

5 Sårbarhetsanalys, klimateffekter och anpassning till klimatförändringar

5.1 Förväntade effekter av klimatförändringar

I den internationella klimatpanelens tredje utvärdering av klimatförändringar dras slutsatsen att det nu finns ett allt starkare stöd för att människan påverkar jordens klimatsystem¹. Jordens medeltemperatur har ökat med ca 0,6 grader C under de senaste hundra åren och i Europa har medeltemperaturen ökat med ca 0,8 grader C under samma tid. Den senaste tioårsperioden har varit den varmaste som hittills registrerats i Europa². I Sverige har både temperaturen och nederbörden ökat under de senaste 140 åren. Sett mer i detalj har det dock förekommit både upp- och nedgångar. För temperaturen är uppgången tydligast under våren. För ökningen i nederbörden bidrar alla årstider utom sommaren, som inte visar någon klar trend. När det gäller extrema väderhändelser, som köld, hetta, stor dygnsnederbörd, stormar, kan man möjligen se en tendens till fler värmerekord och färre köldrekord under de senaste decennierna, medan det i övrigt är svårt att se några varaktiga förändringar³.

De globala scenarierna för ekonomisk, teknologisk och social utveckling och de därmed följande utsläppen av växthusgaser samt förändrad markanvändning har varit utgångspunkten för klimatpanelens bedömningar av ett framtida förändrat klimat och dess effekter på samhälle och miljö. Med hänsyn tagen till olika klimatmodellens känslighet för förändrade halter växthusgaser bedömer klimatpanelen att den globala medeltemperaturen fram till år 2100 kan öka med ytterligare mellan 1,4 till 5,8 grader C.

De globala scenarierna för klimatförändringar visar också stora framtida effekter på den hydrologiska cykeln, som väntas bli intensivare. De regionala och lokala effekterna på klimatet kan dock avvika väsentligt från de globala medelvärdena. I en del regioner kan risken för översvämningar öka, på andra ställen ökar risken för torka. Det kan inte heller uteslutas att det kan ske överraskningar eller plötsliga förändringar i de globala eller regionala klimatsystemen. En försvagning av Golfströmmen, vilket antyds av flera modellberäkningar i ett hundraårsperspektiv, skulle få mycket allvarliga effekter på klimatet i norra Europa och påverka alla areella näringar på ett avgörande sätt⁴. En utvärdering av ett lands sårbarhet för klimatförändringar måste också göras i relation till den för-

väntade övriga utvecklingen av naturmiljö och samhälle och med beaktande av osäkerheter.

Sårbarhet är enligt FN:s klimatpanel "den omfattning ett naturligt eller samhällsligt system kan lida skada förorsakade av klimatförändringar". Sårbarheten beror på systemets känslighet och förmåga till anpassning. Sårbarhetsanalyser ska belysa vilken skada som kan ske i en framtid. I denna framtid kan såväl de sociala, ekonomiska, kulturella, miljömässiga och andra förhållanden ha ändrats. Tidsperspektivet för sårbarhetsanalysen kan förstås variera – ju längre fram vi blickar, desto osäkrare blir bedömningen.

I Sveriges andra nationalrapport till klimatkonventionen redovisades effekter och sårbarhet för klimatförändringar. Dessa bedömningar baserades på de första bedömningarna av beräknade klimateffekter i Sverige och fokuserades på effekter på tekniska system, korrosion, hydrologiska system, geotekniska system och energisystemet. Till stor del var dessa bedömningar av mer övergripande karaktär och har i den tredje nationalrapporten utvecklats att omfatta fler områden och ge en mer detaljerad bedömning.

Utgångspunkten för sårbarhetsanalysen för klimatförändringar utgår ifrån SWECLIM:s klimatscenarier, som utvecklats av Rosbycentret vid SMHI. Vid analysen har också viss hänsyn tagits till viktiga långsiktiga förändringar i naturmiljön, som försurning och eutrofiering av mark och vatten samt vissa samhällsberoende faktorer som befolkningsutvecklingen. Många bedömningar av Sveriges sårbarhet för klimatförändringar blir därför mer kvalitativa och beskrivande än rent kvantitativa.

5.1.1 Underlag för sårbarhetsanalyser – klimatscenarier från SWECLIM

Analysen av samhällets, eller de naturliga ekosystemens sårbarhet för klimatförändringar är en förutsättning för effektiva, åtgärder för utsläppskontroll och planering för anpassning. En tillräckligt god beskrivning av fram-

¹ Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001.

² Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project. 2000

³ Effekter och sårbarheter av klimatförändringar i Sverige. Naturvårdsverket rapport 5171, 2001

⁴ Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001.

tida klimatförhållanden behövs som underlag. Globala klimatsimuleringar som t.ex. sammanfattats av FN:s klimatpanel (IPCC) ligger till grund för det svenska framtagandet av regionala klimatscenarier för det nordiska området och Sverige. Detta arbete utförs sedan år 1997 inom SWECLIM-programmet i vilket Rossby Centre vid SMHI har utvecklat ett avancerat regionalt klimatmodellsystem (se även kapitel 7). Systemet har använts för att i detalj studera hur den globala klimatutvecklingen såsom den beräknas i globala klimatmodeller kan påverka det regionala klimatet i Norden. En viktig fördel med regionala beräkningar är att en betydligt högre upplösning kan tillämpas i beräkningarna och att regionala särdrag, såsom Östersjön, älvsystem, insjösystem och fjällkedjan kan beskrivas mer realistiskt. De regionala särdragen påverkar det simulerade klimatet och kan ge upphov till lokalt viktiga återkopplingar till en allmän klimatutveckling. Den regionala simuleringen omfattar bara en mindre del av jorden och måste därmed drivas med den storskaliga klimatutvecklingen som beräknas i globala klimatmodeller. Samma teknik används rutinmässigt i regionala väderprognoser, t.ex. av nationella vädertjänster.

Klimatpanelens senaste utvärdering visar att då hela spännvidden av utsläppsscenarierna undersöks i ett antal klimatmodeller, beräknas jordens medeltemperatur stiga med 1,4-5,8 grader C mellan åren 1990 och 2100. I den tidigare utvärderingen från år 1995 var detta intervall 1-3,5 grader C. SWECLIM har utgått från två globala klimatscenarier, det ena från Hadley Centre vid UK Meteorological Office i Bracknell, Storbritannien och det andra från Max-Planck-Institut für Meteorologie

i Hamburg, Tyskland. Klimatmodellarbetet vid dessa två centra är avancerat. Det till SWECLIM importerade scenariounderlaget är två

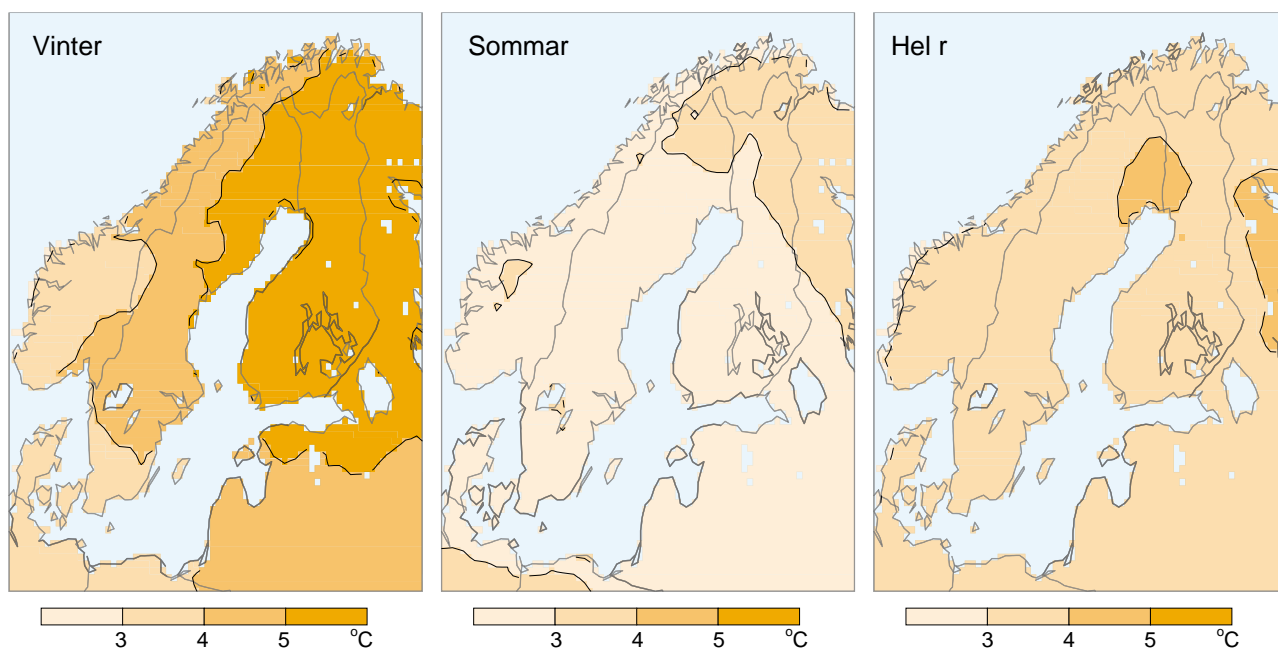
10-åriga perioder från bägge centra. I båda fallen används en av de två perioderna som referenskörning, som motsvarar "ingen klimatförändring" eller dagens klimatförhållanden. Den andra perioden motsvarar en viss framtida klimatutveckling. Scenariounderlaget till SWECLIM består av en ökning i atmosfärens halt av växthusgaser (i ekvivalenta mängder koldioxid) med 100-150 % och en höjning av jordens medeltemperatur med 2,6 grader C. Enligt klimatpanelens senaste sammanfattning kan en sådan ökning inträffa om 50 till 150 år. Tidsbestämningen i SWECLIM:s scenarier kan därmed förenklas till "om 100 år". På den tidskalan framträder de regionala scenarier inte som några extrema antaganden utan snarare representativa för ett centralt resultat från de olika utsläppsscenarierna och klimatmodellernas uppskattningar av klimatets känslighet.

Summering av viktiga resultat – temperatur och växtsäsong

Klimatet i Norden bedöms vara känsligare för utsläpp än det globala klimatet i genomsnitt. Även om de flesta landområden beräknas värmas upp mer än havsområden, finns det en extra förstärkning i Nordeuropa genom återkopplingar i albedo⁵ via uppvärmningens effekt på vintertida snötäcke och havsis. Området präglas dessutom av osäkerheten i den framtida ut-

⁵ Albedo (latin), den andel av inkommande strålning som reflekteras av en yta, här jordytan.

Figur 5.1 Ökning av medeltemperatur i SWECLIM:s regionala klimatscenarier, "om 100 år". Inom området är uppvärmningen något större mot norr och öst än vid Atlantkusten i väst och i söder



Källa: SWECLIM/SMHI

vecklingen av den termohalina havscirkulationen i Atlanten och av stormbanornas och de atmosfäriska cirkulationsmönstrens möjliga lägesändringar. Dessutom antas att utsläppen av svavel, som ger luftburna svavelhaltiga partiklar med en avkylande effekt, minska ytterligare i framtiden.

I de regionala scenarierna förändras årsmedeltemperaturen i Sverige med ca 4 grader C. Detta är över 40 % mer än den globala medelförändringen i underlaget. Förändringen i vintertemperaturer beräknas bli något större, 4–5 grader C. Förändringen i sommartemperaturer beräknas bli något lägre, 2–3 grader C (se figur 5.1).

Temperaturförändringar påverkar olika klimatvariabler och klimatprocesser. Avdunstningen påverkas t.ex. av temperaturen. Det säsongsvisa snöklimatet och havsisen påverkas också av temperaturen. En central parameter för konsekvensanalyser är vegetationsperiodens längd. Denna beräknas förlängas med 1–2 månader i Sverige i de regionala scenarierna vilket t.ex. skulle påverka skogarna och jordbruket.

En första analys har även gjorts av temperaturextremer, även om 10-åriga simuleringar för dagens klimat och "om 100 år" är alltför korta för representativa analyser av dessa. Resultaten visar dock att medan årets högsta temperaturer höjs ungefär lika mycket som sommarens medelförändring (2–3 grader C), blir det en avsevärt större mildring av årets lägsta temperaturer jämfört med vinterns medelförändring (se figur 5.2).

