, beskrivning av växthuseffekten finns exempelvis i Rummukainen (2005), Miljömålsberedningen (2007) och Berns (2016).

⁸ Upptäckten av växthuseffekten, det vill säga att jordens atmosfär absorberar värme, kan tillskrivas den franske matematikern Joseph Fourier (Fourier, 1824). Fourier ställde den bedrägligt enkla frågan; vad bestämmer medeltemperaturen på en planet som jorden? När ljus från solen träffar och värmer jordens yta, varför fortsätter inte planeten att värmas upp till det att den är lika varm som solen själv? Fouriers svar var att den uppvärmda ytan avger osynlig infraröd strålning, som leder värmenergin bort i rymden. Trots sin klokhet saknade Fourier de teoretiska verktygen för att beräkna just hur balansen placerar jorden vid sin nuvarande temperatur, men han insåg att planeten skulle bli betydligt kallare om den saknade en atmosfär. John Tyndall (1865) var den förste att visa på betydelsen av atmosfärens sammansättning och att det är vattenånga och koldioxid som står för merparten av värmeabsorptionen. Svante Arrhenius (Arrhenius, 1896) var den förste att beräkna växthuseffekten med en matematisk modell genom att beräkna en strålningsjämvikt. Med modellen undersökte Arrhenius hur en fördubbling av koldioxidhalten skulle ändra strålningsjämvikten, och därmed temperaturen.

De mest betydelsefulla växthusgaserna i atmosfären är vattenånga (H₂O), koldioxid (CO₂), dikväveoxid eller lustgas (N₂O), metan (CH₄), ozon (O₃) samt halokarboner. Olika växthusgaser uppehåller sig olika länge i atmosfären. Ozon stannar i cirka en månad, metan stannar i drygt tiotalet år medan koldioxid stannar kvar i hundratals år.⁹

Själva förloppet är dock komplext med ett antal återkopplingar och trögheter inbyggda i systemet. Exempelvis lagras en del värme i haven, vilket skapar en tröghet i klimatsystemet. Vidare sker en mängd återkopplingar som exempelvis påverkan på molnbildning, nederbörd, havsnivå och cirkulationsmönster. Sammantaget innebär dessa trögheter och återkopplingar att en förändring i atmosfärens sammansättning som rubbar den jämvikt som råder kommer att ersättas av en ny jämvikt, men att det tar lång tid innan jämvikten är återställd.

De grundläggande faktorer som påverkar klimatet är sådana som påverkar strålningsbalansen, vilka kan härledas till naturliga påverkansfaktorer och faktorer påverkade av mänsklig aktivitet. Den helt centrala faktorn är solen som tillför den grundläggande energin. Det betyder att naturliga (och för människan ej påverkbara) variationer i solens strålning har stor betydelse för klimatet. Den energi som strålar ner per ytenhet på Jorden beror mycket på latituden, det vill säga vinkel och avstånd till solen, vilket gör att det uppstår ett energiöverskott vid ekvatorn och energiunderskott i polarområdena. De temperaturskillnader som uppstår på olika latituder till följd av detta skulle vara ännu större om det inte fanns processer i form av luft och havsströmmar som förflyttar energi, och därmed jämnar ut skillnaderna.

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 så kallade 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.

Strålningsbalansen (se figur 2.1), det vill säga skillnaden mellan in- och utstrålning, påverkas också, som sagt, av atmosfärens sammansättning vad gäller andelen växthusgaser som koldioxid och metan, men även av moln, och mängden stoftpartiklar (aerosoler) i stratosfären. Växthusgaser som vattenånga, koldioxid och metan, finns naturligt i atmosfären på grund av kolets och vattnets kretslopp, men påverkas också av mänsklig aktivitet framförallt genom förbränning av fossila bränslen och förändrad markanvändning. Förbränning av fossila bränslen, som olja och kol, innebär att vi tillför koldioxid till kretsloppet för kol. Mängden aerosoler, eller stoftpartiklar, bestäms av såväl naturliga som mänskliga processer (antropogena). Exempel på naturliga källor till aerosoler är saltpartiklar som följer med vattendroppar från vind och vågor, partiklar av sot och annat från bränder, samt pollen och annat biologiskt material som delar av blad och insekter. Ytterligare en viktig naturlig källa för stoftpartiklar är vulkanutbrott. Effekten på klimatet av aerosoler är dock komplex, där vissa har en avky-

⁹ För att jämföra olika gaser används så kallade koldioxidekvivalenter (CO₂e), vilka anger hur många ton koldioxid som behöver släppas ut för att åstadkomma samma klimateffekt som ett ton utsläpp av ett visst ämne. I ett hundraårsperspektiv bedöms ett ton metanutsläpp motsvara 34 ton koldioxid medan ett ton dikväveoxid motsvarar 288 ton koldioxid (IPCC 2013). Med kortare tidsperspektiv blir förhållandena annorlunda. Med en tjugoförårig horisont motsvarar ett ton metan 86 ton koldioxid medan förhållandet för dikväveoxid är 268 ton. Vanligen antas ett hundraårsperspektiv när olika gasers klimatpåverkan uttrycks i koldioxidekvivalenter. Så också i denna rapport.

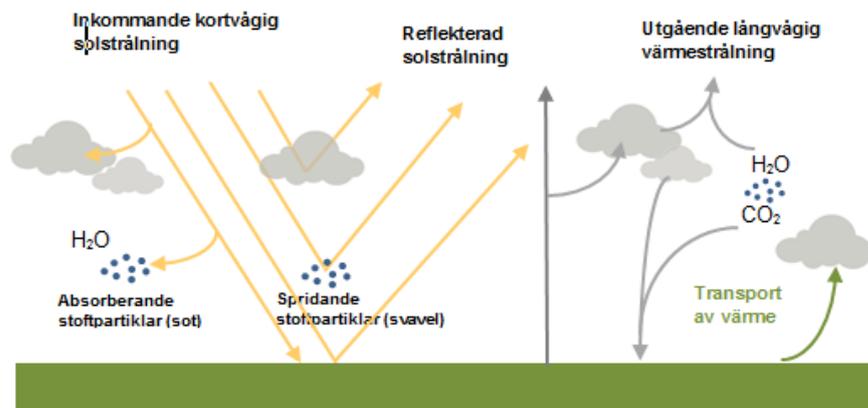
lande effekt och vissa en uppvärmande. De flesta stoftpartiklar reflekterar solens strålar tillbaka ut i rymden och hindrar därigenom solens strålar att värma marken. Sot är ett exempel på en typ av partikel som fångar upp eller absorberar den inkommande solstrålningen och har därför en uppvärmande effekt på atmosfären.

Moln påverkar också solstrålningens väg genom atmosfären. Beroende på om molnen förekommer någon kilometer upp i atmosfären (låga moln) eller på höjder över fem kilometer (höga moln), kan moln reflektera (det vill säga hindra solens strålar att värma luften närmast marken) eller tvärtom förstärka växthuseffekten genom att begränsa värmeutstrålningen ut till rymden. Sett ur ett globalt perspektiv verkar den sammanlagda effekten av luftburna stoftpartiklar och moln kylande på marknära luftlager i motsats till uppvärmningen av växthusgaserna.

Jordens strålningsbalans illustreras i figur 2.1.

Figur 2.1. Jordens strålningsbalans och växthuseffekten.

Källa: Miljömålsberedningen (2007).



Anm. Figuren illustrerar hur omkring hälften av den inkommande kortvågiga solstrålningen absorberas vid jordens yta och värmer jordytan. Resten reflekteras tillbaka till rymden eller absorberas i atmosfären. Värme-strålningen från jordens yta fångas upp av växthusgaserna i atmosfären. Atmosfären i sin tur skickar värme-strålning både ner mot jordytan och ut mot världsrymden. Den nedåtriktade värme-strålningen värmer upp jordytan 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 jordytan. Temperaturen vid jordytan kan därmed påverkas av förändringar av atmosfärens innehåll av växthusgaser och stoftpartiklar, förändringar i markytans beskaffenhet samt ändrad solinstrålning.

Sammantaget kan man säga att atmosfärens innehåll av växthusgaser och stoftpartiklar påverkar jordens klimat. Mer växthusgaser leder till minskad utstrålning av värme och därmed en *positiv strålningsdrivning* av jordens strålningsbalans och en förstärkt växthuseffekt. Vi får ett varmare klimat. Med varmare klimat ökar mängden vattenånga i atmosfären (via ökad avdunstning och genom att varmare luft kan innehålla mer vattenånga). Denna återkoppling förstärker växthuseffekten ytterligare. Vidare påverkas även molnigheten och bidrar till en *negativ strålningsdrivning* av jordens strålningsbalans och därmed ett kallare klimat.

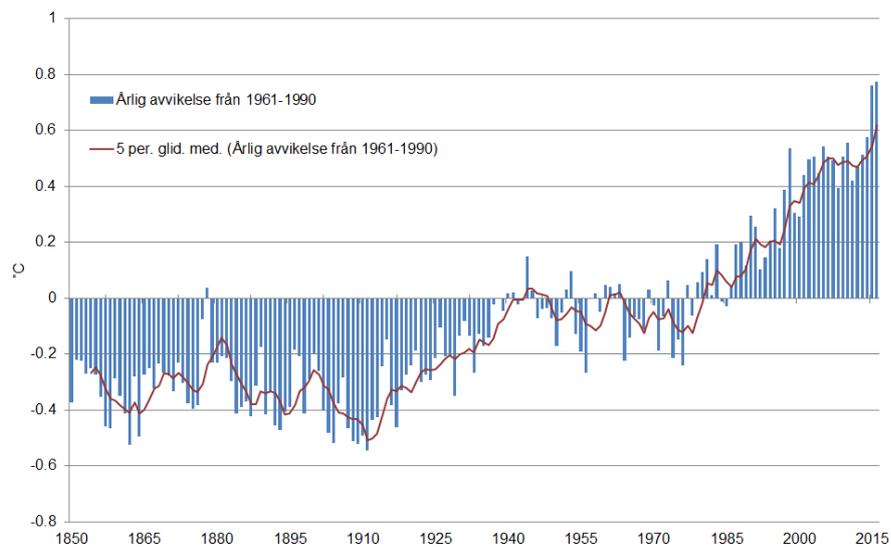
2.2 Människan påverkar klimatet

Utöver naturliga processer så är det mycket som talar för att klimatet förändras mer än vad som kan förklaras av naturliga variationer (IPCC, 2013). I IPCC:s senaste utvärderingsrapport, AR5, är slutsatsen att vetenskapen nu visar att det med 95 procent sä-

kerhet är mänsklig aktivitet som är den dominerande orsaken till den uppvärmning som observerats sedan mitten av 1900-talet. IPCC drar slutsatsen att en uppvärmning i klimatsystemet är otvetydig.¹⁰ Enligt AR5 har den globala genomsnittstemperaturen stigit med 0,85°C under perioden 1850 - 2012 (se figur 2.2). Vad som också är tydligt är att den största delen av uppvärmningen skett under efterkrigstiden, det vill säga från 50-talet och framåt.

Figur 2.2. Årlig temperaturavvikelse (anomali) från perioden 1961-1990 (blå staplar), och glidande 5-års medeltal (röd kurva).

Källa: Egen konstruktion baserat på data från Climatic Research Unit, University of East Anglia (HadCRUT4, <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/HadCRUT4-gl.dat>)



De mänskliga aktiviteter som bidrar till klimatförändringar är som nämnts framförallt de som ger upphov till direkta utsläpp av växthusgaser och stoftpartiklar, samt förändringar i markanvändning. Det senare betyder också att marken, och framförallt skogen, kan utgöra en sänka, det vill säga bidra med negativa utsläpp. Tillväxt i skogen innebär att upptaget av koldioxid ökar, medan negativ tillväxt innebär ett minskat upptag. Skogens roll i kolbalansen beror också på hur den skog som avverkas används. Används skogsuttaget som energi, det vill säga förbränns, ökar utsläppen momentant, men om skogen ”byggs” in i mer bestående produkter som hus och möbler så ökar inte utsläppen momentant till följd av ökat uttag utan i takt med deprecieringen av byggnader och andra träkonstruktioner.

En förändring av utsläpp av växthusgaser som inte balanseras av det naturliga upptaget förändrar halten av växthusgaser i atmosfären vilket påverkar strålningsbalansen och i slutändan klimatet. Som nämnts är de vanligaste växthusgaserna koldioxid, metan, lustgas och ozon. Mängden av dessa gaser har ökat kraftigt sedan industrialismens början som en följd av framförallt ökad förbränning av fossila bränslen, men även som en följd av avskogning och förändrade jord- och skogsbruksmetoder. Vid förbränning av fossila och andra bränslen och i industriella processer bildas även aeroso-

¹⁰ "Warming of the climate system is unequivocal, and since the 1950s, many of the observed changes are unprecedented over decades to millennia. The atmosphere and ocean have warmed, the amounts of snow and ice have diminished, sea level has risen, and the concentrations of greenhouse gases have increased". IPCC (2014), "summary for policy makers", sid 4.

ler, eller stoftpartiklar. Exempelvis leder förbränning av svavelhaltiga (exempelvis fossila och biobaserade) bränslen till utsläpp av svaveldioxid till atmosfären. Svaveldioxiden övergår sedan till sulfatpartiklar som oftast har relativt kort livslängd i atmosfären. Sulfatpartiklarna reflekterar inkommande solstrålning, vilket minskar instrålningen till jordytan.¹¹ Samtidigt kan nedfall av partiklar i snöklädda områden minska albedot (reflektionsförmågan), vilket motverkar den minskade solinstrålningen.

Kännetecknande för växthusgaser, förutom egenskapen att de släpper igenom solens kortvågiga strålning men absorberar den långvågiga strålningen från jordytan är, som nämnts, att de är relativt långlivade i atmosfären och att de har olika förmåga att absorbera värmestrålning. Koldioxid uppehåller sig i hundratals år, medan metan är betydligt mer kortlivat, 10-15 år.¹² Å andra sidan absorberar metan mer av värmestrålningen än vad koldioxid gör. Det förra betyder att ett utsläpp av exempelvis koldioxid kommer att "blandas" närmast perfekt i atmosfären, vilket innebär att effekten på koncentrationshalten av koldioxid i atmosfären är oberoende av var på jorden utsläppet sker, medan det senare innebär att 1 ton metan är mer potent som växthusgas än koldioxid, men att dess effekt avtar snabbare. Översatt till koldioxidekvivalenter motsvarar 1 ton metan 34 ton koldioxid, sett över en 100-års period.

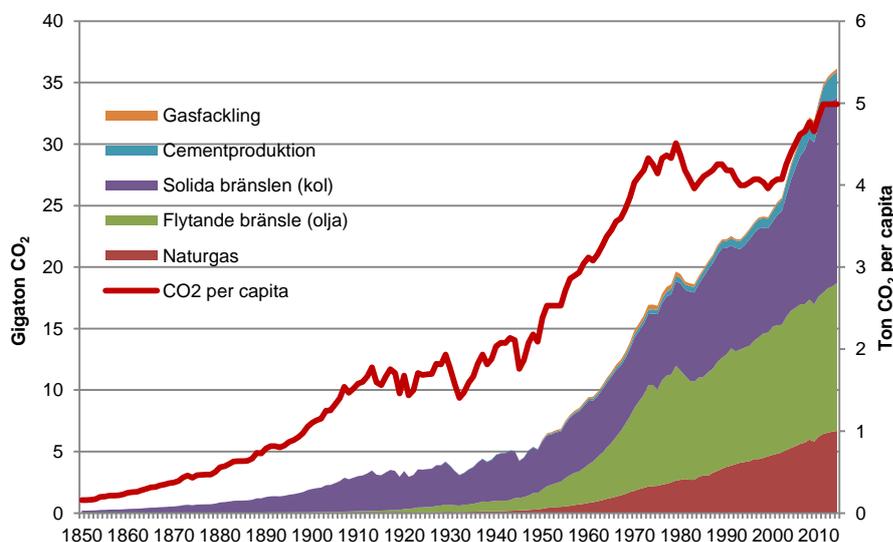
I figur 2.3 redovisas de globala utsläppen av koldioxid totalt och per capita i ett historiskt perspektiv (1850 – 2014). Som framgår ökade utsläppen per capita exponentiellt fram till första världskriget för att därefter plana ut. Efter andra världskriget tog dock utsläppen per capita fart igen och ökade mycket kraftigt fram till 1970-talet. Under 1970- och 80-talen kan man till och med se en viss minskning av utsläppen per capita. En viktig förklaring är oljekriserna under 1970-talet som ledde till att olja i hög utsträckning ersattes av andra energikällor. En annan viktig förklaring var den globala ekonomiska kräftgången under 70-talet, delvis som en följd av oljekriserna. I Sverige, exempelvis, ersattes olja i stor utsträckning med fossilfri elektricitet, vilket blev möjligt bland annat till följd av kärnkraftsutbyggnaden. Från början av 2000-talet kan man se att utsläppen per capita återigen ökar kraftigt. Ser man till de totala utsläppen finner man att de ökat stadigt under hela perioden, som en följd av ökad befolkning i kombination med ökande utsläpp per capita. Under perioden fram till första världskriget var det nästan uteslutande den ökade kolanvändningen som bidrog till de ökade utsläppen. Förbränning av olja tog ordentlig fart först efter andra världskriget och ökade mycket snabbt fram till oljekriserna på 70-talet. I slutet av 60-talet passerade oljan kolet som största utsläppskälla. Figur 2.3 är intressant också i så måtto att den visar att av mänsklighetens totala utsläpp som skett sedan 1850 så har cirka hälften skett efter 1990.

¹¹ Beräkningar vid Rosby Centre (SMHI) visar att partikelutsläpp kan ha orsakat en temperatursänkning på 0,2-1,2°C det senaste århundradet i Europa och norra Atlanten. Med andra ord kan svavelutsläppen ha dämpat den pågående uppvärmningen.

¹² Den bakomliggande deprecieringsfunktionen för koldioxid som används för att beräkna hur potenta olika gaser finns beskriven i IPCC (2007), se också Joos m.fl. (2013). Funktionen kan skrivas som $a_0 + \sum_1^3 a_i \cdot e^{-t/\tau_i}$, där a_0 och a_i är positiva konstanter, och t är tiden. Det betyder att "deprecieringen" av ett ton koldioxidutsläpp som släpps ut i period 0 är exponentiell.

Figur 2.3. Globala utsläpp av koldioxid (CO₂), totalt (Gigaton) och per capita (ton).

Källa: Egen konstruktion baserat på data från Boden m.fl. (2017)
(http://cdiac.ornl.gov/ftp/ndp030/global.1751_2014.ems).



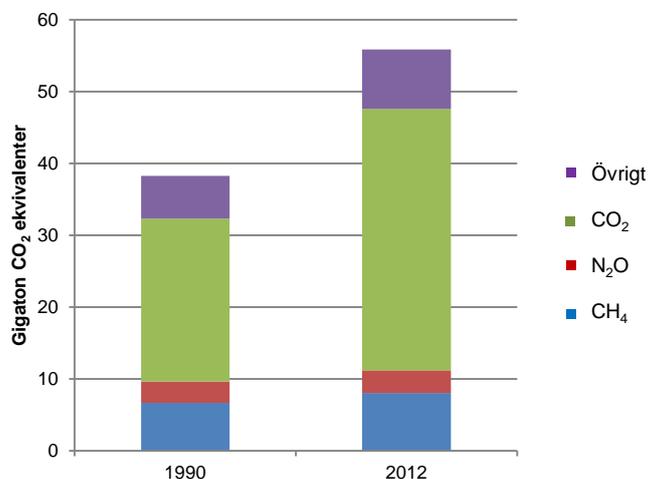
Koldioxid från förbränning av fossila bränslen utgör dock endast en del av de totala växthusgasutsläppen. Utöver koldioxid är som nämnts de mest betydande växthusgaserna metan, lustgas, ozon, och halokarboner.

Som framgår av figur 2.4 så utgör utsläppen av metan cirka 15 procent av de totala växthusgasutsläppen 2012, vilket är en viss minskning sedan 1990 (17 procent). Lustgas, som är den tredje största växthusgasen, utgjorde 2012 ca 6 procent av de totala utsläppen, vilket även det är en viss minskning sedan 1990 (8 procent). Sammantaget innebär det att den ökning av totala växthusgasutsläpp som vi kan observera mellan 1990 och 2012 kan tillskrivas en kraftig ökning av koldioxidutsläpp. De huvudsakliga källorna till utsläppen av metan och lustgas är energiomvandlings- och jordbrukssektorn, vilket framgår av figur 2.5. Globalt sett kan ca 37 procent av metanutsläppen härledas till jordbrukssektorn, medan ca 44 procent kan härledas till energisektorn.

Det bör här poängteras att det är stora skillnader mellan olika regioner och länder både vad gäller sammansättningen av olika växthusgaser av de totala utsläppen och vad gäller källan till de olika utsläppen. Av de totala utsläppen från exempelvis Afrika utgör metan ca 18 procent av utsläppen, medan motsvarande siffra för EU är ca 10 procent. Ser man till källan för metanutsläppen (figur 2.5) så kan för Afrikas del 57 procent hänföras till jordbrukssektorn, medan jordbrukssektorns andel inom EU är ca 40 procent. Dessa siffror speglar såklart de stora strukturella skillnader som finns mellan dessa regioner.

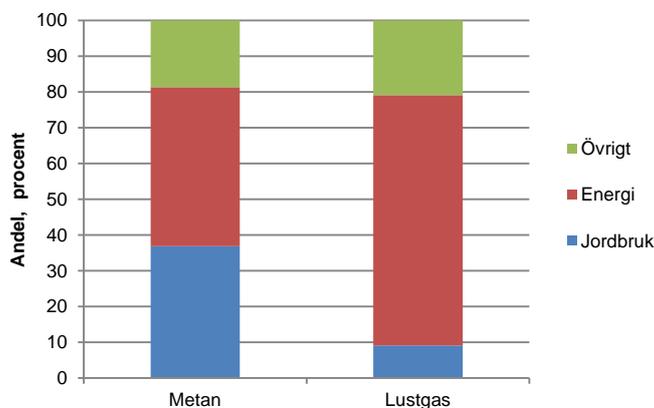
Figur 2.4. Globala utsläpp av olika växthusgaser 1990 och 2012. Gigaton CO₂ ekvivalenter.¹³

Källa: Egen konstruktion baserat på data från Världsbanken (World Development indicators, <http://wdi.worldbank.org/table/3.9>)



Figur 2.5. Andel av utsläppen av metan (CH₄) och lustgas (N₂O) som kan härledas till jordbruks- och energisektorn.

Källa: Egen konstruktion baserat på data från Världsbanken (World Development indicators, <http://wdi.worldbank.org/table/3.9>)



Slutligen kan det vara av intresse att se hur de globala utsläppen av totala växthusgaser utvecklats över en längre tid, och hur de utvecklats i olika regioner i världen.

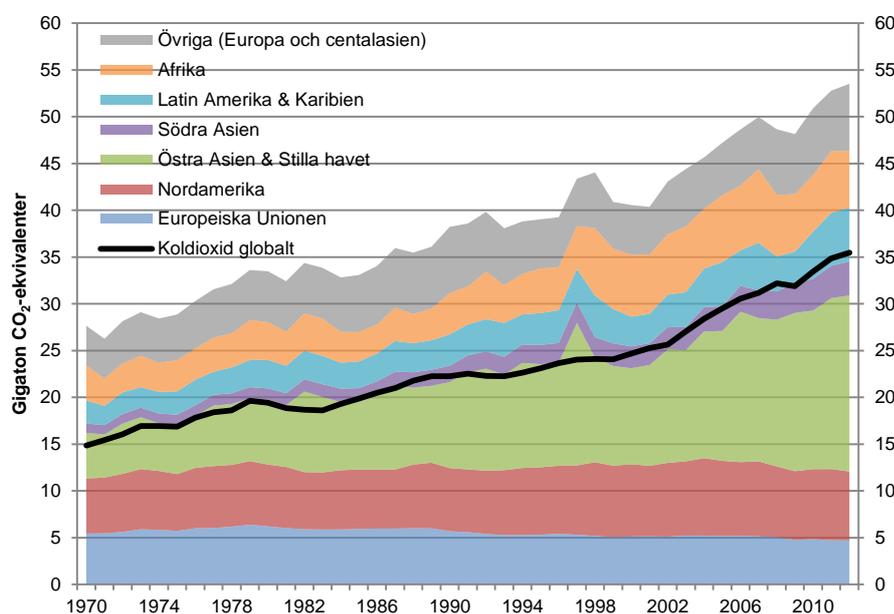
I figur 2.6 redovisas de globala utsläppen av totala växthusgaser för perioden 1970-2014, uppdelat på olika regioner. Den svarta heldragna kurvan visar utsläppen av koldioxid från fossila bränslen, gasfackling och cementproduktion. Vad som först och främst kan konstateras är att andelen utsläpp från fossila bränslen ökat trendmässigt under perioden, från en andel på ca 53 procent 1970 till ca 67 procent 2012, en ökning med 23 procent. Vidare kan det konstateras att fördelningen mellan regioner förändrats dramatiskt mellan 1970 och 2012. År 1970 svarade EU och Nordamerika för cirka

¹³ Totalen växthusgaser, uttryckt i Gigaton CO₂-ekvivalenter, är beräknade enligt GWP100-metoden (IPCC, 1996). Utsläpp från förbränning av jordbruksrester och liknande ingår inte, medan utsläpp till följd av skogsbränder, torvbränder och liknande ingår. I "övrigt" ingår alla antropogena F-gaser (HFC, PFC och SF₆).

