Lika varmt som i Tyskland eller Nordafrika?

Klimatscenarier inom forskningsprogrammet Climatools

OSKAR PARMHED, ANNIKA CARLSSON-KANYAMA

FOI-R--2279--SE Underlagsrapport **Försvarsanalys**
ISSN 1650-1942 Maj 2007

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1250 anställda varav ungefär 900 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
Försvarsanalys
164 90 Stockholm

Tel: 08-555 030 00
Fax: 08-555 031 00

www.foi.se

Oskar Parmhed, Annika Carlsson-Kanyama

Lika varmt som i Tyskland eller Nordafrika? Klimatscenarier inom forskningsprogrammet Climatools

Utgivare	Rapportnummer, ISRN	Klassificering
FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Försvarsanalys 164 90 Stockholm	FOI-R--2279--SE	Underlagsrapport
	Forskningsområde 1. Analys av säkerhet och sårbarhet	
	Månad, år Maj 2007	**Projektnummer** B10021
	Delområde 19 Breda projekt inom säkerhet och sårbarhet	
	Delområde 2	

Författare/redaktör	
Oskar Parmhed Annika Carlsson-Kanyama	**Projektledare** Annika Carlsson-Kanyama
	Godkänd av E Anders Eriksson
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Naturvårdsverket
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Oskar Parmhed

Rapportens titel

Lika varmt som i Tyskland eller Nordafrika? Klimatscenarier inom forskningsprogrammet Climatools

Sammanfattning

Den framtida klimatförändringen kan bli större eller mindre beroende på hur utsläppen utvecklas framöver. FN:s klimatpanel har år 2007 sammanställt de viktigaste slutsatserna angående hur stor förändringen kan bli. Vid slutet av detta sekel räknar man idag med att jordens medeltemperatur kan ha ökat med upp till 6 grader. I Sverige kan uppvärmningen bli ännu större med åtföljande förändringar i nederbörd, vegetationsperiod, och snötäcke. Forskningsprogrammet Climatools syftar till att upprätthålla eller förbättra kapaciteten inom sektorer och regioner i Sverige att tillhandahålla de tjänster som samhället kommer att behöva. Målet är i första hand att ge en uppsättning verktyg till samhällsplanerare på olika nivåer och i olika sektorer och regioner och de utvecklas i olika scenariebaserade fallstudier. Gemensamt för de scenarier som tas fram inom Climatools är antaganden om det framtida klimatet i Sverige. Inom Climatools behandlas effekterna i tre regioner, Umeå, Mälardalen och Skåne. Vi har valt ut tre klimatscenarier som grund för det kommande arbetet inom programmet. Dessa tre scenarier presenteras i denna rapport, liksom bakgrunden till varför vi valt just dem och vi beskriver också kort effekterna i de tre utvalda regionerna. På detta sätt vill vi spänna upp ett utmanande utfallsrum för det framtida arbetet med att testa de olika verktygen. De tre senarierna har fått sina namn efter hur medeltemperaturen i Umeå kan te sig i slutet av seklet. Scenarierna heter Umeå som Umeå, Umeå som Tyskland och Umeå som Nordafrika.

Nyckelord

klimatscenarier, klimatförändring, Climatools, FN:s klimatpanel

Övriga bibliografiska uppgifter	**Språk** Svenska
ISSN 1650-1942	**Antal sidor:** 46 s.
Distribution enligt missiv	**Pris: Enligt prislista**

Issuing organization	Report number, ISRN	Report type
FOI – Swedish Defence Research Agency Defence Analysis SE-164 90 Stockholm	FOI-R--2279--SE	Base data report
	Programme Areas 1. Security, safety and vulnerability analyses	
	Month year May 2007	**Project no.** B10021
	Subcategories 19 Interdisciplinary Projects regarding Security, safety and vulnerability analyses	
	Subcategories 2	

Author/s (editor/s)	Project manager
Oskar Parmhed Annika Carlsson-Kanyama	Annika Carlsson-Kanyama
	Approved by E Anders Eriksson
	Sponsoring agency Swedish Environmental Protection Agency
	Scientifically and technically responsible Oskar Parmhed

Report title (In translation)

As warm as in Gerrmany or Northern Africa? Climate scenarios for the research programme Climatools

Abstract

Future climate change may become larger or smaller depending on the development of greenhouse gas emissions. During 2007 the IPCC released its fourth assessment report on the dominant causes of climate change. At the end of this century it is expected that the global mean temperature may have risen with as much as six degrees. The heating may be even greater in Sweden, with effects on precipitation, vegetation, and snow cover. The Climatools research programme aims at maintaining or increasing the capacity of sectors and regions in Sweden to deliver services to the society by providing decisionmakers with tools for decision on issues of climate change. The tools are developed in scenariobased case studies. Common to all scenarios in Climatools are assumptions on the future climate in Sweden. Within Climatools the effects on three regions are considered: Umeå, Mälardalen, and Skåne. We have chosen three climate scenarios as a basis for coming work within the programme. These three scenarios are presented in this report, together with their motivation. The effects on the three regions of interest are also described. With these scenarios we want to span a challenging space of outcomes for the future work. The three scenarios are named after what the average temperature in Umeå equals in terms of todays climate. They are called: Umeå like Umeå, Umeå like Germany, and Umeå like North Africa.

Keywords

climate scenarios, climate change, Climatools, IPCC

Further bibliographic information	Language Swedish
ISSN 1650-1942	**Pages** 46 p.
	Price acc. to pricelist

Innehållsförteckning

Förord 7

1. Vad är klimat? 9

1.1 Klimatmodellering 12

2. Klimatförändring – FN:s klimatpanel 15

2.1 Klimat i förändring 15

2.2 Bakgrund 15

2.3 Kan vi vänta oss abrupta klimatförändringar? 18

2.3.1 Kan det bli kallare? 18

2.3.2 Kan det bli ännu varmare än vad klimatmodellerna visar? 19

2.3.3 Kan havsytan stiga många meter? 19

2.4 Vad händer efter 2100? 21

2.5 FN:s klimatpanel – IPCC 22

2.6 SRES 22

3. Hur påverkas vi? 25

3.1 Klimatförändringen i världen 25

3.2 Klimatförändringen i Europa 29

4. Climatools tre klimatscenarier 31

5. Klimatscenarier för tre regioner 33

5.1 Umeå som idag 33

5.1.1 Umeå 33

5.1.2 Mälardalen 34

5.1.3 Skåne 35

5.2 Umeå som Tyskland 36

5.2.1 Umeå 36

5.2.2 Mälardalen 36

5.2.3 Skåne 38

5.3 Umeå som Nordafrika 38

5.3.1 Umeå 39

5.3.2 Mälardalen 40

5.3.3 Skåne 40

6. Effekter på sektorer av klimatförändringen 41

Referenser och lästips 45

Förord

Denna rapport har skrivits inom ramen för Climatools. Det är ett tvärvetenskapligt forskningssamarbete mellan FOI, KTH, Uppsala universitet och Umeå universitet som ska ge verktyg för klimatanpassning. Forskningsprogrammet Climatools löper mellan 2006 och 2011 och finansieras av Naturvårdsverket.

Klimatförändringen är ett faktum. Även med begränsningar av utsläppen kommer vi att få ett varmare och våtare klimat. För att möta dessa utmaningar arbetar Climatools med projekt med anknytning till programsyntes, scenarier, anpassningsanalys, folkhälsa, ekonomisk analys, målkonflikter, geopolitik och jämställdhet. Fokus för Climatools ligger i att upprätthålla eller förbättra kapaciteten inom sektorer och regioner i Sverige, och att tillhandahålla de tjänster som samhället kommer att behöva. Målet är i första hand att ge en uppsättning verktyg till samhällsplanerare på olika nivåer och i olika sektorer och regioner. Verktygen utvecklas stegvis och i nära samarbete med olika intressenter. De utprovas också i olika scenariebaserade fallstudier. Verktygen kommer att ge insikter om alternativa anpassningsåtgärder inom sektorer och regioner utifrån den osäkerhet som råder. Ett sekundärt mål med programmet är därför att ge ny kunskap om möjliga typer av anpassning som kan komma att krävas i Sverige. Hälsosektorn är en av de sektorer som kommer att studeras närmare, liksom den byggda miljön, turismen och friluftslivet. Tre regioner i Sverige står i fokus: Skåne, Mälardalen och Umeå.

Gemensamt för de scenarier som tas fram inom Climatools är antaganden om det framtida klimatet i Sverige. Det påverkas inte bara av vad vi gör i Sverige utan också av hur världen i övrigt agerar när det gäller utsläpp av växthusgaser samt hur klimatsystemet reagerar på dessa åtgärder. Vi har tagit fasta på de stora osäkerheter som finns om det framtida klimatet och anser att det är en viktig uppgift att ta fram verktyg som kan hantera dem.

Vi har valt ut tre klimatscenarier som grund för det kommande arbetet inom programmet. Dessa tre scenarier presenteras i denna rapport, liksom bakgrunden till varför vi valt just dem. Vi beskriver också effekterna i de tre utvalda regionerna.

På detta sätt vill vi spänna upp ett utmanande utfallsrum för det framtida arbetet med att testa de olika verktygen. För innehållet i rapporten svarar i huvudsak Oskar Parmhed, fil.dr. i meteorologi och forskare vid Totalförsvarets forskningsinstitut

Tack till Erland Källén, Stockholms universitet samt Rossby Centre vid SMHI för värdefulla synpunkter och tillgång till klimatforskningsmaterial.

Stockholm 2007-04-30

Annika Carlsson-Kanyama, programchef Climatools

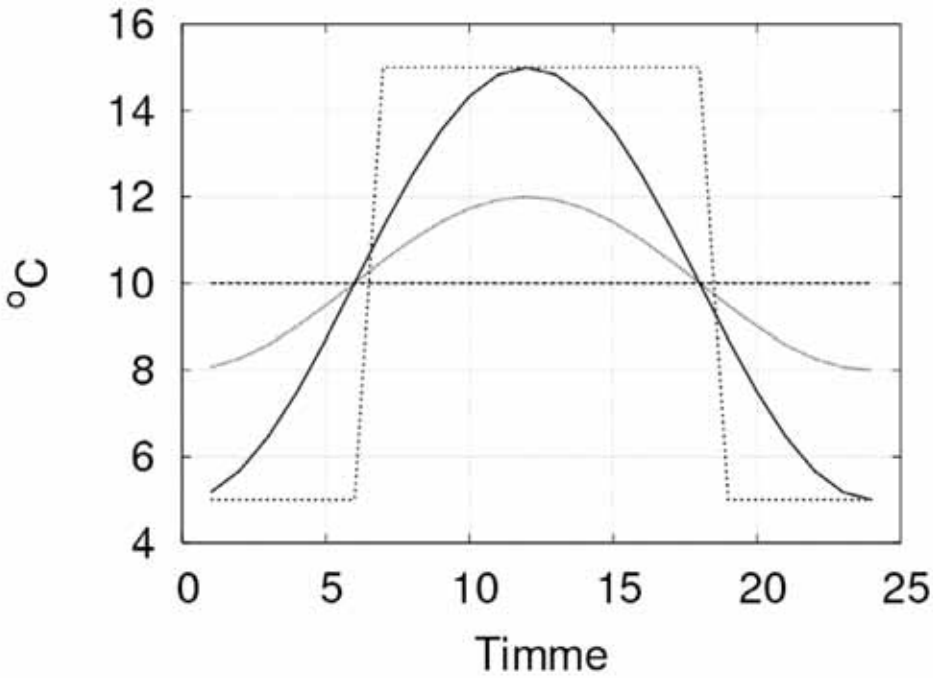
www.foi.se/climatools

1. Vad är klimat?

Sommaren 2006 var lång och varm; på flera platser uppseendeväckande lång och varm. Även hösten fortsatte på samma sätt. I tv:s nyhetssändningar rapporterades att det var en extremt mild november och på Västkusten noterade flera stationer värmerekord för november. Många tolkade detta som ett tecken på den pågående klimatförändringen. Men var denna varma november ett utslag av ett förändrat klimat? Vad menas egentligen med klimat?