Nederbörd och avdunstning

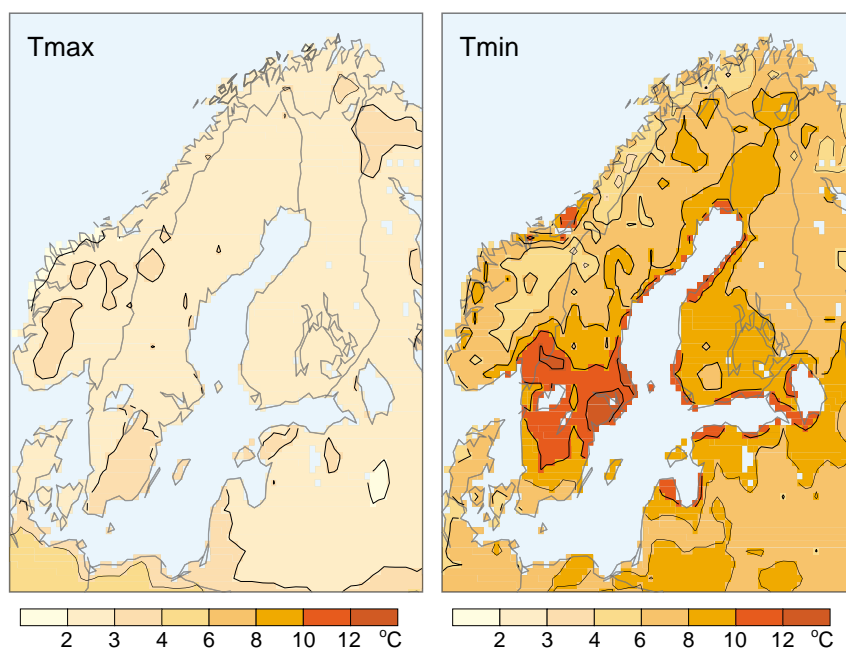
Beträffande framtida nederbörd och avdunstning visar de beräknade regionala klimatscenerierna betydande variationer i förändringarna inom regionen. I figur 5.3

visas resultat för årsmedelnederbörden (P) och nettot av nederbörd och avdunstning (P-E). Det sistnämnda är ett approximativt mått för tillgängligt vatten för grundvattenbildning, markfuktighet och avrinning i vattendragen. Ökningarna i både nederbörd (P) och nettot nederbörd – avdunstning (P-E) är som störst längs Atlantkusten och i norra Skandinavien. I sydöstra Sverige ses däremot en svag minskning. På årsbasis är nederbördsförändringar över 10 % signifikanta jämfört med modellerad naturlig variabilitet. Signifikanta förändringar förekommer i väst och i norr. Nederbörd – avdunstning (P-E) reagerar dessutom med större relativa ökning i norr och minskning i sydost. I norr ökar nederbörden mer än avdunstningen, medan det motsatta händer i sydost. Då analysen görs för olika årstider visar det sig att den nordliga ökningen i nederbörd (P) och i nettot (P-E) blir betydligt större under hösten. Däremot är antydningen av torrare förhållanden tydligare och mer utbredd i Sydsverige under sommaren.

Liksom för temperaturen har förändringar i vissa extremer analyserats i de regionala scenarierna. Kraftig nederbörd, t.ex. den genomsnittliga högsta årliga dygnsmedelnederbörden, förväntas öka i regionen både i områden där medelnederbörden ökar och där medelnederbörden minskar.

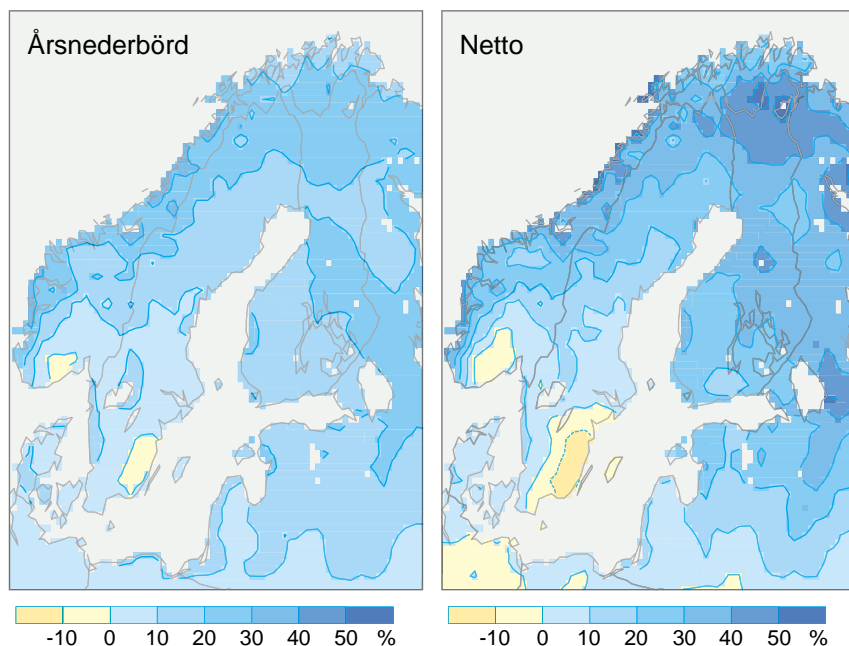
Vind

De regionala klimatscenerierna tyder på måttliga förändringar i marknära vindar. En viss ökning sker i kusttrakter, ute till havs och på de stora insjöarna, där istäcket i genomsnitt minskar. De lokaliserade ökningarna rör sig om några procent upp till 10–15 % som mest. Under sommaren är de beräknade vindför-



Figur 5.2
Beräknade genomsnittsförändringar i årets högsta temperatur (Tmax) och lägsta temperatur (Tmin)

Källa: SWECLIM/SMHI



Figur 5.3
Beräknade regionala scenarieförändringar i årsmedelnederbörd (P) och i nettot (P-E) av nederbörd och avdunstning.

Källa: SWECLIM/SMHI

ändringarna små. I fjällområdena finns det tecken till måttliga ökningarna av medelvinden under hösten. De hittills genomförda, relativt korta regionala klimatsimuleringarna ger dock endast underlag till begränsade slutsatser om förändringar i vindklimat. Möjliga förändringar i extrema vindförhållanden, t.ex. stormar, har ännu inte studerats.

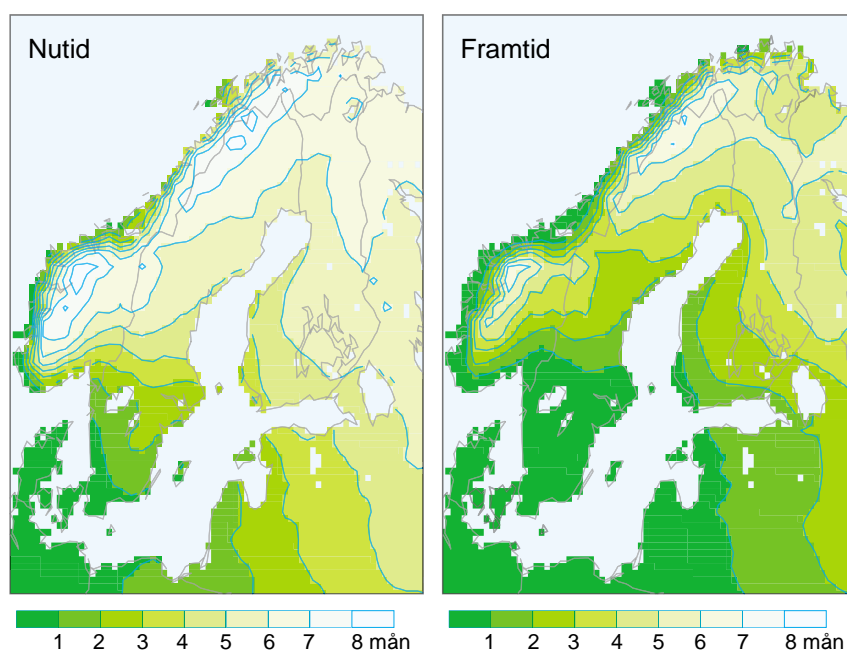
Snö

Den högre temperaturen gör att snötäcket blir mindre omfattande, trots nederbördsökningar inom stora områden. Både snösäsongen och det maximala snödjupet

minskar i hela Sverige i SWECLIM:s scenarier (se figur 5.4). Hur tjäldjupet kommer att reagera är en mer komplicerad fråga. På snöfria ytor, t.ex. vägar, minskar tjäldjupet av den högre temperaturen. På snötäckta ytor kan en minskning i snötäcket motverka effekten eftersom marken under snön kommer att vara mindre väl isolerad från atmosfären. På snötäckta ytor kan tjäldjupet därmed öka, trots högre vintertemperaturer.

Vattenresurser

SWECLIM har även översatt de beräknade regionala klimatscenerierna till scenarier för vattenresurser, med



Figur 5.4
Den scenarieberäknade genomsnittliga snötäckta perioden under året i regionen. Nutidssimuleringen (till vänster) motsvarar typiska förhållanden under den senaste klimatnormalen 1961–1990. Till höger visas resultat från de regionala framtidsscenerierna.

Källa: SWECLIM/SMHI

hjälp av separat hydrologisk modellering. Vattenresurs-scenarier har beräknats både för olika delar av Sverige och för hela Östersjöns tillrinningsområde. I stort följer de beräknade vattenföringsförändringarna förändringarna i nederbörd – avdunstning (P-E): ökad vattenföring i norr men ingen entydig förändring eller minskningar i söder. En viktig slutsats hittills är att den i dag karakteristiska vårfloden blir mer oregelbunden och mindre kraftig i genomsnitt. Detta som ett resultat av att snöperioden och snötäckets djup förväntas minska p.g.a. uppvärmningen. Samtidigt förväntas vattenföringen öka under vintern, men också under hösten p.g.a. nederbördsökningarna. Detta leder till att översvämningensriskerna minskar under våren men ökar under sensommaren och hösten, speciellt i norr. I landets mellersta delar, i övergångszonen mellan ökningarna i norr och minskningstendenserna i söder, anses scenarierna vara mest osäkra.

Tillrinningen till Östersjön påverkas också. Scenarierna tyder på att mängden färskvatten till Östersjön ökar i norr men påverkas mindre, eller kan minska i söder. Årsrytmen blir mer utjämnad även här.

Östersjön

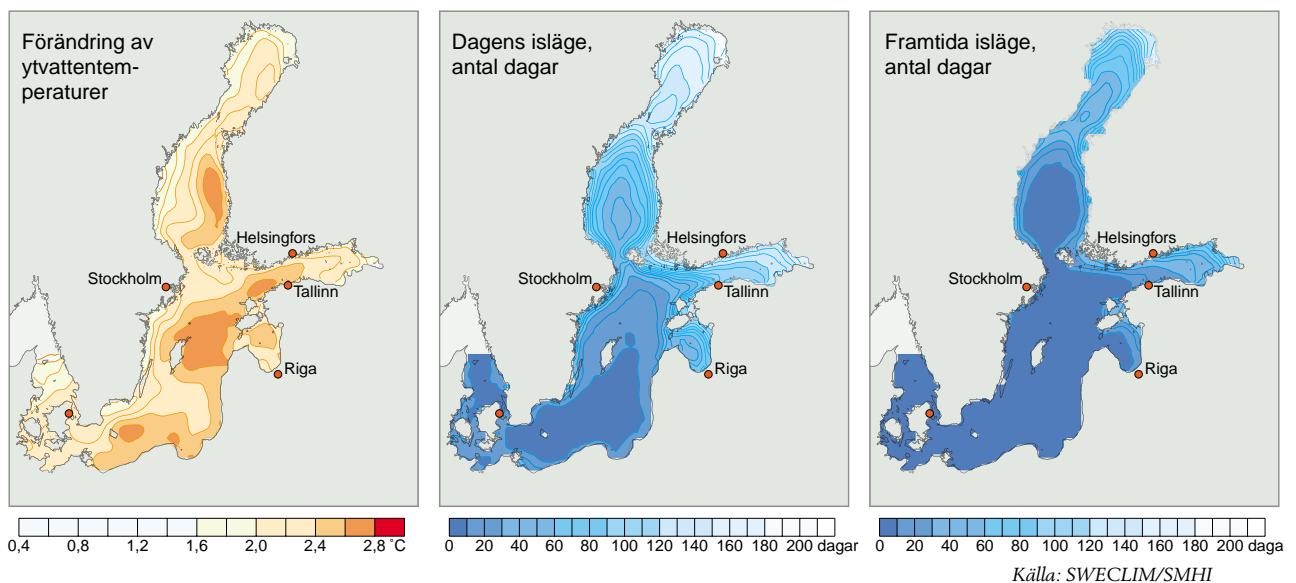
SWECLIM:s regionala klimatmodelleringssystem inkluderar även modeller för det regionala havet, Östersjön, vilket är för litet för att kunna representeras realistiskt i dagens globala klimatmodeller. Den regionala uppvärmningen påverkar förstås även Östersjön. Havets övre skikt värms upp ner till haloklinen (språngskiktet i salthalt). Av de senaste scenarieberäkningarna framgår att uppvärmningen är störst i norr sommartid

men i söder vintertid och på våren. Enligt beräkningarna kommer inte haloklinens eller termoklinens (språngskikt i temperatur) djup att förändras avsevärt. Förutom temperaturförändringar kan vindens inverkan på omblandning och saltvatteninträngens inverkan på Östersjöns salthalt bidra till förändringar av skiktningen. På årsbasis värms havsytan upp som mest med knappt 3 grader C medan under olika årstider lokala förändringar inträffar med upp till 4 grader C eller något mer. Cirkulationseffekter (s.k. upwelling och downwelling) gör att stora variationer i vattenuppvärmningen inträffar mellan olika delar av Östersjön. Den regionala uppvärmningen medför en kraftig lindring av vintertida genomsnittliga isförhållanden i Östersjön (se figur 5.5). I framtidsscenarioer finns is under ett normalår bara i delar av Bottenviken och djupt in i Finska viken.

Den ökande nederbörden i stora delar av Östersjöns tillrinningsområde leder till mer färskvatten som påverkar Östersjön. Samtidigt kan tillrinningen minska något från sydliga tillrinningsområden. Mer färskvatten kan orsaka en utspädningseffekt av Östersjöns salthalt. Dock är den avgörande faktorn i salthaltens framtida utveckling hur frekvensen och storleken av saltvattenintrång från Nordsjön blir. Dessa utbyten drivs från atmosfären och kan kanske påverkas även av tillrinningen. Förändringar i strömmarna är möjliga men detta har hittills inte studerats i de regionala scenarierna.

