

Effekter av ett förändrat klimat på skogen¹

**Av doc. Johan Bergh, prof. Ola Sallnäs, doc. Kristina Blennow och
prof. Urban Nilsson**

Inledning

Att klimatet kan komma att förändras påverkar svenskt skogsbruk. Skogen har i sig en direkt inverkan på klimatet samtidigt som skogsbruket kan behöva anpassas till de nya förhållandena. Ett osäkert klimat sätter brukandet av skogen i ett nytt läge som vi inte har någon tidigare erfarenhet av. Scenarier för framtida klimatutveckling är behäftade med stor osäkerhet och de förväntade effekterna på skogen blir således ännu mer osäkra. Trots detta kan man ändå förutsäga några sannolika huvuddrag i effekterna på den svenska skogen vid ett framtida ändrat klimat. En ökad potentiell biomassaproduktion kan förväntas, liksom ökade möjligheter att använda nya arter i skogsbruket. Samtidigt ökar sannolikt risken för vissa typer av skador.

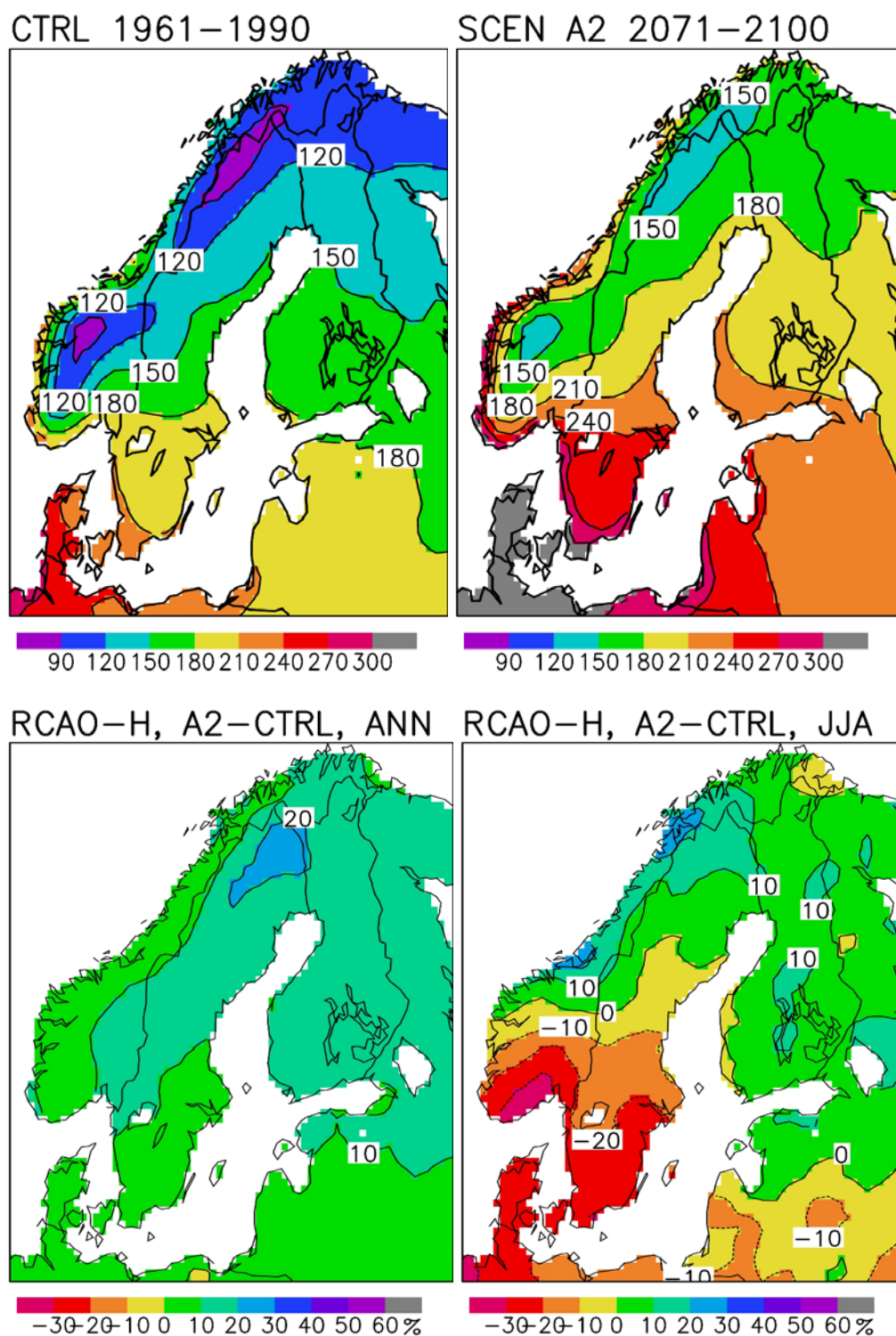
Att väga eventuella fördelar i form av ökad produktion och ökade möjligheter i trädslagsval mot ökade risker för skador är viktigt för att ge samhället ett helhetsperspektiv och för att en större grupp ska ha möjlighet att ta till sig frågan. Det är också viktigt att i största möjliga mån kvantifiera eller ge ramarna i ekonomiska termer för hur det förändrade klimatet kan tänkas påverka skogsbruket. Vidare kan det vara styrande för prioritering av fortsatta forskningsarbeten och riskbedömning och för att prioritera åtgärder. Därför har vi försökt utifrån befintlig kunskap idag, konstruera en tabell över den ekonomiska betydelsen och forskningsbarheten för olika risk/ämnesområden (se tabell 5 sidan 15). De största effekterna av ett förändrat klimat på ekonomin inom skogsbruket är den positiva effekten av en ökad produktion. Mot detta får vägas de negativa effekterna i första hand av en ökad risk för stormfällningar, skadeangrepp från insekter och svampar. Mot bakgrund av skogsbrukets stora betydelse som naturresurs och industriell bas, så finner vi att det är viktigt att vi står rustade inför en framtid med såväl ökade hot som nya möjligheter.