Enligt Nationalencyklopedin är klimat ”de meteorologiska elementens statistiska egenskaper”. Det handlar alltså om bland annat medelvärden och extremvärden av temperatur, nederbörd, vind med mera. Vi tänker vanligen i mått av hur varmt det är när jag går ut, hur varmt vattnet i badsjön är, om det är blåsigt, om vi har torka eller mycket regn, om det är soligt eller molnigt etc.

Oftast kombineras dessa tankar med statistiska mått, exempelvis medeltemperaturen. Men vad säger då medeltemperaturen? Jordens medeltemperatur är ungefär 15 grader (Hartmann, 1994). Med detta menas att ett medelvärde över hela jordytan – land, hav, öknar, skogar, städer, insjöar och världshav – över hela dygnet och hela året under flera år är 15 grader. Detta är ett bra mått för att snabbt uppskatta exempelvis en global klimatförändring eftersom det är ett värde för hela jorden. Däremot är det inget bra mått på hur det är att leva i exempelvis Mälardalen. Som en ungefärlig uppskattning av temperaturen i Mälardalen kan nämnas att Stockholms medeltemperatur i början av förra seklet var 5,9 grader (Ångström, 1958). Men det måttet säger inget om ifall temperaturen varierar över året. I själva verket var under samma period juli den varmaste månaden med en medeltemperatur på 16,9 grader och februari kallast med en medeltemperatur på -2,6 grader. På detta sett kan man gå vidare och titta på medelvärden för allt kortare perioder och till sist är man nere på den nuvarande temperaturen – det vi normalt kallar vädret. I figur 1 illustreras fyra olika idealiserade temperaturer under ett dygn. Samtliga kurvor har samma dygnsmedeltemperatur, nämligen 10 grader, men väldigt olika fördelning av temperaturer över dygnet. Skillnaderna



Figur 1. Exempel på temperaturer under ett dygn. För samtliga kurvor är dygnsmedeltemperaturen 10°C.

kring något medelvärde kallas ofta för vädrets, klimatets eller atmosfärens variabilitet. Variabiliteten är i själva verket en del av klimatet.

Utöver temperaturen är andra faktorer såsom nederbördsmängd, antal soltimmar med mera viktiga för hur vi uppfattar vår miljö. Vi människor uppfattar dessutom exempelvis temperaturen väldigt olika om det är hög eller låg luftfuktighet, eller om det blåser mycket eller litet.

Om vi använder temperaturen i figur 1 som ett exempel, och tittar på hur vi kan beskriva den, hittar vi snabbt en stor mängd mått. Vi mäter temperaturen kontinuerligt under en tidsperiod, till exempel ett dygn, så att vi får en kurva som de i figuren, med hög temperatur på dagen och lägre på natten. Ur denna mätserie kan vi beräkna en medeltemperatur (10 grader). Vi kan också leta reda på den maximala temperaturen (15°C, 12°C och 10°C) och den minimala temperaturen (5°C, 8°C och 10° C). Skillnaden mellan den maximala och den minimala temperaturen ger oss ett mått på temperaturspridningen (10°C, 4° C och 0°C). Hittills har vi alltså fyra mått för temperaturen under ett dygn. På samma sätt som vi gjort hittills kan vi nu utöka vår statistik till att gälla en vecka, en månad, en säsong, ett år, ett decennium, några decennier eller ännu längre. På detta sett får vi en allt större mängd mått på temperaturen.

Fortfarande mäter vi bara med en enda termometer. Vi kan utöka våra mått ytterligare genom att inkludera flera termometrar på olika platser. I och med detta får vi också möjlighet att beräkna ett medelvärde över området.

På detta sett beskrivs klimatet på en plats eller i ett område med en serie klimatparametrar som är statistiska mått på olika aspekter av det vi normalt kallar vädret. Klimatet är alltså en statistisk beskrivning av vädret.

När vi talar om klimatförändringar menar vi ofta förändringar av statistiska parametrar. Vanligast är den globala medeltemperaturen över hela året. Motsvarande parametrar finns även för nederbörd, vindstyrkor med mera. Man skall dock inte glömma bort variabiliteten. Titta på temperaturkurvorna i figur 1. Om ett medeldygns temperaturvariation skulle växla från den ena kurvan i figuren till en annan kurva, så skulle det kanske innebära en stor förändring trots att medeltemperaturen fortfarande var densamma; variabiliteten skulle ha ökat eller minskat samtidigt som medeltemperaturen var konstant. En mycket viktig aspekt av ett områdes klimat är de extremer som kan uppstå, till exempel den maximala temperaturen på dagen, det antal dagar i sträck som temperaturen överstiger någon temperatur, den längsta tiden utan nederbörd och så vidare. Man bör göra klart för sig skillnaden mellan gradvis skillnad i extremer och extrema skillnader i medelvärden. Gradvis skillnad i extremer innebär exempelvis att den varmaste dagen under en sommar blir lite varmare eller kallare. Extrema skillnader i medelvärden innebär exempelvis att medeltemperaturen förändras med 20 grader.

Faktum är att många av de förändringar som vi förväntar oss det närmsta seklet, och som vi redan har sett exempel på, handlar om just förändringar i extremer. Exempelvis förväntas medeltemperaturen i Skandinavien att öka. Mer precist förväntas de lägsta temperaturerna under vintern bli högre (varmare). Förändringen av de lägsta temperaturerna kommer troligen att vara större än förändringen i medeltemperatur. Med andra ord kommer den största förändringen att vara att de kallaste perioderna blir mildare.

Snö kommer att bli ovanligare framöver

1.1 Klimatmodellering

Det finns flera sätt att modellera klimatet. Alltifrån relativt enkla modeller för hur mycket energi som kommer in till jorden i form av solljus och hur mycket som återstrålar som värme, till väldigt komplexa globala strömningsmodeller används. Dagens mest avancerade globala cirkulationsmodeller, GCM (General Circulation Model), liknar på många sätt de modeller som används för att beräkna morgondagens väderprognos. Denna typ av modell består av en matematisk beskrivning av de fysikaliska lagar som kontrollerar vår värld. Fysikens lagar preciserar sådana relationer som hur mycket kraft som behövs för en viss acceleration, eller hur mycket energi som krävs för att avdunsta någon viss mängd vatten. Genom att samtidigt titta på hela jordens atmosfär och dess lufttryck, hastighet (vind), innehåll av vattenånga, solinstrålning med mera kan man räkna fram vad dessa variabler kommer att vara vid en senare tidpunkt. Detta är vad vi vanligen kallar en väderprognos.

Det finns en avgörande skillnad mellan en väderprognos och en klimatsimulering. En väderprognos gäller bara i högst cirka tio dagar, medan en klimatsimulering sträcker sig flera hundra år framåt. Hur går detta ihop? Anledningen till skillnaden är en skillnad i fokus på frågeställningen. En väderprognos förväntas

informera om vädret en viss dag, eller till och med en del av en dag. På grund av atmosfärens kaotiska natur är denna typ av prognos tidsbegränsad till mellan en och två veckor. I detta fall innebär ordet kaotisk inte oordning, utan det definieras som ett ickelinjärt beroende av initialtillstånd och randvärden. En klimatsimulering däremot eftersträvar inte att beskriva vädret en viss dag, utan att på ett korrekt sätt beskriva statistiken hos vädret, alltså motsvarigheten till att medeltemperaturen i Stockholm i februari är -2,6 grader. För en sådan beskrivning av klimatet är atmosfärens kaotiska natur inte ett lika stort hinder. Av den anledningen kan väderprognosmodellerna inte leverera prognoser så långt fram, trots att klimatsimuleringsmodellerna kan det.

2. Klimatförändring – FN:s klimatpanel

2.1 Klimat i förändring

Det råder idag inte någon större tvekan om att världens klimat har förändrats, och fortsätter att förändras på grund av mänsklig aktivitet. Sedan den industriella revolutionen inleddes i mitten av 1700-talet har de atmosfäriska koncentrationerna av koldioxid, metan och dikväveoxid (lustgas) ökat till långt över tidigare nivåer. Exempelvis har koncentrationen av koldioxid ökat från cirka 280 ppm på 1700-talet till cirka 380 ppm idag. Detta är en mycket kraftig ökning orsakad huvudsakligen av mänsklig aktivitet. Effekten på klimatsystemets temperatur är den största på åtminstone tio tusen år. Under det senaste seklet har jordens medeltemperatur ökat med ungefär 0,75 grader. Under det senaste halvseklet har temperaturen ökat med 0,13 grader per decennium (motsvarande 1,3 grader per sekel). Temperaturökningstakten har alltså också ökat kraftivgt. Vid slutet av detta sekel räknar man idag med att jordens medeltemperatur kan ha ökat med upp till 6 grader och en trolig ökning med kanske 4 grader! Hur stor denna ökning blir kommer att bero av hur mycket fossilt kol som förbränns, och hur mycket förbränningen kan minskas från dagens nivå. Den troligaste utvecklingen är att jordens medeltemperatur under de närmaste decennierna kommer att öka med 0,2 grader per decennium oberoende av utsläppsscenario.

2.2 Bakgrund

Redan 1861 identifierade John Tyndall koldioxidens (CO_2) förmåga att absorbera termisk strålning. Den svenske kemisten och nobelpristagaren Svante Arrhenius beskrev sedan 1896 hur en förändring av koldioxidhalten med fyrtio procent skulle kunna orsaka glaciärers tillväxt eller tillbakagång. Det är denna förmåga hos gaser i atmosfären att absorbera och återutsända termisk strålning som kallas för växthuseffekten. De gaser som deltar i växthuseffekten kallas växthusgaser. Det är tack vare växthusgaserna och växthuseffekten som vi har en medeltemperatur på

ungefär 15 grader här på jorden. Faktum är att utan någon som helst växthuseffekt skulle jordens medeltemperatur vara ungefär -18 grader. Medeltemperaturen skulle alltså vara mer än 30 grader lägre än idag!