Ett globalt varmare hav leder till ett högre vattensstånd i världshavet genom vattnets utvidgning vid uppvärmning. Dessutom kommer avsmältningen av kontinental glaciärer utanför Antarktis att bidra till havsnivåhöjningarna. Globalt har effekterna uppskat-

Figur 5.5 Den beräknade regionala scenarieförändringen av Östersjöns ytvattentemperaturer, på årsbasis (till vänster). Antalet dagar i medeltal med is i en regional Östersjösimulering. Dagens förhållanden (mitten) och framtidsscenarioet "om 100 år" (till höger) visas.



tats resultera i ett högre vattenstånd med 9–88 cm i genomsnitt år 2100 jämfört med år 1990. Även efter en eventuell stabilisering av jordens medeltemperatur, om än på en högre nivå, tros havsnivåhöjningen fortsätta länge p.g.a. världshavets enorma tröghet. Uppskattningarna av regionala förändringar i havsnivån beräknade i globala modeller är mer osäkra; det kan röra sig om obefintliga förändringar eller det dubbla mot förändringen i genomsnitt. T.ex. ger globala simuleringar olika budskap för vattenståndet i Nordsjön. I en studie inom SWECLIM har det dock visats att Östersjöns vattenstånd kan komma att nära följa utvecklingen i Nordsjöområdet. En viss höjning av havsnivån där skulle alltså betyda en jämförbar förändring i Östersjön.

SWECLIM:s regionala klimatscenarier ger underlag för sårbarhetsanalyser, och de används för att regionalt beskriva klimatförändringarnas framtida påverkan. I tillägg till scenarier för medelförändringar är det viktigt att ta fram bättre underlag då det gäller möjliga förändringar i variabilitet och extremer. En ytterligare kvantifiering av osäkerheten i scenarier är också viktigt för att resultaten skall kunna tillämpas i samhällsplaneringen.

5.1.2 Andra faktorer som inverkar på sårbarhet för klimatförändringar

I naturmiljön förändras ekosystem som en följd av fysiska faktorer, t.ex. markanvändning, och av kemiska faktorer, t.ex. nedfall av försurande och eutrofierande ämnen. Det finns också en inneboende dynamik i ekosystemen, som arters successionsföljder, vilket kan ha betydelse för naturmiljöns känslighet och sårbarhet. I samhället sker också en utveckling som beror på den egna nationella politiken, men även på skeenden i omvärlden. För små länder med öppen ekonomi som Sverige finns en stark påverkan genom skeenden i vår omvärld genom gemensam handel och ekonomi. Av särskild betydelse för det svenska samhällets sårbarhet är Sveriges medlemskap i Europeiska Unionen. Bedömningar av sårbarheten vid klimatförändringar blir därför kritiskt beroende av hur dessa andra faktorer kan tänkas utvecklas parallellt med klimatet.

Förändringar i naturmiljön

Nedfallet av försurande ämnen har sänkt pH-värdet i sjöar och vattendrag och givit allvarliga skador, som förlust av djur- och växtarter. Närmare 17 000 av Sveriges totalt 95 000 sjöar har blivit påverkade av det försurande nedfallet. I många av de försurade sjöarna har pH-värdet fallit med en enhet. För att motverka de negativa effekterna har därför ca 10 000 sjöar kalkats i Sverige.

Nedfallet på skogen har också sänkt pH-värdet i våra skogsmarker, vilket ökar riskerna för frisättning

av metaller, bl.a. aluminium, som har negativa effekter på biota. Men nedfallet av försurande ämnen har också påverkat näringsbalansen i marken. Viktiga baskatjoner som kalium- och magnesiumjoner har läckt ut ur skogsmarken. En del svaga marker i sydvästra Sverige har nästan tömts på sina förråd av tillgängliga baskatjoner, vilket har gett skador på ekosystemet. Även skogsbruket påverkar markens förråd av baskatjoner och andra näringsämnen.

Nedfallet av försurande ämnen har minskat i stora delar av Sverige som en följd av de minskade utsläppen i Sverige och i Europa som helhet. Nedfallet har dock ännu inte minskat till den nivå som inte skadar ekosystemen, den s.k. kritiska belastningen för försurande ämnen. Återhämtningsförloppen i marken är mycket långsamma och de styr i stor utsträckning även försurningsförloppen i sjöar och vattendrag. Försurningen kommer därför att kvarstå under mycket lång tid; endast de minst försurningskänsliga områdena kommer att återhämta sig på tidsskalan 50 till 100 år.

Tillförseln av gödande ämnen som kväve och fosfor till sjöar, vattendrag, havet och marken ger stora effekter på ekosystemen. De nordliga ekosystemen är ofta tillväxtbegränsade p.g.a. bristen på näringsämnen – den högre tillgängligheten av näringsämnen leder därför till en kraftig biomassetillväxt. Sjöar, vattendrag och kustnära områden växer igen och får en kraftigt förändrad flora och fauna. I många fall leder den ökade tillförseln av organiskt material till syrebrist i botten på sjöar och hav, särskilt Östersjön. Den främsta orsaken till de alltför höga nivåerna av näringsämnen i sjöar, vattendrag och andra vatten är det diffusa läckaget från jordbruket och tillförseln med avloppsvatten. I viss utsträckning har åtgärder satts in för att minska dessa utsläpp. Men de upplagrade mängderna näringsämnen i sjö- och havssediment är tillräckliga för att upprätthålla en hög nivå för näringsämnen i vattnet under lång tid fram över, i de flesta fall under många decennier och i vissa fall några sekel.

För mark, som skogsmark och annan mark som inte gödslas, är nedfallet från atmosfären en viktig källa för kväve. De tillförda näringsämnena bidrar till ökad biomassetillväxt i skog och mark, men vid kvävemättnad läcker en andel ut till sjöar och vattendrag och till slut till de omgivande kustområdena i havet. Effekterna av denna tillförsel av näringsämnen kan bli kvar i flera decennier efter det att tillförseln upphört.

Förändringar i samhället

Samhällets känslighet och sårbarhet vid klimatförändringar beror till mycket stor del på samhällsutvecklingen. Den ekonomiska välfärden i ett land som Sverige styrs av såväl yttre som inre faktorer. En viktig inre faktor är befolkningsutvecklingen som styr delar av

den ekonomiska och sociala utvecklingen, t.ex. bostadsbyggande, utbildningsbehov, sjukvård och familjebildning. I Sverige bedöms den nuvarande trenden med minskande barn- och ungdomsgrupper och ökande äldregrupper fortsätta under minst 25 år till. Dessa befolkningsförändringar leder enligt nationalekonomisk teori till minskat sparande, hög inflation och låg tillväxt. Miljö- och klimatfrågor kan då få lägre prioritet p.g.a. resursknapphet. Följaktligen kan den framtida befolkningsutvecklingen inverka på sårbarheten vid klimatförändringar liksom på möjligheterna att genomföra åtgärder, som att minska utsläppen av växthusgaser och anpassa olika samhällssektorer till klimatförändringar.

Kriser och konflikter kan uppstå inom länder eller mellan länder, där resursknapphet av livsmedel eller någon annan vital resurs, t.ex. förorsakad av ett förändrat klimat, kan vara en faktor bland flera. Resursknappheten kan bli en förstärkande faktor i en redan uppkommen krissituation, t.ex. förorsakad av migration och minskad ekonomisk utveckling.

För närvarande sker en ökad globalisering av handel, ekonomi och transporter. Det är därför troligt att kriser och konflikter i vår omvärld på ett avgörande sätt kan påverka det svenska samhället. Detta visar på behovet av att ha en global syn på risk och säkerhet som integrerar aspekter av socialt, ekonomiskt och ekologiskt hållbar utveckling.

5.2 Sårbarhetsanalys

Nuvarande klimat och väder kan ge stora effekter i svensk naturmiljö och samhällets olika delar, särskilt på tekniska system. Särskilt svåra påfrestningar och skador uppstår vid starka stormar – ofta i komplexa kombinationer av olika effekter, t.ex. storm och högt vattenstånd. Sårbarhetsanalysen för de olika sektorerna har utgått från vilka nuvarande väderhändelser som kan ge allvarliga negativa effekter på naturmiljö och samhälle och denna kunskap har sedan kombinerats med klimatscenarier och andra samhälls- och miljöfaktorer. En sådan analys visar att relativt sällsynta och extrema väderhändelser som extrema vindar och översvämningar har störst betydelse för sårbarheten. Det finns dock en sårbarhet som beror på långsamma och långsiktiga förändringar i medelvärdena, t.ex. årsmedeltemperatur och årsnederbörd, och också sådana faktorer har tagits med i analysen.

Det finns en betydande osäkerhet i såväl scenarierna som i sårbarhetsanalysen, dels beroende på att det fortfarande saknas grundläggande kunskap om effekterna av ett förändrat klimat i samhället och ekosystemen, dels på att plötsliga och snabba förändringar eller överraskningar i framtida klimat, naturmiljö och samhälle inte kan uteslutas.

5.2.1 Vattenresurser

Sverige har generellt sett god tillgång till vattenresurser, både i mängd och i kvalitet. I vissa regioner i södra Sverige samt på Öland och Gotland kan vattenresursen vara otillräcklig i mängd eller inte ha tillräckligt god kvalitet under torrår. En mycket stor andel av dricksvattnet tas från ytvattentäkter, dvs. sjöar och vattendrag.

Förändrat klimat med ökad nederbörd och temperatur enligt SWECLIM:s scenarier ger högre vattenföring i landets norra delar, medan det i södra Sverige i vissa fall leder till mindre vattenföring och i andra fall till lägre. Allmänt påverkas också den säsongsvisa fördelningen, med mer vattenföring under vintern och en tidigare men mindre kraftig vårflod i förhållande till nuläget. Jämfört med dagens klimat kan vattenföringen bli mer extrem under hösten, speciellt i norra och mellersta Sverige, med ökad risk för översvämningar. Den högre vattenföringen under denna period ger också ökad utlakning av näringsämnen, som lättlösligt nitrat- och ammoniumkväve.

Ett vidare perspektiv på frågan om klimat och vattenresurser får man om hela Östersjöns tillrinningsområde studeras. Det omfattar ca 1,7 miljoner km² och berör 14 nationer. En studie⁶ visar hur tillrinningen till Östersjöns olika delbassänger kan komma att ändras "om 100 år" enligt SWECLIM:s klimatscenarier. Förändringarna innebär en kraftigt ändrad årsrytm i flödena och ökad tillrinning från områdets norra delar. Detta kommer naturligtvis att kunna få stor betydelse för Östersjöns salthalt, näringstillskott och därmed också för ekosystemets utveckling.

Den förändrade vattenföringen i reglerade vattendrag har också stor betydelse för elproduktionen i landet så att förutsättningar skulle kunna finnas för en ökad och jämnare produktion. Begränsningar i vattenstånd i magasin och vattenflöden enligt nu gällande och framtida vattendomar, som syftar till att minska risker och säkerställa andra värden, kan dock påverka potentialen för ökad vattenkraft. Den ökade vattenföringen i våra reglerade vattendrag kan leda till en ökad risk för dammbrott eftersom dessa dimensionerats efter dagens klimat.

Ökad temperatur i våra sjöar kan ha stora effekter på kvaliteten för dricksvatten, både smak, lukt och färg. Det finns en ökad risk för smittämnes- och giftspridning om översvämningar uppströms för ut föroreningar i sjöar och vattendrag som används som dricksvattentäkt. Infrastrukturen för vattenförsörjningen har mycket lång livslängd och är känslig för ett förändrat klimat: en långsiktig strategi för minskad sårbarhet måste därför säkra alternativa vattentäkter, särskilt grundvattenmagasin. Södra och sydöstra delen av landet är här särskilt känsliga.

⁶ Rummukainen, M., et al., 2000.

De högre vattenflödena i vattendragen och högre nivåer i sjöar och vattendrag påverkar strändernas fysik och ekologi. Reglering av flöden och vattennivåer kan till del motverka de negativa effekterna av högt flöde och höga nivåer.

För vattenresurserna finns sammantaget en viss sårbarhet för klimatförändringar, särskilt i södra Sverige där vattenbrist kan uppstå under torrår. Sårbarheten kan också öka för våra kraftverksdammar och andra dammar.

5.2.2 Mark och land

Klimatförändringar, med förändrade temperaturer och hydrologi påverkar både biologiska, kemiska och fysikaliska processer i mark. Flera nyckelprocesser för ekosystemens grundläggande funktioner är beroende av sådana markprocesser. Viktiga nyckelprocesser är t.ex. mineralisering av organiskt material som frisätter viktiga näringsämnen och förändrar markens struktur, vittring av mineral som frisätter spårämnen, bl.a. kalcium, magnesium och kalium, men även utlakning av lösliga ämnen. De grundläggande funktionerna utgör också grunden för ett uthålligt jord- och skogsbruk. En ökad mängd vatten i marken kan öka jordbruksmarkens känslighet för markbearbetning, t.ex. vid plöjning under hösten, vilket kan förändra de grundläggande funktionerna i jordbruksmarken. I skogsmark kan ökad avrinning skynda på urlakningen av viktiga mineraler och därmed ge ökad bildning av podsol (blekjord).

Mark och land kan också påverkas av en utökad tillförsel av havssalt om klimatet blir mer maritimt. Dessa effekter bedöms vara betydelsefulla i kustnära områden.

Högre temperatur i marken ger snabbare nedbrytning av de organiska ämnen som kommer från nedfallande förna, men samtidigt ger ökad temperatur och nederbörd i många fall en ökad biomasseproduktion i många ekosystem. Balansen mellan dessa två processer, nedbrytning och tillförsel av organiskt material, leder till förskjutningar i den totala mängden organiskt kol i marken. I många boreala, subarktiska och alpina ekosystem är temperaturen en begränsande faktor för nedbrytning av organiska ämnen och mineralisering. Även tillväxten kan i sådana ekosystem vara begränsad av klimatfaktorer. Ett förändrat klimat bedöms ge en snabbare omsättningstakt av organiskt material, men det är oklart om den totala effekten ger nettouppbyggnad eller nettonedbrytning av organiskt material. De klimatscenarier som beräknats enligt SWECLIM kan ge en stor nettoeffekt i svensk skogsmark. Beräkningar tyder på att närmare 14 Mton koldioxid årligen skulle kunna lagras in i skogsmarken "om 100 år".