49 procent av utsläppen, medan man 2012 stod för 22 procent. Den kraftiga globala ökningen som skett kan nästan helt härledas till den kraftiga ökningen av den ekonomiska aktiviteten i Sydostasien och stillahavsområdet, inte minst i Kina. Utvecklingen speglar två grundläggande underliggande faktorer. För det första har det skett en global ekonomisk strukturomvandling, bland annat i så måtto att en stor del av energiintensiv tillverkningsindustri har flyttat från Europa och Nordamerika till framförallt Sydostasien, och för det andra att det skett en närmast explosionsartad ekonomisk tillväxt i samma region, framförallt i Kina.¹⁴

Figur 2.6. Globala utsläpp av växthusgaser (Gigaton CO₂-ekvivalenter), totalt och uppdelat på olika regioner.¹⁵

Källa: Egen konstruktion baserat på data från Världsbanken (World Development Indicators, <http://wdi.worldbank.org>).



Sammantaget kan det konstateras att det skett en kraftig ökning av de antropogena utsläppen av växthusgaser de senaste 150 åren, och framförallt de senaste 50 åren. Vidare kan det konstateras att koldioxidutsläpp från användning av fossila bränslen är den dominerande växthusgasen, och att det är denna som haft snabbast tillväxt.

Utsläppsökningen har lett till att de globala koncentrationsnivåerna i atmosfären av växthusgaserna CO₂, N₂O, CH₄ och O₃ ökat markant. Koncentrationen av koldioxid, som är den mest betydande växthusgasen, har sedan mitten av 1700-talet ökat från cirka 300 volymdelar per en miljon (ppm(v)) till dagens nivå på drygt 400 ppm(v), det vill säga en ökning med drygt 30 procent sedan industrialismens genombrott. Koncentrationen bedöms nu vara den högsta under de senaste 800 000 åren. Den snabb-

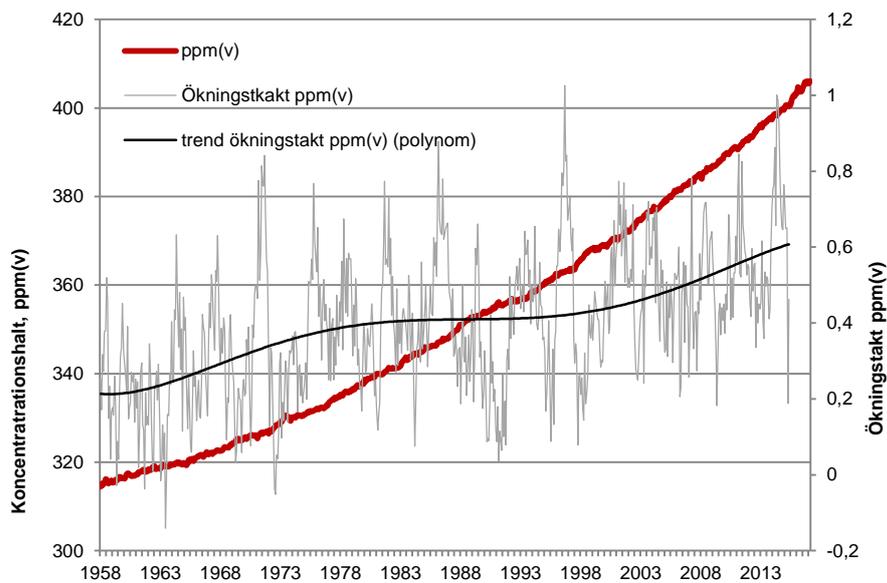
¹⁴ Det finns en omfattande litteratur kring bestämningsfaktorerna till utvecklingen av utsläpp globalt och i olika länder, och huruvida det finns anledning att tro att olika länders per capita utsläpp "konvergerar" mot samma nivåer eller mot samma ökningstakter. Studierna visar att det finns visst belägg för konvergens (se exempelvis Brännlund m.fl., 2017, Pettersson m.fl., 2014), åtminstone bland utvecklade länder (till exempel OECD-länderna), men att resultaten är känsliga för vilken metod som används (se Acar m.fl., 2017).

¹⁵ Den svarta heldragna kurvan visar globala utsläpp av koldioxid från förbränning av fossila bränslen, cementproduktion och gasfackling. För en definition av vilka länder som ingår i respektive region, se Världsbanken (<http://www.worldbank.org/en/country>).

aste ökningen har skett från 1950-talet, och som kan ses i figur 2.7 har koncentrationen ökat med i genomsnitt cirka 0,4 procent per år sedan 1958.

Figur 2.7. Koncentration koldioxid i atmosfären, ppm(v) (volymdelar per en miljon).

Källa: Egen konstruktion baserat på data från Scripps CO₂ program (<http://scrippsco2.ucsd.edu>).¹⁶



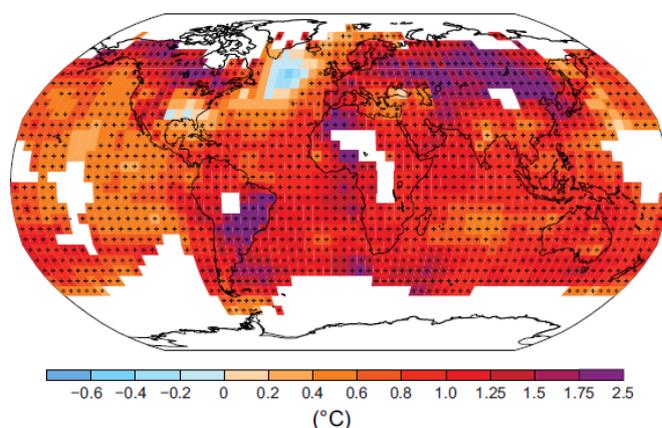
Sammantaget kan det sägas att det råder stor konsensus kring sambandet mellan utsläpp av växthusgaser, koncentration av växthusgaser i atmosfären och global medeltemperatur. Den globala uppvärmningen på cirka 0,85°C sedan mitten av 1800-talet kan således med stor säkerhet kopplas till den ökade halten av växthusgaser i atmosfären, vilket i sin tur kan kopplas till en ökning av de antropogena utsläppen av växthusgaser.

Det bör dock poängteras att den temperaturförändring som skett varierar mellan olika regioner på Jorden. Som framgår av figur 2.8 har temperaturen ökat med mellan 1,75 och 2,5°C i vissa områden, framförallt i delar av det arktiska området (norra Ryssland och Kanada).

¹⁶ Atmosfäriska CO₂-koncentrationer (ppm(v)) härrörande från in situ-luftmätningar vid Mauna Loa Observatoriet, Hawaii. Latitud 19.5°N, longitud 155.6°W, höjd 3397 meter. Säsongsjusterade månadsvärden. (http://scrippsco2.ucsd.edu/assets/data/atmospheric/stations/in_situ_co2/monthly/monthly_in_situ_co2_mlo.csv).

Figur 2.8. Förändring i temperatur mellan 1901 och 2012, grader Celcius.¹⁷

Källa: IPCC (2013).



Klimatförändringar innebär inte bara förändringar i temperatur, utan även i förändrade mönster och mängder av nederbörd, och förändringar vad gäller extrema väderhändelser som orkaner, stormar och skyfall. Dock finns det mindre tydliga belegg, baserade på observationsdata, för att det skulle ha skett stora förändringar vad gäller nederbördsmängder och extrema väderhändelser. I AR5 dras slutsatsen att "trolighetsnivån" (*confidence*) är "låg" (*low*) att nederbördsmängden ökat mellan 1901 och 1951, och att det är "genomsnittligt troligt" för perioden efter 1951.

Sammantaget råder det stor konsensus om en global uppvärmning de senaste 50 åren, och att den kan kopplas till ökade utsläpp av växthusgaser. Vad som däremot är mer osäkert är hur det påverkat och kommer att påverka klimatet i form stormar, nederbörd, värmeböljor etc., och framförallt hur påverkan blir i olika regioner i världen.

2.3 Scenarier för framtida klimat

I AR5:s delrapport från WG1, "Den naturvetenskapliga grunden", presenteras ett antal möjliga framtidsbilder av klimatet. Beräkningarna i rapporten, som bygger på senaste generationens klimatmodellberäkningar, grundar sig på en uppsättning scenarier för klimatpåverkan som beskriver fyra olika utvecklingsvägar för framtida koncentrationer av långlivade växthusgaser, stoftpartiklar samt andra klimatpåverkande faktorer.

De olika scenarier som redovisas i AR5 är framtagna för att beskriva den osäkerhet som finns inför framtida utsläpp och de kan inte direkt kopplas till någon specifik socioekonomisk utveckling. Därvid finns antaganden om såväl kraftiga som mer begränsade utsläppsökningar och mellanliggande scenarier. Dessa scenarier behandlar tänkbara utvecklingsvägar fram till år 2100. Två av scenarierna, RCP4.5 och RCP6.0, är stabiliseringsscenarier, det vill säga scenarier där de antropogena utsläppen antas minska eller stabiliseras, medan ett tredje scenario, RCP8.5, utgör ett scenario med

¹⁷ Kartan är härledd från observerade temperaturtrender. Trender har tagits fram endast för de "pixlar" där det finns 70 procent kompletta observationer. De vita pixlarna är områden där data inte är komplett. Ett "+" i pixeln betyder att förändringen är statistiskt signifikant.

mycket höga växthusgasutsläpp.¹⁸ RCP2.6, det mest optimistiska scenariot, förutsätter mycket stora internationella åtgärder vad gäller utsläppsminskningar.

I RCP2.6 bedöms det som sannolikt att den globala temperaturhöjningen stannar under 1,5°C vid slutet av seklet, jämfört med perioden 1985-2005. I RCP4.5, som är ett mellanscenario, är bedömningen att temperaturhöjningen kommer att bli cirka 2°C (1,1 – 2,6°C), medan det i RCP8.5 bedöms att höjningen kommer att vara 3,7°C i slutet av seklet (2,6 – 4,8°C). Någon bedömning av vilka av dessa scenarier som mest troligt beskriver framtiden görs inte av AR5. Orsaken är att det finns flera faktorer som skapar osäkerheter i klimatscenarier. En faktor är osäkerheten om hur utsläppen kommer att utvecklas framöver, en annan hur känsligt klimatsystemet är. Eventuella tröskeffekter 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. Klimatscenarierna tar enbart i viss utsträckning hänsyn till dessa effekter.

Vid en minskning av utsläppen från förbränning av kol och olja minskar förekomsten av stoftpartiklar i atmosfären snabbare än förekomsten av 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 AR5 mellan 1,1–4,8°C jämfört med förindustriell tid.

Som beskrivs i AR5 kommer olika regioner i världen att påverkas olika. Allmänt går uppvärmningen snabbare på kontinenter än i haven, och den norra hemisfären värms upp snabbare än den södra.

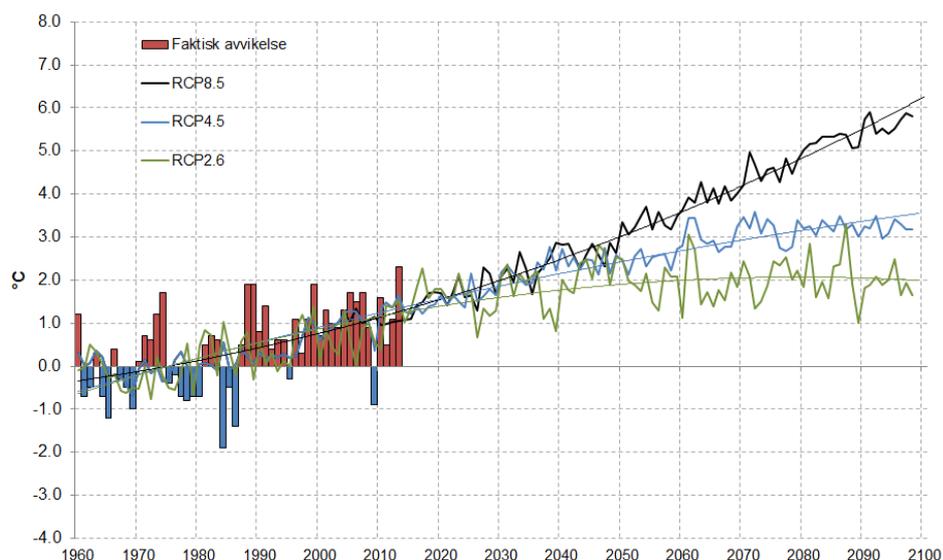
SMHI har utifrån de globala scenarierna tagit fram svenska klimatscenarier som visar en kraftigare uppvärmning i Sverige än den globala uppvärmningen. Vidare visar scenarierna för Sverige att temperaturökningen blir större på vintern än på sommaren vilket bland annat innebär mindre snö och is, vilket bidrar till att förstärka klimateffekten på grund av mindre reflektion av solljus under vinterperioden. Nederbörden kommer också att öka i Sverige. Även om nederbörden ökar på sommaren så sker den stora ökningen under resten av året. Sammantaget tyder de regionala klimatscenarierna på väsentliga förändringar i det svenska klimatet, vilket får konsekvenser på en rad naturliga och mänskliga system.

I figur 2.9 redovisas beräkningar av förändringen av årsmedeltemperaturen i Sverige för perioden fram till 2100. För det mest optimistiska scenariot, RCP2.6, är den beräknade klimatförändringen i Sverige fram till 2100 cirka 2°C, medan höjningen i det mest negativa scenariot, RCP8.5, är drygt 6°C. Skillnaden mellan de olika scenarierna är med andra ord betydande. Som sagt, någon bedömning av vilka av dessa scenarier som är mest troliga görs inte.

¹⁸ RCP står för "Representative Concentration Pathways. se IPCC WG1 (2013) eller www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier för beskrivningar för hur dessa scenarier är framtagna.

Figur 2.9. Beräknad förändring av årsmedeltemperaturen i Sverige fram till 2100 jämfört med genomsnittet för perioden 1961-1990, grader Celcius.¹⁹

Källa: Egen konstruktion med data från SMHI (<https://www.smhi.se/klimat>).



Sammanfattningsvis kan det konstateras att de scenarier som presenteras i IPCC (2013) innebär en temperaturhöjning globalt på mellan 1 och 5°C. Den nedre gränsen förutsätter en utveckling där utsläppen når sin topp 2010 och minskar kraftigt därefter, medan den övre gränsen utgör ett "business-as-usual" scenario, vilket innebär att utsläppen fortsätter att öka i samma takt som idag.

För Sveriges del innebär det en temperaturhöjning på mellan 2 och 6°C enligt de scenarier som tagits fram av SMHI. Värt att notera är att den temperaturökning i Sverige som blir följden av mellanscenariot, RCP4.5, är i linje med det klimatscenario som användes i Klimat och Sårbarhetsutredningens betänkande, SOU 2007:60. Det betyder att de effekter och konsekvenser som beskrivs för Sverige i avsnitt 3.2 nedan kan sägas korrespondera mot scenariot RCP4.5 i figur 2.9, vilket innebär en temperaturhöjning på cirka 3,5 °C i slutet av seklet, jämfört med genomsnittet för perioden 1961-1990.

Återigen bör det påpekas att vare sig IPCC eller SMHI gör någon bedömning av vilka av ovan scenarier som mest troligt beskriver framtiden.

¹⁹ Beräkningarna för de enskilda scenarierna utgör medelvärdet från en ensamble klimatmodeller. I RCP8.5 och RCP 4,5 består ensambeln av nio klimatmodeller, medan det i RCP2.6 är tre klimatmodeller. De "jämna" linjerna är egenkonstruerade trendlinjer för respektive scenario, beräknat som ett tvågraders polynom.

3 Effekter och risker av en global uppvärmning

Den globala uppvärmningen om 0,85°C som kan konstateras sedan mitten av 1800-talet har haft en rad observerade fysiska och geofysiska effekter, vilka finns beskrivna i detalj i AR5, IPCC:s femte utvärderingsrapport (se IPCC, 2013 och 2014). Det handlar bland annat om minskning av inlandsisarna på Grönland och Antarktis, minskande glaciärer, minskad havsis i Arktis, och minskat snötäcke under delar av året i många regioner. Vidare har det observerats, som nämnts ovan, förändrade mönster för extrema väderhändelser sedan framförallt 1950. Exempelvis har intensiteten i kalla extremer minskat medan intensiteten i varma extremer ökat. Vidare har, enligt IPCC (2013), antalet skyfall och intensiteten i dessa ökat i Nordamerika och Europa.²⁰ En följd av havens uppvärmning och avsmältningen av glaciärerna och inlandsisarna på Grönland och Antarktis är att havsnivån stigit. Sett över perioden 1901-2010 har den genomsnittliga havsnivån stigit med cirka 0,19 meter, det vill säga i genomsnitt 1,9 mm per år. Dock visar mätningar på en ökning under den senare delen av perioden med 3,2 mm per år för perioden 1993-2010. Den här typen av geofysiska effekter kan sägas vara effekter, eller konsekvenser, på ”icke-förvaltade system”²¹. Med det menas vanligen ”system” som människan inte direkt kan påverka, eller av olika anledningar valt att inte påverka.

Effekterna som beskrivs ovan till följd av en klimatförändring är exempel på geofysiska system som människan inte rör på och inte kan påverka i någon större utsträckning. Vi kan helt enkelt inte vidta åtgärder, eller kontrollera, havsnivåhöjningen eller förekomsten av extrema väderhändelser som följer av en klimatförändring. En annan typ av ”icke-förvaltade system” är biologiska eller ekologiska system. De kan dels vara av typen som vi inte *kan* påverka eller kontrollera, som exempelvis försurning av havnen, men även system som vi valt att inte påverka, som exempelvis ekosystemet i ett naturreservat.

Förutom effekter på naturliga, eller icke-förvaltade system, så har den globala uppvärmningen effekter på system där vi som människor har möjligheten att vidta åtgärder i syfte att påverka konsekvenserna av effekterna. Det är dels direkta effekter som följer av högre global medeltemperatur, men även (eller kanske framförallt) konsekvenser som en följd av de geofysiska effekterna. Det mest uppenbara exemplet på den här typen av ”förvaltade system”, eller ”mänskliga”, är jordbruket. En klimatförändring påverkar förutsättningarna för jordbruksproduktion på grund av en förändring av temperaturen, förändrade nederbördsmonster, med mera. Men här kan jordbrukaren vidta olika åtgärder för att undvika eller mildra negativa konsekvenser (eller utnyttja positiva konsekvenser). Om en region drabbas av mer torka som en följd av klimatförändringen kan exempelvis jordbrukaren installera bevattningssystem som på ett effektivare sätt nyttjar vattenresurser. Alternativt kan jordbrukaren byta gröda, eller ändra brukningsmetod.

²⁰ Det finns relativt gott om observationer i Nordamerika och Europa. För övriga regioner finns få observationer, vilket gör det svårt att dra några entydiga slutsatser.

²¹ Benämns som ”unmanaged system” (see IPCC, 2013, eller Nordhaus, 2013).

Andra uppenbara exempel på ”förvaltade system” är konstruerade strukturer som hjälper oss att kontrollera konsekvenserna av en klimatförändring. Detta omfattar allt från kläder till hus och olika uppvärmnings- och kylningssystem, till olika typer av infrastruktur, som exempelvis barriärer och dammar som syftar till att kontrollera konsekvenserna av högre havsnivåer och ökade vattenflöden.

Sammantaget kan man säga att hur vi kommer att påverkas av en given klimatförändring till stor del beror på i vilken utsträckning vi har möjlighet att anpassa oss till ett förändrat klimat. Hur stora och allvarliga de slutliga effekterna är på människans livsbetingelser är beror således på hur exponerat och sårbart, eller anpassningsbart, samhället är för de system som påverkas av klimatförändringarna, samt hur snabbt förändringarna sker. Exponeringen skiljer sig förstås åt för olika delar av världen. Exempelvis är ett kustsamhälle mer exponerat för en havsnivåhöjning än ett samhälle som inte ligger vid kusten, men dessutom skiljer sig sårbarheten, eller möjligheten till anpassning, åt för kustsamhällen i olika delar av världen. Detta är inte minst tydligt när det gäller effekter av tropiska orkaner. Vidare kan det vara avgörande för hur snabbt de naturliga systemen påverkas och förändras. Är förändringen långsam och sträcker sig över lång tid finns tid för gradvisa anpassningar, medan om förändringen sker snabbt och abrupt så kan det vara mycket stora kostnader förknippade med anpassningar av olika slag.

Vad gäller långsiktiga framtida effekter och konsekvenser av en fortsatt uppvärmning har man i AR5 valt, i enlighet med tidigare rapporter, att fokusera på risker och riskhantering. Den övergripande slutsatsen från AR5 är att riskerna ökar i takt med stigande global medeltemperatur. Som allvarliga risker räknas framtida möjliga effekter som påverkar FN:s klimatmål ”farlig mänsklig påverkan på klimatsystemet”. Man konstaterar att de minst utvecklade länderna är mer benägna att drabbas av mer än en allvarlig risk. Andra allvarliga risker som pekas ut är systemrisker som har negativ påverkan på infrastruktur, samt biologiska och ekologiska system, som utgör basen för människors försörjning. Vidare lyfts det fram tydligare än i tidigare utvärderingar att ju högre global medeltemperatur, desto större sannolikhet för oåterkalleliga tröskeffekter, så kallade tipping points.²² Exempelvis konstateras det att vid en temperaturökning på 0 till 1°C är risken för oåterkalleliga förändringar låg, medan risken vid en ökning på 3°C eller mer är okända.

De nyckelrisker som identifieras i IPCC (2014), och som är ”mycket troliga”²³, kan sammanfattas i följande punkter (se SMHI, 2014).

- Risk för dödsfall, personsador, ohälsa eller störningar på försörjningsmöjligheter i låglänta kustområden.
- Risk för allvarlig ohälsa och förstörda försörjningsmöjligheter för stora stadspopulationer i vissa regioner på grund av översvämningar.
- Systemrisker på grund av extrema väderhändelser som leder till sammanbrott av infrastruktur och kritiska tjänster som exempelvis el- och vattenförsörjning, sjukvård, samt larm- och räddningstjänster.

²² En definition på en ”tipping point” är den punkt när ett system förändras från ett stabilt läge till ett annat. En tipping point kan vara irreversibel i meningen att när väl den punkten har passerats så kan man inte gå tillbaka till det tidigare stabila läget.

²³ Konfidensgraden är en syntes av författarnas bedömning av rönens giltighet. Syntesen baseras på utvärdering av evidensgrad samt på graden av vetenskaplig överensstämmelse. Konfidensgrad skall inte tolkas utifrån graden av sannolikhet och skiljer sig därför från statistisk konfidens.

- Risk för dödsfall och sjukdomar under perioder av extrem värme. Särskilt sårbara är människor i städer och personer som arbetar utomhus antingen i städer eller på landsbygd.
- Risk för osäker livsmedelsförsörjning och kollaps av nuvarande livsmedelssystem på grund av varmare klimat, torka, översvämningar samt varierande och extrem nederbörd. Särskilt utsatta är fattiga människor bosatta i städer och på landsbygd.
- Risk för förlust av försörjningsmöjligheter och intäkter på landsbygden på grund av otillräcklig tillgång till dricksvatten och bevattning samt minskad produktivitet i jordbruket. Fattiga jordbrukare och boskapsskötande nomader i halvtorra regioner är särskilt utsatta.
- Risk för förlust av marina och kustnära ekosystem samt biologisk mångfald. Detta inkluderar också de varor, funktioner och tjänster ekosystemen tillhandahåller, särskilt relevant för fiskesamhällen i tropikerna och Arktis.
- Risk för förlust av land- och inlandsvattensystem samt biologisk mångfald. Detta inkluderar också de varor, funktioner och tjänster som ekosystemen tillhandahåller och som har betydelse för försörjningsmöjligheter.

De risker som listas ovan varierar förstås i betydande grad mellan regioner och länder, dels beroende på att den förväntade klimatförändringen skiljer sig åt mellan olika regioner, men kanske framförallt på att det är stora skillnader i bland annat exponering och anpassningsmöjligheter. Generellt konstateras det att riskerna är ojämnt fördelade och de är i allmänhet större för mindre utvecklade länder, men även för missgynnade människor i mer utvecklade länder. I synnerhet gäller det grödor och livsmedelsproduktion. Baserat på projicerade minskningar av regionala skördar och vattentillgång, är riskerna för ojämnt spridda effekter höga vid uppvärmning över 2°C (IPCC, 2014).