Sedan den industriella revolutionens början har människan i allt högre grad påverkat atmosfärens sammansättning. Till stor del har detta skett genom förbränning av fossila bränslen som kol och olja (SPM4). Detta har resulterat i en mycket kraftig ökning av koldioxid i atmosfären under det senaste seklet. Människan har också kraftigt ändrat markbeskaffenheten; vi har exempelvis huggit ner skogar för att anlägga åkrar, byggt ut risodlingar, ökat mängden boskap med mera så att ytterligare växthusgaser har släppts ut. Utöver koldioxiden handlar det då om gaser som metan, lustgas och kolväten. Ofta när växthuseffekten nämns i den samhälleliga debatten syftar man uteslutande på den förändring som människan har orsakat. Det är dock viktigt att skilja på den naturliga växthuseffekten och de snabba förändringar av växthuseffektens styrka som nu pågår.

Bilavgaser är en stor källa till koldioxidutsläpp

Ökningen av mängden växthusgaser i atmosfären ger högre medeltemperatur på jorden. Men det är inte den enda skillnaden. Jord-atmosfärsystemet är komplicerat och många processer binder samman olika delar av systemet. Låt oss ta ett exempel. När temperaturen på jorden ökar, så ökar också temperaturen i luften. Eftersom varm luft kan innehålla mer vatten än kall luft så kan mer vatten transporteras och falla som nederbörd. Temperaturökningen kan alltså ge häftigare,

Djurhållningen bidrar till utsläpp av metan, en stark växthusgas

eller tätare regn. Eller kanske både och. Dessutom är vattenånga i sig en kraftig växthusgas, så när luften innehåller mer vattenånga ökar växthuseffekten ännu mer. Denna typ av processer kallas positiva återkopplingar. På motsvarande sätt finns det negativa återkopplingar. Exempelvis kan mer vatten i atmosfären medföra att mer moln bildas. Molnen kan då reflektera bort en del solljus och skulle alltså kunna kyla jorden. På detta sätt samverkar en stor mängd processer för att reglera jorden klimat.

En komplicerande aspekt av den pågående klimatförändringen är att den sker med en viss fördröjning. Det beror på att inte alla delar av klimatsystemet förändras lika snabbt.

Såväl haven som landmassorna tar upp koldioxid. I haven finns stora mängder koldioxid bundet. Men havens omblandning sker på en tidsskala som har uppskattats till cirka tusen år. Om man ändrade atmosfärens sammansättning plötsligt skulle det alltså ta minst några sekler för havets koncentration av exempelvis koldioxid att komma i balans med atmosfären. Faktum är att enligt den senaste rapporten från FN:s klimatpanel (SPM4) kommer förändringen av jordens medeltemperatur under det närmaste halvseklet att vara ganska oberoende av hur människan förändrar sina utsläpp av växthusgaser. Man kan säga att vi redan har orsakat stora delar av de förändringar som kommer att ske under några decennier framåt.

2.3 Kan vi vänta oss abrupta klimatförändringar?

De många processer som samverkar i klimatsystemet gör det ickelinjärt. Den tidigare nämnda effekten med uppvärmning och vattenånga är ett exempel på en ickelinjär process. En ökning av koldioxid i atmosfären ger en ökad temperatur. Men högre temperatur medför mer vattenånga i atmosfären, och denna medför högre temperatur som medför mer vattenånga och så vidare. Det är alltså inte lätt att säga vilken temperaturökning en viss ökning av koldioxidkoncentrationen ger. Det betyder dock inte att det inte går att svara på vad temperaturökningen skulle bli. Det blir bara mer komplicerat. Det ickelinjära i klimatsystemet medför möjligheten av abrupta klimatförändringar. Alley med flera (2005) definierar en abrupt klimatförändring som en förändring som inträder när klimatsystemet passerar en gräns till följd av förändring av någon drivning (exempelvis koldioxidhalten i atmosfären). Då finns möjligheten att förändringar inte enbart sker i proportion till drivningen, utan själva strukturen hos systemet kan förändras. En sådan förändring kan vara tillfällig eller permanent. Det går att tänka sig många olika naturliga orsaker till sådana abrupta förändringar, såsom vulkanutbrott med stora utsläpp av sot och damm som skymmer solen, eller förändrad solinstrålning som ger mer eller mindre energi till jorden. Men även människans utsläpp av växthusgaser skulle kunna bidra till en sådan förändring i och med att atmosfärens sammansättning förändras. Nedan nämns några sådana abrupta förändringar som har föreslagits i den samhälleliga debatten.

2.3.1 Kan det bli kallare?

Det har diskuterats att delar av oceancirkulationen, det vi i dagligt tal kallar Golfströmmen, skulle kunna sakta ned på grund av klimatförändringen och därmed ge ett kallare klimat i Skandinavien. Man har spekulerat i att det skulle kunna ske inom loppet av några decennier (Schwartz och Randall, 2003). En del av dessa studier har fått stort genomslag i medierna. Skälet till att cirkulationen skulle minska på våra breddgrader är att vattnet i Nordatlanten blir allt sötare då isarna i polarregionen smälter och det regnar mer. När vattnet inte är lika salt sjunker det inte ned mot botten såsom tidigare för att sedan strömma söderut. Då försvagas eller upphör cirkulationen. Underförstått i ett sådant resonemang är också att Golfströmmen står för en stor del av värmetransporten till Skandinavien.

Enligt FN:s klimatpanels senaste utvärdering är det troligt att Golfströmmen kommer att sakta ned på hundra års sikt. Vissa klimatmodeller förutspår att strömmen försvagas med femtio procent medan andra modeller visar på en marginell minskning. Inga modeller visar att försvagningen skall leda till en abrupt klimatförändring på hundra års sikt. Vissa enklare modeller visar att på längre sikt och med stora utsläpp av växthusgaser kan strömmen helt upphöra (ex. Stouffer och Manabe, 2003). Både minskningen och ett eventuellt upphörande av strömmen tycks dock vara temporära tills haven hunnit anpassa sig till det nya jämviktstill-

ståndet. Om strömmen skulle återgå till dagens tillstånd ifall atmosfärens sammansättning av växthusgaser minskade är inte klarlagt. Det är heller inte uteslutet att Golfströmmen skulle kunna försvagas tämligen snabbt, det vill säga under loppet av några decennier (Manabe och Stouffer, 1999), även om detta är mindre troligt.

Även om Golfströmmen skulle försvagas visar klimatmodellerna att Skandinavien och norra Europa kommer att värmas upp. Uppvärmningen av atmosfären kompenserar med råge den avkylning som en mindre stark Golfström medför. Däremot bidrar en försvagad oceanisk transport av värme till norra Europa och Skandinavien till att uppvärmningen inte blir lika kraftig där som den annars skulle varit. Det betyder också att även om Golfströmmen stannar av i samband med en uppvärmning orsakad av växthusgaser så kan det inte leda till en ny istid inom några hundra år.

2.3.2 Kan det bli ännu varmare än vad klimatmodellerna visar?

Förutom det stora spann över möjlig uppvärmning som FN:s klimatpanel visar på, så skulle uppvärmningen kunna gå ännu fortare på grund av olika typer av förstärkande återkopplingar som ännu inte finns beskrivna i modellerna, eller beskrivs bara rudimentärt. En sådan återkoppling har att göra med jordens förmåga att ta upp eller släppa ut kol. Den förmågan varierar. Idag tar jorden upp kol som lagras i biosfären (växterna) och hjälper på så sätt till att hålla halten i luften nere. Med ett förändrat klimat skulle denna process kunna förändras så att jorden istället släpper ut kol. Denna förändring skulle möjligen kunna ske inom loppet av några tiotals år (Cox med flera, 2004). Effekten när det gäller den globala uppvärmningen är oklar men skulle kunna vara betydelsefull.

En annan förstärkande återkoppling som diskuteras är att uppvärmningen på nordliga breddgrader orsakar att områden som idag är frusna hela året, så kallade permafrostområden, tinar under delar av året. Där skulle jorden då kunna släppa ut stora mängder växthusgaser. Det finns mycket stora områden med permafrost i Sibirien och i delar av Kanada där man tydligt märker att tjälen nufördiden går ur marken eller sjunker till större djup under längre tid på somrarna. Stora mängder av växthusgasen metan finns infrusen i dessa jordar och man befarar att en upptining av permafrosten skulle kunna leda till utsläpp av dessa gaser. Det skulle innebära att mängden växthusgaser i atmosfären ökade väsentligt (Wickland med flera 2006, Christenssen med flera 2004).

2.3.3 Kan havsytan stiga många meter?

Den uppvärmning som väntas kommer också att orsaka att havsnivån höjs med upp till sex decimeter till slutet av detta sekel. (SPM4). Huvuddelen av denna höjning kommer sig av att havsvattnet expanderar när det blir varmare och tar mer plats.
Stora mängder färskvatten finns infruset i de enorma isarna på Grönland och Antarktis. Om de smälter kommer havsytan att stiga väsentligt. Antarktis är den

femte största kontinenten och idag är 98 procent täckt av is som på vissa ställen är fem kilometer tjock. Det finns ingen plats på jorden som är så kall som Antarktis. Temperaturen varierar mellan -70 grader (eller något kallare) i inlandet vintertid till några plusgrader vid kusten sommartid. Grönland är väldens största ö och större delen är täckt av is men temperaturerna är avsevärt högre än på Antarktis. Över stora delar av Grönland ligger temperaturen en bra bit över noll grader sommartid.

Om hela Grönlandsisen smälter kan havsytan stiga med upp till sju meter. Det skulle kunna inträffa om en uppvärmning orsakade fortsatt avsmältning i flera hundra år. Under det närmaste seklet räknar man dock med en total havsnivåökning på upp till 0,6 meter. Om all is på Antarktis smälter skulle havsnivån stiga med femtio–sextio meter. Det är dock inte troligt. Snarare tyder data på att en ökad medeltemperatur på jorden leder till att isen på Antarktis växer till. Det beror på att den ökande tillväxten genom ökad nederbörd är större än den ökade avsmältningen.

Den arktiska havsisen har börjat smälta i samband med den pågående klimatförändringen. Det arktiska havet kan komma att vara helt isfritt under sensommaren i slutet av detta sekel. En rad positiva återkopplingar bidrar till att avsmältningen i Arktis går så fort. Blanda annat tar det öppna havet upp mycket mer värme från solen än vad isen gör. Därför går uppvärmningen snabbbare ju mer isen smälter. Även Grönlandsisen har påverkats och som nämnts är det möjligt att den smälter

I områden med permafrost finns metan infrusen i marken idag

bort helt inom loppet av ett antal tusen år (om en framtida uppvärmning medför en fortsatt avsmältning). Även här bidrar positiva återkopplingar till att avsmältningen går fortare ju mindre is som finns kvar.

Istäcket på västra Antarktis är mindre stabilt än istäcket på resten av kontinenten. Det har diskuterats om istäcket skulle kunna kollapsa i och med klimatförändringen, något som skulle kunna leda till att havsytan stiger med ungefär fem meter (ex. Bindschadler, 1998). Bland annat skulle ett varmare hav kunna få istäcket att släppa från land och driva ut i havet och smälta. Dagens kunskap är inte tillräcklig för att bedöma hur stor risken är för en sådan utveckling.