Produktionseffekter vid ett förändrat klimat

Ett förändrat klimat innebär att produktionsförutsättningarna ändras för våra trädslag. I vårt kärva vinterklimat skulle en ökad temperatur och koldioxidhalt sannolikt öka produktionen för de flesta trädslag i Sverige. Detta förutsatt att nederbörden inte minskar drastiskt. En ökad temperatur vår och höst leder till en förlängd växtsäsong (övre figur 1) och att mer av solljuset kan utnyttjas till fotosyntes- och biomassaproduktion (Bergh et al., 2003). Detta leder högst

¹ Föreliggande rapport är finansierad av Länsförsäkringsbolagens Forskningsfond.

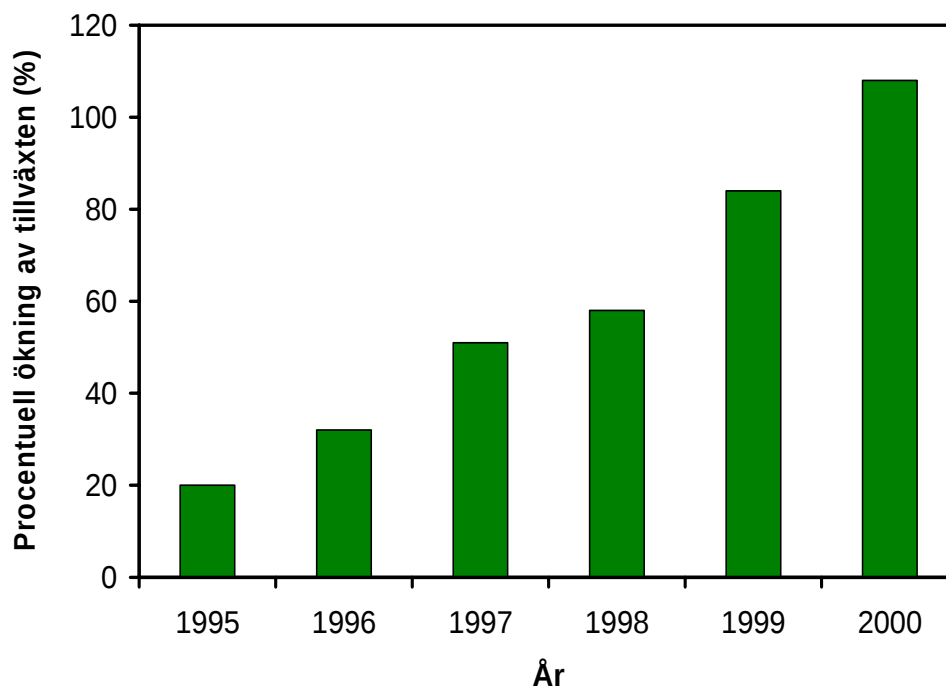
sannolikt till en ökad biomassa- och stamvedsproduktion för samtliga av våra trädslag i Sverige.