3.1 Effekter och konsekvenser i Europa

I IPCC:s utvärdering av effekter och risker i Europa (IPCC, 2014, kapitel 23) är en allmän slutsats att det är att förvänta stora skillnader mellan olika delar av Europa, framförallt mellan norra och södra Europa, och att riskerna för betydande negativa effekter är betydligt större i södra Europa än i norra.

I rapporten från IPCC fokuseras konsekvenserna framförallt på tre områden; (1) effekter och konsekvenser för produktionssystem, byggnader och samhällsviktig infrastruktur, (2), konsekvenser för ekosystem och naturmiljön, inklusive jord- och skogsbruk, och (3) effekter på människors hälsa. Nedan ges en översiktlig beskrivning och diskussion av de huvudsakliga effekterna.

Konsekvenser för produktionssystem och infrastruktur

Vad gäller risker för produktionssystem, byggnader, och infrastruktur så bedöms översvämningens risker på grund av höjd havsnivå utgöra en nyckelrisk för många städer, hamnar, och annan kustnära bebyggelse och infrastruktur. Beroende på klimatscenario är bedömningen att mellan 775 tusen och 5,5 miljoner människor per år inom Europeiska Unionen (EU27) kommer att beröras av översvämningar till följd av klimatförändringar om inga anpassningsåtgärder vidtas. Det är framförallt länder längs atlantkusten som bedöms drabbas hårdast. Utan anpassningar så bedöms den direkta skadekostnaden år 2100 att uppgå till 17 miljarder Euro per år. Vidare pekar IPCC (2014) på att högre försäkringskostnader och större risk att investera i kustnära områden kan verka dämpande på den ekonomiska tillväxten i dessa områden. Dessutom pekas det

på att transportsektorn kan komma att påverkas negativt, men att det finns relativt få systematiska och detaljerade studier av effekter på transporter.

Ett varmare klimat och förändrade nederbördsmonster förväntas även påverka energisektorn vad gäller både användning av energi och produktion av energi. Vad gäller elmarknaden kan man förvänta sig tre typer av effekter (se Mideksa och Kalbekken, 2010, Golombek m.fl., 2012); (1) förändringar i efterfrågan på el till följd av förändringar i temperaturen och därmed förändrade uppvärmnings- och kylningsbehov, (2) förändringar i vattenkraftsproduktion som följd av förändrade nederbördsmonster, och (3) förändringar i produktion av termisk elproduktion på grund av varmare kylvattnen som minskar effektiviteten i anläggningarna. Sammantaget visar resultaten i Golombek m.fl. (2012) en minskning i elproduktionen med 4 procent, totalt för 16 västeuropeiska länder, medan den direkta effekten på elproduktionen förväntas öka i framförallt Norge och Sverige till följd av ökat vatteninflöde till vattenkraftsproduktionen. En effekt av det senare är att exporten av el från Norge och Sverige fördubblas enligt studien. Vidare visas att den sammantagna europeiska direkta effekten på efterfrågan förväntas bli relativt liten. Å ena sidan ökar efterfrågan på el i södra Europa på grund av ökat kylningsbehov, å andra sidan minskar efterfrågan i norra Europa på grund av minskat värmebehov. Sammantaget visar resultaten i Golombek m.fl. (2012) att nettoeffekten, när alla jämviktseffekter beaktas, är relativt liten. Vad som är speciellt intressant med denna studie är att de indirekta jämvikts- eller anpassningseffekterna inkluderas.

Kunskapen om konsekvenserna av en framtida klimatförändring för tillverkningsindustrin i Europa är mycket begränsad. Allmänt kan sägas att de direkta konsekvenserna förmodligen är relativt små. En möjlig direkt effekt går via arbetsproduktiviteten som kan minska i vissa regioner på grund av värmeböljor. I Kjellstrom m.fl. (2009) finner man att produktivitetseffekten kan vara betydande i vissa regioner, framförallt i Sydostasien, delar av Afrika och Latinamerika, ifall ingen anpassning till varmare klimat sker. Kanske mer betydande, i alla fall för Europa och andra välutvecklade regioner, är de indirekta konsekvenserna via global strukturomvandling, förändrade relativpriser, och dynamiska effekter som följer av förändringar i investeringar och sparande (Fankhauser och Tol, 2005).

Klimatförändringarna kommer också att påverka turismen i Europa. Enligt IPCC:s sammanställning kan man förvänta sig att turismen kommer att öka i de norra delarna av Europa, på bekostnad av turismen i södra Europa. En annan allmän slutsats är att fjäll/bergsturism kan gynnas under sommaren, men missgynnas under vintern, framförallt på grund av förändrade snöförhållanden. Exempelvis visar Moen och Fredman (2007) i en studie av svensk skidturism att bortfallet av inkomster från skidturismen i Sverige kan bli betydande på grund av färre dagar med snö ifall man inte anpassar sig till de nya förhållandena, till exempel genom att i större utsträckning använda snökädoner eller erbjuda andra aktiviteter.²⁴

²⁴ Analysen i Moen och Fredman (2007) är statisk i så måtto att den inte beaktar "marknadsanpassningar", exempelvis att priset på skidturism ökar med minskat utbud. Det innebär med stor sannolikhet att den förlust som beräknas överdrivs. Dessutom tas ingen hänsyn till effekter av en klimatförändring på skidturismen i Alperna, vilket kan innebära ökad efterfrågan på skidturism i norra Sverige.

Konsekvenser för jord- och skogsbruk samt fiske

De kanske mest uppenbara direkta effekterna och konsekvenserna av en framtida klimatförändring är konsekvenserna på naturmiljön och de areella näringarna. I IPCC:s utvärdering ges en mycket omfattande genomgång av hur produktiviteten i jord- och skogsbruk kan tänkas påverkas i olika klimatscenarier. Allmänt kan konstateras att förutsättningarna för jordbruksproduktion försämras i södra Europa medan det kan ske en förbättring i norra Europa. Vad som är tydligt är att direkta effekterna på jordbruket är starkt avhängigt vilket klimatscenario man tittar på. En temperaturhöjning på 2,5°C år 2080 förväntas ge små positiva effekter, en ökning med 3 procent i ökad skörd, medan ett scenario med 5,4°C uppvärmning i Europa kan minska skördarna med 10 procent om ingen anpassning sker. Som påpekats är skillnaderna inom Europa stora. I scenariot med 5,4°C uppvärmning fram till 2080 förväntas den direkta effekten i södra Europa vara en minskning med 25 procent, medan effekten i centrala Europa beskrivs som ”moderat”. För norra Europa konstateras att effekterna till stor del är positiva, men att det inte fullt ut kan kompensera för de negativa effekterna i södra Europa i scenariot med 5,4°C uppvärmning.

Effekterna som beskrivs ovan för jordbruket är direkta effekter och beaktar inte att olika slag av anpassningar kommer att ske. En typ av anpassning är de som sker hos jordbrukarna, exempelvis byte av grödor, tidigare sådd med mera. En annan typ av anpassning är den som sker på marknaden i form av bland annat relativprisförändringar, och som i sin tur också bidrar till förändringar av hur jordbrukaren brukar sin jord. Hur stora de indirekta effekterna blir beroende på marknadsanpassningar beror dessutom inte enbart på hur förutsättningarna för jordbruk i Europa påverkas, utan även hur jordbruket i resten av världen påverkas. De sammantagna konsekvenserna i de enskilda länderna beror dessutom på huruvida man är nettoexportör eller nettoimportör av jordbruksprodukter.

Kombinationen av olika effekter illustrerar komplexiteten av vad de slutliga konsekvenserna av en klimatförändring blir. Liksom i fallet med elproduktion kan det vara så att det i jordbruket är de indirekta effekterna som är mer avgörande än de direkta för konsekvenserna, vilket naturligtvis gör det mycket svårt att förutspå de slutliga konsekvenserna.

De direkta effekterna av en klimatförändring på skog och skogsbruk inkluderar effekter på skogens tillväxt, förändrad förekomst av skogsbränder och stormar, och effekter till följd av sjukdomar och insektsangrepp. För skogar längs atlantkusten och i norra Europa visar studier på att vi kan förvänta oss en ökning av tillväxten som en följd av högre koncentrationer av koldioxid i atmosfären och ett varmare klimat. Det omvända gäller för södra Europa, lägre tillväxt framförallt beroende på torka. Södra Europa förväntas även drabbas betydligt hårdare av skogsbränder, medan det i norra Europa förväntas färre skogsbränder beroende på ökad fuktighet. Frekvensen av stormar förväntas öka, vilket får effekter på skog och skogsbruk. Vad gäller effekter av ökad stormfrekvens så konstateras att det är framförallt de boreala skogarna i centrala och norra delarna av Europa som är mest sårbara, speciellt för höst- och vårstormar. För perioden 2060-2100 kan man enligt Pinto m.fl. (2010) och Klaus m.fl. (2011) för-

vänta skogsförluster på mellan 8 och 19 procent beroende på klimatscenario.²⁵ Vad gäller skogssjukdomar och skadliga insekter konstateras det att svampangrepp och andra sjukdomar kan bli vanligare, speciellt i Kontinentaleuropa på grund av mildare vintrar. Vidare kan man förvänta sig en ökad spridning av granbarkborren i Skandinavien och norra Tyskland som en följd av varmare somrar och höstar.²⁶ Nettoeffekten på Europas skogar och skogsbruk av dessa effekter är svår att bedöma, men tydligt är att de direkta effekterna på skogarna i södra Europa förmodligen är negativa, medan de sannolikt är positiva i Skandinavien och vissa andra delar av norra Europa.

Återigen, de effekter som beskrivs ovan och i IPCC (WG2) rapporten är direkta effekter och inkluderar inga anpassningar. Förändrade betingelser på grund av klimatförändringar kommer liksom för jordbruket att leda till anpassningar av olika slag. En stor skillnad mellan jordbruk och skogsbruk, dock, är tidsdimensionen. Medan jordbruket jobbar med relativt korta rotationsperioder, det vill säga tid mellan sådd och skörd, så arbetar skogsbruket med långa rotationsperioder, i vissa fall upp till 100 år. Det innebär dels att tiden för anpassning i skogsbruket är lång, dels att de investeringsbeslut som tas idag får man leva med under mycket lång tid vilket innebär en ökad risk.

Sammantaget kan man relativt säkert säga att konsekvenserna för det svenska (och övriga Norden) skogsbruket är positiva, dels på grund av positiva direkta effekter på skogstillväxten, dels på grund av kombinationen av Sverige som nettoexportör av skogsprodukter och ökande världsmarknadspriser på skogsprodukter och biomassa som en följd av både minskad global skogstillväxt och ökad efterfrågan på bioenergi. Dock finns det risker för negativa direkta effekter på den svenska skogen i form av ökad risk för skogsbränder, torka i vissa områden, insektsangrepp, och ökad risk för stormfällning.

De direkta effekterna och konsekvenserna på fisket i Europa är enligt IPCC (2014) utvärdering blandade. Positiva direkta effekter kan förväntas för norra Atlanten, medan effekterna för Nordsjön, Östersjön och södra Europa förväntas bli negativa. Många av de negativa effekterna för Östersjön är kopplade till att uppvärmningen leder till ökade risker för algblomning och de problem det leder till. Algblomning förväntas också bli ett problem i den Iberiska delen av Atlanten, framförallt för musselindustrin vars skördeperiod kan förkortas. Vad gäller effekter på fisket så betonas det i IPCC-rapporten att det stora hotet för fisket är kombinationen överfiske och klimatförändringar, och att det innebär att det krävs förändringar av fiskeriförvaltningen i Europa.

Konsekvenser för naturmiljö och ekosystemtjänster

Förutom jordbruksprodukter, timmer och fisk så producerar naturkapitalet och det ekologiska systemet en mängd andra varor och tjänster som på olika sätt är viktiga för

²⁵ Det betyder inte att den ekonomiska förlusten är 8-19 procent eftersom en stor del av den skog som stormfälls kan tas tillvara och därmed har ett värde. En stormfällning innebär i princip en oplanerad avverkning, vilket i allmänhet innebär en icke-optimal avverkningstidpunkt. Dessutom kan skog som är tänkt att skyddas från avverkning stormfällas, vilket är en direkt förlust.

²⁶ Granbarkborren som är allmän i Sverige och norra Europa är en av granskogens allvarligaste skadegörare när den uppträder i stora mängder. Förekomsten av granbarkborrar i skogen varierar kraftigt geografiskt och mellan år beroende på tillgången på lämpligt yngelmateriale under sommaren i form av vindfällda eller försvagade granar. Varmare somrar och höstar i kombination med mer vindfällda träd förväntas leda till ökad förekomst och mer skogsskador (se Eriksson m.fl., 2015, Jönsson, 2012).

människan och andra levande organismer. Det är allt från klimat- och vattenreglerande funktioner till rekreations- och kulturtjänster. En del av dessa ”tjänster” är privata till sin natur, medan andra är kollektiva eller semi-kollektiva. Exempel på de förra är jordbruks- och timmerproduktion, och ett exempel på en renodlad kollektiv ekosystemtjänst är atmosfärens förmåga att skydda oss från UV-strålning.²⁷ I de fall en specifik ekosystemtjänst påverkas av klimatförändringar och denna är kollektiv sin karaktär så kan vi inte förvänta oss att marknaden ska leda till en för oss människor gynnsam anpassning av produktionen av denna tjänst. Skälet är förstås att marknaden inte fungerar som ett effektivt allokeringsinstrument för kollektiva varor. Om exempelvis klimatförändringen innebär en för människan upplevd förlust av ett estetiskt värde, till exempel att ett tidigare kalfjäll beskogas, så kommer det inte att ske någon marknadsanpassning som följd. Ett annat mer närliggande exempel är skogens förmåga att binda koldioxid från atmosfären.

I IPCC(2014) har man valt att klassificera ekosystemtjänster i tre kategorier. Den första är vad man kallar ”provisioning services”, vilket på svenska skulle kunna vara ”materiella tjänster”. Denna kategori innefattar produktion av materiella varor kopplat till skog, mark, samt hav och vatten. Vad gäller skog innefattar det, förutom timmerproduktion och bioenergi, produktion av icke-timmerprodukter. Den andra kategorin benämns ”regulating services”, översatt till svenska ”reglerande tjänster”. En sådan tjänst är upptag av koldioxid från atmosfären i träd och växter, samt våtmarkers förmåga att binda koldioxid. Andra reglerande tjänster är naturens förmåga att ta hand om naturliga risker som översvämningar, skogsbränder, erosion och torka. Vidare kan biodiversiteten i naturen ha en reglerande uppgift. Den tredje kategorin benämns ”cultural services”, och den innefattar naturens förmåga att tillhandahålla, eller producera, kulturella, estetiska och turistrelaterade tjänster.

Det är naturligtvis en extremt komplicerad och svår uppgift att kvantifiera konsekvenserna för var och av dessa av en framtida klimatförändring. Från den litteraturgenomgång som görs i IPCC (WG2) rapporten dras dock slutsatsen att för södra Europa så kan man förvänta sig en minskning av naturens förmåga att tillhandahålla tjänster inom alla tre kategorier, som en följd av en framtida förändring av klimatet. För övriga delar av Europa är bilden mindre kategorisk med både öknings- och minskningar av naturens förmåga. För norra Europa är det ganska tydligt att naturens förmåga att producera materiella ekosystemtjänster ökar, medan det tycks vara så att det är balans vad gäller reglerande tjänster för Europa, förutom södra Europa. Vad gäller kulturella, estetiska och turistrelaterade tjänster så är slutsatsen att det inte sker några större förändringar sammantaget.²⁸

Konsekvenser på hälsa

En allmän slutsats i AR5 är att klimatförändringarna kommer att ha en rad direkta negativa konsekvenser för människors hälsa, framförallt ökad dödlighet och sjuklighet kopplat till en ökad frekvens av värmeböljor. Vidare är en allmän slutsats att de negativa konsekvenserna är störst i södra Europa, men att sårbarheten för värmeböljor är relativt hög även i centrala och norra Europa enligt IPCC:s sammanställning. Det bör

²⁷ Se Fisher m.fl. (2008) för en mer ingående diskussion kring hur man kan definiera ekosystemtjänster.

²⁸ Det bör noteras att litteraturgenomgången för vissa kategorier innehåller mycket få studier, i många fall bara en studie vilket innebär att slutsatserna bör tolkas med försiktighet.

poängteras att de slutsatser som dras baseras på studier av direkta effekter, det vill säga när ingen anpassning till ett varmare klimat vidtagits. Vidare konstateras det att för närvarande så överstiger den köldrelaterade dödligheten den värmerelaterade. Andra än direkt värmerelaterade hälsoeffekter kan härledas från översvämningar, havsnivåhöjning, ökad förekomst av infektionssjukdomar, och gifter i skaldjur till följd av ökad algblomning. Man konstaterar dock att kunskapen om alla dessa risker är mycket begränsad och att det är svårt att dra några entydiga slutsatser.

Konsekvenserna på dödlighet och sjuklighet som beskrivs i IPCC (2014) är som sagt de direkta effekterna, det vill säga när inga anpassningar vidtas för att begränsa de negativa effekterna. Det betyder med all sannolikhet att de negativa konsekvenserna överskattas. Vi såg tidigare att en konsekvens av varmare klimat i Europa är att efterfrågan på el förväntas öka under sommarhalvåret i södra Europa på grund av ökad efterfrågan på luftkonditionering. De betyder i praktiken att det kommer att ske en anpassning, men som inte beaktas när konsekvenserna på hälsa beskrivs.

Det finns ett antal studier som tittat på i vilken utsträckning hushållen anpassar sig till ett varmare klimat, framförallt till ökad förekomst av extremt heta dagar, och hur detta är kopplat till dödlighet (se Deschenes, 2014 för en litteraturöversikt). Deschenes och Greenstone (2011) visar att det sker en betydande anpassning i så måtto att elkonsumtionen ökar kraftigt som respons på heta dagar, vilket kan förklara en stor del av den minskade dödligheten i USA till följd av extremt heta dagar. Vidare visas i Barreca m.fl. (2015, 2016) att antalet dödsfall till följd av extrema värmedagar har minskat dramatiskt i USA under 1900-talet, speciellt efter 1960. Enligt dessa studier har dödligheten minskat med mer än 75 procent. Vidare visar man att nedgången kan förklaras nästan helt av ökad tillgång till elektricitet i kombination med den ökade spridningen av luftkonditionering. I den senare studien, Barreca m.fl. (2016), visar man dessutom att välfärdsvinsterna av tillgången till luftkonditionering är mycket stora. Utgår man från dessa studier och gör det förenklade antagandet att ökad risk för dödlighet är den enda negativa konsekvensen av fler och intensivare värmeböljor så är konsekvenserna för samhället direkt kopplade till ökade kostnader för elektricitet och luftkonditioneringsutrustning. Detta är naturligtvis en grov förenkling då även andra negativa effekter följer av extremt väder, men det belyser tydligt vikten av att beakta olika möjligheter till anpassning och kostnader och intäkter från detta.

I en annan forskningsinriktning, den kring sambandet mellan ”lycka” och klimatförändringar, finner exempelvis Rehdanz och Madison (2005) att ett varmare klimat är fördelaktigt för människor boende på norra latituder, medan det är ofördelaktigt för människor som redan lever i ett varmt klimat. Resultaten antyder med andra ord att det finns en ”optimal” temperatur, vilket till viss del motsäger vissa andra studier som fokuserat sambandet mellan klimat och direkta hälsoeffekter (se exempelvis Rocklöv m.fl., 2008).

Sammanfattning

Det kan konstateras att klimatförändringarna förväntas få konsekvenser på en rad samhällsviktiga områden, och att skillnaderna är stora mellan olika delar av Europa. En kortfattad sammanfattning av de direkta konsekvenserna för olika delar av Europa ges i tabell 3.1. Ett tydligt mönster är att södra Europa förväntas drabbas mer negativt än centrala och norra Europa.

Vad som också kan konstateras är att det råder stor osäkerhet vad gäller storleksordningen av dessa konsekvenser. Osäkerheten kommer dels från att effekterna är beroende av klimatscenario, men kanske framförallt på komplexiteten i problemet och avsaknad av detaljerad kunskap kring de geofysiska effekterna och hur dessa påverkar människor och andra levande organismer (djur och växter). Här spelar inte minst tidsdimensionen en viktig roll då många effekter väntas uppstå kanske 50 eller 100 år framåt i tiden. Det betyder att även om vi med säkerhet skulle veta hur klimatet utvecklas så kan vi inte med någon större säkerhet säga vad effekterna blir om 50 eller 100 år, och hur människan och andra levande organismer påverkas beroende på en mängd faktorer. Till detta ska läggas det faktum att vi människor alltmer förvaltar och styr vår egen livsmiljö, vilket betyder att även relativt små investeringar i anpassningsåtgärder till stor del kan neutralisera de direkta effekterna av en klimätförändring. Kopplat till det senare är att en framtida klimätförändring kommer att ske i en kontext som är helt annorlunda än idag vad gäller teknologi och ekonomiska strukturer. Sammantaget kan klimatproblemet och dess kostnader beskrivas som att det består av en kaskad av osäkerheter och att den sammantagna osäkerheten därmed blir mycket stor.

Tabell 3.1. Sammanfattning av huvudsakliga direkta risker och effekter i olika delar av Europa.

| Område | Förväntad effekt |
|-----------------|---|
| Södra Europa | <ul style="list-style-type: none"> – Ökad risk för värmeböljor med negativa hälsoeffekter. – Ökad risk för torka, skogsbränder – Minskad tillgång på dricksvatten – Minskade skördar – Ökad risk för kustöversvämningar – Minskad vattenkraftsproduktion – Negativa effekter på turism |
| Centrala Europa | <ul style="list-style-type: none"> – Risk för minskad sommarnederbörd och ökad vattenstress. – Ökad risk för värmeböljor – Risk för minskad skogstillväxt |
| Norra Europa | <ul style="list-style-type: none"> – Risk för mer frekventa vinteröversvämningar – Ökad risk för ras och skred – Ökad risk för kustöversvämningar och översvämningar på grund av skyfall + Ökande skördar + Ökad skogstillväxt + Ökad vattenkraftproduktion. + Minskat uppvärmningsbehov |

De flesta av de konsekvenser och effekter som redogjorts för ovan är vad vi kallat direkta risker och effekter, exempelvis i form av direkta hälsoeffekter och effekter på produktivitet i jordbruket. Exempelvis kan direkta hälsoeffekter få till effekt att arbetsproduktiviteten påverkas och att efterfrågan efter hälsotjänster ökar. Sammantaget kan det innebära en strukturell förändring av ekonomin som är förknippad med kostnader.

Den här typen av indirekta effekter är speciellt viktiga för låginkomstländer med relativt dålig sjukvård och små möjligheter till anpassning. Exempelvis visar Bosello m.fl. (2006) att om man inte beaktar de indirekta effekterna av klimatförändringars hälsoeffekter så är risken stor att man underskattar kostnaden av hälsoeffekterna i regioner där klimatförändringar har en negativ effekt på hälsa, och underskattar vinsterna av en klimatförändring i regioner där klimatförändringarna har positiv effekt på hälsan. Ett annat exempel är konsekvenserna av stigande havsnivåer på grund av klimatförändringar. När kustnära landområden förloras på grund av stigande havsnivå kommer det att leda till ökande markpriser på återstående mark. Detta i sin tur innebär att aktiviteter där tillgången till mark är av relativt stor betydelse kommer att få vidkännas högre kostnader. I slutändan kommer det att leda till strukturomvandling på grund av förändringar i konkurrenskraft mellan olika sektorer, länder och regioner. I Bosello m.fl. (2012), exempelvis, visar författarna att de direkta negativa konsekvenserna i Europa av stigande havsnivåer är mycket stora, men att de slutgiltiga konsekvenserna, när de indirekta "allmänjämviktskonsekvenserna" beaktats, kan vara såväl positiva som negativa. Sammantaget innebär anpassningsmöjligheter och indirekta effekter via marknadsmekanismer att ytterligare dimensioner av komplexitet läggs till.

Slutligen bör det återigen poängteras att konsekvenserna för Europa inte är oberoende av effekter och konsekvenser i övriga delar av världen. Länder och regioner är sammanflätade via internationell handel och specialisering av produktion, vilket innebär att effekter i en region kan ge upphov till konsekvenser i andra regioner. För Sverige som är en liten öppen ekonomi med stor internationell handel blir detta sannolikt extra påtagligt.