Tillförseln av vatten och hydrologin har också en stor betydelse för markens hållfasthet och stabilitet.

En höjd grundvattennivå och ökad utströmning till sjöar och vattendrag och ökad vattenföring i vattendrag kan ge ökad risk för jordskred och markflytning. I flera älvdalar, bl.a. vid Klarälven och Göta Älv finns markskikt med lera, s.k. kvicklera, som vid vattenmättnad och mekanisk rörelse ger omfattande jordskred.

Sverige har sedan den senaste istiden haft en kraftig landhöjning. Denna landhöjning fortgår i norra och mellersta Sverige, medan det i de sydligaste delarna sker en viss landsänkning. En eventuell regional höjning av havets medelnivå skulle därför ge en viss förlust av land. Särskilt sårbar är Sveriges sydligaste kust där kombination av vågrörelser, starka strömmar och en höjning av havsnivån snabbt kan leda till ökad kusterosion eftersom marken ofta består av lätttrögligt material som sand. Redan idag sker här en landförlust och åtgärder har satts in för att förhindra ytterligare landförluster. En höjning av havets medelnivå ökar också riskerna för att sydliga våtmarker i nära anslutning till havet svämmas över av salthaltigt vatten.

För mark och land finns sammantaget en stor potentiell sårbarhet för klimatförändringar, dels beroende på att kunskaperna om effekterna är oklara till sin karaktär och sitt omfång, dels genom att det kan vara svårt att finna effektiva och kostnadseffektiva motverkande åtgärder och anpassningar.

5.2.3 Ekosystem

Ekosystemen i de skandinaviska länderna är begränsade i sin tillväxt och artrikedom av flera faktorer, som tillgång på näringsämnen, spridningshinder och klimatfaktorer, t.ex. temperatur och nederbörd. De dominerande typerna av ekosystem är tempererad blandskog (nemo-boreala biomet), barrskog (boreala biomet), samt de subarktiska ekosystemen (subarktiska-alpina biomet). I sjöar och vattendrag i nära anslutning till dessa terrestra ekosystem finns en stor andel av den biologiska mångfalden, vilka kan påverkas vid en klimatförändring. Östersjön kan räknas som ett eget ekosystem med bräckt vatten, medan Västerhavet är en del av den större Nordsjön och Nordatlanten. För den biologiska mångfalden i ekosystem har också extremförhållanden stor betydelse. Särskilt kan de låga vintertemperaturerna vara avgörande för många arters överlevnad i Sverige.

Klimatförändringar enligt SWECLIM:s scenarier kan ge mycket kraftiga effekter i den svenska naturmiljön. De snabba förändringar som förutspås i dessa scenarier innebär en förändring av medeltemperaturen med ca 0,4 grader per tioårsperiod. Även nederbördsmängderna skulle öka med upp till 2 % per årtionde. Klimatzonerna för de olika biomens utbredning kan förskjutas norrut med 50 till 80 km per årtionde. Förutsättningarna finns för att helt nya ekosystem och biom, som temperade

lövskogar med t.ex. bok och ek, kan komma att dominera södra Sverige. Även individuella djur- och växtarter som förekommer söder om Sverige kommer att ha helt andra förutsättningar att etablera sig i landet. Det finns dock en betydande eftersläpning mellan klimatvillkorens uppfyllande och till dess att ett ekosystem har etablerat sig, särskilt för ekosystem med arter med lång generationstid och/eller dålig spridningsförmåga.

De sammantagna effekterna av ett förändrat klimat och ökade halter koldioxid påverkar den primära biomassproduktionen. Teoretiskt skulle t.ex. skogens biomassproduktion (ved) kunna fördubblas i södra Sverige och fyrdubblas i norra Sverige om inte tillgången på näringsämnen vore begränsande för tillväxten.

Det finns stora potentiella effekter på Östersjön som ekosystem. En förändrad temperatur påverkar direkt olika arter, liksom förändrade förhållanden i isutbredning. En ökad nederbörd i tillrinningsområdet till Östersjön bedöms tillföra mer vatten vilket – om inte det motsvaras av en ökad frekvens saltvatteninbrott – kan leda till en avsevärd utsötning av vattnet.

Ökad vattenföring till Östersjön bedöms tillföra mer näringsämnen, särskilt om nederbörden sker på hösten. Däremot kan ökad vattenföring i norra Östersjöns tillrinningsområde och en minskad sådan i de södra delarna av Östersjöns hela tillrinningsområde leda till mindre koncentrationer av näringsämnen i havet eftersom jordbruket är koncentrerat till de södra delarna av landet. Effekterna skulle sammantaget kunna hota marina arter (t.ex. torsk) och vara till fördel för limniska arter (t.ex. abborre, gädda, gös och karpfiskar). Risker finns att främmande arter kan spridas till Östersjön. Dynamiken för algblomning i Östersjön kan också påverkas. Insjöar bedöms få en förändrad fauna, med en fördel för värmetåliga arter (abborre, gädda, karpfiskar), men med en förändrad populationsdynamik, som snabbare tillväxt, tidigare könsmognad och tidigare död. Andra utpräglade kallvattensarter som siklöja och andra och laxfiskar missgynnas och kan komma att försvinna från grunda sjöar och rinnande vatten i södra Sverige.

På land (i terrestra ekosystem) bedöms en förändrad temperatur kunna ge utrymme för fler sydliga arter, men det finns också en del hinder för spridning (Östersjön, södra Sveriges odlingslandskap). Spridning av främmande arter, som nu begränsas av kalla vinterperioder, kan bli ett betydligt allvarigare problem. En del idag hotade arter med sydligt ursprung kan påverkas positivt av ett varmare klimat. Andra, mer nordliga arter och naturtyper kan komma att missgynnas kraftigt på grund av kombinationen varmare klimat, mer kvävefrisättning och dagens stora kvävenedfall från luften.

I subarktisk-alpina områden i de svenska fjällen finns en mycket stor risk för förlust av arktisk-alpina

arter, vilka kan komma att konkurreras ut av värme- och kvävegynnade arter.

Våtmarker

Våtmarker är en benämning på en tämligen disparat grupp av ekosystem som utgör en stor andel av Sveriges areal och vilka därmed är viktiga element i naturmiljön med stor ekologisk betydelse, bl.a. för den biologiska mångfalden. Sårbarheten i dessa system beror ytterst på hur en klimatförändring kan komma att påverka hydrologiska egenskaper, då våtmarker per definition utgörs av områden med en högt liggande grundvattentyta. Det bör även betonas att relativt små hydrologiska förändringar i en våtmark kan få relativt stora konsekvenser för dess ekologiska processer, även om förändringen inte är tillräckligt stor för att systemet ska falla utanför definitionsramen. Emellertid saknar dagens verktyg den upplösning som krävs för att direkt kunna kvantifiera våtmarkers sårbarhet.

Med utgång från SWECLIM:s beräkningar kan man dock dra slutsatsen att sårbarheten är särskilt stor för fördelningen och förekomsten av våtmarker i de delar av södra Sverige där man förväntar sig en signifikant minskning i nederbörd med sjunkande grundvattennivåer som följd. I Sveriges norra delar borde däremot denna sårbarhet vara lägre p.g.a. de ökade nederbördsmängderna. Det är heller inte uteslutet att ett fuktigare klimat i norra Sverige skulle kunna leda till en ökning av våtmarksarealen, förutsatt att topografin i landskapet tillåter detta. Även säsongsmässiga förändringar i extrema vattenflöden i vattendrag och sjöar kan inducera en sårbarhet i angränsande våtmarksområden, då man erhåller en förändring i den hydrologiska dynamiken.

Vad gäller den biologiska mångfalden i våtmarker är känsligheten särskilt stor i områden där dessa ekosystem utgör mer isolerade inslag i naturmiljön, då detta utgör ett effektivt migrationshinder för många arter. Torvbildande våtmarker spelar en viktig roll i kolets globala kretslopp. Kolackumulering i torvmarker styrs av en kombination av temperatur och hydrologisk status och studier har visat att torvmarker kan växla mellan att vara sänkor eller källor av kol sett från år till år. Denna växling har i flera fall förklarats med årliga variationer i klimatet, vilket indikerar att kolbalansen i dessa system är starkt klimatberoende, men dagens verktyg saknar den upplösning som krävs för att kunna kvantifiera detta.

Plötsliga förändringar och överraskningar kan inte uteslutas, vilket visar på behovet av långsiktig planering och säkerhetstänkande för att bevara biom, ekosystem och biologisk mångfald. Många komplexa processer kopplade till den biologiska mångfalden är viktiga för oss människor men är ändå dåligt kända avseende sårbarhet för klimatförändringar, t.ex., mykorrhiza-samspel

och trädutväxt, samt nedbrytning, bindning och frisättning av ämnen i mark och vatten.

För ekosystemen finns sammantaget en stor potentiell och reell sårbarhet för klimatförändringar. Särskilt sårbara är fjällens och Östersjöns ekosystem. Potentiellt sårbara är även de övriga ekosystemen som en följd av snabbheten i klimatförändringarna. Södra Sverige kan få helt nya arter, men med en avsevärd fördröjning för biomens etablering som förorsakas av spridningshinder. Människan kan hjälpa alla dessa arter genom att göra landskapet mer varierat och småbrutet, vilket ger fler olika mikroklimatmiljöer inom arternas spridningsräckvidd. För våtmarkernas ekosystem är kunskaperna om effekterna och sårbarheten för närvarande bristfälliga.

5.2.4 Skogsbruk

Skogens tillväxt regleras av flera faktorer. De viktigaste är tillgång på vatten och näringsämnen, solljus och temperatur i luft och mark. Dessutom finns inre begränsningar för tillväxt för varje individuell art. Vilka faktorer som reglerar tillväxten i Sverige varierar – i norr begränsas tillväxten oftast av temperaturen och tillgången på näringsämnen och i söder ofta av tillgången på vatten.

För närvarande sker en nettotillväxt i den svenska skogen av biomassa som kan användas för virke och pappersmassa och andra skogsprodukter. Till stor del beror denna nettotillväxt av biomassa på tidigare avverkning och återplantering, och att en stor andel av skogen närmar sig mognad för avverkning. En annan bidragande orsak till nettotillväxten i skogen är det atmosfäriska nedfallet av gödande kväveföreningar, eftersom tillgången på kväve ofta är en tillväxtbegränsande faktor.

Den primära produktionsfaktorn för fotosyntes och tillväxt är mängden solljus. Beräknat över ett helt år kan mängden solljus komma att minska något enligt SWECLIM:s scenarier ifall molnigheten ökar. Däremot framgår det tydligare att mängden solljus under vegetationsperioden – definierad för temperaturer stadigare över 5 grader C – att öka betydligt. Orsaken till ökningen beror helt och hållet på att vegetationsperioden förlängs med ca en månad under såväl våren som hösten. Effekten av den förlängda vegetationsperioden är störst i norra Sverige med mellan 15 och 18 % ökning. I södra Sverige är ökningen endast 9 till 12 %. Orsaken till skillnaderna mellan norra och södra Sverige är att man har mera att vinna i mängd solljus (i relativa tal) med en förlängning av vegetationsperioden i norra Sverige jämfört med södra.

Idag är vatten normalt inte en begränsande faktor för fotosyntesen och tillväxten i norra Sverige medan det kan vara det i södra och särskilt i sydöstra Sverige. Redan med dagens vattenunderskott under vegetations-

säsongen kan en produktionsminskning med mellan 40 och 50 % uppstå under vissa år. Enligt SWECLIM:s scenarier skulle vattentillgången öka i norra Sverige med mellan 50 och 75 mm under tillväxtsången, medan de senaste scenarierna visar på en minskning under vegetationsperioden i södra Sverige. Ökad vattentillgång i norra Sverige skulle sannolikt inte ha någon nämnvärd inverkan på produktionen där. I södra Sverige skulle minskad vattentillgång med säkerhet leda till produktionsminskningar på friska marker, men antagligen även på fuktiga marker. Gran och lövträd skulle missgynnas i större utsträckning än tall eftersom de förra har större vattenbehov. Ett alltför fuktigt klimat kan på lång sikt orsaka att en del av den produktiva skogsmarken försumpas, vilket skulle leda till produktionsminskningar. Enligt SWECLIM:s scenarier skulle detta kunna bli ett problem främst i norra Sveriges inland.

Skottskjutningen på våren hos gran, tall och de flesta lövträd påverkas av dagslängden och lufttemperaturen. En ökning av luftens temperatur borde leda till tidigare skottskjutning. Med hjälp av resultat från en mängd fältexperiment, där man utsatt träd för ökad temperatur, och en enkel simuleringsmodell på skottskjutningen, har man kommit fram till att den bör ske ca 2 veckor tidigare i södra och 4 veckor tidigare i norra Sverige. Tidigare skottskjutning kan under vissa omständigheter öka risken för frostsador. Frostsadorna kan vara allvarliga i plant- och ungskog om frosten inträffar i samband med skottskjutningen eller strax därefter. Om plantor utsätts för vårfrost upprepade år kan de dö. Frekvensen av vårfrost från SWECLIM:s klimatscenarier har jämförts med den beräknade skottskjutningstidpunkten i ett framtida klimat och visade att risken för vårfrost inte verkar öka jämfört med idag. Det behövs dock ett utvidgat scenariounderlag för att bättre uppskatta klimatförändringarnas betydelse för vårfrostfrekvensen.