Figur 1. Vegetationsperiodens längd i dagar i dagens klimat (vänstra övre figuren) och enligt A2-scenariet (högra övre figuren). Nederbördsförändring för hela året i A2-scenariet (vänstra nedre figuren) jämfört med dagens klimat och nederbördsförändring under juni-augusti i A2-scenariet (högra nedre figuren). Figurerna är från SWECLIMs regionala scenarier (Räisänen et al., 2002, se även appendix på sidan 18).

Idag är vattentillgången god i mellersta och norra Sverige och vatten begränsar normalt inte tillväxten på marker med sandig-moig morän och finare marktextur. Däremot kan vatten vara begränsande på sandmarker. En kraftigt ökad nederbörd i norra Sverige skulle eventuellt kunna leda till försumpning av vissa ståndorter och produktionsminskning. Minskad nederbörd och ökad temperatur skulle kunna minska produktion på framför allt marker med grövre marktextur. Minskad nederbörd i södra Sverige skulle med stor sannolikhet leda till produktionsminskningar och i extrema fall försämrad vitalitet och död. Trädslag med stort vattenbehov som de flesta lövträd och gran skulle sannolikt missgynnas i större utsträckning än tall och ek. Ökad nederbörd i södra Sverige skulle på de flesta ståndorter leda till ökad produktion. SWECLIM's scenarier (se Appendix) predikterar en svagt ökad nederbörd sett över hela året (nedre figur 1 till vänster) men en minskad nederbörd under sommaren i stora delar av landet men framför allt i södra Sverige (nedre figur 1 till höger). En ökad temperatur innebär dessutom en ökad avdunstning, vilket innebär att vattentillgången minskar markant under sommaren i södra Sverige.

En höjd lufttemperatur leder också till en höjning av markens temperatur, vilket påskyndar nedbrytningen av organiska material. En högre nedbrytningshastighet gör att mer växtnäring frigörs i marken i större utsträckning. Eftersom växtnäring begränsar i stor utsträckning tillväxten i våra svenska skogar, skulle en ökad växtnäringstillgång öka produktionen. Effekten är sannolikt betydligt större i norra jämfört med södra Sverige, dels på grund av att näringsutbudet idag är generellt betydligt lägre i norra Sverige jämfört med södra och dels den stora gradienten beträffande kvävenedfallet över Sverige. I ett markuppvärmningsförsök i Västerbotten, där man har värmt upp marken med 5 °C över den naturgivna marktemperaturen på försökslokalen, har man ökat stamvolymtillväxten med nästan 100% (figur 2). Detta visar hur viktigt det är att ta hänsyn till näringsdynamiken i marken när man försöker förutsäga hur produktionen kommer att påverkas i ett förändrat klimat.



Figur 2. Ökning av stamvolymtillväxten hos gran i Västerbotten som en effekt av ökad marktemperatur med 5 °C (Strömgren & Linder, 2002).