I nästa avsnitt kommer vi att fokusera på konsekvenser och kostnader i Sverige av en global klimatförändring. Utgångspunkten är de klimatscenarier för Sverige som redovisades i tidigare avsnitt och som är i linje med det scenario som användes i SOU 2007:60, samt de geofysiska och direkta konsekvenser som redogjorts för ovan i det globala och europeiska perspektivet. Dels ges en konceptuell diskussion kring hur kostnaderna kan uppskattas, dels görs en genomgång av de beräkningar som finns för Sverige. Redan här kan det konstateras att det finns mycket få sammantagna och heltäckande uppskattningar för vad en given klimatförändring kan kosta det svenska samhället. Såvitt jag känner till finns egentligen bara ett försök att uppskatta kostnaden för Sverige på ett någorlunda systematiskt sätt och det är den analys som gjordes i Klimat och sårbarhetsutredningen 2007 (SOU 2007:60).²⁹

3.2 Konsekvenser i Sverige av en klimatförändring

Konsekvenserna i Sverige av en klimatförändring följer i stora drag de konsekvenser som beskrivits ovan för Europa. Hur stora riskerna och effekterna är beror på vilket scenario vi utgår från vad gäller temperaturförändring. Vi såg i figur 2.9 ovan att beroende på scenario vad gäller globala utsläpp av växthusgaser så kan vi förvänta oss en temperaturhöjning i genomsnitt för Sverige på mellan 2 - 6°C fram till år 2100, jämfört med genomsnittet för perioden 1961 - 1990. Den lägre temperaturökningen är ett

²⁹ I SOU 2017:42 görs kostnadsuppskattningar av klimatanpassningsåtgärder kopplat till en klimatförändring. De olika typerna av klimatanpassningsåtgärder som studeras i utredningen är avgränsade till översvämningar från hav, översvämningar från sjöar och vattendrag, översvämningar från skyfall, ras och skred, kusterosion samt erosion från vattendrag.

scenario där de globala utsläppen av växthusgaser antas minska (RCP2.6 i avsnitt 2.3), och den övre är ett scenario där utsläppen fortsätter öka i nuvarande takt. Mellanscenariot i figur 2.9 är ett scenario där det antas att utsläppen stabiliseras på ungefär nuvarande nivå.

Det bör noteras att utvecklingen i figur 2.9 är medelvärden för hela Sverige. Enligt de regions- eller länsspecifika projektionerna som redogörs för av SMHI kan man dock förvänta sig relativt stora skillnader mellan olika delar av Sverige.³⁰ Enligt de klimatscenarier som redovisas av SMHI kan man förvänta sig en temperaturhöjning på 3 - 6°C i Skåne, medan temperaturhöjningen i norra Norrland kan förväntas bli 4 - 10°C. För Norrlands del innebär det, exempelvis, att starten för vegetationsperioden kan förväntas ske 10 - 30 dagar tidigare än normalt (1961 - 1990), och att slutet på vegetationsperioden förskjuts 15 - 37 dagar.³¹ Med andra ord kan man förvänta sig vegetationsperioden i Norrland förlängs med ungefär 20-70 dagar jämfört med perioden 1961-1990. För Skånes del förväntas effekten på vegetationsperioden bli än mer påtaglig, en ökning med 40 - 90 dagar beroende på scenario.

Det här kommer naturligtvis att få en mängd effekter.³² För Norrlands del innebär det exempelvis helt andra förutsättningar för jordbruket, högre virkesproduktion i skogarna, och tidigare vårfloder i älvarna. Vidare förväntas effekter i form av kortare vintersäsong för vinterturism, förändrade förhållanden för rennäringen, och förmodligen stora effekter på naturmiljön, framförallt fjällmiljön, varav många torde vara negativa. Vad gäller effekten på vinterturismen så kan det inte uteslutas att den är positiv, trots kortare säsong, beroende på den försämring för skidturismen som sker i Mellanuropa. Vidare kan ökade nederbördsmängder leda till ökad risk för översvämningar med negativa konsekvenser för både infrastruktur, bebyggelse och naturmiljö.

För södra Sveriges del innebär det, liksom för Norrland, förlängd växtsäsong med högre jord- och skogsbruksproduktion, men även en rad potentiellt stora negativa effekter. De senare i form av bland annat negativa hälsoeffekter på grund av värmeböljor, risk för torka under vissa delar av året och försämrad vattenkvalitet i Östersjön till följd av bland annat ökad algblomning, vilket påverkar såväl fiske som rekreativsmöjligheter i Östersjön negativt. Vidare innebär en havsnivåhöjning ökad risk för kusterosion med negativa konsekvenser som följd för bebyggelse i låglänta områden i framförallt Skåne, Blekinge och Halland. Bland de mer betydande negativa effekterna som lyfts fram i Klimat och sårbarhetsutredningen, SOU 2007:60, är den ökande risken för översvämning i Väneren, Mälaren och Hjälmaren, vilket kan få mycket stora konsekvenser för bebyggelsen i dessa områden.

Effekter på jord- och skogsbruk

I Jordbruksverket (2007) görs bedömningen att avkastningen i jordbruksproduktionen kan förväntas öka med 5 procent den närmaste 25 årsperioden beroende på högre

³⁰ Klimatscenarier för respektive län finns redovisade i SMHI (2015). Det går även att ta fram läns- eller distriktsvisa scenarier på <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier?area=dist&var=n&sc=rcp85&seas=ar&dnr=0&sp=sv&sx=0&sy=231.3333282470703#dnr=1&sc=rcp26>.

³¹ Vegetationsperioden definieras här som den del av året då dygnsmedeltemperaturen överstiger +5°C, vilket med andra ord innebär att vegetationsperioden startar halvvägs in på våren och avslutas halvvägs in på hösten (se <https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/klimatindikator-vegetationsperiodens-langd-1.7887>).

³² För en detaljerad genomgång av risker, effekter och konsekvenser, se SOU 2007:60 och SMHI (2014).

koncentrationshalt av koldioxid i atmosfären och öka ytterligare på lång sikt beroende på utsläppsscenario. Effekten av klimatförändringen som sådan, det vill säga temperaturförändringen är mer svårbedömd, men det bedöms att positiva tillväxteffekter och möjligheten till nya grödor i stort tas ut av negativa effekter i form ökad risk för torka i vissa områden, ökad frekvens av extrema väderhändelser, insektsangrepp och andra sjukdomar (Jordbruksverket, 2007). En konklusion från Jordbruksverkets rapport är att långsiktiga bedömningar, fram till 2100, är mycket vanskliga, och detta gäller inte minst hur marknaderna för jordbruksprodukter kommer att utvecklas globalt till följd av klimatförändringar. Sammantaget kan man dock dra slutsatsen att den direkta effekten på jordbruket i Sverige, i form av förändrad avkastning, av en klimatförändring med stor sannolikhet är positiv, kanske framförallt på grund av ökad koncentration av koldioxid i atmosfären. Den indirekta marknadseffekten kan också vara positiv för svenskt jordbruk då det inte kan uteslutas att priset på jordbruksprodukter ökar med klimatförändringar. Givet detta kommer konsekvenserna för Sverige och svenska konsumenter att bero på om Sverige är nettoimportör eller nettoexportör av jordbruksprodukter. Är vi nettoexportör är konsekvenserna positiva och är vi nettoimportör är konsekvenserna negativa, givet att marknadspriset till följd av globalt minskad produktion inte ökar så mycket att Sverige går från nettoimport till nettoexport.

Vad gäller tillväxten i skogen kan det vara värt att nämna de ”skogliga konsekvensanalyserna” som genomförts av Skogsstyrelsen och Sveriges Lantbruksuniversitet (SKA 2015, Claesson m.fl. 2015). De målar upp ett antal olika scenarier för skogens utveckling de kommande hundra åren som tar hänsyn till avverkningsnivå, naturvårdsavsättningar och klimat. Resultaten från dessa analyser visar att för mellanscenariot RCP4.5, som innebär cirka 3°C varmare i Sverige år 2100, förväntas tillväxten i skogen öka med 27,6 procent efter 100 år till följd av varmare klimat. Skulle medeltemperaturen stiga ännu mer – enligt utsläppsnivån RCP8.5 – ökar tillväxten med 56,8 procent till år 2110, jämfört med dagens läge. Det innebär bland annat att avverkningarna skulle kunna öka succesivt från dagens cirka 90 miljoner skogskubikmeter till cirka 120 miljoner 2110. Alternativt skulle vi kunna fördubbla arealen naturvårdsavsättningar och ändå öka uttaget av timmer från skogen. Det bör betonas att resultaten från SKA 2015 inte tar hänsyn till ökad risk för ökad förekomst av insektsskador och andra skogsrelaterade sjukdomar, vilket kan ha negativa effekter på tillväxt, speciellt i vissa områden. Möjliga effekter av ökad stormfrekvens analyseras, och det konstateras att resultaten på tillväxt sett över hela landet påverkas i mycket ringa grad men att det kan ha vissa effekter i vissa regioner. Ytterligare värt att notera är att scenarioanalysen utgår från antagandet att arealen produktiv skogsmark är konstant över hela perioden. Detta är naturligtvis ett antagande som kan ha relativt stor effekt på så sätt att det leder till en inte ringa underskattning av framtida virkesproduktion. Skälet är att skogsmark som nu klassificeras som improduktiv skogsmark kan tas i bruk och därmed övergå till produktiv skogsmark vid en klimatförändring (Claesson m.fl. 2015). Det kan noteras att analyserna i SKA15 korresponderar relativt väl mot den bedömning som gjordes i SOU 2007:60, där bedömningen var att skogstillväxten kan förväntas öka med 20 - 40 procent fram till slutet av detta sekel.

Effekter på hälsa

Vad gäller direkta hälsoeffekter till följd av värmeböljor kan nämnas att det i SOU 2007:60 bedöms att antalet dödsfall per år ökar med 1000 personer mot slutet av detta sekel (2100) jämfört med fallet utan klimatförändring. Bedömningen bygger i allt väsentligt på studier av sambandet mellan temperatur och mortalitet i Stockholmsområ-

det (Rocklöv och Forsberg, 2008) i kombination med ett klimatscenario där sommartemperaturen i Stockholm väntas öka med 3 - 4°C perioden 2071 - 2100, relativt perioden 1961 - 1990. Studierna av mortalitet i Stockholmsområdet visar att sambandet mellan temperatur och mortalitet är V-format med en brytpunkt vid cirka 11°C. Det indikerar att för områden med lägre medeltemperatur så innebär en temperaturhöjning minskad dödlighet, och för områden med högre medeltemperatur så innebär en temperaturhöjning ökad dödlighet. Man kan således säga att 11°C är en ”optimal” temperatur. Resultaten bygger således på att den optimala medeltemperaturen i Stockholm är 11°C, vilket ska jämföras med en optimal temperatur i London på 20°C och Aten på 25°C (Rocklöv m.fl. 2008). Att den ”optimala” temperaturen skiljer sig åt beror förstås inte på att människorna är biologiskt annorlunda på de olika platserna, utan att individer och samhälle anpassat sig till det klimat som råder.

I den bedömning som görs i SOU 2007:60 antas ingen anpassning, det vill säga en långsiktig temperaturhöjning leder inte till någon anpassning, och därmed inte till någon förändring av den ”optimala” temperaturen. Empiriska studier från framförallt USA, som refererats till ovan, visar dock på en närmast fullständig anpassning i form av ökad användning av luftkonditionering. Enligt studierna har antalet dödsfall till följd av extrema värmedagar minskat dramatiskt i USA efter 1960. Vidare visar dessa studier att nedgången kan förklaras nästan helt med ökad tillgång till elektricitet i kombination med den ökade spridningen av luftkonditioneringsanläggningar. Det är troligt att det skulle ske en liknande anpassning i Sverige, speciellt med tanke på att tillgången på el kan förväntas öka.

Effekter till följd av ökad nederbörd och ökad havsnivå

Enligt SMHI:s scenarier³³ kommer nederbördsmängden och nederbördsmönster att förändras i Sverige, och även här kan vi förvänta oss relativt stora skillnader mellan olika delar av Sverige. Nederbördsmängderna förväntas öka mest i norra Sverige, och då framförallt i Norrlands inland. Sett över hela året förväntas nederbördsmängden 2100 bli 10 - 40 procent högre än idag i Norrlands inland, medan ökningen förväntas bli 0 - 20 procent högre i sydligaste Sverige. För sydligaste Sverige förväntas inga större skillnader över året, vilket kan förväntas för Norra Sverige där nederbörden förväntas öka mest under vinter och vår. Förändringarna i nederbörd får naturligtvis en rad konsekvenser, allt från ökad risk för översvämningar som orsakar erosion, skred och ras i framförallt södra delen av landet, till förändrade vårflooder och ökande vattenkraftsproduktion i norr. I SOU 2007:60, exempelvis, görs bedömningen utifrån beräkningar att vattenkraftsproduktionen kan förväntas öka med 15 - 20 procent till slutet av seklet.

I SOU 2007:60 och SMHI (2014) redogörs det i detalj för en rad olika effekter och risker till följd av förändrad nederbörd och havsnivåhöjning.³⁴ Bland annat uppskattades det i SOU 2007:60 att 200 000 byggnader ligger nära vatten i områden där risken för ras och skred ökar till följd av ökade flöden. Ett av de mer kritiska områden som

³³ <http://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier>.

³⁴ I Klimat och sårbarhetsutredningens analys är utgångspunkten det scenario som benämns ”A2” i IPCC (2000, 2001), vilket i stort korresponderar mot mellanscenariot RCP 4.5 i figur 2.9.

identifierades var Göta älvdal.³⁵ Även om det är bebyggelse som utsätts för de stora riskerna så innebär ökade översvämningrisker också konsekvenser för vägar, järnvägar och annan infrastruktur. Vidare framhålls att ökade vattenflöden innebär ökade risker för kraftverks- och gruvavfallsdammar, samt att skyfall och översvämningar som redan idag är ett problem för dagvatten- och avloppssystem kan skapa ytterligare problem.³⁶

Effekter på naturmiljö och biodiversitet

Utöver de effekter som beskrivs ovan, som kan sägas vara effekter på naturen som direkt påverkar vår levnadsstandard, kommer en klimatförändring enligt klimatscenerierna ovan även att ha konsekvenser på naturmiljön i andra dimensioner. Inte minst kommer naturen i norra Sverige och fjällen att påverkas påtagligt med bland annat förändringar i den biologiska mångfalden (Naturvårdsverket, 2015). Konsekvenserna av detta vet vi inte med säkerhet, men de kan vara betydande, dels att det ekologiska systemet rubbas och att det påverkar klimat- och vattenreglerande ekosystemtjänster av olika slag, dels att det har en direkt påverkan på människors upplevda värde av naturen i form av exempelvis rekreations-, kultur- och estetiska värden.

Som beskrivs i Naturvårdsverket (2015) innebär kombinationen av längre vegetationsperiod och ökad årsnederbörd, tillsammans med den ökade koldioxidhalten i atmosfären, en ökning av den biologiska aktiviteten i de flesta ekosystem. En sannolik konsekvens blir igenväxning av naturtyper som idag är relativt öppna, exempelvis våtmarker, hedar och gräsmarker. Vidare, som nämnts, kommer trädgränsen i fjällen att förskjutas och kalfjäll kommer att förbuskas. Det betyder inte nödvändigtvis att artrikedomen minskar, men däremot att artsammansättningen blir annorlunda. I vissa ekosystem kan man dock förvänta sig motsatt effekt, det vill säga nedbrytning av ekosystem. Exempelvis kan ökad torka under delar av vegetationsperioden längs Norrlandskusten och i södra Sverige leda till utarmning och minskad biologisk aktivitet, med minskad artrikedom som följd (Naturvårdsverket, 2015).

Sammantaget kan förändringar av det här slaget ha såväl positiva som negativa implikationer för den biologiska mångfalden. En möjlig sammantagen konsekvens är att interaktioner mellan olika arter störs, exempelvis mellan växter och pollinerare, och mellan fåglar och insekter. Vidare kan störningar ske genom förändringar i säsongmönster, så kallade fenologiska störningar, vilket på sikt kan påverka artsammansättningen på olika sätt (Naturvårdsverket, 2015).

³⁵ Ett specifikt känsligt område för skred och ras som pekades ut i SOU 2007:60 var Göta älvdalen eftersom ökad tillrinning till Vänern medför behov av ökad tappning genom älven vilket i sin tur kan leda fram till ökad erosion och därmed ökad skredrisk. Som ett resultat av det gav Regeringen i uppdrag till Statens Geologiska Institut att utreda riskerna för skred i Göta älv och delar av Nordre älv samt att göra en inventering av möjliga konsekvenser och åtgärder (SGI, 2012). De riskreducerande åtgärder man analyserade var stabilitetsförbättrande åtgärder av olika slag i de områden där risken bedömdes vara störst. Ett problem med utredningen, som lyfts fram av Hultkrantz och Nerhagen (2013), är dels att det saknas nyttoberäkningar (det vill säga förväntad skademinskning av åtgärderna), dels att kostnaderna av andra åtgärdsalternativ inte kostnadsberäknades. Det betyder bland annat att det nödvändigtvis inte är stabilitetsförbättrande åtgärder som är de mest kostnadseffektiva åtgärderna.

³⁶ År 2008 bildades "Kommittén för dimensionerande flöden för dammar i ett klimatförändringsperspektiv". I slutrapporten (Svensk Energi, 2011) konstateras det att 100-årsflödena (flöden som återkommer statistiskt sett en gång per 100 år) visar en ökande tendens för stora delar av Sydsverige medan det är en minskande tendens i norra Sverige. Sammantaget är slutsatsen från rapporten att det finns åtgärdsbehov på cirka en fjärdedel av dammarna i flödesdimensioneringsklass I (dammarna där det föreligger "icke försämbart sannolikhet för förlust av människoliv eller annan personskada"), medan dammarna i flödesdimensioneringsklass II (där konsekvenserna är mindre allvarliga men ej försämbarta) med några få undantag klarar de krav som kan ställas. Vad gäller gruvdammar är den sammantagna bedömningen att det stora flertalet gruvdammar har goda marginaler för att hantera ökande flöden.

Utöver dessa direkta konsekvenser kan ett förändrat framtida klimat leda till indirekta effekter på naturmiljön och biologisk mångfald på grund av förändringar i mark- och vattenanvändning. Exempelvis kan bättre förutsättningar för skogsproduktion leda till att improduktiv skogsmark tas i bruk för skogs- eller jordbruksproduktion efter en klimatförändring, vilket kan få konsekvenser för naturmiljön och den biologiska mångfalden. Av liknande skäl kan ökade vattenflöden i norra Sverige leda till att det sker förändringar i vattenkraftsproduktion som har konsekvenser för biologisk mångfald. Det bör dock påpekas att många av sambanden är komplexa och utifrån dagens kunskap och det faktum att det sker förändringar i naturmiljön utöver de klimatbetingade så går det inte att säga särskilt mycket om vilka de slutliga konsekvenserna blir.

4 Kostnader av klimatförändringar

Ovan har redogjorts för olika risker och effekter globalt, i Europa och Sverige av en klimatförändring. Som diskuterats finns det direkt påvisbara negativa effekter och risker, men för vissa delar av världen även positiva effekter, som exempelvis ökad skogstillväxt i Sverige. Nästa steg är att sätta ett värde på dessa effekter, dels för att göra dem jämförbara sinsemellan, dels för att göra dem jämförbara med andra värden i samhället.

Vad ekonomer vanligtvis menar med värdet av klimatförändringar och därmed ”kostnader för klimatförändringar” är skillnaden i ”välfärd”, eller välbefinnande, mellan två olika utvecklingsbanor (eller tillstånd). I detta fall är den ena utvecklingsbanan en värld där vi har en klimatförändring och den andra är när vi inte har någon klimatförändring, eller en mindre sådan. Med ”välfärd” menas vanligen det sammanlagda subjektiva välbefinnandet över tid för alla individer i samhället. Vad vi alltså skulle vilja veta är hur människors upplevda ”välfärd” nu och i framtiden beror på olika scenarier vad gäller klimatförändringar.

Vad gäller värdering av subjektivt upplevda förändringar av välfärd definieras det vanligen i termer av alternativkostnad, det vill säga i termer av vad jag som individ måste avstå av annan konsumtion (inkomst) för att konsumera mer av en specifik vara. Om en klimatförändring har en negativ effekt på individens välbefinnande skulle vi alltså kunna värdera denna negativa effekt i kronor genom att fråga oss hur mycket vi maximalt är villig att avstå från annan konsumtion (inkomst) för att undvika klimatförändringen. Svaret på den frågan brukar kallas ”betalningsviljan” (willingness to pay, wtp). Alternativt kan vi vända på frågan och fråga oss hur stor inkomstkompensation vi minst skulle behöva för att acceptera en klimatförändring, vilket brukar benämnas ”kompensationskrav”.³⁷ Värderingsprincipen är giltig oavsett om varan är en marknadsprissatt vara eller inte. På en marknad avslöjas dock betalningsviljan av marknadspriset, vilket betyder att vi kan tolka priset som den marginella betalningsviljan för att få ytterligare en enhet av en vara. Priset är således ett monetärt välfärdsått i den meningen att det mäter, eller mer precist uttryckt är proportionellt mot, individens marginella nytta av att köpa en enhet till. Det här innebär att konsekvenser av en klimatförändring som innebär förändrad produktion/konsumtion kan värderas via marknadspriser, medan konsekvenser som innebär förändrad konsumtion av varor och tjänster som inte handlas på marknader, framförallt olika typer av kollektiva varor som exempelvis naturupplevelser, måste värderas på något annat sätt.

Från avsnitten ovan kring effekter och konsekvenser av en klimatförändring torde det stå klart att det i huvudsak är två olika huvudtyper av direkta effekter av klimatförändringar som påverkar vår välfärd. Den ena huvudtypen är effekter som påverkar samhällets produktionsmöjligheter och därmed även människors konsumtionsmöjligheter av varor och tjänster som är marknadsprissatta. Exempelvis påverkar klimatförändringar produktiviteten i jord- och skogsbruk, vilket i förlängningen påverkar samhällets

³⁷ Se exempelvis Brännlund och Krüström (2012) för en mer precis definition av dessa begrepp. Man kan tycka att den maximala betalningsviljan för att slippa klimatförändringen bör vara lika stor som det minsta kompensationskravet för att acceptera den. Dock är inte så fallet i allmänhet. Exempelvis är den maximala betalningsviljan i princip begränsad av inkomst, medan det för kompensationskrav inte finns någon begränsning. Om individer exempelvis betraktar de värden som går förlorade vid en klimatförändring som essentiella så kan den kompensation man kräver för att acceptera den bli närmast oändlig (se Hanemann, 1991).

konsumtionsmöjligheter. En klimatförändring kan också påverka infrastrukturen i form av vägar, järnvägar, telekommunikation med mera, vilket påverkar produktionsmöjligheterna på olika sätt. Enkelt uttryckt kan man säga att de olika sektorerna, eller typerna av kapital, i en ekonomi påverkas av klimatförändringar vilket får konsekvenser för samhällets produktionsmöjligheter.

Den andra huvudtypen av effekter är de som har en direkt påverkan på vårt välbefinnande, eller välfärd, och som inte nödvändigtvis handlas på marknader. Exempelvis kan det i Sverige vara så att en förbuskning av kalvfjället, eller förlust av vissa djurarter, inte har någon direkt effekt på produktionsmöjligheterna i samhället. Däremot kan det inte uteslutas att det påverkar vår uppskattning av naturen. Exempelvis kan det innebära att det, allt annat lika, inte är lika trevligt med en fjällvandring efter det att fjällnaturen förändrats till följd av varmare klimat. Det bör påpekas att många ekosystemtjänster inte enkelt kan hänföras till bara den ena gruppen då de dels kan utgöra en ”insatsfaktor” i produktion av marknadsprissatta varor, men även ha en direkt påverkan på vår upplevda välfärd.

Sammantaget innebär det att det vi idealt skulle vilja veta för att kunna bestämma vad en klimatförändring kostar är (1) hur produktionsmöjligheterna och därmed konsumtionsmöjligheterna påverkas över tid, (2) värdet över tid av hur den direkta nyttan av natur och miljö påverkas. Med andra ord behöver vi uppskatta värdet av förändrad konsumtion av marknadsprissatta varor och värdet av varor och tjänster där marknader saknas.

Innan vi explicit redogör för kostnadsuppskattningar i Sverige kan det vara värt att ge en mycket översiktlig bild av kostnadsuppskattningar globalt till följd av klimatförändringar. Redan här kan det dock konstateras att de flesta kostnadsuppskattningar som finns, globalt och i Sverige, till stor del bortser från de värden som ej är marknadsprissatta.