Förutom att produktionen i Skandinavien är begränsad av den korta tillväxtsången är den också kraftigt begränsad av tillgången på näringsämnen i marken. Ökad marktemperatur som följd av klimatförändring ökar den biologiska aktiviteten i marken som påverkar nedbrytningen av organiskt material och återföringen av viktiga näringsämnen. Ett fältexperiment i norra Sverige (Västerbotten) där marken, med hjälp av värmekabel, värmts upp 5 grader C över den naturliga marktemperaturen visar att trädens näringsstatus har förbättrats och att stamproduktionen har ökat med över 100 %. Om produktionsökningen är långsiktig får fortsatta experiment utvisa. I samma fältexperiment har man även studerat hur markuppvärmningen påverkar träd som redan har optimal tillgång på växtnäring. Här är ökningen betydligt beskedligare med ca

15 %, jämfört med ouppvärmade ytor. Denna ökning bör kunna tillskrivas en tidigare tjällossning och vattenupptag på våren, vilket i slutändan föranleder att fotosyntesproduktionen kommer igång tidigare.

Ökad koldioxidhalt under en tidsrymd på timmar till flera månader leder till kraftigt ökad fotosynteshastighet. Efter ett tag verkar dock de fotosyntetiserande barren anpassa sig till den nya koldioxidhalten, och fotosynteshastigheten går ner till nästan samma nivå som vid normal koldioxidhalt. Fältextperiment i norra Sverige (Västerbotten), där hela träd har behandlats med förhöjd koldioxidhalt under flera år, har visat att fotosyntesökningen är i storleksordningen 10 till 15 %. Fortsatta fältextperiment får utvisa om denna behandlingseffekt kommer att bestå eller om den minskar ytterligare, alternativt ökar igen.

Vid respirationen avges koldioxid i motsats till vid fotosyntesen. Denna process är starkt temperaturberoende och ökar kraftigt med ökad temperatur. Årsmedeltemperaturen ligger mellan 6 och 8 grader C i södra Sverige och 0 och 4 grader C i norra. En temperaturökning på mellan 3 och 4 grader C innebär att kostnaden för att upprätthålla levande växtcellers funktion kommer att öka. Ökad respiration orsakar att mer koldioxid kommer att avges från den levande biomassan, vilket kan påverka svenska skogars totala kolbalans. Man har dock sett i ovan nämnda markuppvärmningsexperiment att markrespirationen inte ökar på de uppvärmda ytorna utan verkar anpassa sig till den nya högre temperaturen och håller sig på samma nivå som de ouppvärmade ytorna.

Vid en försiktig beräkning baserad på SWECLIM:s scenarier, där ovanstående effekter inkluderas, men inte effekterna av ökad koldioxidhalt och markant ökad näringsomsättning i marken, skulle skogsproduktionen öka med mellan 10 och 20 % i Sverige. I volym räknat skulle det kunna handla om en ökning av den årliga tillväxten med ungefär 15 miljoner skogskubikmeter dvs. vedmassa). Med dagens tillväxt och avverkningsnivå i Sverige uppskattas att träden lagrar ca 7 000 kton kol/år (motsvarar koldioxidupptag av ca 26 000 kton/år) och skogsmarken mellan 2 000 och 5 000 kton kol/år (motsvarar koldioxidupptag mellan ca 7 000 till 18 000 kton/år). Enligt SWECLIM:s scenarier skulle träden på sikt kunna lagra ytterligare 4 000–5 000 kton kol/år, dvs. sammanlagt 12 000–13 000 kton kol/år (skogsmarkens kolbalans är inte medtagen i denna beräkning). Detta upptag i skog kan sättas i relation till Sveriges utsläpp av koldioxid från fossila bränslen på 16 000–17 000 kton kol/år.

Ökad produktivitet i fjällnära skogar och en förskjutning uppåt av trädgränser påverkar andra viktiga näringar som friluftsliv och turism, rennäringen samt naturvärden och biologisk mångfald.

Under de senaste 70 åren har fyra betydande stormfällningar förekommit, där sammanlagt 70 miljoner kubikmeter stamved blåst ner. Den värsta stormfällningen inträffade år 1969 då ca 37 miljoner kubikmeter fälldes. Stormfällningar förekommer då vindhastigheten når full storm- och orkanstyrka. För närvarande finns inga scenarier för ökad frekvens stormar från SWECLIM, men frågeställningen med extrema väderhändelser är föremål för framtida forskning. En ökad förekomst av dessa extrema vindhastigheter skulle naturligtvis kunna orsaka problem för skogsbruket. Även stora mängder blötsnö som fryser fast i trädens grenar kan orsaka att träd bryts av, speciellt om det blåser kraftigt i samband med eller efter snöfallet. Rätt skogsskötsel kan motverka stormskadornas omfattning.

Ett varmare och fuktigare klimat med längre tillväxtsäsong förflyttar de olika trädarternas potentiella utbredningsområde norröver. Detta är troligt för många lövträdsarter som idag finns bara i södra Sverige. Om det blir torrare under växtsäsongen i södra Sverige kan dock både lövträden och granen missgynnas på friska och fuktiga marker.

Även insektspopulationer kan öka i ett varmare klimat med längre somrar. Några skadeinsekter och andra skadeorganismer på skog visar en nord-sydlig gradient, som exempelvis snytbagge, tallstekel, barrskogsnunna och honungsskivling, där problemen är större i södra Sverige. Vissa skadeproblem kan tänkas flytta norröver och öka i framtiden, och det är också tänkbart att nya skadliga arter introduceras i södra Sverige.

För skogsbruket beräknas det förändrade klimatet enligt SWECLIM:s scenario sammantaget ge en väsentligt ökad produktivitet av skog, ved och andra skogsprodukter. En försiktig bedömning är att skogsproduktionen kan öka med 10 till 20 %. Samtidigt kan man vänta sig ökande angrepp av skadedjur, insekter, svampar och andra patogener.

5.2.5 Jordbruk⁷

Klimatet har mycket stor inverkan på växtproduktionen i vårt land både kvantitativt och kvalitativt. Avkastningen av olika grödor kan variera avsevärt mellan olika år. Den stora skillnaden i avkastning av olika grödor beror på skillnader i nederbörd, solinstrålning och temperatur, men även på angrepp från olika skadegörare, som svampsjukdomar, insekter, virus och nematoder.

Förutom den direkta avkastningen påverkas också kvaliteten på produkterna i hög grad av vädret. Under nederbördsrika sensomrar kan kvaliteten på brödspannmål avsevärt försämrats och ofta kan den då endast utnyttjas som foder. Även olika svampsjukdomar kan medverka till ökad mängd gifter (mykotoxiner) på

⁷ Jordbrukets känslighet och sårbarhet för klimatförändringar. Naturvårdsverkets Rapport 5167, 2001.

brödspannmål, vilket försvårar möjligheten att skörden skall kunna användas till bröd. Under nederbördsrika somrar kan potatis drabbas av potatisbladmögel och brunröta, vilket avsevärt sänker kvaliteten. I vissa fall blir den ej användbar för konsumtion.

Ett förändrat klimat "om 100 år" med ökad nederbörd och högre medeltemperatur har stor inverkan på den framtida växtproduktionen och även stor inverkan på förekomst och utbredning av olika skadegörare.

Nuvarande växtproduktion och variationer i avkastning

Åkerarealen i Sverige uppgår idag till ca 2,7 miljoner hektar. Den har minskat under de senaste 50 åren och även arealen betesmark. Detta tillsammans med strukturrationalisering, större åkrar mm har påverkat landskapsbilden.

Under senare år har arealen av fodersäd (främst korn och havre) uppgått till ca 800 000 hektar, areal brödsäd till ca 400 000 hektar, potatis till 35 000 hektar, raps och rybs till 50 000 hektar och sockerbeter till ca 55 000 hektar. En stor del av åkerarealen utgörs av vall, ca 35 %. De totala värdet av växtproduktionen kan uppskattas till mellan 12 000 och 14 000 MSEK årligen (inklusive vall) om hänsyn ej tas till arealbidrag, som uppgår till mellan 3 000 och 4 000 MSEK.

Avkastningen av olika grödor varierar avsevärt mellan olika år och olika regioner bl.a. beroende på nederbörd, temperatur och solinstrålning. Den genomsnittliga avkastningen av vårkorn har under senare år uppgått till 4 000 kg/hektar och av höstvet till ca 6 000 kg/hektar. Stora variationer förekommer emellertid mellan olika år. I sydöstra Sverige (Kalmar län) uppgick avkastningen av vårkorn till 2 000 kg/hektar under år 1992. Det torra och varma vädret torde ha varit den viktigaste orsaken, men även angrepp av bladlöss kan ha bidragit. Med nuvarande variationer i vädret mellan olika år kan avkastningen av vårkorn variera avsevärt, från 6 000 kg/hektar till 2 000 kg/hektar. För andra grödor förekommer också stora variationer i avkastning mellan åren.

Effekter på växtodling vid förändrat klimat

Sett till allmänna relationer mellan temperatur och produktion av naturlig vegetation skulle växtproduktionen kunna öka 20 – 40 %, som en följd av en ökning av medeltemperaturen på ca 3 grader C. Emellertid kan vi vänta oss stora skillnader beroende på vilken gröda som betraktas. Genom att jämföra nuvarande skillnader i skördestatistik för olika regioner i Sverige med skillnader i temperaturklimat mellan dessa regioner (dvs. om man flyttar hela regioner norrut) bedöms Mälardalen kunna få stora skördeökningar. Beroende på grödotyp kan dock skördeökningarna per

yttenhet komma att variera mellan några få procent för raps till upp till 30 % för stråsäd och 100 % för potatis, vid en temperaturökning på 2 grader C.

Denna extrapoleringsmetod flyttar både marktyper, sorter och odlingstekniker norrut. I vissa fall är detta ett rimligt antagande men när det gäller potatis kan metoden tänkas visa för höga ökning. För att bedöma skördeförändringarna för Mälardalregionen som helhet måste fördelningen av grödor på åkerarealen beaktas. Om fördelningen förblir oförändrad blir den regionala ökningen ungefär 25 %. Om fördelningen däremot skulle ändras till den som nu råder i Skåne skulle ökningen bli 55 %. Till detta kommer en eventuell ändring av åkerarealens totala yta. För Norrland förutses de relativa förändringarna allmänt bli större.

Som ett alternativ till denna beräkningsmetod har simuleringar med dynamiska mark-växtmodeller för specifika lokaler använts. Dessa simuleringar beaktar också förändringar i mark- och vattenförhållanden och är i princip en projicering av forskningsresultat in i en framtida klimatförändring. Vid en temperaturhöjning på 1,7 grader C beräknas skördeökningen för höstvet till en lerjord i Uppsala bli nära 20 % men på sand under 10 %. Trots att kväveminsraliseringen från jorden beräknas öka med ca 20 % ökar kvävemängden i skörden med endast någon procent medan den t.o.m. minskar på sanden. Resultaten innebär alltså att proteinhalterna skulle kunna sjunka vid bibehållen gödsling under förändrat klimat.

Mycket talar för att skördarna ökar om klimatförändringarna blir i enlighet med vad som allmänt förutsägs av klimatmodellerna. Valet av grödor är en mycket betydelsefull faktor när det gäller hur stor skördeökningen kan bli på regional nivå. Regionala klimatskillnader får också betydelse för skördeökningens storlek, liksom vilken marktyp man betraktar. Dessa två faktorer har dessutom stor betydelse för i vilken utsträckning kväveutlakningen ändras. Tilläggas bör att dessa slutsatser antar att variabiliteten i klimatet förblir densamma som under rådande klimat.

Vid en högre temperatur, ökad halt koldioxid och ökad nederbörd torde avkastningen av flertalet grödor bli högre än den nuvarande avkastningen. Vissa grödor som höstvet, höstkorn och höstoljeväxter kommer man också att kunna odla längre norrut i landet. I vissa delar av sydöstra Sverige, som t.ex. Kalmar län och Öland kan torra somrar medföra större variation i avkastning än vad som för närvarande är fallet. Även potatis kan påverkas avsevärt om det inte finns tillgång till bevattning.

I de södra delarna av landet kommer man att kunna odla vissa grödor som kräver högre temperaturer. Det gäller t.ex. majs, som förmodligen kommer att odlas i

större omfattning. Eventuellt kommer också odling av solros att bli möjlig, om det blir lönsamt eller ej påverkas också av andra faktorer än de rent biologiska. Dessutom kommer man i de södra delarna av landet att kunna etablera vinodlingar, men det är mycket svårt att bedöma lönsamheten.

Skadeinsekter, växtsjukdomar och ogräs

Olika skadeinsekter, växtsjukdomar och ogräs kan ha stora ekonomiska konsekvenser i vårt land såväl som i andra länder. Uppskattningsvis kan skador på den samlade svenska skörden reduceras med 5–15 % med nuvarande brukningsmetoder och insatser av kemiska bekämpningsmedel. Kostnaden för kemisk bekämpning mot skadegörare uppgår till ca 1 000 MSEK/år.

Mellan olika år och olika regioner i vårt land föreligger stora skillnader i angrepp. Det finns en rad olika förklaringar till detta. Förutom odlingsteknik, val av sorter och gröda och skillnader i resistens mot skadegörare kan olika väderfaktorer inverka. Vädret inverkar på flera sätt på skadegörarnas utveckling. Temperatur, nederbörd, luftfuktighet, solstrålning, vind och snötäcke påverkar förekomst och utbredning av olika skadeinsekter och växtsjukdomar. Temperaturen påverkar insekternas utvecklingshastighet, utbredningsområde samt flygaktivitet. Även svamparnas utveckling påverkas av temperaturen, men deras utveckling påverkas i ännu högre grad av nederbörd och luftfuktighet.