Isarna på Grönland och inom delar av Antarktis kan smälta om uppvärmningen blir för stor

2.4 Vad händer efter 2100?

I denna rapport, liksom i den fjärde sammanställningen av FN:s klimatpanel och den svenska klimat- och sårbarhetsutredningens arbete, fokuseras på det innevarande seklet, det vill säga tiden 2000–2100. Det är dock viktigt att vi inte stirrar oss blinda på denna period. Klimatet kommer att fortsätta att förändras efter år 2100. Det kan vi vara helt säkra på. Det idag mest troliga är att jorden kommer

att fortsätta att värmas upp efter år 2100, även om det är oklart hur mycket. Man kan alltså säga att den utveckling vi kommer att få se under det kommande seklet mycket väl kan komma att fortsätta långt in i nästa sekel. Vid planeringen för framtiden, bör man alltså ta i beaktande de olika tidsskalor som kan bli aktuella. Redan idag planerar vi exempelvis i samhället för vägar baserat på behov på femton–tjugo års sikt. Även motorindustrins utvecklingshorisont är bortåt tjugo år. Många fastigheters livslängd beräknas till över hundra år, alltså förbi 2100.

2.5 FN:s klimatpanel – IPCC

När klimatförändringar diskuteras kommer ofta IPCC upp. IPCC står för Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC är ett FN-organ som skapades 1988 av WMO (World Meteorological Organization) och UNEP (United Nations Environment Programme). IPCC bedriver inte egen forskning utan sammanställer forskning. IPCC gjorde sin första sammanställning av den samlade kunskapen om klimatfrågan 1990 i ”First assessment report”, eller FAR. Den senaste i raden av dessa, den fjärde (AR4), presenterades i februari 2007. Denna rapport visar att det vetenskapliga samfundet nu är mycket säkra på att människan med sina utsläpp av olika växthusgaser påverkar jordens klimat. Märk väl att IPCC:s bedömningar präglas av naturvetenskaplig noggrannhet. När IPCC-rapporten talar om att något är troligt till 95 procents sannolikhet bör man betänka att 100 procent inte är möjlig att uppnå eftersom vetenskapen normalt motbevisar påståenden snarare än bevisar dem. När IPCC-rapporten talar om att något är ”mycket troligt” eller liknande menas alltså att man kunnat motbevisa majoriteten av alternativa tolkningar och inte funnit stöd för ytterligare alternativa tolkningar. Man bör inte tolka IPCC-rapportens tal om sannolikheter som tveksamhet kring grundförutsättningarna. Människan har med sin aktivitet kraftigt förändrat atmosfärens sammansättning och detta leder till ett förändrat klimat.

2.6 SRES

I samband med IPCC:s bedömningar talas ofta om utsläppsscenarier enligt SRES. SRES står för Special Report on Emission Scenarios. Redan 1992 sammanställde IPCC utsläppsscenarier tänkta att användas till klimatmodellering. Dessa utsläppsscenarier var revolutionerande och kom att användas mycket och refereras ofta till under betäckningen IS92. Inför den tredje sammanställningen av kunskapen om klimatförändringen (IPCC Third Assessment Report, TAR) ansågs det att det fanns så mycket ny kunskap om orsakerna till utsläpp, och de metoder som används för att beräkna utsläppen, att det var dags att göra en ny sammanställning. Denna publicerades 2000 och benämns IPCC Special Report on Emission Scenarios (SRES).

De scenarier som utarbetats i SRES beskriver olika möjliga utvecklingar. Ingen av dem anges som mer eller mindre sannolik. Man exkluderar dock extrema katastrof- eller överraskningsscenarier. Man tar heller inte i beaktande sådana internationella överenskommelser som UNFCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) eller Kyotoprotokollet. Scenarierna baseras på fyra olika grundbeskrivningar av utvecklingen, som skapar fyra familjer av scenarier. Var och en av dessa representerar olika utveckling av demografi, sociala omständigheter, ekonomi, teknik och miljö. En av familjerna (A1, se nedan) delas upp i tre undergrupper baserade på olika energiförsörjning. De olika familjerna är:

A1
Denna scenariefamilj beskriver en värld med snabb ekonomisk tillväxt. Den globala befolkningens storlek växer fram till mitten av seklet för att sedan avta. Den tekniska utvecklingen går fort. Globaliseringen är ett faktum och kontakterna mellan såväl kulturer som individer ökar. Här sker också en kraftig utjämning mellan inkomsterna i olika regioner.

A1FI
Denna undergrupp beskriver en framtid där fossila bränslen är en huvudkälla till energi.

A1T
I denna undergrupp har den tekniska utvecklingen gjort det möjligt att tillgodose världens behov av energi, huvudsakligen från ickefossila bränslen.

A1B
Här beskrivs en framtid där energiförsörjningen kommer från en blandning av energikällor (fossila och ickefossila) och där ingen typ dominerar tydligt.

A2
Denna familj beskriver en heterogen värld. Regioner strävar efter att klara sig själva. Världens befolkningsstorlek ökar kontinuerligt. Den ekonomiska utvecklingen är regional och såväl ekonomisk tillväxt som teknisk utveckling är långsam och fragmenterad.

B1
Liksom i A1 beskriver denna familj en globaliserad framtid med en så småningom avtagande global befolkning. Här går världen snabbt mot en tjänste- och informationsekonomi. Detta minskar beroendet av råvaror. Världen samverkar för att nå ekonomisk, social och miljömässig uthållighet och jämlikhet.

B2

I denna familj fokuserar världen på lokala lösningar. Befolkningen ökar kontinuerligt om än inte så fort som i A2. Såväl ekonomisk som teknisk utveckling är långsammare än i B1 och A1. Även om denna värld strävar mot jämlikhet och miljöskydd är lösningarna lokala och regionala.

Man kan mycket förenklat organisera familjerna efter deras utsläpp av växthusgaser vid slutet av seklet. Då kommer familjen A1FI överlägset överst, följt av A2, A1B, B2, A1T och B1. Det skall påpekas att efter de första två överlappar de olika familjerna varandra stort.

3. Hur påverkas vi?

En uppvärmning av jordens klimat kommer att medföra ett stort antal olika specifika förändringar. Figur 2 nedan kommer från IPCC:s rapport om effekterna av klimatförändringen. Figuren visar exempel på effekter inom olika områden som vatten, miljö, föda med mera.

Utöver de generella effekterna på olika områden som de i Figur 2, kommer olika områden på jorden att drabbas på olika sätt. I det följande sammanfattas några väntade effekter för olika världsdelar och med något större detalj för Europa.

3.1 Klimatförändringen i världen

Som diskuterades i kapitel 1 så är den globala medeltemperaturen inte alltid det bästa måttet på hur klimatet förändras lokalt. Några tydliga generella avvikelser från det globala medelvärdet kan nämnas.

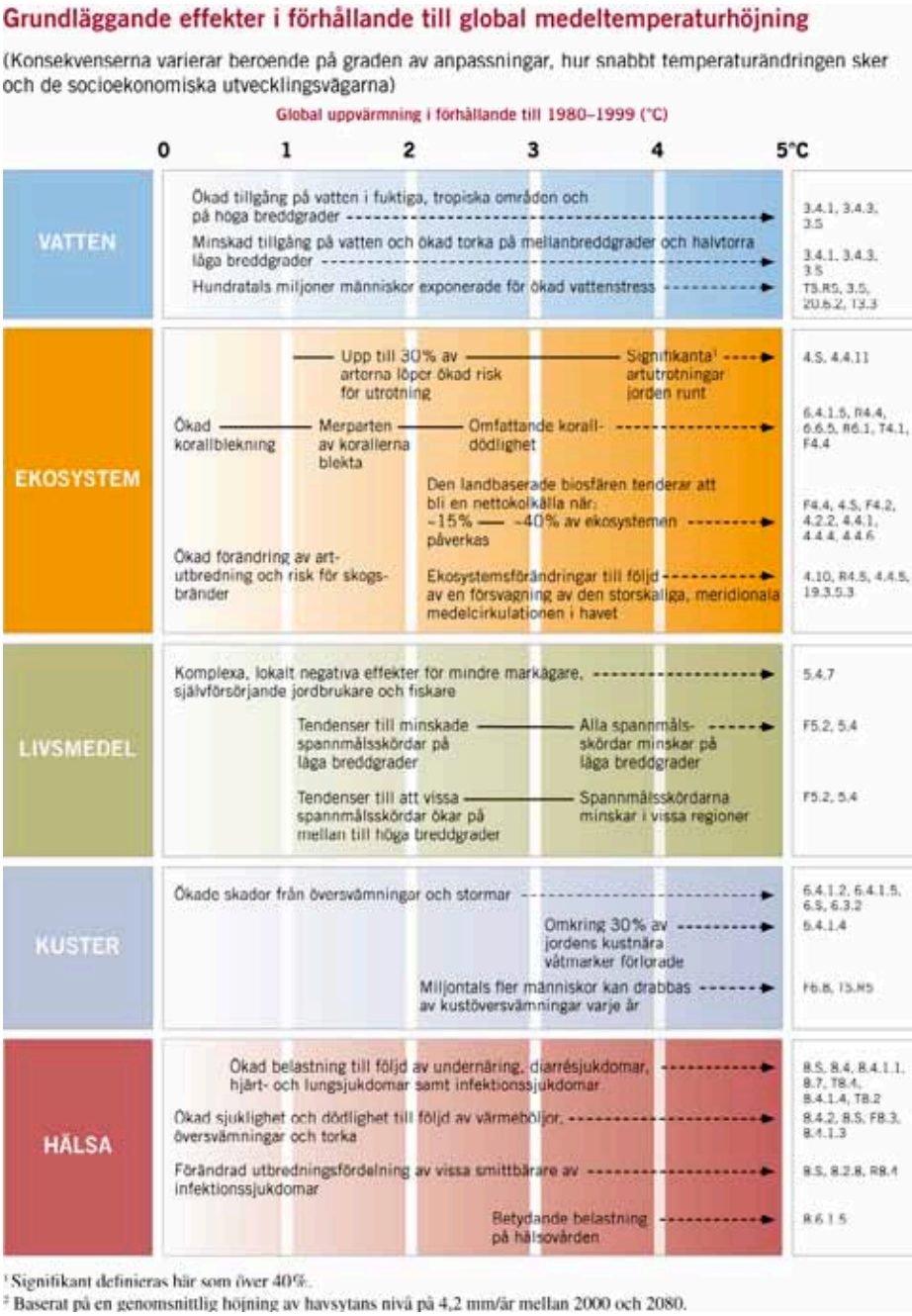
Generellt ökar temperaturen mer över landmassor än över haven. Det beror främst på en större förmåga hos havsvatten att absorbera värmen, och att haven har tillgång till obegränsade mängder vatten för avdunstning.