4.1 Globala ekonomiska konsekvenser av klimatförändringar

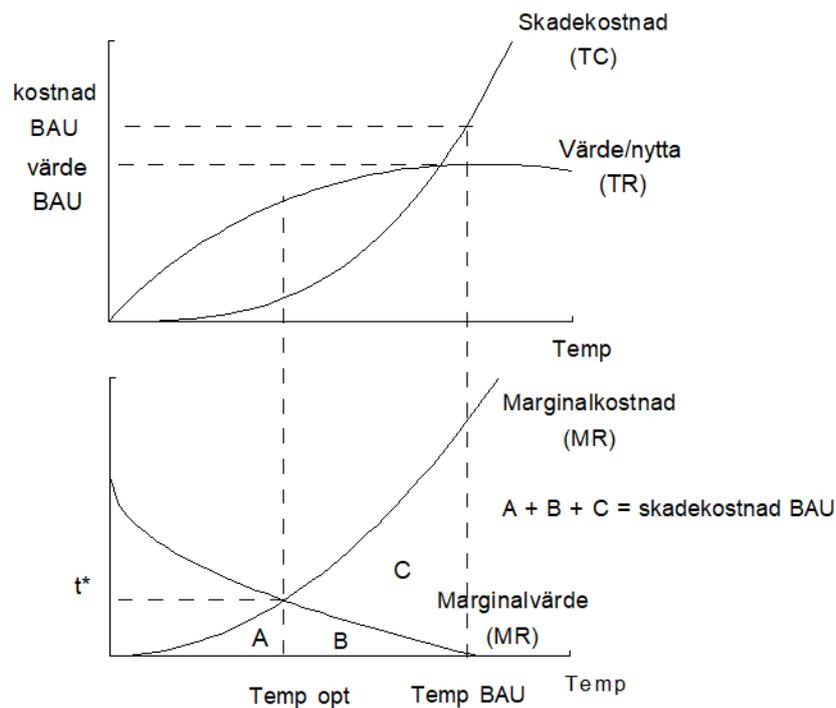
Uppskattningar av kostnader av klimatförändringar har en historia på drygt 25 år. Huvudsyftet med dessa uppskattningar var redan från början att beräkna eller uppskatta den samhällsekonomiskt optimala mängden globala utsläpp över tid, och därmed den optimala temperaturen. Det betyder att man dels försökt uppskatta värdet av minskade utsläpp, och därmed värdet av minskad klimatförändring, dels den kostnad som är förknippad med att minska utsläppen (se exempelvis Cline 1992, Nordhaus 2008, Stern 2006). Typiskt i många av dessa studier är att minskningar av utsläppen, och därmed minskad klimatförändring, kan ske genom minskad produktion och konsumtion (lägre BNP), vilket innebär en kostnad för samhället, vilket då i sin tur skall balanseras mot värdet eller nyttan av minskad klimatförändring.

Standardverktyget i försöken att uppskatta kostnader och intäkter av klimatförändringar har varit och är så kallade ”integrated assessment models” (IAM), och det har skett en gradvis evolution av dessa modeller över tid (se Stanton m.fl., 2009, Ackerman och Stanton, 2012 för en litteraturöversikt). De flesta IAMs består i huvudsak av fyra delar, eller ”moduler”; en ”produktionsmodul” där produktiva resurser omvand-

las till varor och tjänster och som ger upphov till emissioner av växthusgaser, en ”klimatmodul” som länkar utsläpp till temperatur via förändringar av koncentrationen av växthusgaser i atmosfären, en ”skademodul” som översätter förändring i temperatur till skada i monetära termer. Den fjärde modulen kan sägas vara en ekonomisk, eller ”optimeringsmodul”, där man ”väljer” konsumtion och investeringar så att välfärd (nuvärdet av all framtida konsumtion av varor och tjänster i vid mening) blir så stor som möjligt. Förutom produktion av varor och tjänster i ”produktionsmodulen” kan resurser användas till att ”producera” minskningar av utsläppen. Därmed finns möjlighet till en avvägning mellan produktion av konventionella varor och tjänster och utsläppsminskningar (mitigation).

Resultatet från en IAM kan i princip enklast beskrivas som i figur 4.1. I diagrammen i figur 4.1 har vi temperatur på den horisontella axeln, och kostnader och värden/intäkter på den vertikala. Temperaturen antas vara direkt kopplad till utsläpp av växthusgaser. I det övre diagrammet visas totalkostnaderna och totalvärdet av olika temperaturförändringar (utsläppsbanor), medan det undre diagrammet visar motsvarande marginalkostnader och intäkter.³⁸

Figur 4.1. Kostnader och intäkter av klimatförändringar.



Om vi under ett ”business as usual” scenario, BAU, antar att temperaturen stiger till ”Temp BAU” så ser vi i det övre diagrammet att skadekostnaden är lika med ”kostnad BAU”, vilket överstiger värdet av de utsläpp som korresponderar mot ”Temp BAU”. Optimeringen i en IAM innebär i princip att skillnaden mellan värde och kostnad ska vara så stor som möjligt, vilket i figur 4.1 innebär att utsläppen ska reduceras så att

³⁸ Beskrivningen i figur 4.1 är ”statisk” och beskriver inte den dynamik som följer av att växthusgaser ackumuleras över tid. Ett sätt att tolka figuren är att kostnads- och intäktskurvorna anger nuvärdet av kostnader och intäkter av en viss utsläppsbana som korresponderar mot en viss temperatur. Det betyder då att ”Temp opt” korresponderar mot den optimala utsläppsbanan.

”Temp opt” nås. I det undre diagrammet ser vi att vid ”Temp opt” är det marginella värdet av en temperaturförändring lika med marginalkostnaden, det vill säga t^* . En globalt optimal klimatpolitik är således att minska utsläppen så att ”Temp opt” nås, antingen via någon form av överenskommelse om utsläppskvoter eller en global kol-dioxidskatt lika med t^* .

Även om metodiken, eller modellansatsen, till sin struktur är relativt enkel inser man snabbt att varje enskild del är förknippad med mycket stor komplexitet och osäkerhet. Förutom kunskap om sambandet mellan utsläpp, koncentrationshalt och temperatur, som i sig är osäkert vilket diskuterats ovan, råder stor osäkerhet om vilka de geofysiska effekterna kommer att bli. Vi har också sett ovan att effekterna kan skilja sig åt betänkligt mellan olika regioner och länder vilket leder till frågan vad den aggregerade effekten är. Vidare vad gäller exempelvis kostnader för att minska utsläppen så kan vi inte veta hur hög den är i framtiden då den beror på teknikutveckling och annat. Sist men inte minst är frågan kring ”optimering”. I de flesta modeller är utgångspunkten helt enkelt en summering av nyttan av konsumtion över alla länder, medan summering av nytta över tid diskonteras på ett eller annat sätt. Det här ger upphov till en mängd frågeställningar, inte minst vad gäller frågor kring jämlikhet och rättvisa, dels mellan människor i olika länder, dels mellan olika generationer (se Stern, 2006, Stanton m.fl., 2009).

Frågan kring hur nyttor och kostnader ska summeras över tid har varit föremål för en intensiv diskussion. Frågan är huvudsakligen hur vi ska jämföra kostnader för utsläppsminskningar som vidtas idag med nyttor som uppkommer långt framåt i tiden, det vill säga hur framtida värden ska diskonteras.³⁹ Det bör dock betonas att diskonteringsfrågan är central endast när vi ska jämföra kostnader och intäkter som infaller i olika tidsperioder, exempelvis när vi gör en investering idag som ger avkastning i en framtid. I denna rapport, där vi enbart är intresserade av kostnaden i Sverige av en klimatförändring så spelar inte diskonteringsfrågan någon egentlig roll eftersom vi jämför kostnader i samma perioder med och utan klimatförändring.⁴⁰ Vad som är av primärt intresse i denna rapport är således en uppskattning av ytan $A+B+C$ i det undre diagrammet i figur 4.1, eller ”kostnad BAU” i det övre diagrammet. Ett skäl till detta är naturligtvis att ett litet land som Sverige kan inte genom utsläppsminskningar påverka temperaturen märkbart.

De första studier som genomfördes och som explicit syftade till att uppskatta kostnaden för och intäkten av klimatförändringar på i princip det sätt som beskrivs ovan gjordes för drygt 20 år sedan. De allra första fokuserade på kostnader i USA (Nordhaus, 1991, Cline, 1992), även om Nordhaus (1991) extrapolerade kostnaderna till världen som helhet. Det första riktiga försöket, dock, att på ett mer systematiskt sätt uppskatta de globala kostnaderna av klimatförändringar går tillbaka till Fankhauser (1994, 1995).⁴¹ Sedan dess har det gjorts ett antal uppskattningar baserade på en rad

³⁹ Det finns en mycket omfattande litteratur kring diskontering av framtida värden. Någon riktig konsensus har egentligen inte nåtts vad gäller vilken diskonteringsränta man ska använda och huruvida den ska vara konstant över tid eller inte. Frågan om diskonteringsräntan blev högst aktuell i och med publiceringen av den så kallade Sternrapporten 2006 där det användes en ovanligt låg ränta. Se vidare Stern (2006), Weitzman (2007, 2011), Nordhaus (2007, 2013), Dasgupta (2008) för en diskussion kring diskontering. Exempelvis argumenterar Weitzman (2011) för en fallande diskonteringsränta över tid (hyperbolisk diskontering) på grund av genuin osäkerhet och risk för katastrofala händelser.

⁴⁰ Detta är en sanning med viss modifikation när vi talar om anpassningsåtgärder som görs nu i syfte att motverka framtida negativa effekter.

⁴¹ Se Stern (2006) och Tol (2009) för en översikt av litteraturen.

olika IAMs. De kanske mest kända är de uppskattningar som gjorts av William Nordhaus och de som presenteras i den så kallade Sternrapporten (se Nordhaus och Yang, 1996, Nordhaus och Boyer, 2000, Nordhaus, 2008, 2013 och Stern, 2006, 2008).⁴²

Metodikerna som används för att uppskatta skadekostnaderna i Fankhauser (1994, 1995) och många efterföljare, bland annat studierna av Nordhaus och Stern, kan sägas vara enumerativ. Det betyder att i ett första steg uppskattas fysiska effekter ett i taget och hur de påverkar olika människor och olika samhällssektorer. Denna ”uppräknings” av effekter är vanligen baserad på resultat från klimatmodeller och naturvetenskapliga data och annan naturvetenskaplig kunskap. I ett andra steg prissätts dessa effekter. För effekterna på jordbruket, exempelvis, används den kunskap som finns vad gäller sambandet mellan temperatur, koldioxidhalt i atmosfären och avkastning i jordbruksproduktion i det första steget, medan det i det andra steget används ekonomiska modeller för att värdera effekterna från steg ett i pengar. Den enklaste formen av ”ekonomisk modell” är helt enkelt att använda observerade marknadspriser för jordbruksprodukter. I ett tredje steg summeras effekterna och aggregeras till regionala eller globala kostnader. I Nordhaus (2008), exempelvis, summeras effekterna över varje sektor för 12 regioner i världen till en global skadefunktion i termer av BNP-förlust.

En annan typ av ansats är vad som brukar kallas ”statistisk metod” (statistical approach). Det innebär i korthet att man utgår från observerade klimatförändringar och observerade effekter och försöker fastställa ett statistiskt samband mellan temperatur och effekt, samtidigt som man försöker kontrollera för andra påverkansfaktorer. Denna metodik är relativt vanlig för inte minst uppskattning av effekter på jordbrukssektorn (se exempelvis Mendelsohn m.fl. 2000), men har även tillämpats för hela ekonomier (se Burke, m.fl., 2015, Hsiang, m.fl., 2017)

De olika metoderna har sina för- och nackdelar. En uppenbar fördel med den enumerativa metoden är att effekterna är uppskattade från naturvetenskapliga data och modeller. En nackdel, dock, är att vissa effekter och värden måste ”extrapoleras” i den meningen att vissa samband som tagits fram i ett helt annat sammanhang överförs till ett klimatsammanhang, och att effekter och samband som baseras på historiska data ”extrapoleras” till en relativt avlägsen framtid. En annan nackdel är att den enumerativa ansatsen i dess enkla form inte beaktar att människor tenderar att anpassa sig till förändringar i klimat, till exempel genom att införskaffa kylaggregat, eller att jordbrukare anpassar sig genom andra val av grödor, etc.

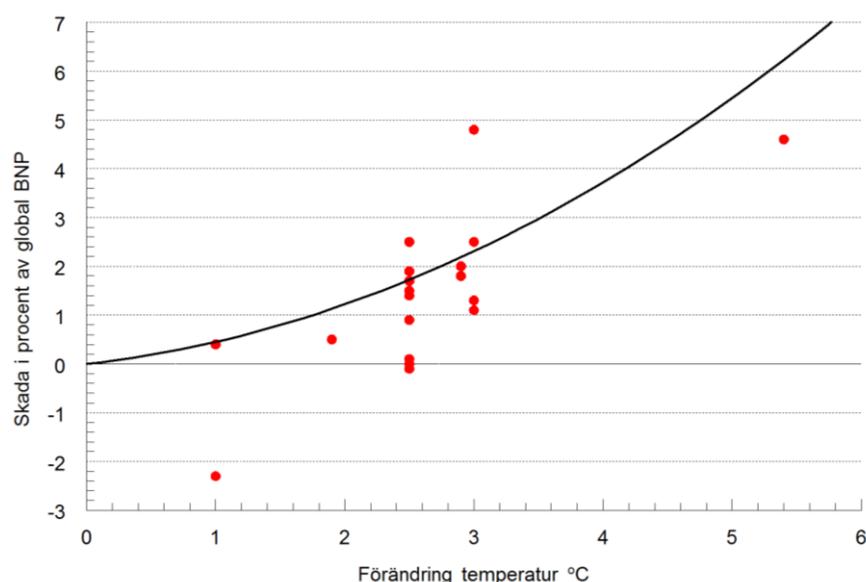
Vad gäller den statistiska ansatsen så är den uppenbara fördelen att den baseras på observerade förändringar av klimat, inkomst och annat, vilket betyder att anpassningar av olika slag implicit kommer med. Nackdelen, dock, är att det kan vara svårt att kontrollera för andra påverkansfaktorer än klimat, vilket kan leda till att effekter som inte har med klimatet att göra tillskrivs klimatförändringarna. Det bör betonas att flera av studierna kombinerar de båda ansatserna på olika sätt, exempelvis Nordhaus (2008) och Hsiang m.fl. (2017).

⁴² Stern (2006) kallas populärt Sternrapporten. Den skrevs på uppdrag av Storbritanniens dåvarande finansminister Gordon Brown. Sternrapporten ger en mycket dystoptisk bild av en framtid med klimatförändring och menar att om vi inte förhindrar klimatförändringen kommer kostnaderna att bli mycket stora, inte minst för mindre utvecklade länder. Slutsatserna i Sternrapporten har varit föremål för mycket diskussion och kritik, se exempelvis Nordhaus (2007) och Weitzman (2007).

Sammantaget kan det konstateras att det nu finns ett stort antal uppskattningar av globala och regionala uppskattningar av kostnaderna av klimatförändringar. Typiskt för många av dem, förutom det som sagts ovan, är att man utgår från en fördubbling av koldioxidhalten i atmosfären och sen gör olika antaganden kring klimatkänsligheten för att på så sätt hamna på en viss temperaturhöjning.⁴³ I Tol (2014) redovisas resultaten från 18 olika studier, de äldsta från 1994 (Nordhaus, 1994a, b), och den senaste från 2013 (Nordhaus, 2013). Uppskattningarna som redovisas i Tol (2014) återges i figur 4.2.

Figur 4.2. Konsekvenser för global BNP av klimatförändringar.

Källa: Egen konstruktion med data från Tol (2014).



De enskilda punkterna representerar resultaten från enskilda studier, medan den heldragna kurvan är en anpassningskurva.⁴⁴ För det första kan det konstateras att de flesta studier uppskattar kostnaden av en temperaturhöjning på 2,5 eller 3°C uppvärmning och att kostnaden uppskattas till i genomsnitt till cirka 1,5 procent respektive 2,5 procent av BNP. För det andra kan man konstatera att variationen är relativt stor mellan de olika studierna. För en uppvärmning på 2,5°C varierar uppskattad kostnad från svagt negativ (intäkt) till en kostnad på ca 2,5 procent av global BNP. För det tredje ger resultaten vissa belägg för att skadan i termer av BNP-förlust ökar i tilltagande takt med ökad temperatur. Den heldragna kurvan ger vid handen att en temperaturhöjning med 2°C leder till en kostnad på cirka 1,2 procent i termer av global BNP, medan en temperaturökning på 4°C, det vill säga en fördubbling leder till mer än en fördubbling av skadekostnaden, 3,6 procent.

⁴³ Det finns en relativt omfattande diskussion kring vad dessa modeller egentligen säger och bidrar med. Pindyck (2013), exempelvis, menar att de modeller som används ger en falsk känsla av kunskap och exakthet, och att kopplingen till de bakomliggande naturvetenskapliga sambanden blir svag på grund av alla förenklande antaganden. Stern (2013) menar att sammantaget innebär modellernas brister att kostnaderna underskattas gravt, inte minst på grund av att risker för "tipping points" och andra katastrofala händelser inte beaktas (se även Ackerman och Stanton, 2012, Lenton och Ciscar, 2012, för en diskussion kring bristerna med de vanligaste modellerna).

⁴⁴ Den heldragna kurvan i figuren är resultaten från en regression där förändringen i BNP är en funktion av temperaturförändringen och temperaturförändringen i kvadrat, det vill säga $Y = a \cdot \text{temp} + b \cdot \text{temp}^2$. Antalet observationer i regressionen är lika med antalet studier, 18 st. Skattningen av $a = 0,29$, och $b = 0,16$, vilket betyder att kostnaden ökar med ökad temperatur i tilltagande takt. Förklaringsgraden (R^2) är lika med 25 procent.

Förutom resultaten som redovisas i Tol (2014) redovisas i Stern (2006) en uppsättning uppskattade kostnader beroende på klimatscenario och vilken utsträckning diverse mer eller mindre katastrofala risker beaktas. I basscenariot där det antas en temperaturhöjning inom intervallet 2,4 - 5,8°C uppskattar man kostnaden till en genomsnittlig kostnad på mellan 2 och 14 procent av inkomsten. Den lägre siffran erhålls när man endast räknar med rena marknadseffekter, medan den högre siffran är resultatet av att man inkluderar dels katastrofrisk, dels effekter som inte är marknadsprissatta. Sammantaget kan det konstateras att uppskattningarna i Stern är systematiskt högre än i de flesta andra studier.⁴⁵

Även i Burke m.fl. (2015) och Hsiang m.fl. (2017) redovisas kostnader som överstiger de som redovisas i Tol (2014). Beräkningen i Burke m.fl. (2015) bygger på en statistisk analys av hur landspecifika historiska förändringar i BNP påverkas av landspecifika historiska förändringar i temperatur. De statistiska resultaten visar att sambandet mellan BNP-tillväxt och temperaturförändringar är inverterat U-format, det vill säga under en viss temperatur så innebär en temperaturhöjning ökad BNP-tillväxt, medan BNP-tillväxten faller när denna temperaturökning passerats. Resultaten antyder att det finns en ”optimal” global temperatur på 13°C, vilket betyder att en temperaturhöjning på 1-3°C skulle gynna de flesta mellan- och Nordeuropeiska länderna samt Kanada och Ryssland, medan USA, Kina och de flesta varma utvecklingsländerna skulle drabbas negativt. Studien visar sammantaget att ”business as usual scenariot” i AR5 (RCP8.5), som innebär en förväntad global temperaturhöjning till slutet av seklet på 3,7°C, leder till ett förväntat produktionsbortfall globalt på 23 procent, jämfört med fallet då det inte sker någon uppvärmning. För Europas del så är den förväntade produktionseffekten positiv, medan den är svagt negativ för exempelvis USA, och mycket starkt negativ för länder i Afrika och Asien framförallt.⁴⁶ I Hsiang m.fl. (2017) uppskattas kostnaderna i USA av en klimatförändring. Den metod som används av Hsiang m.fl. kan kortfattat sägas vara en kombination av den enumerativa och statistiska metoden. Resultaten visar att i genomsnitt för hela USA är kostnaden 1,2 procent i termer av BNP-förlust för varje grad uppvärmning, och att den största kostnaden är förknippad med ökad dödlighet. Studien visar också tydligt att kostnaderna skiljer sig åt betydligt mellan olika delar av USA, såtillvida att relativt fattiga ”counties” drabbas hårt, relativt rikare ”counties”.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att det finns ett relativt stort antal uppskattningar av globala kostnader och intäkter av klimatförändringar. Vidare kan det konstateras att uppskattningarna av kostnaderna skiljer sig åt betydligt mellan olika studier, vilket till viss del belyser de osäkerheter som de är förknippade med. Det bör också noteras att de uppskattningar som redovisas i Tol (2014) inte tar i beaktande risker för katastrofer och så kallade ”tipping points”.

4.2 Kostnader i Sverige av klimatförändringar

Ett sätt att närma sig frågan gällande kostnader i Sverige av en klimatförändring är genom den ”enumerativa” ansatsen som beskrivits ovan, det vill säga att sektor för

⁴⁵ Se Weitzman (2007) och Nordhaus (2007) för en diskussion kring detta. Den modell som används i Sternrapporten är PAGE-modellen som är en så kallad ”integrated assessment model” (Hope, 2006).

⁴⁶ Skattningarna är förknippade med relativt breda ”konfidensintervall”. Exempelvis kan det inte utslutas att produktionseffekten globalt är positiv (med sannolikheten 0,29).

sektor uppskatta kostnaderna för att på sått få en totalkostnad. Detta är i princip den metodik som används i Klimat och sårbarhetsutredningen (SOU 2007:60), vilket är det (hittills) enda någorlunda systematiska försöket att uppskatta den långsiktiga kostnaden i Sverige av en klimatförändring. Innan vi går in på resultaten från SOU 2007:60 kan det vara värt med en principiell genomgång av hur en sådan kostnadsuppskattning kan genomföras, och hur hög kostnaden kan tänkas vara om principen tillämpas med de effektbeskrivningar som redogjorts för i avsnitt 3.2 ovan.

En första approximation?

Utgångspunkten är att de varor och tjänster som kan konsumeras idag och i framtiden kan produceras tack vare de kapitalstockar som finns tillgängliga. Om vi som en mycket förenklad illustration antar att det finns två produktionssektorer som producerar konsumtionsvaror. Den ena sektorn, S_1 , antar vi är starkt beroende av hur mycket naturkapital det finns (skog exempelvis), medan den andra sektorn, S_2 , är mindre beroende av naturkapitalet i en direkt mening utan är i huvudsak beroende av humankapital. Givet detta kan vi uttrycka inkomsten Y , eller konsumtionsmöjligheterna, för samhället på följande sätt:

$$Y = a_1 \cdot S_1(K_1, K_2) + a_2 \cdot S_2(K_1, K_2),$$

där K_1 = naturkapital, K_2 = humankapital,

$S_1(K_1, K_2)$ och $S_2(K_1, K_2)$ är respektive sektors produktionsfunktion, och a_1, a_2 är konstanter som anger respektive sektors bidrag till den totala inkomsten, eller konsumtionen, och kan därmed tolkas som marknadspriser, det vill säga betalningsviljan, för respektive vara.

Vi kan nu i detta mycket förenklade exempel se hur en klimatförändring påverkar inkomsten eller konsumtionen genom att beräkna skillnad i inkomst med (Y^1) och utan klimatförändringar (Y^0).⁴⁷

$$Y^1 - Y^0 = [a_1 \cdot S_1(K_1^1, K_2^1) + a_2 \cdot S_2(K_1^1, K_2^1)] - [a_1 \cdot S_1(K_1^0, K_2^0) + a_2 \cdot S_2(K_1^0, K_2^0)]$$

vilket vi kan skriva som (Δ anger skillnaden mellan de två tillstånden):

$$\Delta Y = a_1 \cdot \Delta S_1 + a_2 \cdot \Delta S_2$$

Förändringen i konsumtionsmöjligheter av marknadsprissatta varor och tjänster till följd av en klimatförändring kan med andra ord uppskattas genom att sektor för sektor uppskatta effekten på produktionsvärdet och summera dessa. Ovan antog vi att sektor 1 var starkt beroende av naturkapital medan sektor 2 var relativt oberoende av naturkapital. Det betyder dock inte nödvändigtvis att konsekvensen på sektor 1 är av större betydelse för ekonomin som helhet än den från sektor 2 ifall bidraget, eller värdet a_2 , från sektor 2 är stort relativt värdet från sektor 1 (a_1). Kostnaden uppskattat på detta sätt kan sägas ge den direkta kostnaden, eller första ordningens kostnad, av en klimatförändring och kan utgöra en bra skattning för åtminstone små klimatförändringar. Är den globala klimatförändringen stor och ger upphov till stora effekter på globala produktionssystem så kan skattningen enligt ovan innebära en under- eller

⁴⁷ Här har det antagits att värdet per enhet, det vill säga a_1 och a_2 , inte påverkas av en klimatförändring.

överskattning av kostnaderna, beroende på i detta fall förändrade relativpriser och Sveriges koppling till andra länder och regioner via internationell handel.