Vinden har också stor betydelse för spridning av både insekter och svampsporor. T.ex. kan bladlöss föras långa sträckor med vindarna. Angrepp i södra och syd-östra delarna av landet kan vissa år förklaras av bladlöss som förts med vindarna från andra sidan Östersjön. Angrepp av kålmal i oljeväxter och andra på kålväxter år 1995 i östra delarna av mellersta och norra Sverige berodde på att de fördes in i landet med östliga eller sydöstliga vindar. Dvärgstinksot på vete påträffades först under 1960-talet i de södra och syd-östra delarna av Sverige. Svampsporerna kan ha förts in i landet via utsädet, men den troligaste orsaken är med vindarna från områden i sydöstra delarna av dåvarande Sovjetunionen.

Effekter av skadegörare på grödor vid förändrat klimat

Varmare klimat och i flertalet områden högre nederbörd gynnar en rad olika skadegörare på olika grödor. Det gäller både svampsjukdomar, virussjukdomar, bakterier, nematoder och insekter.

Bladlössen torde få ökad betydelse i vårt land. För närvarande övervintrar de i stort sett endast som ägg på olika vintervärdar. Vid en ökad temperatur på 3–4 grader C torde ett flertal bladlusarter kunna övervintra på olika grödor och ogräs. Så är det för närvarande i England och på kontinenten. Av de mer än 500 olika

bladlusarter som för närvarande påträffats i vårt land har ett 30-tal ekonomisk betydelse för våra grödor. Det är troligt att flera av dessa får ökad betydelse både som direktskadegörare och indirekt genom spridning av olika virussjukdomar.

För närvarande har rödsotvirus, som främst sprids med havrebladlöss och sädesbladlöss måttlig betydelse i vårsäden, men den torde få ökad betydelse, kanske främst i höstsäden. Även i oljeväxter förekommer virussjukdomar som sprids med bladlöss, men för närvarande har dessa virussjukdomar liten betydelse. Ett varmare klimat gynnar persikbladlusen, som är en betydelsefull bärare av virussjukdomar i höstoljeväxter, vilket ökar risken för angrepp på höstoljeväxter.

I stråsäd kommer förmodligen flera sjukdomar att öka i omfattning som gynnas av varmare klimat som t.ex. rostsjukdomar och gräsmjöldagg. Högre nederbörd kommer att medföra ökade angrepp av flera bladfläcksvampar i stråsäd, som t.ex. kornets bladfläcksjuka och vetets brunfläcksjuka. Även kvaliteten på brödsädd kan komma att försämrans vid ökad nederbörd på sensommaren. Lägre falltal och ökad förekomst av fusariumsvampar kan medföra att vete-skörden ej godkänns som brödsädd. Högt halt av vissa svampar på kärnan kan också öka halten av svampgifter (mykotoxin). Riklig nederbörd gynnar också sådana svampar som mjöldryga på stråsäd, vilket kan leda till att skörden blir otjänlig som föda.

För potatis torde angreppen av potatisbladmögel och brunröta öka i skörden. Särskilt svårt blir det för den ekologiska odlingen som inte kan utnyttja kemiska bekämpningsmedel. Även virussjukdomar kan få ökad betydelse i potatis, kanske främst potatisens bladruellsjuka som sprids med persikbladlusen.

Flera insekter som idag inte förekommer i vårt land kan komma att etablera sig i de södra delarna av landet. Det gäller t.ex. koloradoskalbaggen, som förekommer i potatisodlingar bl.a. i Tyskland, Polen och de baltiska länderna. Med vindarna kan den föras in till södra Sverige, och klimatet torde i framtiden inte vara någon begränsande faktor för etablering.

I oljeväxterna kan svampsjukdomar som bomullsmögel och svartfläcksjuka få ökad betydelse. Bland insekterna kan nämnas rapsjordloppan, som för närvarande förekommer främst i de södra delarna av landet. I sockerbetor kommer förmodligen vissa virus-sjukdomar att öka i omfattning, och då främst sådana som sprids med persikbladlöss.

Effekter och sårbarhet i jordbruket

Ett förändrat klimat enligt SWECLIM:s scenario torde ge ökad tillväxt av olika grödor samt möjlighet att odla nya grödor i södra Sverige. Klimatet torde också påverka förekomst och utbredning av skadegörare på

olika grödor. Många skadedjur och sjukdomar hålls idag nere på en relativt låg nivå genom de klimatförhållanden som nu råder. Ökad förekomst av skadedjur kan motverkas genom ökad användning av kemiska medel, detta är dock inte önskvärt p.g.a. andra aspekter som negativa effekter på flora och fauna samt föroreningar i åar, dricksvatten och grundvatten. Det torde krävas större insatser än idag för att kunna förebygga angrepp av skadegörare. Förbättrad odlingsteknik, ökad användning av resistent sorter och en god växtföljd får därför ökad betydelse.

Särskilt känsligt blir ökade angrepp av skadegörare för den ekologiska odlingen. Produktion av friskt utsäde förutom nämnda förebyggande åtgärder kommer att bli mycket viktig. Biologiska medel kommer också att få ökad användning. Trots förebyggande åtgärder och insatser under odlingssäsongen kommer förmodligen brist på ekologiskt odlade produkter att uppstå under vissa år med starka angrepp av skadegörare eller otjänlig väderlek.

5.2.6 Fiskerinäringen

Tillgången på fisk för näringen påverkas i stor utsträckning av politiken, där fångstkvoter, minimistorlekar och fredande av lekplatser är viktiga komponenter för en uthållig fiskerinäring. De naturliga förutsättningarna, som status och tillförsel av näringsämnen, samt klimatrelaterade faktorer är också viktiga för näringen. I Sverige har näringens betydelse minskat under den senaste 30-årsperioden bl.a. som en följd av koncentration till rationellt industrifiske. Det ekonomiskt betydelsefulla torskfisket i Östersjön har minskat kraftigt under de senare decennierna, där otillräckliga salthalter och låga syrenivåer förhindrat torskens reproduktion. Insjöfisket har också viss ekonomisk betydelse för fiskerinäringen. Insjöfisket är dock relativt sett viktigare för fritids- och sportfisket.

Flera modeller för den allmänna cirkulationen och klimatförändringar visar på en försvagning av den termohalina cirkulationen i Nordatlanten eller Golfströmmen. Detta skulle på ett avgörande sätt inverka på fiskerinäringen i Nordatlantens östra delar och därmed på fiskerinäringen i hela Europa. Detta kan ge en negativ effekt även på det svenska kust- och Atlantfisket.

Östersjön och Västerhavet

Ett förändrat klimat enligt SWECLIM:s scenarier kan ge genomgripande förändringar av de ekosystem som finns i Östersjön och Västerhavet. Klimatscenerierna medför mindre omfattande isläggning i Östersjön och eventuellt ökad tillförsel av näringsämnen från land. Det ökade inflödet av sötvatten kan förändra salthalten. Avgörande för salthalten i Östersjön är dock hur saltvattenutbytet med Nordsjön kommer att se ut i ett

förändrat klimat, vilket för närvarande är en öppen fråga. I scenariounderlaget för Östersjön blir havsytan varmare, speciellt i norr under sommaren och i söder under vintern och våren. Därmed kan perioden då vattnet är skiktat bli längre. Termoklinen kan därmed komma att förskjutas nedåt vilket skulle minska livsutrymmet för arter som har sitt optimum vid låga temperaturer. Den förlängda perioden med skiktade förhållanden ökar risken för syrebrist i kustvattnen, både nattetid nära botten i högproduktiva vatten, och i områden som har ett djupvatten som isoleras under temperatursprångskiktet. Problemen förvärras dessutom av att syrets löslighet i vattnet avtar med tilltagande temperatur, samtidigt som organismernas ämnesomfattning och därmed syreförbrukning ökar. Varmare vatten anses också gynna massförekomster, s.k. blomningar, av vissa potentiellt giftiga alger, t.ex. cyanobakterier. Minskad salthalt skulle ge minskad förekomst av marina arter – kanske skulle torsk, piggar eller rödspätta försvinna från Östersjön. Minskad salthalt kan också göra att krabba och hummer försvinner från södra Västkusten. Högre temperatur är positivt för varmvattensfiskar, vilket i Östersjön kan ge snabbare tillväxt och eventuellt större bestånd av abborre, gädda och gös, särskilt om salthalten sjunker och reproduktionsområdena räcker till. Högre temperatur kan däremot vara negativt för kallvattensfiskar, som torsk, sik, lax och öring, åtminstone i miljöer där de inte kan temperaturreglera genom att välja djup. Kalla vintrar är erfarenhetsmässigt bra för plattfiskars rekrytering – varmare vintrar kan därför ge sämre bestånd av rödspätta längs Västkusten.

Sjöar och vattendrag

En klimatförändring ("om 100 år") som innebär en temperaturhöjning kan förutses ha olika effekt på fisksamhällen beroende på djupförhållandena i den aktuella miljön. Generellt sett kommer termoklinen att utvecklas tidigare på våren och upphöra senare på hösten vid ett varmare klimat. Termoklinen kommer också att ligga på ett större djup. I grunda insjöar kan därför större förändringar förutses. Simuleringar visar att typiska kallvattensarter i insjöar minskar i vikt under sommaren vid temperaturer över optimum. Vid än högre temperaturer kommer dock viktreduceringen att innebära att arten inte kan överleva. Vissa kallvattensarter kan komma att dö ut när inga svala refugier finns att tillgå sommardag.

Kallvattensarter leker i allmänhet på hösten, och rommen kläcker först på våren. För god romöverlevnad krävs låga och stabila vintertemperaturer. Det är därför möjligt att isfria förhållanden och några plusgrader i framtiden kommer att påverka överlevnaden negativt i södra delarna av Sverige.

I scenariet ("om 100 år") förutses att flödena i vattendragen kommer att ha förändrats. I sydvästra Sverige föreligger de största riskerna i ett alltför reducerat vattenflöde i kombination med höga vattentemperaturer. Det är sannolikt att kallvattensarter som lax och öring kommer att försvinna från många vattendrag inom detta område. I norra Sverige är det framförallt utjämnat vattenflöde som kan förutses förändra förutsättningarna för fisk. Många fiskarter företar årtidsvandringar som styrs av och vars förutsättning är den årsrytmik som för närvarande finns i avrinningen. Lek- och yngeluppväxt är också anpassade till de toppar i planktonproduktionen som uppstår i samband med vår- och försommartoppar i flödena i såväl själva vattendragen som de områden där vattendragen rinner ut i havet (estuarierna).

Ökad nederbörd kan komma att gynna strömlökande fiskar genom att uttorkning av vattendrag blir ovanligare. Om temperaturökningen inte blir alltför stor kan detta vara till fördel för havsöringen, då dess förekomst i kustvattnen till stor del baseras på fortplantning i små bäckar som nu ofta torkar ut under somrarna.

Ett förändrat klimat enligt SWECLIM:s scenarier kan ge avsevärda effekter på primärproduktionen, som kan öka i de flesta sjöar och vattendrag samt i de intilliggande havsområdena. Samtidigt förutses stora förskjutningar mellan fiskarter där kallvattensarter kan missgynnas och varmvattensarter gynnas. Sammantaget finns en ökad sårbarhet för fiskerinäringen i svenska sjöar och i Östersjön, särskilt om man inte kan förhindra överfiskning. En viss anpassning kan ske inom näringen genom ökade fångster av mer värmetåliga arter.

5.2.7 Transporter, energi och industri

Sårbarheten för transporter, energi och industri är i stor utsträckning beroende av den socio-ekonomiska utvecklingen inom dessa sektorer. Teknisk infrastruktur uppförs och anläggs ibland utan att tillräcklig hänsyn tas till väderhändelser (extremvindar, extrema temperaturer och extrem nederbörd) som inträffar mycket sällan med nuvarande klimat. Långa klimatologiska mätserier kan återanalyseras för att ge en bättre grund för att bedöma känslighet och sårbarhet i såväl nuvarande som framtida klimat. Ofta uppstår sårbarheten genom att flera faktorer samverkar eller som en följd av en kedja av händelser som är osannolika under mer normala betingelser. Stormar med höga vindstyrkor och blötsnö kan skada eldistributionen i lokala och regionala nät, vilket sekundärt inverkar på transporter, annan energiförsörjning och industri.

Transporter

Hydrologin har betydelse för stabiliteten för vägar, järnvägsbankar och sjöfart. Även andra klimatfaktorer,

som medel- och extremtemperaturer, och vindförhållanden inverkar.

För att säkerställa vägars och banvallars bärlighet krävs korrekt dränering och avvattnings. Bärligheten beror av klimatfaktorer som vattentillgång, kyla och värme, infrysningsförlopp och upptiningsförlopp, men också av jordtyp. Särskilt besvärliga är jordtyper som silt (jäslera), en vanligt förekommande jordtyp i Sverige. Årligen måste delar av vägnätet stängas under tjällossningen p.g.a. otillräcklig bärlighet.

Vissa leror är skredbenägna. Kvikclera, som avsatts i saltvatten, kan helt plötsligt bli instabil vid förhöjning i porttrycket när grundvattennivån höjs. Hela partier av vägbankar kan då flyta iväg. Även siltslänter – flytjord – kan glida iväg vid tjällossning och kraftig nederbörd. Nipor som finns i vissa älvdalar kan också falla eller rasa genom underminering, inre destabilisering och vid ökad last och vibration. Stora delar av väg- och bannätet ligger på ler- och siltjordar och detta kräver ökad uppmärksamhet t.ex. i den fysiska planeringen.

Erosion av vägbankar är ett återkommande problem kring vattentrummor, brostöd och vid raviner/bäckfåror. Ytterst beror erosion på extrema vattennivåer eller nederbörds mängder, vilka kan komma att öka med ett förändrat klimat.

Transporterna har en viss sårbarhet som följer av säkerhetsskäl av begränsningar i användningen av broar vid höga vindar, t.ex. den nyligen invigda Öresundsbron. Ofta förekommande höga vindar över säkerhetsnivån kan därför ge frekventare störningar i transporterna mellan Sverige och Danmark.