Det faktum att landmassorna inte har samma obegränsade tillgång på vatten, samtidigt som ökad temperatur leder till ökad avdunstning, får på många platser till följd att tillgången på vatten minskar.

De polära områdena drabbas av en större uppvärmning än jorden i medeltal (exempelvis Hulme med flera, 2001; Lal och Harasawa, 2001; Leung med flera 2004; Boulanger med flera 2006 och Giorgi med flera, 2001).

Afrika

Afrika kommer som övriga landmassor att drabbas av en uppvärmning som överstiger det globala medelvärdet. Mycket är oklart men troligen minskar nederbörden i Nordafrika medan den ökar i Östafrika. I södra delarna av kontinenten kommer sannolikt nederbörden att minska under vinterns regnperiod.



Figur 2. Ett urval av exempel på projicerade globala effekter av klimatförändringarna i förhållande till olika stora ökningar av den globala genomsnittliga yttemperaturen under 2000-talet. Högerkolumnen anger källorna inom raporten. Från Naturvårdsverket, 2007.

I Östafrika kan nederbörden öka framöver

Asien

Uppvärmningen kommer att motsvara den globala uppvärmningen (Sydostasien) eller överstiga den globala uppvärmningen (i synnerhet över den stora landmassan). Nederbörden kommer troligen att öka vintertid i norra och östra Asien och i de sydliga delarna av Sydostasien. Sommarnederbörden kommer troligen att öka i norra, östra, sydöstra och södra Asien men minska i Centralasien. Troligen kommer häftiga nederbördsperioder att bli vanligare i södra och östra Asien. Såväl vind som nederbörd associerade med tropiska cykloner kommer troligen att öka i östra, sydöstra och södra Asien. Dessutom kommer troligen östra Asien att drabbas av fler, längre och mer intensiva värmeböljor.

Nordamerika

Den årliga medeltemperaturen kommer troligen att öka mer än det globala medelvärdet. Uppvärmningen kommer antagligen att vintertid bli kraftigare i de norra delarna och sommartid i de sydvästra delarna. Den årliga medelnederbörden kommer sannolikt att öka i Kanada och i nordöstra USA och minska i de sydvästra delarna. I södra Kanada kommer nederbörden förmodligen att öka på vintern och våren men minska under sommaren. Snösäsong och snödjup kommer antagligen att minska på de flesta platser.

Skogsbränder kan bli ett problem i Kanada framöver i och med klimatförändringen

Central- och Sydamerika

Södra Sydamerika får troligen en uppvärmning som motsvarar det globala medelvärdet. Däremot kommer nog uppvärmningen i de övriga delarna att överstiga den globala medeltemperaturens. Nederbördsförändringarna är oklara.

Australien och Nya Zeeland

Uppvärmningen kommer sannolikt att ligga i närheten av den globala medelhöjningen. Det innebär att landmassorna värms upp mer än det omgivande havet. Uppvärmningen är svagast i de södra delarna. Nya Zeelands sydö verkar till och med få en svagare temperaturökning än medeländringen globalt.

Nederbörden kommer nog att minska under vintern i södra och sydvästra Australien. Däremot kommer nederbörden antagligen att öka på västra sidan av Nya Zeelands sydö.

Nederbördsförändringarna är osäkra för norra och södra Australien. Det är troligt med ökande vindstyrkor över Nya Zeelands sydö. Likaså kan man vänta sig att antalet extremt varma dagar ökar och att mängden extrema köldperioder minskar. Extrema nederbördsperioder kommer nog att bli kraftigare. Nederbörden i denna region påverkas kraftigt av el Niño – southern oscillation (ENSO). Eftersom det är oklart hur ENSO kommer att påverkas i ett framtida klimat blir även projektioner för nederbörden osäkra.

Polarområdena

Arktis kommer med största sannolikhet att värmas upp mer än den globala medeluppvärmningen under detta sekel. Uppvärmningen kommer att vara kraftigare vintertid. Troligen kommer också nederbörden att öka. Även isbeläggningen sommartid kommer förmodligen att minska.

Även Antarktis kommer antagligen att värmas upp och få en ökad nederbörd.

3.2 Klimatförändringen i Europa

I Europa, liksom för övriga landmassor, kommer temperaturförändringen att bli större än det globala medelvärdet. Temperaturökningen till slutet av seklet kommer för norra Europa (med Skandinavien) troligen att bli någonstans mellan 3 grader och 8 grader på vintern och mellan 1 grad och 5 grader sommartid. I södra Europa kommer temperaturen på motsvarande sätt att öka med mellan 1 grader och 5 grader vintertid och med mellan 3 grader och 7 grader sommartid. Variabiliteten år till år för sommartemperaturen kommer troligen att öka (Giorgi and Bi, 2005; Rowell, 2005; Schär etal, 2004; Vidale etal 2007). Även variabiliteten dag till dag förväntas öka (Kjällström etal 2006).

Snötillgången i Alperna minskar

Vintertid förväntas däremot en minskad variabilitet i temperaturerna. Den större medeltemperaturförändringen under vintern i norra Europa beror troligen på att mängden snö minskar. När snön försvinner reflekteras inte lika mycket solljus och effekten blir en extra uppvärmning. Därför kommer också höjningen av de lägsta vintertemperaturerna att vara störst i områden som idag har måttliga mängder snö (som då försvinner). Skillnaden blir mindre i de områden som redan idag är snöfattiga. Denna höjning av de lägsta vintertemperaturerna innebär naturligtvis också att antalet frostnätter minskar (Tebaldi etal 2006).

I samband med dessa förändringar i temperaturmönstren förväntas också fler, kraftigare och längre värmeböljor under somrarna (Barnett etal 2006;Tebaldi etal 2006).

Norra Europas milda klimat orsakas delvis av att den nordatlantiska strömmen (Golfströmmen) transporterar upp värme från lägre latituder vid Nordamerikas kust (Stouffer etal, 2006). Eftersom Golfströmmen delvis är beroende av att kallt och salt vatten i Nordatlanten sjunker till botten och återströmmar söderut, är den känslig för utflöde av sötvatten i Nordatlanten. Man har framfört farhågor för att avsmältning av is från de nordliga glaciärerna och havsisarna skulle kunna hindra denna cirkulation och därmed att stoppa Golfströmmen. Det har till och med framförts att detta skulle kunna leda till en ny istid. Det är mycket otroligt att Golfströmmen skulle stängas av på detta sätt under det närmaste seklet. Dessutom skulle det inte leda till en istid om det hände. Om Golfströmmen stängdes av utan att något annat ändrades så skulle det innebära en avkylning med kanske två till fyra grader (Stouffer etal 2006). Detta innebär att även om Golfströmmen upphörde så skulle temperaturerna i norra Europa öka. Det är dock mycket troligt att Golfströmmen kommer att avta i styrka med upp till femtio procent under det innevarande seklet. Denna effekt är dock medtagen i den uppskattning av temperaturerna som ges ovan.

Nederbörden i norra Europa kommer sannolikt att öka. I någon mån gäller detta också Mellaneuropa. I södra Europa kommer däremot med stor sannolikhet nederbörden att minska. I samband med den ökande nederbörden i norra och centrala Europa förväntas också både antalet tillfällen med extrem nederbörd, och mängden nederbörd vid dessa tillfällen att öka (Tebaldi med flera 2006, Räisänän och Joelsson, 2001, Räisänen med flera 2004).

4. Climatools tre klimatscenarier

Climatools arbete syftar till att ta fram verktyg och riktlinjer för beslutsfattande med avseende på ett föränderligt klimat. För att arbeta fram dessa produkter behövs scenarier av en annan typ än dem som presenterats tidigare i denna rapport, baserade på IPCC:s senaste rapport. De klimatscenarier som presenterats ovan kan betraktas som den bästa tillgängliga informationen om hur framtidens klimat kommer att gestalta sig. För ett projekt som Climatools fordras dock klimatscenarier som går utöver vad som förefaller troligast (utan att vara direkt osannolika), för att spänna upp ett utmanande utfallsrum. För Climatools räkning har tre scenarier identifierats. Dessa scenarier kan sägas beskriva olika grad av intensitet i en klimatförändring. Eftersom det finns få eller inga tecken på att klimatförändringen skulle kunna ge ett kallare klimat ens regionalt, pekar alla tre scenarierna åt samma håll men går olika långt. Man kan säga att utfallet är olika stor uppvärmning. Eftersom Climatools inte har resurser till en ren klimatforskning har dessa olika scenarier tagits fram på ett grovt och ungefärligt vis. Scenarierna har benämnts efter vad medeltemperaturen i Umeå motsvarar i dagens klimat: Umeå som idag, Umeå som Tyskland och Umeå som Nordafrika.

Av de tre scenarierna innebär det första i princip oförändrat klimat. Detta är att betrakta som ett scenario med mycket låg sannolikhet, eftersom klimatet utan tvivel kommer att förändras även om vi förmår hålla halten av växthusgaser konstant vid nivån som gällde år 2000.

Det andra scenariot överensstämmer i huvudsak med det IPCC redovisar i SRES A2. Det scenariet ger den näst högsta ökningen av jordens medeltemperatur. Vidare är detta scenario det som vi bäst kan beskriva eftersom vi kan luta oss mot forskning presenterad av IPCC och de högupplösta simuleringar som genomförts vid SMHI:s Rossby Center.

Det tredje scenariot är liksom det första ett mycket mindre sannolikt scenario. Som noterats tidigare är klimatsystemet ickelinjärt, kaotiskt och mycket komplext. Vi saknar idag tillräcklig kunskap om flera viktiga delar av klimatsystemet,

exempelvis detaljer i molnfysiken. För att spänna upp ett utmanande utfallsrum för Climatools och samtidigt försöka täcka in möjliga (men inte nödvändigtvis troliga) ytterligare förändringar uppskattas Climatools tredje scenario innebära en fördubbling av skillnaderna mellan nutid och scenariot A2. Dock har vissa aspekter modifierats då resultaten inte varit rimliga. Det skall särskilt påpekas att detta sätt att uppskatta de regionala effekterna av klimatförändringen med stor sannolikhet ger inkorrekta resultat. Det är mycket osannolikt att regionala effekter skulle vara linjärt beroende. Detta scenario skall inte tolkas som en trolig, framtida utveckling. Scenariot utgör endast ett underlag för att hantera osäkerheter i samband med klimatförändringar. Det kan tolkas som ett exempel på möjliga framtida händelser, inte nödvändigtvis sammankopplade sinsemellan.

5. Klimatscenarier för tre regioner

Tre scenarier spänner upp det utfallsrum som Climatools arbetar med. Här presenteras regionernas klimat på års- och säsongsbasis som det kan se ut vid slutet av detta sekel. Säsongerna definieras så att vintern är december, januari och februari; våren är mars, april och maj; sommaren är juni, juli och augusti och hösten är september, oktober och november.