Vi kan nu utifrån denna enkla ansats göra en grov uppskattning av kostnaderna i Sverige av en klimatförändring genom att (1) klassificera sektorer utifrån hur exponerade och sårbara de är för en klimatförändring, och (2) se hur stort respektive sektors bidrag är till BNP. Som en illustration har jag här valt att klassificera sektorer i tre olika huvudgrupper; I den första gruppen ingår sektorer som kan förväntas påverkas relativt mycket av en klimatförändring, i den andra gruppen ingår de sektorer som kan tänkas påverkas relativt mycket men mindre än i den första. I den tredje och sista gruppen ingår sektorer som inte förväntas påverkas alls eller särskilt mycket.⁴⁸

De olika sektorernas andel av BNP för perioden 1980 – 2015 redovisas i tabell 4.1. Tre saker är utmärkande. För det första utgör de sektorer som man kan förvänta sig vara de sektorer som påverkas mest av en klimatförändring en relativt liten del av den samlade produktionen i Sverige. För det andra så tycks det finnas en tydlig trend såtillvida att de känsliga sektorernas betydelse för ekonomin minskar över tid, och för det tredje så minskar betydelsen av varuproduktion på bekostnad av tjänsteproduktion. Sammantaget innebär dessa tre observationer att den svenska ekonomin över tid blivit allt mindre beroende av varuproducerande sektorer i allmänhet, och sektorer direkt kopplade till naturkapitalet (skog, jord och vatten) i synnerhet.

Tabell 4.1. Olika sektorers andel av BNP 1980 – 2015.

Källa. SCB, nationalräkenskaper.

| | 1980 | 1990 | 2000 | 2015 |
|--|-------------|-------------|------------|------------|
| <i>Särskilt exponerade och sårbara sektorer</i> | | | | |
| Jordbruk | 4,0* | 3,1* | 0,7 | 0,3 |
| Skogsbruk | | | 1,0 | 0,9 |
| Fiske | | | 0,02 | 0,02 |
| Gruvor | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,4 |
| Summa | 4,4 | 3,5 | 1,9 | 1,4 |
| <i>Till viss del exponerade och sårbara sektorer</i> | | | | |
| El, gas och värme | 2,3 | 2,4 | 1,7 | 1,9 |
| Vattenförsörjning och avlopp | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0,2 |
| Byggnadsverksamhet | 6,3 | 6,1 | 4,1 | 5,1 |
| Transporter | 6,2 | 5,4 | 2,4 | 2,2 |
| Summa | 15,3 | 14,3 | 8,4 | 9,3 |
| <i>Ej särskilt exponerade eller sårbara sektorer</i> | | | | |
| Tillverkningsindustri | 20,0 | 17,8 | 20,3 | 13,7 |
| Handel, privata tjänster och offentlig produktion | 60,3 | 64,4 | 69,38 | 75,3 |
| Summa | 100 | 100 | 100 | 100 |

* Andelen för 1980 och 1990 är den totala andelen för jord- och skogsbruk samt fiske.

⁴⁸ Gruppindelningen baseras på en av författaren egen grov uppskattning, eller bedömning, av hur olika sektorer kan tänkas påverkas. Till grund för min bedömning ligger konsekvensbeskrivningarna i tidigare avsnitt. Det bör noteras att vi här bortser från indirekta effekter som kan härledas via Sveriges handel och beroende av omvärlden. Som diskuterats tidigare är det troligt att den typen av effekter är viktigare än de direkta effekterna i Sverige.

Som framgår av tabell 4.1 har jord- och skogsbrukssektorns andel, inklusive fiske, av BNP minskat från 4,4 till 1,4 procent de sista 35 åren, vilket är en påtaglig förändring över så relativt kort tidsperiod. Samma mönster framträder för den andra gruppen av sektorer som kan tänkas vara sårbara för en klimatförändring. Den bild som framträder i tabell 4.1 är inte unik för Sverige, utan ser ungefär likadan i alla utvecklade länder, det vill säga jordbrukssektorn står för en allt mindre del av BNP medan framförallt tjänstesektorn ökar (se exempelvis Tol, 2004, Stern, 2006, Nordhaus, 2013).

Genom ett enkelt räkneexempel kan vi nu illustrera hur stor kostnaden/intäkten blir i termer av en BNP-förändring, baserat på de konsekvenser av en klimatförändring som diskuterats i tidigare avsnitt. Givet diskussionen kring effekter i Sverige antar vi att Jord- och skogsbrukssektorn påverkas positivt med en ökad produktion på 10 procent i jordbruket och 25 procent i skogsbruket, medan den kommersiella fiskeproduktionen minskar med 20 procent. Vidare antar vi att bidraget från gruvsektorn minskar med 5 procent beroende på ökande kostnader för dammsäkerhet med mera. Elsektorn antar vi påverkas positivt med en ökning på 10 procent i enlighet med diskussionen ovan, medan vi antar en negativ effekt på vatten och avloppssektorn med 10 procent, och 5 procent negativ effekt på såväl byggnads- som transportsektorn. Resultatet på BNP givet dessa antaganden redovisas i tabell 4.2.⁴⁹

Tabell 4.2. Effekter på BNP av antagna produktionsförändringar i olika sektorer. Procent av 2015 års BNP, miljoner kronor 2015 års priser.

Källa. Egen konstruktion med data från SCB.

| | Förändring, procent | BNP-effekt, procent | BNP-effekt, miljoner kr |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Jordbruk | 10 | 0,03 | 1 300 |
| Skogsbruk | 25 | 0,22 | 9 204 |
| Fiske | -20 | -0,00 | -136 |
| Gruvor | -5 | -0,02 | -785 |
| El, gas och värme | 10 | 0,19 | 8 134 |
| Vattenförsörjning | -10 | -0,02 | -957 |
| Byggnadsverksamhet | -5 | -0,26 | -10 724 |
| Transporter | -5 | -0,11 | -4 575 |
| Summa | | 0,03 | 1 462 |

Givet de antaganden som gjorts vad gäller produktionsförändringar så blir den sammanlagda effekten på BNP en ökning med 0,03 procent, vilket kan betraktas som närmast försumbart. Förklaringen är naturligtvis att de sektorer som påverkas är i sig mycket små i relation till ekonomin som helhet. Exempelvis utgör fiskerinäringen endast 0,02 procent av BNP (0,2 tusendelar), vilket betyder att den är i det närmaste betydelslös för ekonomin som helhet. Ser man till absoluta belopp blir bilden något mer nyanserad med en ökning av BNP med cirka 1,5 miljarder kronor.⁵⁰ Att effekten blir positiv beror förstås på att vissa sektorer, jord- och skogsbruk samt energisektorn,

⁴⁹ Huruvida räkneexemplet fångar även indirekta effekter beror på vilka antaganden som görs vad gäller effekterna i de olika sektorerna (den andra kolumnen). Med de antaganden som görs här är tolkningen att det endast är den direkta effekten.

⁵⁰ En ökning av BNP med 1,46 miljarder kronor innebär ett nuvärde (summa över all framtid) på 50 miljarder vid tre procents diskonteringsränta.

antas påverkas positivt. Om andra antaganden görs vad gäller dessa sektorer, eller att transporter, byggnadsindustri och/eller vattenförsörjning drabbas mer negativt kan förstås den sammantagna effekten bli negativ. Poängen här, dock, är att även om vi antar mer drastiskt negativa effekter i dessa sektorer så kommer konsekvensen på ekonomin i helhet att bli relativt begränsad.

Viktigt att påpeka är att även om effekterna på ekonomin i stort är små så kommer de människor som är beroende av dessa sektorer att påverkas. Den negativa konsekvensen för fiskerinäringen, exempelvis, innebär de facto att människor förlorar sin inkomst från fisket och måste hitta nya inkomstmöjligheter, vilket kan innebära stora livsförändringar i form av flytt med mera

Sammanfattningsvis kan man med detta räkneexempel som utgångspunkt dock dra slutsatsen att den sammantagna direkta effekten på svensk BNP av en klimatförändring förmodligen är relativt liten och att den kan vara såväl positiv som negativ. Det bör nu återigen påpekas att de indirekta konsekvenserna kan vara viktigare. En global klimatförändring kan ha relativt stora effekter på svensk ekonomi, dels beroende på hur världsekonomin utvecklas som en följd av en klimatförändring, dels på utvecklingen av olika relativpriser. Som redovisats ovan uppskattas effekterna på den globala ekonomin till en kostnad på mellan 1 och 5 procent av global BNP med ett genomsnitt på cirka 2,5 procent vid en uppvärmning med 3°C globalt. En minskad global tillväxt till följd av en global klimatförändring innebär att svensk export påverkas vilket får effekter på svensk ekonomi. En klimatförändring kan också innebära förändringar i relativpriser, exempelvis högre priser på jordbruks- och skogsprodukter.

Hur detta påverkar svenska konsumenter och producenter beror dels på om Sverige är nettoexportör eller nettoimportör och på hur priskänslig svensk konsumtion och produktion är. Vad vi kan säga, givet att svenskt jord- och skogsbruksproduktion inte påverkas negativt av ett varmare klimat, är att svenska producenter av jord- och skogsbruksprodukter är vinnare i termer av ökat producentöverskott, medan konsumenterna är förlorare i termer av minskat konsumentöverskott. Huruvida summan av dessa överskott är positiv eller negativ beror helt på om Sverige är nettoexportör eller nettoimportör av produkterna. Är vi nettoexportör innebär en prisökning att den positiva förändringen av producentöverskottet är större än den negativa förändringen av konsumentöverskottet. Är vi nettoimportör gäller det omvända.⁵¹

Klimat- och Sårbarhetsutredningen

I räkneexemplet ovan, givet de mer eller mindre välgrundade antaganden som gjordes vad gäller exponering och sårbarhet i olika sektorer, så blev slutsatsen att den direkta sammantagna ekonomiska konsekvensen av en klimatförändring är begränsad och möjligen positiv. En annan slutsats var att vissa sektorer påverkas positivt medan andra negativt, det finns med andra ord både vinnare och förlorare. Frågan nu är hur väl denna slutsats står sig vid en jämförelse av de faktiska konsekvensuppskattningar som finns tillgängliga.

⁵¹ Ifall vi går från att vara nettoimportör till nettoexportör så kan vi inte säga om summan av producent- och konsumentöverskott är positiv eller negativ utan ytterligare information om storleksordningen på förändringen och utbuds- och efterfrågekurvornas lutning och kurvatur.

De enda någorlunda sammantagna bedömningen av kostnader och intäkter i Sverige av en klimatförändring är, såvitt jag vet, den som återfinns i Klimat och sårbarhetsutredningens slutbetänkande, SOU 2007:60. I utredningen gjordes ett gediget och omfattande arbete att utifrån givna klimatscenarier identifiera och kvantifiera effekterna på naturliga och mänskliga system i Sverige. Vidare utgör utredningen såvitt jag vet det enda försöket att på ett någorlunda transparent och sammantaget sätt uppskatta effekterna i monetära termer. De övergripande slutsatserna från utredningen är att de klimatförändringar som pågår och som vi kan förvänta i framtiden medför ett antal effekter och risker som är av betydande art. De risker och effekter som redogörs för är kopplade till (1) förändrade nederbörds mängder och mönster, (2) förändrad temperatur, och (3) förändrade frekvenser och mönster vad gäller extremväder (vindar och stormar).

Utredningens huvudsats vad gäller risker och effekter kan sammanfattas i följande punkter:

- Risken för översvämningar, ras, skred, erosion ökar på många håll i Sverige.
- Östersjön riskerar dramatiska förändringar av ekosystemen som *förvärras* av klimatförändringarna.
- Vattenkvaliteten i sjöar och vattendrag kommer att försämrats.
- Fjällen förbuskas till stor del, vilket drabbar rennäring och turism.
- Varmare klimat påverkar hälsan negativt och leder till fler dödsfall på grund av värmeböljor och ökad smittspridning.
- Skogstillväxten ökar kraftigt och förutsättningarna för jordbruksproduktion förbättras, men risk för minskad biologisk mångfald.

Den slutsats som dras från detta i utredningen är att dessa risker och effekter gör det nödvändigt att vidta ett systematiskt anpassningsarbete. På vilket sätt de föreslagna anpassningsåtgärderna är kopplade till de uppskattade kostnaderna inom respektive område är dock oklart. Hur stora anpassningsåtgärder som ska vidtas beror dels på värdet av skademinskningen som följer av anpassningen, dels på hur hög kostnaden är för olika anpassningsåtgärder. Det är kring detta de flesta oklarheter finns i utredningen. I vissa fall definieras kostnaden för klimatförändringen av kostnaden för en specifik anpassningsåtgärd och i vissa fall av ett rent produktionsbortfall eller tillskott. Sammantaget innebär det i vissa fall tolkningssvårigheter vad gäller kostnader då kostnadsbegreppet inte alltid är klart definierat. Exempelvis innebär användandet av kostnaden av en anpassningsåtgärd som mått på skadekostnaden ett implicit antagande att anpassningsåtgärden är väl avvägd utifrån värdet på den marginella skadan.

De uppskattningar som presenteras i SOU 2007:60 är ackumulerade kostnader och intäkter (nuvärde) för perioden 2010 – 2100. Uppskattningarna utgår från ett låg- och ett högttemperaturscenario, vilket motsvarar en temperaturhöjning i Sverige på 3 – 5°C fram till 2080-talet jämfört med perioden 1960 - 1990. Scenarierna ligger med andra ord i linje med de klimatscenarier som presenterades i avsnitt 2.3 (figur 2.9). Vidare antas det att kostnaderna ökar linjärt fram till år 2080 för att sedan vara konstanta fram till 2100. Vad gäller den ekonomiska utvecklingen antas en tillväxttakt på 2 pro-

cent över hela perioden. En sammanfattning av uppskattningarna redovisas i tabell 4.3.⁵²

Två övergripande slutsatser som följer av de kostnads- och intäktsberäkningar som presenteras i tabell 4.3 är att (1) kostnaderna och intäkterna i stort sett tar ut varandra, (2) i relation till BNP är såväl kostnaderna som intäkterna små (cirka 0,2 procent vardera).

Tabell 4.3. Sammanlagda kostnader och intäkter av klimatförändringar för perioden 2010 – 2100. Miljarder kronor och andel av BNP.⁵³

Källa: SOU 2007:60, kapitel 4, tabell 4.49.

| | Kostnad | Intäkt | Nettokostnad |
|--|----------------------|----------------------|---------------------|
| Vägar och järnvägar | 12 – 22 | 0 | 12 – 22 |
| Övrig infrastruktur⁵⁴ | 1 – 6 | 4 – 9 | -3 |
| Dricksvattenförsörjning | 62 – 124 | 0 | 62 – 124 |
| Byggnadskonstruktioner och bebyggelse | 116 – 276 | 0 | 116 – 276 |
| Översvämning av Vänern, Mälaren och Hjälmaren | 82 – 141 | 0 | 82 – 141 |
| Elproduktion | 0 | 193 – 287 | -193 – -287 |
| Värme- och kyla | 135 – 153 | 606 – 689 | -471 – -536 |
| Skogsbruk | 97 – 281 | 307 – 614 | -210 – -333 |
| Jordbruk | 36 – 76 | 73 – 146 | -37 – -70 |
| Fiskerinäringen | 3 – 15 | 0 | 3 – 15 |
| Rennäringen | 1 – 3 | 0 | 1 – 3 |
| Hälsa | 571 – 799 | 0 | 571 – 799 |
| Övrigt | 1 – 4 | 0 | 1 – 4 |
| Summa | 1 118 – 1 900 | 1 183 – 1 745 | -66 – 155 |
| procent av BNP^a | 0,17 – 0,28 | 0,18 – 0,26 | -0,01 – 0,02 |
| procent av BNP^b | 0,48 – 0,81 | 0,51 – 0,75 | -0,03 – 0,06 |

^a 2 procent BNP tillväxt hela perioden (SOU 2007:60)

^b 0 procent BNP tillväxt hela perioden (egen beräkning)

Det bör betonas, vilket tydligt framhålls i utredningen, att de beräknade kostnaderna och intäkterna inte tar i beaktande indirekta effekter via relativpriser och andra marknadsanpassningar, ej heller kostnader och intäkter av icke marknadsmässig natur som förändringar i rekreationsvärden och biologisk mångfald.

Vad som också är tydligt från resultaten i tabell 4.3 är att de största kostnaderna förknippade med en klimatförändring är kopplade till hydrologiska förändringar och

⁵² Konsekvensuppskattningarna presenteras i kapitel 4 i betänkandet, och detaljer och bakomliggande antaganden redogörs för i detalj i bilaga A6. Kostnadsuppskattningarna bygger delvis på det arbete som genomfördes inom ramen för Sophia Ahlroths doktorsavhandling (Ahlroth, 2009).

⁵³ Kostnaderna och intäkterna i tabellen är nuvärdet där diskonteringsräntan satts till noll. En positiv diskonteringsränta på 2 eller 4 procent ändrar endast i ringa grad förhållandet mellan intäkter och kostnader. Däremot innebär en diskontering med 2 procent i runda tal en halvering av nettokostnaden/nettointäkten.

⁵⁴ "Övrig infrastruktur" omfattar flyg, sjöfart, telenät och elnät. De uppskattade intäkterna till följd av en klimatförändring inom detta område härrör från att det bedöms bli lägre kostnader för avisning av flygplan och lägre kostnad för halkbekämpning.

ökad frekvens av värmeböljor. Kostnaderna på grund av hydrologiska förändringar i form av förändrade nederbördsmängder och översvämningar uppskattas till mellan 273 och 569 miljarder kronor för hela perioden och avser framförallt skador på byggnader och byggnadskonstruktioner.⁵⁵ Kostnaderna förknippade med ökad dödlighet på grund av värmeböljor och ökad smittspridning uppskattas till mellan 571 och 800 miljarder kronor.⁵⁶

Ett uppenbart problem med kostnadsberäkningarna som presenteras i tabell 4.3 är att de, såvitt jag kunnat bedöma, helt bortser från att individer, hushåll och företag kan anpassa sig. Klimatförändringen och de effekter den ger upphov till antas ske successivt under en 90-års period, vilket ger tid för anpassning. I uppskattningen av kostnader på byggnader och byggnadskonstruktioner till följd av översvämningar, exempelvis, antas att en viss andel av de fastigheter som identifierats som hotade av översvämningar drabbas, och kostnaden för detta uppskattas med återställandekostnaden. Såväl andelen byggnader som hotas och som drabbas hålls såvitt jag kan se konstant över hela perioden, vilket förutsätter att det inte finns några potentiellt billigare åtgärder, eller att någon form av anpassning i form av omflyttning av boende och verksamheter sker. Om man i stället skulle anta att hus och byggnader ”flyttar” till andra säkrare platser i takt med hur byggnader deprecieras över tid blir kostnaden lägre så länge som ”omflyttningskostnaden” är lägre än återställandekostnaden.⁵⁷ Givet detta resonemang kan man konstatera att den kostnad som anges i tabell 4.3 är en övre gräns för kostnaden. Ett alternativt sätt att värdera konsekvenserna av ökad översvämningrisk för bostäder och byggnader vore helt enkelt att fråga hushåll och företag om deras betalningsvilja för att försäkra sig mot risken för översvämningar (se Spegel, 2017 och Botzen samt Van den Bergh, 2012).⁵⁸

Uppskattningen av kostnader för hälsa kan sägas lida av samma problem, det vill säga avsaknad av möjlighet till anpassning, vilket diskuterats tidigare. Kostnadsuppskattningen bygger på empiriska samband mellan temperatur och mortalitet i Stockholmsområdet (Rocklöv m.fl. 2007, Rocklöv och Forsberg, 2008). Sambandet mellan temperatur och mortalitet visar sig vara V-format med en brytpunkt vid cirka 11°C, vilket betyder att den ”optimala” genomsnittstemperaturen i detta avseende är 11°C i Stockholm. Liknande studier visar att optimal temperatur skiljer sig åt mellan olika städer och länder, beroende på klimat. Exempelvis är den optimala temperaturen i London och Aten 20 respektive 25°C (Rocklöv m.fl. 2008). Med andra ord tycks det vara så att ju högre genomsnittlig temperatur desto högre optimal temperatur.

Det ligger nu nära till hands att tro att skillnader i ”optimal” temperatur beror på att man anpassat sig till respektive klimat på olika sätt, och att det därför finns skäl att tro

⁵⁵ I SOU 2017:42 uppskattas klimatanpassningskostnaden som är relaterad till hydrologiska effekter (översvämningar, ras och skred) till 137 – 205 miljarder kronor fram till år 2100. Kostnaderna är uppskattade genom att ”interpolera” kostnader för redan vidtagna åtgärder i olika kommuner.

⁵⁶ Den helt dominerande delen av hälsokostnaderna är uppskattningen av ökad dödlighet på grund av fler och intensivare värmeböljor. Kostnaden för smittspridning, som är baserad på ett räkneexempel, bedöms till mellan 70 och 140 miljarder.

⁵⁷ Se Nordhaus (2013) för en beräkning av kostnaden för orkaner i USA. Givet anpassningsmöjligheter beräknar Nordhaus (2013) att den årliga skadekostnaden på kapitalstocken i USA till följd av orkaner motsvarar 0,01 procent av BNP.

⁵⁸ I Spegel (2017) genomförs en undersökning (valexperiment) i syfte att uppskatta betalningsviljan hos boende och specifika tjänstemän i Göteborg för att förhindra översvämningar som drabbar byggnader, trafik och vattenförsörjning i Göteborg. Resultaten visar att det finns en betalningsvilja för att undvika översvämningar, speciellt om det medför trafikproblem.

att en långsiktig klimatförändring kommer att leda till en anpassning i form av ändrade vanor, förändringar i byggande, och inte minst skyddsåtgärder i form av luftkonditionering. De empiriska studier som genomförts i USA, som refererats till tidigare, visar på en närmast fullständig anpassning i form av ökad användning av luftkonditionering (Deschenes och Greenstone, 2011, Barreca m.fl. 2013, 2016). Det är nu troligt att en liknande anpassning kommer att ske i Sverige, vilket betyder att sambandet mellan temperatur och mortalitet skulle förskjutas med en högre ”brytpunkt” som följd. Givet sådana anpassningsmöjligheter kan man dra slutsatsen att uppskattningen i tabell 4.3 är en överskattning av kostnaden. Hur stor överskattningen är beror på de kostnader som är förknippade med anpassningar, exempelvis kostnader för el och luftkonditioneringsanläggningar.

Utöver de problem som diskuteras ovan så är kostnadsuppskattningarna förknippade med stor osäkerhet, vilket poängteras tydligt i betänkandet. Osäkerheten kan härledas dels, eller kanske framförallt, från den genuina osäkerhetskedjan från klimatförändringens effekter på de naturliga systemen till hur det påverkar olika mänskliga system. Till det kommer hur effekterna på de mänskliga systemen som infrastruktur, byggnader och annat ska värderas. Denna kaskad av osäkerheter innebär att osäkerheten i den slutliga värderingen troligtvis blir mycket stor.

Vad gäller intäkter, eller nytta, av en klimatförändring så uppskattas de till totalt ungefär samma storlek som de totala kostnaderna, och det är framförallt som en följd av ökad produktivitet i jord- och skogsbruk, lägre uppvärmningskostnad, och ökad elproduktion. De uppskattningar som görs för jord- och skogsbruk ligger i linje med de uppskattningar som finns i Jordbruksverket (2007), vad gäller avkastningen i jordbruket, och i linje med Claesson m.fl. (2015) vad gäller avkastningen i skogsbruket. De ökade intäkterna från elproduktion uppskattas till mellan 193 och 237 miljarder kronor över hela perioden, det mesta som en följd av ökad tillrinning i vattenkraftssystemet.⁵⁹

Uppskattningen av kostnads/intäktsförändringarna i dessa sektorer baseras på en relativt enkel beräkningsmodell där produktionsförändringen helt enkelt multipliceras med någon form av pris per enhet. Vad gäller skogen multipliceras produktionsförändringen i kubikmeter med rotnettot per kubikmeter (230 kronor), medan värdet förändringen i elproduktionssektorn sätts lika med produktionsförändringen multiplicerat med marknadspriset på el (40 öre/kWh). För skogsbrukets del betyder det att värderingen sker i termer av förändrat producentöverskott, medan värderingen för elproduktionssektorn är i termer av bruttovärden eller bruttointäkter.

Det är (minst) två problem förknippade med dessa beräkningar. Det första är att de inte är helt konsistenta sinsemellan, det andra är att det antas att produktpriser och produktionskostnader inte påverkas av de underliggande förändringarna. Vad gäller det första problemet så är beräkningen för skogen i princip korrekt då det är förändringen i producentöverskott som beräknas ($\text{rotnetto} = \text{pris} - \text{kostnad}$), medan beräkningen för ökad elproduktion baseras på bruttopriset (alternativt att den rörliga kostnaden antas vara noll). Det senare innebär i princip att värdet av ökad elproduktion överskattas ifall den rörliga kostnaden för att producera el är större än noll.

⁵⁹ Beloppen är odiskonterade värden.