Regelverket för brobyggande är mycket omfattande, med en hög säkerhetsfaktor. För vägbyggnation är regelverket inte på långt när lika omfattande, bl.a. kan vägtrummor vara mycket känsliga för klimatfaktorer som höga vattenflöden.

Energi

Klimatscenarierna från SWECLIM bedöms ge ökad vattenföring i vattendrag och därmed ökad potential för vattenkraftsproduktion i landet. Ökad medeltemperatur minskar behovet av energi för uppvärmning av bostäder och andra lokaler.

Samtidigt blir samhällets sårbarhet för brist på energi, bl.a. elenergi, allt större. Alla samhällssystem är direkt eller indirekt beroende av tillförlitlig tillgång på elenergi. Akut brist på energi, t.ex. vid sammanbrott av eldistributionen, leder snabbt till sekundära effekter på alla samhällssystem, som telekommunikationer, vattenförsörjning, reningsverk, transportsystemet, vilka paralyserar samhället.

Inom området energi är det kanske framförallt den socio-ekonomiska och tekniska utvecklingen som ökar

vår sårbarhet, men där klimatförändringar kan bidra. Den sårbarhet som beror på klimatförändringar är framförallt kopplad till extrema väderhändelser, som extrema vindar, extrema nederbördsmängder och extrem kyla. Scenarierna visar att extrem kyla blir mindre vanligt i framtiden, medan framtidsbedömningarna om risken för extrema nederbördsmängder och extrema vindar är osäkra.

En del av effekterna och sårbarheten vid klimatförändringar kan motverkas genom att systemet för energiförsörjningen görs robustare och att säkerhetsmarginalerna ökas.

Industri

Den tillverkande industrin är särskilt sårbar för störningar i energi- och råvarutillförsel. Den svenska tillverkande industrin är till stor del beroende av egna råvaror från skog och gruvor, men den ökade globaliseringen av industri och handel gör att den svenska industrin även är beroende av omvärlden.

Sammantaget är ökad säkerhet för tillförsel av energi till samhällets olika sektorer den viktigaste faktorn för att minska samhällets sårbarhet. Ett förändrat klimat kan inverka på energiförsörjningssystemet, särskilt om extremt starka vindar och extrema nederbördsmängder skulle bli vanligare.

5.2.8 Hälsa

En förändring av det globala klimatet kommer att ge upphov till olika hälsokonsekvenser. Värmeböljor, liksom stormar, översvämningar och klimatrelaterade jordskred ger direkta hälsoeffekter, medan ett ändrat säsongsklimat indirekt orsakar sjukdom genom påverkan på terrestra och marina ekosystem⁸. Den regionala matproduktionen och vattentillgången kommer att ändras med en trolig förbättring i nordliga tempererade zoner och en försämring i områden som redan idag har en pressad situation. Havsnivåstegring ökar risken för översvämningar, saltvatteninblandning i dricksvattentäkter, samt skapar nya kläckningsplatser för sjukdomsspridande insekter. Låglänta, tätbefolkade områden, som exempelvis Gangesdeltat och Podalen, är speciellt utsatta. Sådana förändringar kan komma att innebära stora befolkningsflyttningar med konsekvenser alltifrån epidemier till väpnade konflikter. Globalt sett kommer de negativa hälsoeffekterna att överväga medan vissa sjukdomar lokalt kan tänkas minska eller försvinna på grund av att det blir för torrt/blött eller för varmt⁹. Köldrelaterade åkommor kan komma att minska.

Risken för att en klimatförändring ska orsaka hälsoeffekter i ett visst område beror av flera faktorer. Av vikt är naturligtvis storleken av den regionala klimatförändringen. Men den biologiska, logistiska samt socio-

ekonomiska situationen är också av betydelse. Olika områden är biologiskt sett olika sårbara beroende på funktion och struktur hos lokala ekosystem samt befolkningens hälsotillstånd, genetiska disposition och immunitet. Sårbarheten hos olika konstruktioner, väg- och elnät, sanitära system och hälsosektorns kapacitet är av speciellt intresse vid akuta situationer. Det lokala samhällets socioekonomiska och tekniska förmåga till akuta och långsiktiga motåtgärder spelar en avgörande roll för huruvida möjliga effekter kan komma att manifesteras.

Effekter i Sverige

Sverige är från socio-ekonomisk och teknisk synpunkt väl rustat för adekvata motåtgärder. För att dessa motåtgärder ska kunna sättas in i tid är det viktigt att identifiera möjliga klimatrelaterade hälsoeffekter i olika delar av landet.

Värmeböljor ökar antalet dödsfall och insjuknande i hjärt-, kärl- och lungsjukdomar¹⁰. I SWECLIM:s scenarier har framtida värmeböljor ännu inte undersökts. Årets högsta temperaturer bedöms komma att höjas ungefär lika mycket som sommarens medeltemperatur, dvs. med ca 3 grader C. Långvariga extremt varma perioder, värmeböljor, måste studeras i mer detalj.

Däremot väntas vintrarna bli betydligt mildare i hela landet, vilket kommer att ge minskat antal köldrelaterade åkommor som förfrysning och kärlkramp. SWECLIM-scenarierna visar en mindre ökning i vindstyrka liksom ökad risk för översvämningar året runt. Förutom risk för kroppsskador kan detta leda till förorening av dricksvattentäkter och sjukdomsutbrott. Leptospiros – som sprids med råttor – har till exempel setts öka efter översvämningar i Centraleuropa då gnagarna tvingas lämna sina jordhålor¹¹. Ökad risk för liknande sjukdomsspridning finns även i Sverige om översvämningar ökar.

Sommartemperaturerna antas inte komma att stiga lika mycket som vintertemperaturerna i Sverige. Ändå kan luftkvaliteten i stadsmiljön komma att påverkas. Bildningen av marknära ozon är även associerad med högre temperaturer. Kombinationen av luftföroreningar och högre temperaturer förvärrar dessutom luftvägsbesvär¹². Luftföroreningar misstänks också kunna förvärra hösnuva genom att ge nästäppa vilket ökar pollenansamlingen på slemhinnorna.

Då vegetationssäsongen väntas komma att förlängas med mellan 1–2 månader kommer både utbredningen

⁸ Epstein 1999

⁹ Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001.

¹⁰ T.ex. Jendritsky et al. i tryck

¹¹ Kriz et al. 1998

¹² Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001.

av olika pollenproducerande arter och pollensäsongens längd att påverkas. Varna och våta sommar- och höst-säsonger ger förlängd period för pollenproduktion. Detta ökar risken för samtidig förekomst i luften av flera olika pollensorter, med risk för ökad anfallsintensitet. Ökad halt koldioxid i luften ger också i sig ökad produktion av vissa pollensorter¹³.

Möjligen skulle ett varmare och fuktigare klimat i Sverige gynna förekomsten av mögel och kvalster inomhus, vilket i sin tur skulle påverka allergifrekvensen.

Vattenkvaliteten påverkas inte bara genom kontaminering av partiklar, markorganismer och saltvatten från översvämningar och havsnivåstegring. Vatten- och födoburna sjukdomar som salmonella och campylobacter uppvisar ett säsongsbundet insjuknande. Varmare temperaturer skulle kunna innebära att sjukdomsutbrotten startar tidigare på säsongen jämfört med idag samt att de håller i sig längre. Utbrott av cryptosporiosis samt giardia har visats sammanhånga med kraftiga regn i Storbritannien och USA¹⁴. Effekten i Sverige har ännu ej studerats.

SWECLIM:s scenario för Sverige med mildare vintrar, ökad nederbörd, tidigare start för vårsäsongen och en förlängd höst är ideala förhållanden för en ökad förekomst av skadeinsekter och skadedjur. Flugor, kackerlackor och smågnagare kan mekaniskt överföra smittämnen. Diarrésjukdomar (orsakade av *E. coli*) skulle därmed kunna öka under delar av året. Smågnagare utgör också en blodreservoar i naturen för flera smittämnen, vilka kan överföras till människa antingen via gnagarens urin och avföring, genom loppor i gnagarens päls, eller vilket som är mer vanligt i Sverige: via blod-sugande leddjur som myggor och fästingar.

Vektorburna sjukdomar

Borrelia är den vanligaste s.k. vektorburna sjukdomen i tempererade zoner på norra halvklotet, så även i Sverige. Smittämnet sprids genom blod-sugande fästingar från framförallt smågnagare till människa. Fästingar sprider även andra sjukdomar som TBE (fästingburen hjärninflammation) och erlichios. Den sjukdomsspridande fästingarten *Ixodes ricinus* har studerats speciellt i Sverige med avseende på klimatförändring. Mildare vintrar och varmare för- och sensommarnätter sedan mitten av 1980-talet har möjliggjort för fästingen – som har en livslängd på upp till 3 år – att sprida sig norrut i Sverige utmed vattendrag och norrländska kusten¹⁵. Samtidigt har mellersta Sverige sett en betydande ökning i antalet fästingar, vilket visats vara signifikant relaterat till mildare vintrar och en längre vegetations-säsong – förhållanden som ökar årsöverlevnaden för såväl fästingen som de värdjur den livnär sig av. Södra Sverige har ännu ej studerats i detta sammanhang. Ökningen av TBE i Stockholms län under samma pe-

riod har också visat sig vara relaterad till ett ändrat säsongsklimat. Med ett mildare framtida klimat kommer fästingen att kunna bli allt vanligare även i de norra delarna av landet. Fästingar är potentiella spridare av många olika smittämnen. Ett ändrat klimat skulle kunna möjliggöra spridning av nya sjukdomar samt eventuellt även underlätta för nya fästingararter att kunna överleva i Sverige. Det är mycket svårt att minska antalet fästingar i naturen. Istället måste arbetet sannolikt inriktas på att identifiera nya riskområden, på information om hur man undviker fästingbett samt på utvecklande av vaccin där detta är möjligt, som exempelvis för borrelia.

Myggor sprider olika sjukdomar. I Sverige förekommer malariamyggor fortfarande i hälften av djurstallarna i södra och mellersta delarna av landet, men risken för inhemsk malaria är liten¹⁶. Om infekterade personer behandlas i ett tidigt skede så förhindras vidare smittspridning eftersom smittämnet endast förekommer hos människor och myggor men inte hos djur. Med ett varmare och fuktigare klimat kan dock myggpopulationerna öka. En person som blivit malariasmittad i utlandet kan därmed, om malariamyggor finns i området, hinna orsaka en kortvarig lokal epidemi av malaria innan behandling inletts. Malaria antas bli vanligare i Europa liksom andra myggburna sjukdomar som leishmaniasis och vissa hjärninflammationer som West Nile feber¹⁷. Tropiska sjukdomar som dengue-feber kan eventuellt komma att spridas i de allra sydligaste delarna av landet. Förutom West Nile feber är risken liten för att dessa sjukdomar ska få fotfäste i Sverige. Däremot kommer antalet hemvändande personer som infekterats med dessa sjukdomar i utlandet att öka – vilket kan ställa krav på ökad kunskap hos svensk vårdpersonal. Utbredningen och sammansättningen av svenska mygg- och knottarter kommer med största sannolikhet att ändras. Ett mildare klimat ökar insektsöverlevnaden. Ökad nederbörd i delar av södra och mellersta Sverige kan ge upphov till nya sankområden och därmed fler kläckningsplatser medan dessa kan minska i norr på grund av minskad tjäle. Nya arter kan också komma att etablera sig. Exempelvis är en speciell sorts sjukdomsspridande myggor beroende av översvämningar för sin kläckning. Mer kunskap behövs för att bedöma vilka insektsöverförda sjukdomar som kan komma att spridas i olika delar av landet p.g.a. ändrade klimatförhållanden.

Sammantaget kan en framtida klimatförändring ge effekter på hälsa i Sverige, men landet bedöms ha goda resurser att förhindra många av de epidemiska sjukdomar som kan få ökad spridning. Utbildning av

¹³ t.ex. Ziska & Caulfield 2000

¹⁴ t.ex. Rose et al. 2000

¹⁵ Lindgren et al. 2000

¹⁶ Jaenson. 1998

¹⁷ Martens et al. 1997, Kuhn 1997

och information till personal inom sjukvård om diagnos, behandling och prevention av sådana nya sjukdomar bör tillgodoses.

5.2.9 Kustzoner

Kring våra kustzoner finns en mycket stor andel av städerna, samhällena och de viktiga industrierna. Dessa kustzoner har också betydande natur- och miljövärden med hög biologisk mångfald, både på land och i vatten. Kustzonerna är också viktiga yngelplatser för många fiskarter. Kustzoner påverkas av flera klimatberoende parametrar som vind, vattenstånd och tillförsel av näringsämnen till havet.

Ett förändrat klimat enligt SWECLIM:s scenarier skulle innebära ett betydligt varmare och regnigare klimat. SWECLIM ger ännu ingen klar bedömning av vädrets framtida variabilitet. Både kraftigare och mer frekventa stormar, liksom större korttidsvariation i temperatur och nederbörd, är fullt möjliga effekter av ett ändrat klimat.

Konsekvenser för kustvattnen

I scenariounderlaget för Östersjön blir havsytan varmare, speciellt i norr under sommaren och i söder under vintern och våren.

Varmare vintrar kommer att ge kortare perioder av istäcke. På västkusten kommer isläggning sannolikt att i stort sett upphöra, och i egentliga Östersjön blir den betydligt kortare. Dock förutses att åtminstone Bottenviken normalt kommer att istäckas under vintern i scenariet "om 100 år".