5.1 Umeå som idag

5.1.1 Umeå

Medeltemperaturen vintertid i Umeå är mellan minus tio och minus fem grader. På våren stiger medeltemperaturen till runt noll grader. Under sommarmånaderna nås högsta värdet på bortåt tio till femton plusgrader för att under hösten falla till mellan noll och tio plusgrader. Något inåt landet är temperaturen lite högre på sommaren och lite lägre under resten av året. De låga temperaturerna under vintern leder till frostnätter under en stor del av vinterperioden. Under närmare trettio dygn per år är det riktigt kallt med temperaturer lägre än minus sju grader. Snön täcker marken fyra till fem månader per år. Antalet dygn med både plus- och minusgrader är runt sexton under vintern. Under våren ökar antalet till över trettio dygn. Växtsäsongen definierad som den period som temperaturen är över två grader är drygt ett halvår.

De längsta torrperioderna är knappt två veckor vintertid, och möjligen något längre på sommaren. Dock minskar längden snabbt inåt landet. Den maximala veckonederbörden är mellan 30 och 40 millimeter vintertid och mellan 40 och 60 millimeter sommartid. Det är ovanligt med kraftig nederbörd (>10 mm/dygn). Det inträffar bara ett fåtal dagar per säsong, något vanligare under sommaren än under vintern, under hösten till och med uppemot sex dagar. Den totala nederbörden

vintertid är ungefär 150 millimeter per månad. Under våren är nederbörden som lägst med mellan 100 och 150 millimeter per månad. Sommartid ligger nederbörden mellan 150 och 200 millimeter per månad för att under hösten öka till mellan 200 och 250 millimeter per månad. Den maximala nederbördsintensiteten under ett år är 3–4 millimeter per timme.

Avrinningen är mellan 75 och 100 millimeter per månad under april för att sedan minska snabbt till under 25 millimeter per månad under större delen av sommarhalvåret.

Ett norrländskt jordbrukslandskap i trakterna av Umeå

5.1.2 Mälardalen

Medeltemperaturen vintertid i Mälardalsområdet är mellan noll och minus fem grader. På våren stiger medeltemperaturen till några grader över noll. Sommartid är medeltemperaturen mellan 15 och 20 plusgrader för att till hösten minska till 5–10 plusgrader. Under vintern leder den låga temperaturen till frostnätter under ungefär två tredjedelar av tiden (60–70 dygn). Det är relativt ovanligt med riktigt kalla dagar (kallare än minus sju grader). Det inträffar i medeltal mindre än tio dagar per år. Snö täcker marken under en till tre månader per år. Antalet dygn med både plus- och minusgrader är vintertid mellan 24 och 27. Under våren minskar detta till runt 24. Insjöisarna smälter i mitten eller slutet av mars. Växtsäsongen är runt nio månader lång. I medeltal är den längsta värmeböljan (period med maxtemperatur över 20 grader) mellan två och fyra dagar lång.

De längsta torrperioderna är knappt två veckor långa vintertid och drygt en vecka sommartid. Den maximala veckonederbörden är mellan 30 och 40 millimeter vintertid och ökar sommartid till mellan 50 och 70 millimeter. Det är ovanligt med kraftig nederbörd. Detta inträffar i medeltal några enstaka dagar under vintern och våren samt under fyra till åtta dagar per säsong under sommaren och hösten med den högsta intensiteten under sommaren. Den totala nederbörden under vintern är mellan 150 och 200 millimeter per månad. Det avtar något under våren till mellan 100 och 150 millimeter för att sedan öka rejält under sommaren till mellan 250 och 350 millimeter och därefter avta något till mellan 200 och 250 millimeter under hösten. Den maximala nederbördsintensiteten är i medeltal mellan 4 och 5 millimeter per timme. Avrinningen är mellan 25 och 50 millimeter per månad under april för att sedan avta under sommaren till mestadels under 25 millimeter per månad.

5.1.3 Skåne

Medeltemperaturen vintertid i Skåne är mellan 0 och 5 grader. På våren ökar temperaturen till mellan 5 och 10 grader. Sommartid når temperaturen till mellan 10 och 15 grader för att på hösten sjunka tillbaka till mellan 5 och 10 grader. De ändå förhållandevis låga temperaturerna under vintern leder till mellan 20 och 40 frostnätter per år. Riktigt låga temperaturer infaller möjligen sporadiskt. Likaså ligger snö mindre än 30 dagar per år. Antalet dagar med både plus och minustemperaturer varierar i landskapet mellan cirka 12 och 21 dagar under vintern. Under våren minskar antalet till runt 7 dagar.

I medeltal är den längsta värmeböljan mellan 2 och 4 dagar lång. Insjöisarna smälter sällan senare än i slutet av februari. Växtsäsongen i Skåne är mellan 11 och 12 månader per år.

De längsta torrperioderna är runt 1,5 vecka (10–12 dagar) under vintern och våren. Under sommaren och hösten minskar detta till drygt 1 vecka (8–12 dagar). Den maximala veckonederbörden är mellan 40 och 50 millimeter under vintern för att under våren minska till mellan 30 och 40 millimeter. Under sommar och höst ökar detta återigen till mellan 40 och 50 millimeter. Det är ovanligt med kraftig nederbörd. Det inträffar i medeltal några enstaka dagar per säsong under året. Vanligast (4–6 dagar) är det under sommaren. Den totala nederbörden under vintern är mellan 150 och 250 millimeter per månad, med högre nederbörd i väster än i öster. Under våren avtar nederbörden till mellan 150 och 200 millimeter per månad. Sommartid ökar nederbörden till mellan 200 och 250 millimeter per månad för att under hösten nå mellan 200 och 300 millimeter per månad. Under hösten liksom under vintern är nederbörden större i väster än i öster. Den maximala nederbördsintensiteten är i medeltal mellan 4 och 5 millimeter per timme. Avrinningen är under 50 millimeter per månad i april, med de högre värdena i väster. Under resten av sommarhalvåret ligger avrinningen under 25 millimeter per månad.

5.2 Umeå som Tyskland

5.2.1 Umeå

Medeltemperaturen vintertid i Umeå är något över fryspunkten. På våren ökar temperaturen till i medeltal 5 grader. Under sommarmånaderna når medeltemperaturen så högt som till 20 grader för att under hösten falla till nedåt 10 grader. Inåt land är temperaturen något högre sommartid men lägre under resten av året. En konsekvens av de höga temperaturerna är att Umeå bara har ungefär 30 dagar med frostnätter under vintermånaderna, det vill säga ungefär en tredjedel av tiden. Inåt land ökar detta antal dock snabbt till bortåt 60 frostnätter. Riktigt kallt (kallare än -7 grader) är det bara några dagar under året. Snö täcker marken under mindre än 2 månader per år. En annan konsekvens är att Umeå upplever riktigt varma dygn. Uppemot 1 vecka, det vill säga 4 till 8 dygn, kommer att ha en lägsta temperatur på över 17 grader. I områdena närmast Umeå inträffar det under ytterligare ett par dagar. I medeltal har nu upp till 10 dygn per år en maximal temperatur på över 20 grader. Den ökande temperaturen medför också att Umeå får många fler dygn under vintern med både plusgrader och minusgrader. Uppemot 25 dygn per vinter uppvisar både smältning och frysning.

Eftersom det blivit varmare är växtsäsongen något över 10 månader per år.

Den längsta normala torrperioden är drygt 1 vecka vintertid, det vill säga liknande den under sommaren. Den maximala veckonederbörden är knappa 50 millimeter vintertid och möjligen lite drygt detta sommartid. På vintern är nederbörden kraftig under cirka 5 dygn . Sommartid ökar antalet sådana dygn något och under hösten är det kraftig nederbörd under uppåt 10 dygn. Den totala nederbörden vintertid är mellan 200 och 250 millimeter per månad.Vår och sommartid är nederbörden något lägre, cirka 150 till 250 millimeter per månad. På hösten når nederbörden till och med något över 250 millimeter per månad. Den maximala nederbördsintensiteten är mellan 4 och 5 millimeter per timme. Avrinningen är mellan 25 och 50 millimeter per månad i april och maj för att under resten av sommarhalvåret ligga under 25 millimeter per månad.

Havsnivån sjunker med runt 5 decimeter jämfört med idag. Landhöjningen har tagits med i bedömningen.

5.2.2 Mälardalen

Medeltemperaturen är vintertid mellan 0 och 5 plusgrader. På våren ökar temperaturen till mellan 5 och 10 grader. Sommartid ligger temperaturen mellan 15 och 20 grader för att på hösten falla något till mellan 10 och 15 grader. De förhållandevis höga temperaturerna leder till att antalet frostnätter under vintern är mellan 10 och 30, lägst närmst kusten i sydost. Under det övriga året är frostnätter ovanliga. Riktigt kalla dagar är sällsynta. Snö täcker marken mindre än 30 dagar per år. Antalet dygn med både plus- och minusgrader är vintertid mellan 12

Jordbrukslandskap i dagens Tyskland

och 18. Under våren minskar det till färre än 6 dygn. Antalet riktigt varma nätter (dygnets lägsta temperaturer över 17 grader) är mellan 18 och 20. De längsta värmeböljorna (perioder med maxtemperatur över 20 grader) är mellan 22 och 24 dagar långa. Mellan 50 och 60 dagar per år har en maxtemperatur över 20 grader. Insjöisarna smälter mellan mitten av januari och slutet av februari, tidigast i sydöst, senast norrut. Vegetationsperioden omfattar i princip hela året.

De längsta torrperioderna varar drygt 1 vecka (8 till 10 dagar) under vintern och våren. Sommartid ökar det till mellan 8 och 12 dagar för att under hösten åter minska till mellan 8 och 10 dagar. Maximala veckonederbörden är mellan 40 och 50 millimeter under vintern för att under våren minska till mellan 30 och 40 millimeter. Sommartid och till hösten ökar den maximala veckonederbörden till mellan 50 och 60 millimeter. Kraftig nederbörd (över 10 mm per dygn) är vintertid mellan 4 och 6 dagar för att under våren minska till mellan 2 och 4 dagar. Sommaren innehåller återigen mellan 4 och 6 dagar med kraftig nederbörd som under hösten ökar till mellan 6 och 8 dagar. Den totala nederbörden under vintern är mellan 200 och 250 millimeter per månad. Den minskar på våren till mellan 150 och 200 millimeter. Under sommaren faller mellan 200 och 300 millimeter per månad och under hösten ökar detta till mellan 250 och 300 mm. Den maximala nederbördsintensiteten är i medeltal mellan 5 och 6 millimeter per timme. Avrinningen är 25 millimeter per månad under hela sommarhalvåret.

Havsnivån sjunker med någon decimeter i förhållande till idag.

5.2.3 Skåne

Medeltemperaturen är vintertid mellan 5 och 10 plusgrader. På våren ökar temperaturen till mellan 5 och 15 grader, varmast längst i söder. Sommartid ligger temperaturen mellan 15 och 20 grader för att på hösten falla något till mellan 10 och 15 grader. De höga temperaturerna gör frostnätter ovanliga. Bara några enstaka frostnätter förekommer under vintermånaderna. Snö täcker sällan marken. Antalet dygn med både plus- och minusgrader är vintertid under 9, och i de södra delarna mycket ovanliga. Under våren minskar det till under 3 dagar i hela regionen. Antalet riktigt varma nätter (dygnets lägsta temperatur är över 17 grader) är mellan 18 och 20. De längsta värmeböljorna är 10–18 dagar långa, kortare närmast kusten i söder. Mellan 20 och 60 dagar per år har en maxtemperatur över 20 grader. Eventuella insjöisar smälter under början av januari. Vegetationsperioden omfattar i princip hela året.