Den andra potentiella felkällan är, som diskuterats tidigare, att produktionsförändringarna troligtvis leder till förändrade priser. Exempelvis är det troligt att den ökande elproduktionen på grund av ökad tillrinning i det nordiska vattenkraftssystemet leder till lägre pris på elmarknaden, vilket i jämförelse med fallet när priset inte påverkas, innebär ett lägre producentöverskott.⁶⁰ Som en parentes kan det också påpekas att det elpris på 40 öre/kWh som använts i utredningens beräkningar är betydligt högre än det elpris vi sett de senaste åren och det pris vi kan förvänta oss de kommande åren. Genomsnittspriset på spotmarknaden de senaste 10 åren är cirka 30 öre/kWh. Om vi dessutom antar att kostnaden per kWh är cirka 10 öre/kWh så får vi en halvering av det värde som uppskattas i SOU 2007:60.

Sammanfattningsvis kan konstateras att den genomgång och analys som görs i SOU 2007:60 kring långsiktiga kostnader i Sverige av en klimatförändring är grundlig och gedigen, framförallt vad gäller direkta effekter och konsekvenser på infrastruktur, som vägar och järnvägar, byggnader och byggnadskonstruktioner, hälsa, samt jord- och skogsbruk. Vidare kan det konstateras, vilket tydligt poängteras i betänkandet, att uppskattningarna är förknippade med stor osäkerhet. Osäkerheten i de slutliga uppskattningarna av konsekvenserna i monetära termer följer av en kaskad av osäkerheter, från hur stor klimatförändringen blir och vidare genom hela kedjan från fysiska effekter till monetär värdering. Ovan har jag försökt belysa delar av den osäkerhet som finns i den ekonomiska värderingen, bland annat på grund av antaganden kring anpassning. Men det betyder inte nödvändigtvis att dessa osäkerheter är de mest kritiska, tvärtom kan man nog anta att de långsiktiga effekterna på de naturliga systemen och hur det i sin tur påverkar mänskliga system är minst lika osäkra, speciellt över så lång tidshorisont.

Betingat på de osäkerheter som finns i uppskattningarna kan det dock konstateras att uppskattningen av de ekonomiska konsekvenserna sammantaget är små. De (direkta) kostnader som en klimatförändring förväntas ge upphov till i Sverige balanseras till största delen ut av förväntade intäkter, framförallt som en följd av att ett varmare klimat i Sverige bidrar till ökad produktivitet i skogs- och jordbruk. Även om man antar att de positiva effekterna på skogs- och jordbruk uteblir, och att de positiva effekterna på elproduktion uteblir, så blir kostnaden relativt liten, sett i relation till BNP, cirka 0,2 - 0,3 procent i fallet med en ekonomisk tillväxt på 2 procent och 0,5 - 0,8 procent i fallet med noll-tillväxt i ekonomin. Huvuddelen av kostnaderna är kopplade till skador på byggnader och hälsoeffekter, och som diskuterats ovan har det i dessa fall inte beaktats att individer, hushåll och företag kan anpassa sig i olika grad till ett förändrat klimat. Sammantaget innebär det förmodligen att kostnaderna har överskattats. Å andra sidan rymmer uppskattningarna ett antal andra osäkerheter som kan verka i motsatt riktning.

Kostnader för turism, rekreation och naturmiljö

De uppskattningar som redovisas ovan inkluderar inte kostnader och intäkter som följer av förändringar i naturmiljön som har en direkt påverkan på aktiviteter som är direkt kopplade till naturkapitalet och som i vissa fall inte är marknadsprissatta. Det gäller exempelvis kostnader/intäkter för turismen, förändringar i biodiversitet, förändringar i värdet av naturupplevelser. Huvudskälet till att kostnader och intäkter inom dessa områden inte uppskattas är att mycket av kunskapen om vilka effekterna förvän-

⁶⁰ Se Brännlund m.fl. (2012). för en analys av prisutvecklingen på elmarknaden. Priseffekten förstärks dessutom på grund av lägre elefterfrågan på grund av minskat värmebehov.

tas bli är mycket begränsad, och framförallt fragmenterad. Det i sin tur beror delvis på osäkerhet och bristande kunskap om hur de system som genererar turism och naturvärden kommer att påverkas, men kanske framförallt på att ”turism och friluftsliv” är komplexa företeelser och är svåra att definiera entydigt. Detta dels som en följd av en förlängning av sommarsäsongen i Sverige, dels som en följd av att förhållandena i de stora turistländerna försämras på grund av allt för varmt och torrt väder. Vad gäller vinterturism och annan vinterrekreation som skidåkning och skoteråkning kan man tänka sig två motverkande effekter (se Bodén, 2007). Å ena sidan försämras förutsättningarna på grund av färre dagar med snö, framförallt i mer låglänta områden, vilket missgynnar aktiviteter som är beroende av snö, som skidåkning. Å andra sidan visar studier att effekterna på möjligheterna till skidåkning i alperna är negativa (Agrawala, 2007), vilket kan ha en gynnsam effekt för svenska skidorter, framförallt i Norrland. Återigen viktigt att poängtera är att människor anpassar sig i större eller mindre utsträckning till nya förhållanden. Sievänen m.fl. (2005), exempelvis, menar att vid en långsiktig klimatförändring kan man förvänta sig en gradvis förändring av vanor, eller, preferenser, i riktning mot mindre väderberoende aktiviteter.

Den enda, såvitt jag vet, svenska studien av konsekvenser på vinterturism på grund av klimatförändringar är studien av Moen och Fredman (2007). Studien som görs på skidturismen i Sälen visar på en betydande minskning av antalet snödaggar, vilket översätts till minskade utgifter och därmed minskade inkomster från skidturismen. Som påpekas i rapporten tas ingen hänsyn till eventuella anpassningar, vare sig på efterfrågesidan (skidåkarna), eller på utbudssidan. Ej heller beaktas eventuella effekter på grund av försämrade skidförhållanden i Alperna.

Sammanfattningsvis, vad gäller konsekvenser för turism och friluftsliv så finns, såvitt jag kan se, inga bra sammantagna kvantitativa uppskattningar av kostnader och intäkter till följd av en långsiktig klimatförändring. Kostnader och intäkter av kortsiktiga väderförändringar går säkert att uppskatta grovt, men en långsiktig förändring innebär förändringar på såväl utbuds- som efterfrågesidan som är svåra att kvantifiera, i alla fall med den kunskap som nu finns.

Som redan diskuterats i avsnitt 2 kommer en klimatförändring att påverka det ekologiska systemet på flera sätt, och därmed dess förmåga att producera tjänster av olika slag och som inte alltid prissätts på någon marknad. Det är allt från klimat- och vattenreglerande funktioner till rekreations- och kulturtjänster. En del av dessa ”tjänster” är privata till sin natur, medan andra är kollektiva eller semi-kollektiva.⁶¹

I SOU 2007:60 diskuteras möjliga effekter på de olika typerna av ekosystem som vi har i Sverige, det vill säga på skogslandskapet, jordbrukslandskapet, havsvattenlandskapet och sötvattenlandskapet. Slutsatsen kan sägas vara att klimatförändringarna förväntas påverka samtliga dessa system på ett påtagligt sätt och att detta sannolikt kommer att påverka möjligheten att nå miljömålen ”ett rikt odlingslandskap”, ”myllrande våtmarker”, och ”ett rikt växt och djurliv”. Det poängteras också att de anpassningsåtgärder som kan förväntas vidtas i jord- och skogsbruk i ännu högre grad riskerar att påverka naturmiljön negativt, inte minst i form av minskad biologisk mångfald.

I SOU 2007:60 görs inga försök att direkt kvantifiera effekterna på ekosystem och naturmiljö och därmed ej heller att värdera eventuella förändringar. Skälet är förstas att det är en extremt komplicerad och svår uppgift att kvantifiera de ekologiska conse-

⁶¹ I diskussionen kring vinterturismen kan man säga att ”snön” är en semi-kollektiv vara eftersom ”min konsumtion inte påverkar din konsumtion” (icke-rivalitet) men att den är exkluderbar (i slalombacken).

kvenserna, och ännu svårare att sätta ett värde i kronor på dem. Dock är den bild som framträder i SOU 2007:60 att effekterna och riskerna överlag är negativa, vilket till viss del motsäger slutsatserna i rapporten från IPCC där man drar slutsatsen att negativa och positiva effekter tenderar att balansera ut varandra i de norra delarna av Europa.

Vad som dock kan konstateras är att klimatförändringar med stor sannolikhet kommer att ha betydande effekter på ekosystem och naturmiljö. En konsekvens av detta är att det påverkar möjligheterna att nå de miljömål som beslutats av Sveriges Riksdag. Men ännu viktigare är att det kommer att ha en direkt påverkan på människors välfärd genom dess påverkan på den miljö vi lever och andas i. Exempelvis kan det innebära att kvaliteten i naturupplevelser försämras, eller att vi måste åka längre bort för att fiska, eller att jakten i det område jag normalt jagar påverkas negativt, eller att hjortronen inte längre finns på "min myr" för mina barn och barnbarn. Till detta kommer värden som inte har någon direkt koppling till användning såsom att arter försvinner och tillkommer. Exempelvis skulle vi behöva fråga hur man värderar att fjällräven eventuellt försvinner, eller att vildsvin kommer att förekomma naturligt i Norrland.

Det är summan av alla dessa värden som ger oss svaret på vad konsekvenserna av en klimatförändring är.⁶² Att uppskatta alla dessa effekter är naturligtvis en formidabel uppgift, och vi kan nog aldrig förvänta oss att få ett svar, framförallt på grund av att vi i detalj inte vet hur naturen kommer att påverkas eller kan veta framtida generationers preferenser. Vad vi i princip skulle behöva göra är att fråga människor vad de är villiga att betala för att undvika en specifik framtida förändring som följer av en klimatförändring, alternativt vilken compensation som skulle krävas för att acceptera förändringen (om den upplevs som negativ). Men, återigen, det kräver dels att vi på ett korrekt sätt kan beskriva vilken effekt en klimatförändring har på det specifika problemet, dels att dagens generation kan svara för vad framtida generationer har för preferenser i det specifika fallet.

I Fredman m.fl. (2008) ges en litteraturoversikt av friluftslivets ekonomiska värden i Sverige. De resultat som redovisas i rapporten är till största delen uppskattade på i princip det sätt som beskrivits ovan, det vill säga genom någon form av "betalningsviljestudie". Ingen av de underliggande studierna är dock genomförda i ett klimatförändringssammanhang, vilket innebär att de inte rakt av kan användas till att uppskatta kostnader och intäkter av klimatförändringar. En slutsats som dras i Fredman m.fl. (2008) är att den samlade bilden av friluftslivets ekonomiska värden är fragmenterad och ofullständig. I rapporten rapporteras exempelvis att värdet från en studie av "skogsrekreation" i Västerbotten uppgår till 5 860 kronor per person och år (200 kronor per besök), medan en annan studie rapporterar att värdet av skogsrekreation i Skåne uppgår till 50 kronor per besök. Med andra ord är det en stor skillnad mellan olika studier. Om vi gör det mycket djärva antaganden att samtliga svenskar värderar skogsrekreation på samma sätt som västerbottningar eller skåningar så skulle vi få ett totalt värde av skogsrekreation i Sverige på mellan 12 och 50 miljarder kronor per år.

⁶² Ytterligare en komplikation är hur vi ska se på förändringar i naturmiljön och förändringar i artrikedom och annat som sker i andra delar av världen som en konsekvens av klimatförändringar? Värdet av en specifik naturtyp, djur- eller växtart brukar vanligen delas upp i användar-, options-, och existensvärden (se exempelvis Brännlund och Kriström, 2012). Exempel på användarvärden är direkta naturupplevelser som fågelskådning, vandringar, etc. Optionsvärden är värden som är förknippade med att man möjligen någon gång vill använda resursen, exempelvis att man i en framtid kanske vill göra den där skogs promenaden. Den sista typen av värde, existensvärde, är det värde man ansätter på en resurs för dess blotta existens. Det vill säga även om jag vet att jag aldrig kommer att göra den där skogs promenaden så är området blotta existens av värde för mig. I de flesta värderingsstudierna uppskattas det totala värdet, det vill säga summan av de olika värdena. Frågan som uppstår, om vi ska uppskatta värdeförändringen i Sverige av en klimatförändring, är hur vi ska hantera de miljöförändringar som sker i andra delar av världen och som vi ansätter ett värde på trots att vi inte "använder" resursen i fråga? Frågan kring existensvärden, om de finns och hur de isåfall kan uppskattas, har debatterats under lång tid. Debatten initierades i samband med att oljetankern Exxon Valdez gick på grund i Alaska 1989 (se Kling m.fl. 2012, Carson, 2012, Hausman, 2012 för en mycket bra summering och diskussion i frågan).

Det konstateras i rapporten att en stor del av värdet i Västerbotten är kopplad till bärplockning så om vi hade detaljerad kunskap om hur skogslandskapet och bärtillgången förändras till följd av en klimatförändring så skulle vi kunna få en uppskattning kostnad eller intäkt på just den typen av rekreation utifrån de preferenser dagens generation har.

Ett annat exempel är värdet av fritidsfiske. I en studie av Carlén m.fl. (2016) uppskattas värdet av fritidsfiske i Sverige. Studien är baserad på en återkommande enkät som skickas till ett slumpmässigt urval av svenskar där det frågas om fiskevanor, utgifter för fiske, med mera. Resultaten från studien visar att år 2013 var antalet ”fiskedagar” 15,9 miljoner, och att cirka 10 procent av den svenska vuxna befolkningen fiskade i rekreationssyfte minst en dag år 2013. Vidare visar studien att värdet per fiskedag uppgår till cirka 129 kronor i genomsnitt. Sammantaget betyder det ett totalt rekreativsvärde för fritidsfiske på drygt 2 miljarder kronor.⁶³ Vidare visar studien att värdena skiljer sig åt för olika delar av landet, delvis beroende på att det är olika typer av rekreativsfiske. En faktor som påverkar värdet av fritidsfiske är möjligheten att få fisk. Minskar fångstmöjligheten så minskar värdet. Det betyder att för att uppskatta en förändring av värdet från fritidsfiske till följd av en klimatförändring så behöver vi relativt detaljerad kunskap om hur fisket påverkas i olika delar av landet och i olika typer av vattendrag.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att det inte finns några sammantagna värderingar av effekterna på naturmiljön och ekosystem av en framtida klimatförändring. Ett skäl till detta, som diskuteras ovan, är att det helt enkelt är en mycket svår, för att inte säga omöjlig, uppgift att värdera alla dessa tjänster och varor. Detta inte minst på grund av att många av dem är genuint kollektiva varor som inte har någon koppling till användning (exempelvis värdet av fjällräven). Detta är dock inte unikt för svenska förhållanden (se exempelvis Nordhaus, 2013 för en mer allmän diskussion kring detta).

SLUTSATSER

Syftet med detta kapitel har varit att ge en översiktlig bild av de ekonomiska konsekvenserna globalt och i Sverige av en global klimatförändring utifrån den litteratur som finns. Vad som först kan konstateras är att det finns en relativt omfattande litteratur vad gäller kostnaderna globalt och för större regioner, men mycket få sammantagna bedömningar av kostnaden i Sverige. Vad gäller de globala kostnadsuppskattningarna kan det konstateras att de är framtagna främst för att ingå som en del i ett modellramverk som även innefattar kostnader för att begränsa klimatförändringen. Syftet med modellramverken som helhet är att de ska utgöra ett ramverk för klimatpolitisk analys på global nivå.

Vad gäller kostnadsuppskattningarna i de globala studierna kan man konstatera att de skiljer sig åt betydligt mellan olika studier, vilket belyser de osäkerheter som de är förknippade med. Från de studier som redovisats här innebär en uppvärmning på 3°C en kostnad globalt motsvarande 1 – 3 procent av global BNP. Detta kan tyckas vara en relativt liten kostnad, men som poängterats så kan man förvänta sig mycket stora skillnader mellan länder och regioner, framförallt i så måtto att fattiga länder och regioner drabbas betydligt hårdare än relativt rika länder (inte minst på grund av generell sämre möjligheter till effektiva anpassningsåtgärder). Vidare beaktar de flesta studier inte abrupta katastrofer av olika slag, så kallade ”tipping points”, vilket kan innebära

⁶³ Värdet är definierat som konsumentöverskott, det vill säga när alla kostnader för fisket är borttagna.

att kostnaderna underskattas kraftigt (se Stern, 2006, 2008). Det bör här också påpekas att de modeller som använts i övrigt bygger på många förenklande antaganden, vilket föranlett en ganska massiv diskussion och kritik (se Pindyck, 2013, Hanemann, 2008).

Vad gäller kostnader i Sverige är den övergripande slutsatsen att det finns få någorlunda heltäckande och sammantagna studier av kostnader och intäkter. Det mesta av litteraturen som syftar till att teckna en mer sammanhållen bild av effekter och konsekvenser i Sverige är till största delen beskrivande och kvalitativ till sin natur (Naturvårdsverket, 2015, SMHI, 2014). Den enda egentliga ”syntesen” jag har hittat är klimat och sårbarhetsutredningens betänkande, SOU:2007:60. Där görs det ett ambitiöst och omfattande arbete med att kvantifiera och värdesätta de fysiska effekterna inom de viktigaste områdena, givet ett långsiktigt klimatscenario.

Slutsatserna från SOU 2007:60, vad gäller de uppskattade kostnaderna och intäkterna, är att de är relativt små sett i relation till ekonomin i sin helhet (BNP), 0,2 – 0,3 procent vardera. Vidare visar uppskattningarna att kostnaderna av en klimatförändring i stora drag balanseras av att vissa sektorer får en fördel av en uppvärmning. De största kostnaderna uppskattas komma från ökad dödlighet på grund av värmeböljor och från skador på byggnader och bostäder som en följd av ökad risk för översvämningar som i sin tur ökar risker för erosion, ras och skred. Inkluderat i denna kostnad är risken för översvämningar i Väneren, Mälaren och Hjälmaren. Sammantaget uppskattas dessa kostnader till 769 – 1216 miljarder kronor över perioden 2010 – 2100, vilket är cirka två tredjedelar av den totala kostnaden (1118 – 1900 miljarder kronor). Intäkterna från en långsiktig klimatförändring kan härledas till tre sektorer; jordbrukssektorn, skogsbrukssektorn och elproduktionssektorn. En klimatförändring i Sverige innebär längre växtsäsong, vilket bidrar till ökad tillväxt i skogen och bättre förutsättningar för jordbruksproduktion. Dessutom innebär högre halt av koldioxid i atmosfären högre tillväxt (Jordbruksverket, 2007). Sammantaget bedöms detta leda till en intäktsökning på 380 - 760 miljarder kronor. De ökade intäkterna från elproduktionssektorn kan framförallt härledas till en potentiell ökning av vattenkraftsproduktionen som följd av ökad tillrinning i vattenkraftssystemet. I det högre klimatscenarioet räknas det också med en viss ökning av vindkraftsproduktion på grund av att det blir blåsigare. Totalt beräknas intäkterna från elproduktionssektorn öka med 193 – 287 miljarder kronor.

Att de uppskattade kostnaderna och intäkterna är så små i förhållande till BNP är en direkt följd av sektorernas ringa betydelse för ekonomin i stort. Som visas i tabell 4.1 så är jordbruks-, fiskeri-, och skogssektorns andel av BNP idag cirka 0,3 procent, 0,02 procent respektive 0,9 procent. Det innebär naturligtvis att även om dessa sektorer påverkas mycket kraftigt av en klimatförändring så blir effekten på ekonomin i stort mycket begränsad. Naturligtvis kan man inte utesluta att dessa sektorer kommer att vara av större betydelse för ekonomin i en framtid, även om trenden de senaste 15 åren är klart negativ, en trend som också styrks av den pågående strukturomvandlingen.

Att kostnaderna och intäkterna är små i relation till BNP betyder förstås inte att de är betydelselösa. Inte minst lokalt och regionalt kan de vara av stor betydelse. Exempelvis kan man förvänta sig att de som bor nära kuster och vattendrag med ökad översvämningrisk drabbas relativt hårt, jämfört med de som inte bor i sådana områden. Vidare kan man kanske förvänta sig att boende i glesbygd dominerat av jord- och skogsbruk är vinnare.

Vad som inte finns med i uppräknings av kostnader och intäkter i redovisningen ovan är konsekvenser på turism, rekreation och friluftsliv. Skälet till att det inte finns med är att det saknas kvantitativa uppskattningar. Det betyder dock inte att de nödvändigtvis är små eller betydelselösa. Tvärtom kan man förvänta sig att konsekvenser på vissa av dessa områden kan komma att visa sig betydande. Vad gäller turismen visar litteraturen en mycket splittrad bild. Å ena sidan förväntas vinterturismen minska i betydelse, å andra sidan kan man förvänta sig en ökad sommar (eller barmarks) turism. Inte minst avgörande är förstås i vilken grad preferenser för olika typer av turism och naturupplevelser påverkas över tid till följd av en gradvis klimatförändring. Sammantaget är dock de bedömningar som görs att nettoeffekten på turism i Sverige är liten.

Förutom rena turistaktiviteter så kommer en klimatförändring att ha en direkt påverkan på människors välfärd genom dess påverkan på den miljö vi lever och andas i. Kanske kommer de områden där vi vandrar, plockar bär, fiskar och jagar att påverkas på olika sätt, vilket kan ha relativt stora effekter på vår upplevda välfärd. Ett illustrativt exempel är värdet av fritidsfiske. Cirka 10 procent av den svenska befolkningen ägnar sig åt fritidsfiske minst en dag per år, och totalt fiskades det cirka 16 miljarder dagar år 2013. Värdet av detta i termer av konsumentöverskott uppgår till mer än 2 miljarder kronor. Till detta ska läggas det producentöverskott som genereras i sektorer som säljer olika former av utrustning, fiskekort och annat som används för rekreativ ändamål. Enligt samma studie (Carlén m.fl., 2016) spenderades 6,5 miljarder kronor i samband med fritidsfiske. Om vi antar en linjär marginalkostnadskurva för "fiskeutrustning" så betyder det ett producentöverskott på 3,25 miljarder kronor. Det skulle alltså betyda att fritidsfisket i Sverige är värt mer än 5 miljarder kronor årligen, vilket är hälften av det totala värdet som jordbrukssektorn genererar. Vi såg också ovan att skogsrekreation värderas relativt högt, 12 - 50 miljarder kronor årligen, om vi ska tro de undersökningar som redovisas av Fredman m.fl. (2008), vilket är minst lika mycket som hela jordbrukssektorns bidrag. Om vi på detta sätt summerar alla typer av naturrelaterade fritidsaktiviteter så torde vi komma upp i ansenliga summor, vilket i sin tur innebär att konsekvenserna av en klimatförändring kan vara betydande, beroende på hur det påverkar skogen, älvarna, sjöarna, etc.

Sammanfattningsvis kan vi alltså konstatera att de ekonomiska uppskattningar som finns ger vid handen att kostnaderna och intäkterna är små i relation till ekonomin som helhet, och att kostnaderna och intäkterna tenderar att balansera ut varandra. Det bör dock poängteras att uppskattningarna är mycket osäkra, och i vissa fall baserade på enbart kvalitativa bedömningar. Ytterligare en aspekt som bygger på osäkerheten är att de uppskattade intäkterna och kostnaderna inte inkluderar någon form av anpassning från individernas, hushållens eller företagets sida. Individer och företag antas helt enkelt bete sig likadant oberoende om klimatet ändras eller inte. Som diskuterats är detta ett mycket starkt antagande vilket förmodligen leder till överskattningar av såväl kostnader som intäkter. Sist men inte minst bör det lyftas fram att de uppskattningar som finns exkluderar de konsekvenser som är förknippade med förändringar i ekosystem, biodiversitet, och naturmiljön i övrigt, och som har en direkt påverkan på olika reglerande funktioner i naturen och som har en direkt påverkan på människors välfärd.

5 Sammanfattning, diskussion och rekommendationer

Sammanfattning

Sedan 1850 har den globala medeltemperaturen stigit med cirka 0,85°C. En starkt bidragande orsak till den globala temperaturhöjningen är att strålningsbalansen förändrats på grund av ökade utsläpp av växthusgaser. Utsläppen av växthusgaser har ökat exponentiellt sedan slutet av 1800-talet och det är framförallt en effekt av ökad förbränning av fossila bränslen.

Beroende på scenario vad gäller framtida utsläpp förväntas den globala temperaturen stiga med 1,1 – 4,8°C fram till sekelskiftet. Den undre gränsen är ett scenario där utsläppen minskar under perioden, medan den övre gränsen utgör ett scenario där utsläppen fortsätter öka i ungefär samma takt som idag.

För Sveriges del förväntas en något högre temperaturhöjning än den globalt genomsnittliga, 2 – 6°C fram till sekelskiftet. Klimatscenerierna för Sverige visar på mycket stora skillnader mellan olika delar av landet. Störst förändring förväntas i Norrland med en temperaturhöjning på 4 - 10°C, och lägst i Skåne med 3 – 6°C.