De varmare vintrarna väntas medföra jämnare flöden i åar och vattendrag genom att nederbörden på vintern inte blir liggande i ett långvarigt snötäcke, utan rinner av tämligen omgående. Däremot förväntas högre nederbörd och sötvattenstillförsel till havet, särskilt från norra delarna av Östersjöns tillrinningsområde. Den som årsmedelvärde betydligt ökade sötvattenstillförseln kan – om den inte motsvaras av en ökad frekvens saltvattensinbrott – leda till att Östersjön blir mer utsötad. En känslighetsstudie för en ökad tillförsel av sötvatten antyder att salthalten i egentliga Östersjön i framtiden skulle sjunka till de nivåer som nu finns i Bottenviken. Givetvis är bedömningen ännu mycket osäker, bland annat har det inte gjorts någon korrigering till att en höjning av havsytan kan komma att underlätta inflödet av saltvatten i Östersjön. Historiskt är dock en negativ korrelation mellan ackumulerad nederbörd i Östersjöns tillrinningsområde och salthalten i Östersjön väl belagd.

Effekter på biodiversiteten

På land är ett av de stora hoten mot den framtida biodiversiteten att klimatzonerna kommer att flyttas norrut så snabbt att många organismer får svårt att

hinna med i flytten. Flertalet marina organismer kan väntas ha betydligt mindre problem med detta, eftersom de kan spridas långa vägar med havsströmmarna. Den mest dramatiska effekten av väntade förändringar under de närmaste 100 åren blir nog följderna av den ökade nederbörden. Många marina organismer är mycket känsliga även för små minskningar av salthalten och kan komma att försvinna från stora områden. Först vid mycket låg salthalt ökar antalet sötvattensarter i stället en del. Särskilt dramatisk kan förändringen bli i egentliga Östersjön. Sjunker salthalten där till 3–4 promille försvinner blåmussla, blåstång, torsk och kanske t.o.m. skarpsill. Utan blåmussla blir ejdrarna färre eller försvinner helt. Även i Västerhavet kan salthalten sjunka, och vissa marina organismer troligen trängas tillbaka, om den baltiska ytströmmen längs svenska västkusten blir starkare och mer utsötad. Den ökade temperaturen kommer sannolikt att göra det möjligt för en del sydliga organismer att öka eller etablera sig i svenska vatten, men bara om de tål lägre salthalter. Exempelvis kan kanske ostronodling bli ekonomiskt möjlig i sydvästra Sverige, eftersom ostron tål ganska låga salthalter, men kräver höga sommartemperaturer. Multe är en uppskattad sydlig matfisk, som hittills påträffats i varmvattnet utanför kärnkraftsverket i Ringhals på Sveriges sydvästskust, men som kan tänkas bli vanligare i ett varmare västerhav. Det är emellertid inte bara kulinariskt intressanta arter som kan komma hit, utan även för oss människor mycket skadliga arter. Som ett tänkbart exempel kan nämnas den djurplankton- och fisklarvsätande nordamerikanska kammaneten *Mnemiopsis leydyi*, vars introduktion i Svarta havet på 1980-talet sammanföll med en kris för fisket. Arten har nyligen även nått Kaspiska havet, men den kräver så hög temperatur för sin fortplantning att risken för att den skall kunna invadera Östersjön i dag är liten. Om temperaturen i Östersjön ökar som nu förutses, kan dock en invasion bli möjlig.

Eutrofiering och produktionsförhållanden

Som redan påpekats kommer ett varmare sommarhalvår sannolikt att medföra en förlängd skiktning av vattenmassan, vilket i sig ökar risken för syrebrist i kustvattnen, en effekt som förstärks av en ökad belastning med näringsämnen. Om inte kraftfulla motverkande insatser görs, kommer en längre frostfri säsong och ökad nederbörd med stor sannolikhet att öka kväveläckaget från jordbruksmark – fosforläckaget kan däremot eventuellt minska.

I stora delar av Östersjön är kväve idag det produktionsbegränsande ämnet, varför ökat kväveläckage kan förväntas förvärra eutrofieringen. Om utsläppen av kväve ökar, medan det minskar för fosfor, kan dock det kvävebegränsade området i Östersjön minska,

vilket kan minska massförekomsterna av kvävefixerande cyanobakterier. Eftersom dessa är ett naturligt inslag i Östersjöns ekologi, skulle deras försvinnande innebära en grundläggande omstötning av Östersjöns ekosystem. Det skulle kunna innebära att Östersjöns produktions-säsong kan förändras, och ge en tidigare och kanske större vårblooming, men mindre produktion under sommaren. Eftersom det är produktionen på sommaren som via små djurplankton föder larver av strömming och torsk, skulle en sådan förändring kunna försämra dessas rekrytering. En förstärkt vårblooming skulle kunna försämra syreförhållandena i Östersjöns djupvatten, eftersom det då producerade materialet normalt sjunker ned mycket effektivare än under sommar och höst.

Eftersom vissa arter av kvävefixerande cyanobakterier kan vara giftiga, skulle försvinnande av deras massförekomster i Östersjön också ha en för människan positiv aspekt. Men i så fall skulle de sannolikt i stället bli vanliga i Kattegatt, där de i dag är ovanliga p.g.a. den högre salthalten.

5.2.10 Bergsområden

Klimatförändringar i bergsområden innebär att zonerna för de olika ekosystemen och arterna förskjuts uppåt eller nedåt i höjd eftersom temperaturen minskar med ökande höjd. En ökning av medeltemperaturen med 4 grader C innebär att klimatzonerna flyttas närmare 700 meter högre upp. Detta innebär att många subarktiska, ofta lågväxande arter (som lavar och mossor) trängs undan och ersätts med andra mer värmekrävande, ofta högväxande arter (som buskar och träd). En förhöjd temperatur innebär en ökad biologisk och kemisk nedbrytning av organiskt material och ökad tillgång på näringsämnen, åtminstone under en kortare period, vilket kan gynna mer kvävekrävande arter. Sammantaget bedöms trädgränsen i bergsområden kunna förskjutas uppåt, men etablerandet av fjällnära skog är också beroende av gynnsamma förhållanden några år i följd så att de unga plantorna kan gro och komma över de känsligaste stadierna i sin utveckling. Även skred och laviner inverkar på i vilken mån nya ekosystem som skog kan etableras. I redan befintliga fjällskogar kan den ökade tillgången av näringsämnen och förhöjd temperatur ge en förtätning av skogen.

De förändrade förutsättningarna i ekosystemen påverkar också rennäringen, som missgynnas om förekomsten av lavar minskar i fjällen p.g.a. av förbuskning och förtätning i de glesa fjällnära skogarna.

Förutom effekter på de biologiska systemen sker en förändring av de hydrologiska förloppen. Tjälens påverkas och kan i vissa områden bli djupare om det skyddande snötäcket blir mindre djupt under vintern. I andra områden med senare snöläggning blir tjälens

mindre omfattande. Förekomsten av vatten i marken påverkar de markfysiska processerna i fjällen. En längre period med temperaturer över 0 grader C och med mer nederbörd kan ge ökad markflytning och mer omfattande skred.

Sammantaget är bergsområden som de svenska fjällen mycket känsliga och sårbara för klimatförändringar. Flera ekosystem som de alpina-subarktiska riskerar att försvinna helt och hållet.

5.3 Åtgärder för anpassning

Sedan år 1990 genomförs en översyn av de dimensionerande flödena för samtliga större dammar i det svenska vattenkraftssystemet enligt nya riktlinjer från den s.k. Flödeskommittén och kraftindustrins eget regelverk (RIDAS). Flera anläggningar har byggts om och projektering för ytterligare ombyggnader pågår. Syftet är i första hand att garantera dammarnas säkerhet under dagens klimatförhållanden. Ännu finns inte tillräckligt säkert underlag för att också ta hänsyn till effekterna av en global uppvärmning, men om det är möjligt utan stora merkostnader ökas ibland säkerhetsmarginalerna på grund av den osäkerhet som klimatfrågan skapar vid dimensioneringsberäkningarna.

I övrigt finns det få exempel på konkreta åtgärder för anpassning. Till dess att samhället anpassats behövs optimerade system för att bygga bort, övervaka och larma samt vidta åtgärder i samband med kriser och olyckor.

5.3.1 Forsknings- och utvecklingsbehovet

För mer kvantitativa bedömningar av sårbarhet för klimatförändringar och för att utforma anpassande åtgärder behövs forskning och utveckling. Viktiga områden är:

Utvecklingen av modeller och klimatscenarier för att studera extremer i förhållande till förändringar i medelvärden.

- Genom förbättrad kunskap om hur de storskaliga beräkningsresultaten simulerade med globala modeller ska tolkas vidare till regional skala.
- Genom förbättrad integration (t.ex. återkopplingar) mellan olika modeller som beskriver meteorologi, hydrologi, oceanografi och ekosystemen.
- Genom att ha längre körningar (motsvarande 30 år) för att fånga upp situationer som förekommer sällan (låg frekvens), t.ex. allvarliga stormar eller extrem nederbörd.
- För att ge bättre kvantitativa bedömningar av felkällor och osäkerheter.
- För att ge underlag för effektstudier inom andra områden och sektorer (jordbruk, skogsbruk, ekosystem, samhällsstruktur, kustzoner, etc.)

Studier utifrån klimatscenarier av effekter för samtliga sektorer som har en känslighet för klimat är också viktiga. Några områden av betydelse är:

- Jord- och skogsbruket, fiskerinäringen, rennäringen.
- Hydrologiska förlopp, mark och grundvattenförhållanden och dess betydelse för skred, ras och erosion.
- Limniska, marina och terrestra ekosystem, med ett första fokus på viktiga processer, indikativa respektive unika arter och livsmiljöer, och med hänsyn tagen även till andra faktorer som påverkar miljöerna.
- Sverige har en unik position för att studera sjukdomars utbredning i en klimatgradient. Dessa studier kan vara en viktig länk i att bedöma framtida globala hälsoeffekter av klimatförändringar.

Studier för att utforma strategier kring anpassning till ett förändrat klimat. Exempel på viktiga områden för anpassning är:

- Grundläggande kunskaper om dynamiska förlopp i ekosystem.
- Hur vi idag kan ta hänsyn till kommande förändrade villkor för samhällets byggnation av infrastruktur med lång livslängd (bl.a. vägar, broar, vatten- och avloppssystem, dammar, kraftledningar). Till en del finns redan kunskaper om klimatets betydelse för infrastrukturen som bör kunna utnyttjas på ett mer konsekvent sätt i riskbedömningen vid investeringar i infrastruktur.
- Hur naturvärden (fjäll, skogs- och jordbrukslandskapet, kustzoner) och biologisk mångfald kan bevaras genom skapande och säkerställande av spridningskorridorer och av mikromiljöer, som ökar robustheten vid klimatförändringar.

Referenser och litteratur

Epstein PR. Climate and Health. *Science* 1999;285:347-48.

Jaenson TGT. Myggburna infektioners ekologi i Fennoskandinavien – en översikt. *Läkartidningen* 1988;85:2255-58.

Jendritsky G et al. Atmospheric heat exchange of the human being, bioclimatic assessments, mortality and heat stress. *Int J Circumpolar Health*, i tryck.

Kasimir-Klemedtsson, Å. & Lilliesköld, M. (Red.) Växthusgasflöden från myrar och organogena jordar. Naturvårdsverket rapport 5132. Naturvårdsverket förlag, Stockholm, 2001.

Kriz B et al. Monitoring of the epidemiological situation in flooded areas of the Czech Republic in year 1997. Conference Proceedings May 1998 Podebrady.

Kuhn KG. Global warming and leishmaniasis in Italy. *Bull trop Med Internat Health*. 1997;7:1-2.

Lindgren E et al. Impacts of climatic change on the northern latitude limits and population density of the disease-transmitting European tick, *I. ricinus*. *Environ Health Perspect* 2000;108:119-23.

Lilliesköld, M. (Red.) Effects of climate change in Sweden : 2021 Naturvårdsverket rapport 4583. Naturvårdsverket förlag, Stockholm, 1996.

Lindgren E, Gustafson G. Are recent increases in the incidence of tick-borne encephalitis in Sweden caused by changes in climate? *Lancet* 2001;358:16-18.

Martens et al. Sensitivity of malaria, schistosomiasis and dengue to global warming. *Climate Change* 1997;35:145-56.

McCarthy, J. Canziani, O., Leary, N., Dokken, D. and White, K. (Eds.) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, UK, 2001.

Parry, M. (Eds.) *Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Projekt*. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, UK, 2000.

Patz J et al. The potential health impacts of climate variability and change for the United States: Executive summary of the report of the health sector of the US national assessment. *Environ Health Perspect* 2000;108:367-76

Rose JB et al. Climate and waterborne outbreaks in the US: a preliminary descriptive analysis. *J Am Water Works Assoc*. 2000;92:77-86.

Rummukainen, M., et al. SWECLIM – The first three years. Reports Meteorology and Climatology No. 94. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden, 2000.

Sigvald, R., et al. Jordbrukets känslighet och sårbarhet för klimatförändringar Naturvårdsverket rapport 5167. Naturvårdsverket förlag, Stockholm, 2001.

Sonesson, M. & Lilliesköld, M. (Red.) Fjällens ekosystem i ett förändrat klimat Naturvårdsverket rapport 5085. Naturvårdsverket förlag, Stockholm, 2000.

Sykes, M.T. & Prentice, I. C. Modelling the effects of climate change on Swedish forests. Naturvårdsverket rapport 5029. Naturvårdsverket förlag, Stockholm, 2000.

Ziska LH, Caulfield FA. Rising Co2 and pollen production of common ragweed, a known allergy-inducing species: implications for public health. *Austr J Plant Physiol* 2000: 27.

Workshops om klimatfrågor inför nationalrapporten, Naturvårdsverket rapport 5171. Naturvårdsverkets förlag 2001