De längsta torrperioderna är ungefär 1 vecka vintertid. Under våren förlängs de till mellan 10 och 12 dagar. Sommartid ökar detta till uppåt 16 dagar för att under hösten mildras till 8 till 10 dagar. Maximala veckonederbörden är 50–70 millimeter under vintern med de högsta värdena i nordväst, för att under våren och sommaren minska till mellan 40 och 50 millimeter. Sommartid kan de sydöstra delarna få ända nedåt 30–40 millimeter i maximal veckonederbörd. Under hösten är den maximala veckonederbörden åter i storleken 60 till 70 millimeter.

Kraftig nederbörd (> 10 mm /dygn) inträffar vintertid mellan 6 och 10 dagar, med de högsta värden i nordväst. Under våren och sommaren minskar detta till mellan 2 och 4 dagar per säsong. Under hösten liknar situationen vinterns med mellan 6 och 10 dagar och högst värden i nordväst. Den totala nederbörden är under vintern är 250 till 350 millimeter per månad och minskar på våren till mellan 150 och 200 millimeter. Under sommaren faller mellan 100 och 200 millimeter per månad, med lägst värden vid kusten i söder. Hösten för med sig en ökning till mellan 250 och 350 millimeter per månad. Återigen kommer mest nederbörd i den nordvästra delen. Den maximala nederbördsintensiteten är i medeltal 6–7 millimeter per timme. Avrinningen i april är 25–50 millimeter per månad i de nordvästra delarna och under 25 millimeter i övrigt. Under resten av året understiger den 25 millimeter per månad.

Havsnivån höjs med bortåt 3 decimeter.

5.3 Umeå som Nordafrika

Detta scenario har tagits fram på ett mycket förenklat sätt. Det syftar till att spänna upp ett utfallsrum för att hantera osäkerheter, och kan inte tolkas som en trolig eller ens möjlig framtida utveckling.

5.3.1 Umeå

Medeltemperaturen i Umeå är vintertid mellan 10 och 15 plusgrader. Detta ökar något under våren för att under sommaren nå 15 till 20 grader. Den höga temperaturen vintertid gör att frostnätter är mycket ovanliga under vintern. I den mån de förekommer sker det främst i samband med klara nätter. Det är mycket ovanligt med riktigt kalla dagar. Det är också mycket ovanligt med snö som täcker marken. Eftersom det sällan är minusgrader är det också ovanligt med både frysning och smältning under samma dag. Växtsäsongen omfattar hela året (utan hänsyn tagen till brist på solljus). Riktigt varma nätter är det mellan 9 och 13 gånger per år. Högst 20 dagar om året är varmare än 20 grader. De längsta värmeböljorna uppgår till bortåt 1 vecka. Den längsta torrperioden under vintern är inte längre än 0,5–1 vecka. Sommartid ökar detta till 1,5–2 veckor. Den maximala veckonederbörden är mellan 50 och 60 millimeter under vintern och mellan 40 och 60 millimeter under sommaren. Antalet dagar med kraftig nederbörd under vintern är mellan 5 och 6. Den totala nederbörden under vintern är mellan 275 och 325 millimeter per månad. På sommaren faller detta till 175 till 275 millimeter per månad. Den maximala nederbördsintensiteten är 5 till 6 millimeter per timme.

Havsnivån sjunker med runt 0,5 centimeter.

Citrus odlas i dagens Nordafrika

5.3.2 Mälardalen

Medeltemperaturen är vintertid mellan 5 och 15 grader. Sommartid är medeltemperaturen mellan 15 och 25 grader. Det är ovanligt med frostnätter ens under vintern. Det är också mycket ovanligt med snö. Bortåt 40 dygn per år är den lägsta nattemperaturen över 17 grader. De längsta värmeböljorna är mellan 1 och 2 månader långa. Det är vanligt med maxtemperaturer över 20 grader. Detta inträffar över 100 dygn per år. Insjöis förekommer inte. Vegetationsperioden omfattar hela året. De längsta torrperioderna är några dagar vintertid (knappt 1 vecka) och drygt 1 vecka, kanske bortemot 2 veckor, sommartid. Den maximala veckonederbörden är 50–60 millimeter under vintern. Sommartid minskar detta till mellan 30 och 50 millimeter. Kraftig nederbörd inträffar mellan 6 och 7 dagar per säsong. Sommartid är det dock något ovanligare. Den totala nederbörden under vintern är mellan 250 och 300 millimeter per månad för att under sommaren bara vara 150 till 250 millimeter per månad. Den maximala nederbördsintensiteten är cirka 6–7 millimeter per timme.

Havsnivån höjs med ungefär 3 decimeter.

5.3.3 Skåne

Medeltemperaturen är vintertid mellan 10 och 15 grader. Sommartid ökar den till mellan 20 och 25 grader. Växtsäsongen sträcker sig över hela året och de längsta värmeböljorna är knappt 1 månad långa. Nattemperaturen är över 17 grader under nästan 40 dagar per år. Maxtemperaturen under dygnet är över 20 grader under 30 till 100 dygn, vanligare i nordväst. Under vintern är de längsta torrperioderna bara några dagar (normalt mindre än 0,5 vecka), medan de under sommaren kan bli bortåt 3 veckor långa. Den maximala veckonederbörden är vintertid mellan 65 och 85 millimeter medan den sommartid bara är mellan 25 och 45 millimeter. Kraftig nederbörd inträffar mellan 8 och 9 dagar per säsong. Den totala nederbörden är 350 till 450 millimeter per månad under vintern men bara 25 till 125 millimeter per månad sommartid. Samtidigt är den maximala nederbördsintensiteten hela 8 till 9 millimeter per timme.

Havsnivån höjs med ungefär 8 decimeter mot idag.

6. Effekter på sektorer av klimatförändringen

Underlaget för att bedöma effekter på sektorer av de tre klimatscenarier vi valt inom Climatools är klent men det kommer att förbättras efter hand som programmet fortskrider. Redan nu kan man dock få en viss vägledning genom att studera hur man i länder med liknande klimat som Sverige bedömt effekter och sårbarheter i olika sektorer. Erfarenheter från Finland och Kanada redovisas nedan (Marttila m.fl., 2005; Lemmen och Warren, 2004) liksom vissa erfarenheter från Sverige. Dessa studier har enbart tagit hänsyn till globala klimatförändringar på mellan 1,4 till 5,8 grader och skattningarna bygger i huvudsak på IPCC:s arbete som publicerades 2001. I Climatools beaktar vi klimatscenarier som kan göra Sverige avsevärt varmare än så liksom även en utveckling som inte innebär en stor skillnad jämfört med idag.

Vattenresurser

I Kanada är vattenresurser en av de mest högprioriterade sektorerna för klimatanpassning. Vissa regioner kommer att bli torrare sommartid på grund av lägre avrinning från glaciärer (som försvunnit helt) och mindre nederbörd, medan översvämningsrisken på vintern ökar i och med att antalet dagar över nollstrecket blir fler. Totalt ökar nederbörden men de regionala skillnaderna är stora. Kvaliteten på vattnet påverkas och översvämningsriskerna kan öka. I de områden där permafrosten smälter kan vattenledningar gå sönder. I områden nära kusten kan man få saltvattenintrång i brunnar när havsytan stiger. I Finland påpekas att möjligheten att producera vattenkraft ökar och sommartorka blir inget stort problem. I övrigt är problembilden liknande den i Kanada. Även i Sverige kommer med stor sannolikhet utmaningarna att bli snarlika. I utredningen Översvämningshot – risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern (Regeringen, 2006), poängteras behovet av ökad avtappning från Mälaren och Vänern i ett klimat med högre och intensivare nederbörd. För Stockholms del kan klimatförändringen innebära att föroreningar som idag ligger bundna i marken kan lösas ut samt att vissa områden i staden kan komma att översvämmas vid kraftiga flöden (Ekelund 2007a,b).

Jordbruk

I Kanada får jordbruket både för- och nackdelar av klimatförändringen. Växtperiodens längd ökar men skador från insekter och andra patogener ökar också. Perioder av extrem hetta kan medföra problem för boskapsskötseln och växtproduktionen. Högre temperaturer under vintern ökar möjligheten för växter att överleva medan mindre snötäcke och snabba växlingar mellan tö och snö medför stress för växterna. Tillgång till vatten sommartid blir en av de stora utmaningarna för det kanadensiska jordbruket.

I Finland bedömer man att jordbruket får fördelar av klimatförändringen, som förlänger växtperioden och möjliggör odling av nya grödor som fruktträd och majs. Problem med skadedjur ökar, liksom problem med skador på grund av minskat snörtäcke men övervintringen underlättas och problemen med sommartorka och hetta blir överkomliga. I Sverige förändras förutsättningarna för jordbruk radikalt i två av de klimatscenarier som Climatools använder sig av. Redan med mindre radikala förändringar kommer tex. skördarna att öka med i genomsnitt 20 %. Storskalig odling av solrosor och vindruvor kan i dessa mer moderata scenarier bli möjlig (Naturvårdsverket, 2005).

Skogsbruk

Skogsbrukets produktivitet ökar genom den längre odlingssäsongen. I Kanada kan torka sommartid, och bränder i samband med dem, bli ett problem liksom skadeinsekter. I Kanada har man inte analyserat nettoeffekten för skogsbruket av förändringen.

Det har man däremot gjort i Finland där man bedömer att nettoeffekten blir positiv. Det är framförallt en ökad temperatur och en längre växtsäsong som bidrar till det. Förutsättningarna för skogsbruk i Sverige förändras kraftigt i två av Climatools klimatscenarier. Vintrar helt utan tjäle i marken förändrar möjligheterna till avverkning samtidigt som tillväxten ökar väsentligt. Redan i mer moderata scenarier bedöms produktionen i Sverige öka med 10-15 % då växtsäsongen förlängs (Naturvårdsverket, 2005). Arternas utbredning ändras också, granen konkurreras ut av lövträd vilket gynnar vissa idag hotade arter (Ekelund, 2007c).

Fiske

Fisket i Arktis kommer att påverkas av den minskning av istäcket som förutspås. Vatten blir mer tillgängligt och arter vandrar in söderifrån. Fisket i sötvatten berörs genom att vissa arter får bättre levnadsvillkor medan andra får sämre. Regnbågsforellen är en art som berörs positivt i Kanada. I Finland kommer troligen odling av fisk att försvåras sommartid med högre temperaturer. Liknande förhållanden kommer att gälla i framförallt södra Sverige där höga sommartemperaturer blir mycket vanligare. I Sverige har man identifierat västkusten som speciellt känslig när det gäller artsammansättningen framöver (Naturvårdsverket, 2005). I Mälaren kommer arter som gös, gädda, abborre och mört att gynnas då de trivs i varma vatten (Ekelund, 2007c).