Klimatförändringarna förväntas få stora effekter på de naturliga och mänskliga systemen globalt och framförallt för mindre välutvecklade länder. I vissa delar av världen leder det till ökad risk för torka och värmeböljor som har såväl direkta negativa effekter på människors välfärd som indirekta i form av förändrade möjligheter till matproduktion och annat. I andra delar av världen är stora delar av riskerna kopplade till ökade frekvens av översvämningar och orkaner och andra typer av extremväder.

För Europa som helhet förväntas konsekvenserna bli mindre negativa än i många andra delar av världen, beroende framförallt på en högre utvecklingsnivå som innebär att många risker kan förebyggas. Dock kan man förvänta sig att konsekvenserna skiljer sig åt relativt mycket inom Europa. Södra Europa förväntas drabbas mer negativt än norra (IPCC, 2014). De förväntade största negativa effekterna i södra Europa är ökad mortalitet på grund av fler och intensivare värmeböljor, ökad risk för torka och minskade skördar (IPCC, 2014). För norra Europa förväntas ökade skördar, ökad skogstillväxt, ökad vattenkraftsproduktion, men också ökad risk för ras, skred och erosion (IPCC, 2014).

För Sveriges del förväntas såväl positiva som negativa effekter. Förväntade positiva effekter är ökade skördar och ökad skogstillväxt, medan negativa effekter förväntas i form av ökad risk för skred, ras och erosion, men även ökad mortalitet på grund av fler och intensivare värmeböljor. Naturmiljön i Sverige kommer att påverkas i många olika dimensioner, bland annat i form av förändrad artrikedom och artsammansättning. I vissa områden kommer artrikedomen att öka, medan den minskar i andra områden. Alla dessa förändringar kommer att ha effekter på människors upplevda välfärd.

Vad gäller ekonomiska konsekvenser av de effekter som förväntas i Sverige så finns egentligen bara en någorlunda sammanhållen genomgång och det är den i klimat- och

sårbarhetsutredningens betänkande (SOU 2007:60). Huvudresultaten från utredningen kan sammanfattas i följande punkter.

- Långsiktiga kostnader och intäkter av en klimatförändring förväntas i stort ta ut varandra.
- Såväl kostnader som intäkter är mycket små i relation till ekonomin som helhet (cirka 0,2 procent vardera).
- Uppskattningarna inkluderar inte direkta konsekvenser på människors välfärd till följd av förändrad naturmiljö (bland annat rekreativvärden och andra friluftsvärden). Kan innebära en underskattning av såväl kostnader som intäkter.
- Uppskattningarna inkluderar inte konsekvenserna på turism. En kvalitativ bedömning är dock att nettoeffekten kan vara såväl negativ som positiv, men liten.
- Uppskattningarna bortser från abrupta och katastrofala climateffekter, vilket kan innebära en grav underskattning av kostnaderna.
- Uppskattningarna bortser från att individer, hushåll och företag anpassar sig till ett förändrat klimat. Ifall klimatförändringen sker gradvis över lång tid så betyder det att en anpassning kan ske till relativt låga kostnader, vilket betyder att uppskattning av kostnader överskattas och att vissa intäkter underskattas.

Problem och brister

Konsekvenser på biologisk mångfald, ekosystemtjänster och naturmiljö och som inte har en direkt marknadsekonomisk koppling inkluderas som sagt inte i uppskattningarna. Den typen av konsekvenser beskrivs ganska övergripande i den litteratur som finns, inklusive IPCC. Slutsatsen är vanligen att en klimatförändring leder till negativa konsekvenser utan någon närmare specificering eller kvantifiering. Det finns huvudsakligen två skäl till att konsekvenserna inte specificeras mer. Det första skälet är att det handlar om en myriad av effekter, risker och möjligheter, och som i många fall dessutom påverkar varandra. En sammantagen kunskap om de enskilda effekterna och hur de samverkar saknas i mångt och mycket, speciellt i det långsiktiga perspektivet. För det andra så är ”verktygslådan” vad gäller ekonomisk värdering av den här typen av långsiktiga generationsöverskridande effekter inte färdigutvecklad.

Eftersom konsekvenserna på detta område förmodligen är minst lika betydelsefulla som konsekvenserna på de mer marknadsutsatta sektorerna så är det befogat med en utveckling och förbättring av den befintliga verktygslådan, kanske framförallt vad gäller hur scenarier av de ekologiska förändringarna över tid ska integreras i de ekonomiska värderingsmodellerna.

En annan uppenbar metodfråga rör aggregeringsproblemet, eller i vilken kontext värderingsfrågan ställs (se Carson m.fl., 1998). En klimatförändring har många olika ekologiska effekter och måste därför idealt värderas i ett helhetssammanhang. De flesta (svenska) empiriska värderingar av natur och miljö är inte genomförda i ett klimatförändringssammanhang och berör för det mesta därför en enskild förändring av något slag (exempelvis förlust av ett specifikt skogsområde, eller värdet av fler älgar), betingat på att allt annat är oförändrat. Om nu båda dessa förändringar sker som en följd en klimatförändring så kan man inte bara summera värdet från de olika studierna då

det förmodligen skulle leda till att summan av betalningsviljorna överstiger den totala inkomsten.⁶⁴

Sammanfattningsvis kan man nog med fog dra slutsatsen att om man verkligen är intresserad av att veta konsekvenserna av en klimatförändring så är det på detta område som den största insatsen måste göras. Men det är förmodligen också det område som är mest komplext.

Som diskuterats ovan så är de konsekvensbeskrivningar som finns ”statiska” i så måtto att det inte beaktar möjligheter till anpassning på individ-, hushålls- och företagsnivå. Jordbrukaren kommer inte att förändra sina brukningsmetoder eller byta grödor, hushållen kommer inte att vidta några åtgärder för att mildra effekten av värmeböljor. Vidare antas det att det inte sker några anpassningar på marknader. Exempelvis antas det att priser på skogsprodukter, jordbruksprodukter och el inte förändras som en konsekvens av en global klimatförändring. Detta är naturligtvis extremt starka antaganden som förmodligen inte håller i praktiken. En klimatförändring i enlighet med de scenarier som presenteras av IPCC innebär förmodligen relativt stora förändringar, som diskuterats, av global produktion och konsumtion av olika varor, inte minst produkter där naturen utgör en råvarubas. En effekt av detta är förändrade relativpriser, en annan är att den globala tillväxten påverkas. För ett litet handelsberoende land som Sverige kan det få betydande konsekvenser.

Vad ska man göra (rekommendationer)?

Helt avgörande i frågan om hur kostnader i Sverige av en klimatförändring ska uppskattas är vad en sådan kostnadsuppskattning syftar till, eller hur den skall användas. Som påpekades inledningsvis kan ett litet enskilt land som Sverige inte påverka klimatet genom att minska eller öka utsläppen, vilket betyder att en kostnadsuppskattning inte är till någon egentlig nytta i ett sammanhang som rör val av ambitionsnivån vad gäller nationella utsläppsreduktioner.

Om kostnadsuppskattningarna däremot ska användas i syfte att identifiera och föreslå en klimatanpassningspolitik så är det naturligtvis av stor vikt att identifiera de områden där det är motiverat med en sådan politik och hur stora kostnaderna och intäkterna av en anpassning är. Inledningsvis påpekades även, vilket också diskuterats genom hela rapporten, att många anpassningar sker helt autonomt via diverse marknadsmekanismer, vilket betyder att det i dessa fall inte är motiverat med några särskilda politiskt bestämda anpassningsåtgärder. Men det konstaterades även att i många andra fall kan vi inte förvänta oss att marknadsmekanismerna är tillräckliga, och att det därför är motiverat med politik. Dels är många av konsekvenserna av en klimatförändring kollektiva till sin karaktär och omfattas därmed inte av marknadstransaktioner, dels är många anpassningsåtgärder också kollektiva till sin karaktär, som dessutom karakteriseras av skalfördelar. Det kan leda till att många anpassningsåtgärder som är samhälls-ekonomiskt motiverade inte kommer till stånd utan politisk styrning. Det kan också innebära att de åtgärder som vidtas inte är de bästa och mest effektiva för samhället. Sammantaget innebär det att det finns ett behov att uppskatta kostnaderna för en klimatförändring.

⁶⁴ I Boman m.fl. (2008) beaktas detta problem genom att respondenterna får ”sprida” ut en given ”miljöbudget” på ett antal miljöproblem kopplade till de svenska miljö kvalitetsmålen. Studien görs dock inte i ett explicit klimatsammanhang.

Givet att det är det senare som är syftet med kostnadsuppskattningar i Sverige av en klimatförändring så faller det ut att uppskattningarna bör fokusera de delar av ekonomin som är minst marknadsutsatt och där vi kan förvänta oss att marknaden fungerar sämst ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. Det betyder konkret att eventuella förbättringar av uppskattningarna bör fokusera på värdering av konsekvenser på biologisk mångfald, ekosystemtjänster, etc., samt värdering av kostnader för gemensam infrastruktur som exempelvis vägar, järnvägar, energidistribution. I SOU 2007:60 görs en ambitiös uppskattning av kostnaderna på infrastruktur som vägar, järnvägar, etc. Kostnaderna är i varje fall uppskattade utifrån en specifik åtgärd. En konsekvens av detta är att kostnadsuppskattningen inte nödvändigtvis speglar de mest kostnadseffektiva åtgärderna eftersom kostnaden för alternativa åtgärder inte kostnadsberäknas..

Ett annat potentiellt motiv till att uppskatta konsekvenser och kostnader är att informera olika aktörer i samhället om vilket klimat vi kan förvänta oss i framtiden, och hur det kan påverka individer och företag. Exempelvis är det av värde för skogsägaren att veta hur tillväxten i skogen påverkas, och vilka effekter det kan få på virkespriser och annat.

Givet dessa motiv för uppskattningar av kostnader kan de förbättringar som skulle behöva göras sammanfattas i följande punkter:

- Indirekta effekter, i form av anpassningar av olika slag, av klimatförändringar måste uppskattas på ett bättre sätt. Ett sätt att göra detta är att på ett mer systematiskt sätt analysera samband mellan klimat och konsekvens, det vill säga titta på hur priser och beteenden faktiskt har påverkats av olika förändringar. Ett annat sätt är att utveckla modeller av allmänjämviktskaraktär som är dynamiska och är kopplade till globala allmänjämviktsmodeller. Om exempelvis ett syfte är att informera ”skogssektorn” om potentiella konsekvenser så behövs i princip någon form av ”modell” som kan beskriva vad som kan tänkas ske på marknaderna för skogsprodukter ifall den svenska skogen växer snabbare samtidigt som det sker globala förändringar av skogsproduktionen.
- Kostnadsuppskattningar för skador på infrastruktur och byggnadskonstruktioner bör på ett bättre sätt ta i beaktande att det i många fall finns många alternativa åtgärder och att individer och företag tenderar att anpassa sig till nya förhållanden.
- Uppskattade konsekvenser på biologisk mångfald, ekosystemtjänster och andra nyttigheter som inte är marknadsprissatta måste dels bli mer precist beskrivna, dels mer spatialt detaljerade.
- Existerande värderingsstudier av förändringar av naturmiljön är inte gjorda i ett klimatförändringssammanhang och är därmed inte särskilt användbara. För att värdera (framtida) förändringar av naturmiljön så måste de på ett bättre sätt än hittills utgå från att en klimatförändring påverkar naturmiljön i många dimensioner och inte bara ”nu” utan i framtiden.

Avslutningsvis torde det stå klart från genomgången i denna rapport att en framtida klimatförändring sannolikt har små effekter på den svenska ekonomin som helhet, men kommer att påverka människor och företag väldigt olika beroende var man bor och verkar, och vilken typ av verksamhet man är beroende av. Här har jag endast mycket ytligt berört detta. Ett möjligtvis intressant och viktigt tema för framtida studier är därför att flytta fokus från totala kostnader för att mer grundligt studera hur kostnader och intäkter av en klimatförändring ”fördelas” mellan olika typer av männi-

skor och hushåll, beroende på var man bor vilken inkomst man har med mera. Kopplat till detta är hur det påverkar näringslivets strukturomvandling, och hur det i sin tur påverkar människors livsbetingelser i olika delar av Sverige.

6 Referenser

- Acar, S., Söderholm, P. och Brännlund, R. (2017). Convergence of per capita carbon dioxide emissions: implications and meta-analysis. *Climate Policy*.
- Ackerman, F., och Stanton, E. A. (2012). Climate Risks and Carbon Prices: Revising the Social Cost of Carbon. *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal* 6, 2012-10.
- Ahlroth, S. (2009). Valuation of environmental impacts and its use in environmental systems analysis tools. KTH, Skolan för arkitektur och samhällsbyggnad (ABE), Samhällsplanering och miljö, Miljöstrategisk analys. Doktorsavhandling.
- Agrawala, S. (2007). Climate change in the European Alps: adapting winter tourism and natural hazards management. 136 pages, OECD Paris.
- Arrhenius, S. (1896). Ueber den Einfluss des atmosphärischen Kohlensäuregehalts auf die Temperatur der Erdoberfläche. Bihang till K. Svenska Vet.-Akad. Handlingar, 22, 1, 1.
- Barreca, A., Clay, O. och Deschenes, O., Greenstone, M., Shapiro, J. S. (2015). Convergence in Adaptation to Climate Change: Evidence from High Temperatures and Mortality, 1900 - 2004. *A.E.R. Papers and Proceedings*, 105, 247-51.
- Barreca, A., Clay, O., Deschenes, O., Greenstone, M. och Shapiro, J. S. (2016). Adapting to Climate Change: The Remarkable Decline in the US Temperature-Mortality Relationship over the Twentieth Century. *Journal of Political Economy*, 124, 105-159.
- Bernes, C. (2016). *En varmare värld. Växthuseffekten och klimatets förändringar, tredje upplagan*. Monitor, 23, Naturvårdsverket.
- Bodén, B. (2007). Naturbaserad turism och klimatförändring. Mittuniversitetet, ETour, R 2007:17.
- Boman, M., Norman, J., Kindstrand, C. och Mattsson, L. (2008). On the budget for national environmental objectives and willingness to pay for protection of forest land. *Canadian Journal of Forest Research*, 38, 40-51.
- Bosello, F., Roson, R. och Tol, R. S. J. (2006). Economy-wide estimates of the implications of climate change: Human health. *Ecological Economics*, 58, 579-591.
- Botzen, W. J. och Van den Bergh, J. (2012). Monetary valuation of insurance against flood risk under climate change. *International Economic Review*, 53.
- Brännlund, R. och Kriström, B. (2012). *Miljöekonomi*. Studentlitteratur, Lund.
- Brännlund, R., Karimu, A. och Söderholm, P. (2012). Elmarknaden och elprisets utveckling före och efter avregleringen: ekonometriska analyser. CERE Working Paper 2012:14.
- Brännlund, R., Karimu, A. och Söderholm, P. (2017). Convergence in carbon dioxide emissions and the role of growth and institutions: a parametric and non-parametric analysis. *Environmental Economics and Policy Studies*, 19, 359-390.
- Burke, M., Hsiang, S. M. och Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, doi:10.1038/nature15725.

- Carlén, O., Bostedt, G., Persson, L. och Brännlund, R. (2016). Rekreativfiske i Sverige 2013 - omfattning och värde. CERE Working Paper 2016:20.
- Carlsson, F., Daruvala, D. och Jaldell, H. (2010). Value of statistical life and cause of accident: A choice experiment. *Risk analysis*.
- Carson, R. T. (2012). Contingent Valuation: A Practical Alternative when Prices Aren't Available. *Journal of Economic Perspectives*, 26, 27-42.
- Carson, R., Flores, N. E., och Hanemann, W. M. (1998). Sequencing and Valuing Public Goods. *Journal of Environmental Economics and Management*, 36, 314-323.
- Claesson, S., Duvemo, K., Lundström, A. och Wikberg, P-E. (2015). Skogliga konsekvensanalyser 2015 - SKA2015. Skogsstyrelsen, Rapport 10.
- Cline, W. R. 1992. The Economics of Global Warming. Washington, DC: Institute for International Economics.
- Dasgupta, P. (2008). Discounting Climate Change. *Journal of Risk and Uncertainty*, 37, 141-169.
- Deschenes, O. (2014). Climate Change, Human Health, and Adaptation: A Review of the Empirical Literature. *Energy Economics*, 46, 606 -19.
- Deschenes, O. och Greenstone, M. (2011). Climate Change, Mortality, and Adaptation: Evidence from Annual Fluctuations in Weather in the U.S. *American Economic Journal of Applied Economics*, 3, 152-185.
- Eriksson, H., Fahlvik, N., Freeman, M., Fries, C., Jönsson, A. M., Lundström, A. Nilsson, U. och Wikberg, P-E. (2015). Effekter av ett förändrat klimat – SKA 15. Rapport 12, Skogsstyrelsen.
- Fankhauser, S. (1994). The Social Costs of Greenhouse Gas Emissions: An Expected Value Approach. *Energy Journal*, 15, 157-84.
- Fankhauser, S. (1995). *Valuing Climate Change? The Economics of the Greenhouse*. London, EarthScan.
- Fischer, B., Turner, R. K. och Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 15, 643-653.
- Fourier, J. B. J. (1824). Remarques Générales Sur Les Températures Du Globe Terrestre Et Des Espaces Planétaires. *Annales de Chimie et de Physique*, Vol. 27, 136–167.
- Fredman, P., Boman, M., Lundmark, L., Mattsson, L. (2008). Friluftslivets Ekonomiska värden. Friluftslivets Ekonomiska värden, rapport nr 5.
- Golombek, R., Kittelsen, S. A. C. och Haddeland, I. (2012). Climate change: impacts on electricity markets in Western Europe. *Climatic change*, 113, 357-370.
- Hanemann, W. M. (1991). Willingness to Pay and Willingness to Accept: How Much Can They Differ? *The American Economic Review*, 81, 635-647.
- Hanemann, W. M. (2008). What is the Economic Cost of Climate Change? UC Berkeley CUDARE Working Papers. <https://escholarship.org/uc/item/9g11z5cc>
- Hausman, J. (2012). Contingent Valuation: From Dubious to Hopeless. *Journal of Economic Perspectives*, 26, 43-56.
- Hoel, M. (2012). Klimatpolitik och ledarskap - vilken roll kan ett litet land spela? Expertgruppen för Miljöstudier, Rapport 2012:3.
- Hsiang, S., Kopp, R., Jina, A., Rising, J., Delgado, M. och S. Mohan (2017). Estimating economic damage from climate change in the United States. *Science*, 356, June 2017.

- Hultkrantz, L. och Nerhagen, L. (2013). Samhällsekonomiska analyser av åtgärder i krisberedskapsarbetet - teori, metodik och tillämpning. VTI-rapport 789.
- IPCC (2000). *Emissions Scenarios. Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Nakicenovic, N. och Swart, R. (eds.)] Cambridge University Press, UK.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2007). The Physical Science Basis, AR 4, WG1. Summary for policymakers.
- IPCC (2013). Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- IPCC (2014). Climate Change 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Joos, m.fl. (2013). Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: a multi-model analysis. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 2793-2825.
- Jordbruksverket (2007). En meter i timmen. Klimatförändringarnas påverkan på jordbruket i Sverige. Jordbruksverket, rapport 2007:16.
- Jönsson A. M., Schroeder L. M., Lagergren F., Anderbrant O. och Smith B. 2012. Guess the impact of Ips typographus - an ecosystem modelling approach for simulating spruce bark beetle out-breaks. *Agricultural and Forest Meteorology*, 166-167, 188-200.
- Kjellstrom, T., R. S. Kovats, S.J. Lloyd, T. Holt och Tol, R. S. (2009): The direct impact of climate change on regional labor productivity. *Archives of Environmental and Occupational Health*, 64, 217-227.
- Klaus, M., Holsten, A., Hostert, P. och Kropp, J. P (2011). Integrated methodology to assess windthrow impacts on forest stands under climate change. *Forest Ecology and Management*, 261(11), 1799-181.
- Kling, C. L, Phaneuf, D. J. och Zhao, J. (2012). From Exxon to BP: Has Some Number Become Better than No Number? *Journal of Economic Perspectives*, 26, 3-26.
- Lenton, T. M., och Ciscar, J-C. (2013). Integrating Tipping Points into Climate Impact Assessments. *Climatic Change*, 117, 585-97
- Mendelsohn, R. O., Schlesinger, M. E. och Williams, L.J. (2000). Comparing Impacts across Climate Models. *Integrated Assessment*, 1, 37-48.
- Mideksa, T. K. och Kallbekken, S. (2010). The impact of climate change on the electricity market: A review. *Energy Policy*, 38, 3579-3585.
- Moen, J. och Fredman, P. (2009). Effects of Climate Change on Alpine Skiing in Sweden. *Journal of Sustainable Tourism*, 15, 418-437.
- Nordhaus, W. D. (2013). *The Climate Casino. Risk, Uncertainty and Economics for a Warming World*. Yale University Press.
- Nordhaus, W. D. (1991). To Slow or Not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect. *Economic Journal*, 101, 920-37.
- Nordhaus, W. D. (2008). A review of the Stern Review on the economics of climate change. *Journal of Economic Literature*, 45, 686-702.

- Nordhaus, W. D. (2008). *A Question of Balance? Weighing the Options on Global Warming Policies*. Yale University Press.
- Nordhaus, W. D. och Yang, Z. (1996). RICE: A Regional Dynamic General Equilibrium Model of Optimal Climate-Change Policy. *The American Economic Review*, 86, 741-65.
- Nordhaus, W. D. och Boyer, J. G. (2000). *Warming the World: Economic Models of Global Warming*. MIT Press, Cambridge MA.
- Petterson, F., Maddison, D., Acar, S., och Söderholm P. (2014). *International Review of Environmental and Resource Economics*, 7, 141-178.
- Pindyck, R. S. (2013). Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us? *Journal of Economic Literature*, 51, 860-872.
- Pinto, J. G., Neuhaus, C. P., Leckebusch, G. C., Reyers, M. och Kerschgens, M. (2010). Estimation of wind storm impacts over Western Germany under future climate conditions using a statistical-dynamical downscaling approach. *Tellus A*, 62, 188-201.
- Rocklöv, J., Hurtig, A-K. och Forsberg, B. (2008). Hälsopåverkan av ett varmare klimat. Umeå Universitet, ISBN 1654-7314.
- Rummukainen, M. (2005). Växthuseffekten. SMHI Meteorologi, rapport nr 118 2005.
- SGI (2012). Göta älvutredningen. Slutrapport, del 1 och delrapporter. Statens geotekniska institut, www.swedgeo.se.
- Sievänen, T., Tervo, K., Neuvonen, M., Pouta, E., Saarinen, J. och Peltonen, A. (2005). Nature-based tourism, outdoor recreation and adaptation to climate Change. FINADAPT WP 11, Finnish Environment Institute Mimeographs 314, Helsinki.
- SMHI (2014). FN's Klimatpanel – sammanfattning för beslutsfattare, effekter och anpassning. SMHI.
- SOU 2007:60. *Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter*. Slutbetänkande från klimat och sårbarhetsutredningen. Fritzes, Stockholm, 2007.
- SOU 2017:42. *Vem har ansvaret?* Elanders Sverige AB, Stockholm 2017.
- Stanton, E. A., Ackerman, F. och Kartha, S. (2009). Inside the integrated assessment models: Four issues in climate economics. *Climate and Development*, 1, 166-184.
- Stern, N. H. m.fl. (2006). *The Stern Review of the economics of climate change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Stern, N. H. (2008). The economics of climate change. *American Economic Review*, 98(2), 1-37.
- Stern, N. H. (2013). The Structure of Economic Modeling of the Potential Impacts of Climate Change: Grafting Gross Underestimation of Risk onto Already Narrow Science Models. *Journal of Economic Literature*, 51, 838-859.
- Svensk Energi. (2011). Dammsäkerhet och klimatförändringar. Slutrapport från Kommittén för dimensionerande flöden för dammanläggningar i ett klimatförändringsperspektiv.
<http://www.svenskenergi.se/Global/Dokument/rapporter/dammsakerhet-klimatforandringar-2011.pdf>.
- Tol, R. S. J. (2008). The Social Cost of Carbon: Trends, Outliers and Catastrophes. Economics? *The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, 2(25): 1-24.
- Tol, R. S. J. (2009). The Economic Effects of Climate Change. *The Journal of Economic Perspectives*, 23, 29-51.

- Tol, R. S. J. (2014). Correction and Update: The Economic Effects of Climate Change. *The Journal of Economic Perspectives*, 28, 221- 225.
- Tol, R. S. J., Downing, T. E., Kuik, O. J. och Smith, J. B. (2004). Distributional Aspects of Climate Change Impacts. *Global Environmental Change*, 14, 259-272.
- Tyndall, J. (1865). *Heat considered as a mode of motion*. 2nd edition London, Longmans, Green and Co.
- Weitzman, M. L. (2007). The Stern Review of the economics of climate change. *The Journal of Economic Literature*, 45, 703-724.
- Weitzman, M. L. (2011). Fat-Tailed Uncertainty in the Economics of Catastrophic Climate Change. *Review of Environmental Economics and Policy*, 5, 275-292.