Kustområden

I Kanada har man tagit hänsyn till att havsnivån kan stiga mellan 8 till 88 centimeter fram till 2100 och att nivån vid storm kan bli långt högre än så. Resultatet blir översvämning, erosion och degradering av kustnära våtmarker. Vissa bebyggda områden påverkas kraftigt. Ett mindre istäcke påverkar också kusterosionen. Sverige har mycket långa kuststräckor som alla berörs av en högre havsnivå och minskat istäcke vintertid. I delar av Sverige pågår dock en landhöjning som kompenserar höjningen av havsnivån helt eller delvis.

Biodiversitet

I Finland får flyttfåglar fördelar i ett mildare klimat liksom de fåglar som övervintrar. Negativa konsekvenser är att sjukdomar och skadeinsekter söderifrån kan orsaka skador på växt- djurpopulationen. Med de klimatscenarier vi föreslår i Climatools förändras förutsättningarna för vinterlevande djur radikalt, både till det bättre och sämre. I scenarier som innebär en mer moderat uppvärmning kan i Stockholm följden bli att kräftor blir mer stressade medan vissa musslor gynnas (Ekelund, 2007c).

Transporter och kommunikation

Ett mildare klimat ger lägre kostnader för vägunderhåll i de södra delarna av Kanada medan ökad nederbörd med större intensitet leder till ökad risk för ras och skred. I de områden som idag har permafrost leder det varmare klimatet till ökad instabilitet. Transportvägar på is, som idag fungerar bra vintertid, blir opålitliga framöver. I Finland är utmaningarna liknande men en kortare period med isbeläggning förenklar också kommunikationer. Även i Sverige ökar risken för skred och ras i vissa områden medan vägunderhållet vintertid sannolikt underlättas (SGI, 2004).

Byggnader och konstruktion

Behovet att uppvärmning minskar. Korrosion och fuktskador ökar liksom behovet av dränering. Behovet av kyla ökar sommartid. De sammanlagda effekterna på energianvändningen blir positiva, det vill säga mindre behov av energi. I Sverige får klimatförändringen konsekvenser för bärigheten i marken och risken för ras och skred ökar på vissa håll vilket kan innebära stora kostnader för förstärkning av bland annat älvdalar (SGI, 2004).

Hälsa

Klimatförändringen kommer att påverka hälsan negativt i Kanada när för- och nackdelar vägs samman. Värmeböljor, framförallt i städer, kommer att öka dödligheten medan dödligheten vintertid till följd av kyla minskar. Förekomsten av astma bland befolkningen förväntas öka på grund av högre ozonhalter, och partikelhalten i luften kan öka vid skogsbränder. Kvaliteten på dricksvattnet kan bli sämre vid störtregn

eftersom bräddning kan ske, och förekomsten av vektorburna sjukdomar ökar. Bilden i Finland är liknande men där har man inte avgjort vad nettoutfallet blir. Inte heller för Sverige är det lätt att säga vad nettoutfallet kan bli. Befolkningen är känslig för varmt väder och en anpassning tar tid men med ökad invandring söderifrån kan sårbarheten minska generellt. Fästingar kommer att vandra norrut och finnas i hela Sverige och förutsättningen för spridningen av andra vektorburna sjukdomar förändras kraftigt i vissa scenarier (Naturvårdsverket, 2005).

Turism och rekreation

Erfarenheter från Kanada och Finland visar att algblomningen ökar. Det kan påverka sommarturismen negativt medan däremot en längre sommarsäsong och en högre vattentemperaturer påverkar turismen positivt. Samma förhållande gäller i Sverige. Vinterturismen påverkas negativt i och med att snötillgången minskar. Samtidigt kan konkurrenskraften öka jämfört med Mellaneuropa där snötillgången blir ännu mer opålitlig. I Sverige förändras förutsättningarna för fjällturism radikalt då i stort sett hela landet bortsett från de allra högsta fjällmassiven hamnar under den potentiella trädgränsen även om de mer extrema klimatscenarierna undantas (Naturvårdsverket, 2005). Sammantaget ökar förutsättningarna för sommarturismen medan vinterturismen upphör helt i vissa av Climatools scenarier.

Sommarturismen i Europa kan förläggas längre norrut i framtiden

Referenser och lästips

Alley R.B., Marotzke J., Nordhaus W.D., Overpeck J.T., Peteet D.M., Pielke Jr. R.A., Pierrehumbert R.T., Rhines P.B., Stocker T.F., Talley L.D. och Wallace J.M., 2005: Abrupt Climate Change. Science 299, DOI 10.1126/science.1081056

Barnett D.N., S.J. Brown, J.M. Murphy, D.M.H. Sexton, och M.J. Webb, 2006: Quantifying uncertatinty in changes in extreme event frequency in response to doubled CO2 using a large ensemble of GCM simulations. Clim. Dyn., 26, 489–511.

Bindschadler R., 1998: Future of the West Antarctic Ice Sheet. Science, 282, 428–429, DOI: 10.1126/science.282.5388.428.

Boulanger J.P., F. Martinez, och E.C. Segura, 2006: Projection of future climate change conditions using IPCC simulations, neural neworks and Bayesian statistics. Part 1: Temperature mean state and seasonal cycle in South America., Clim. Dyn., 27, 233–259.

Christensen T.R., T. Johansson, H.J. Åkerman, M. Mastepanov, N. Malmer, T. Friborg, P. Crill, och B.H. Svensson, 2004,Geophys. Res. Lett. 31, L04501,

Cox P.M, R.A. Betts, M. Collins, P.P.Harris, C. Huntingford och C.D. Jones, 2004: Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. Theor. Appl. Cliatol. 78, 137–156.

Ekelund N, 2007a: Anpassning till ett förändrat klimat. Miljöförvaltningen, Stockholms stad

Ekelund N, 2007b: Effekter på markföroreningar av ett förändrat klimat. Miljöförvaltningen, Stockholms stad

Ekelund N, 2007c: Effekter på den biologiska mångfalden av ett förändrat klimat. Miljöförvaltningen, Stockholms stad

Giorgi F, och X. Bi, 2005: Regional changes in surface climate interannual variability for the 21st century from ensembles of global model simulations. Geophys. Res. Lett., 32, L13701.

Giorgi F etal, 2001: Emerging patterns of simulated regional climatic changes for the 21st century due to anthropogenic forcings. Geophys. Res. Lett., 28(17), 3317–3320

Hartmann D.L.,1994: Global Physical Climatology. Academic Press INC, San Diego.

Hulme M., R. Doherty, T. Ngara, M. New, D. Lister, 2001: African climate change:1900–2100. Clim.Res. 17(2), 145–168.

Kjellström E., L. Bärring, D. Jacob, E. Jones, G. Lenderink, och C. Schär, 2007: Modelling daily temperature extremes: recent climate and future changes over Europe, Climatic Change, DOI: 10.1007/s100584-006-9220-5.

Lal M. och H. Harasawa, 2001: Future climate change scenarios for Asia as inferred from selected coupled atmosphere-ocean global climate models. J. Meteorol. Soc. Jpn. 79(1), 219–227.

Lemmen S. och Warren F., 2004: Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective. Government of Canada, http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/index_e.php

Leung L.R., Y. Qian, X. Bian, W.M. Washington, J. Han, och J.O. Roads, 2004: Mid-century ensemble regional climate change scenarios for the western United States. Clim. Change62, 75–113.

Manabe S. och R.J. Stouffer, 1999: Are two modes of the thermohaline circulation stable? Tellus, 51A, 400–411.

Marttila V., H. Granholm, J. Laanikari, T. Yrjölä, A. Aalto, P. Heikinheimo, J. Honkatuki, H. Järvinen, J. Liski, R. Merivirta, M. Paunio (Eds), 2005: Finland's National Strategy for Adaptation to Climate Change. Minstry of Agriculture and Forestry. http://www.mmm.fi/attachments/5enfdAPe1/5kghLfz0d/Files/CurrentFile/MMMjulkaisu2005_1a.pdf.

Naturvårdsverket, 2005: Sårbarhetsanalys, klimateffekter och anpassningar. Särtryck av kap.6 ur underlaget till Sveriges fjärde nationalrapport om klimatförändringen Stockholm.

Naturvårdsverket, 2007: FN:s klimatpanel 2007: Klimateffekter, anpassning och sårbarhet. Sammanfattning för beslutsfattare. Rapport 5704, ISBN: 91-620-5704-9"

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

Rowell D.P., 2005: A scenario of European climate change for the late twenty-first century: seasonal means and interannual variability. Clim. Dyn, 25, 837–849.

Räisinen J, och R. Joelsson, 2001: Changes in average and extreme precipitation in two regional climate model experimetns. Tellus, 53A, 547–566.

Räisänen J, U. Hansson, A. Ullerstig, R. Döscher, L.P. Graham, C. Jones, H.E.M. Meier, P. Samuelsson, och U. Willén, 2004: European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. Clim. Dyn. 22(1), 13–31

Schwarz P, and D. Randall, 2003 : An Abrupt Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security, Prepared by the Global Business Network for the Department of Defence.

Schär C, P. L. Vidale, D. Lüthi, C. Frei, C. Häberli, M.A. Liniger , och C. Appenzeller, 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature, 427, 332–336.

SIG, Statens Geotekniska Institut, 2006: På säker grund för hållbar utveckling. Förslag till handlingsplan för att förutse och förebygga naturolyckor i Sverige vid ett förändrat klimat, Linköping.

SPM4, 2007: FN:s klimatpanel 2007: Den naturvetenskapliga grunden. Sammanfattning för beslutsfattare. Bidraget från arbetsgrupp I (WGI) till den fjärde utvärderingsrapporten från Intergovernmental Panel on Climate Change. Naturvårdsverket, Rapport 5677, ISBN 91-620-5677-8, ISSN 0282-7298.

Stouffer etal, 2006: Investigating the causes of the response of the thermohaline circulation to past and future climate changes. J. Clim, 19(8), 1365–1387.

Stouffer, R.J. och S. Manabe, 2003: Equilibrium response of thermohaline circulation to large changes in atmospheric CO2 concentration. Climate Dynamics (2003), 20: 759–773.

Tebaldi C., K. Hayhoe, J.M. Arblaster, och G.A. Meehl, 2006: Going to the extremes an intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. Climatic Change, 79, 185–211.

Vidale P.L., D. Lüthi, R. Wegmann och C.Schär, 2007: European summer climate variability in a heterogeneous multi-model ensemble. Climatic Change, DOI:10.1007/s10584-006-9218-z.

Wickland K.P, R.G. Striegl, J.C. Neff, och T. Sachs, 2006: Effects of permafrost melting on CO2 and CH4 exchange of a poorly drained black spruce lowland. J. Geophys. Res., 111, G02011.

Ångström A. 1958: Sveriges Klimat. Generalstabens litografiska anstalts förlag, Stockholm.