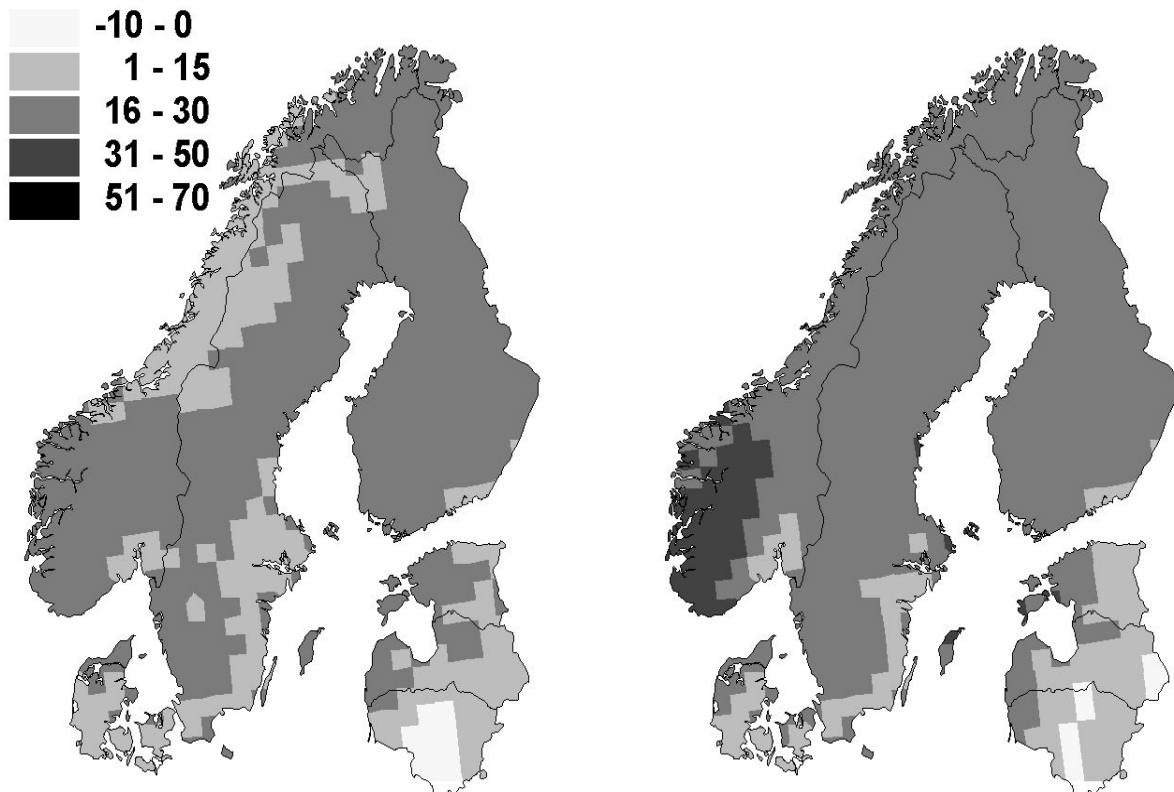
I kortvariga laboratorie- och fältförsök leder en ökning av koldioxidhalten till kraftigt ökad fotosynteshastighet (100% ökning). Efter en tid verkar dock träden anpassa sig till den nya koldioxidhalten och fotosynteshastigheten går ner till nästan samma nivå (ökning 10-15%) som vid normal koldioxidhalt (360 ppm). En ökad koldioxidhalt har i många fall effekt på barren/bladens klyvöppningar och trädens vattenhushållning. Effekten av koldioxid på produktionen förväntas därför bli större i områden där vattentillgången är begränsande. En produktionsökning, orsakad förhöjd temperatur, förlängd växtsäsong, tidigare knoppsprickning och ökad koldioxid mm, måste dock matchas av ett ökad tillgång på växtnäring i marken.

Knoppsprickning och skottskjutning på våren hos barr- och lövträd påverkas av lufttemperaturen och dagslängden. Hos barrträden är den ofta korrelerad till en temperatursumma, medan lövsprickningen hos vissa av våra lövträd är en kombination av temperatursumma och dagslängd. Tall och gran behåller sin barr på vintern medan lövträden bygger upp sin bladmassa varje år. Detta innebär att tidigare skottskjutning och lövsprickning på våren har en större betydelse för produktionen hos lövträden jämfört med barrträden.

Extrema vädersituationer (torka, temperatur, vind, mm) har nästan alltid en negativ inverkan på produktionen och kan sätta ner trädets vitalitet och göra det mer mottagligt för exempelvis svampsjukdomar och insektsangrepp. Invintring och dess upphörande på våren är processer som delvis styrs av temperaturen. Dessa processer kan störas och försämma trädens motståndskraft och vitalitet. Insektsangrepp, svampangrepp, stormfällningar och extrema vädersituationer kan på både kort och lång sikt få en betydande inverkan på produktionen.

De flesta produktionsfaktorer interagerar med varandra och därför använder man sig av processbaserade produktionsmodeller för att uppskatta effekterna på produktionen av ett förändrat klimat. Nedan ser ni hur granens produktion kan komma att förändras för perioden 2070-2100 jämfört med idag (figur 3) för A2-scenariet oaktat skador. Produktionsökningen är ca 10-30% för stora delar av Sverige och något mindre i södra Sverige (figur 3), särskilt i sydöstra Sverige. Detta är en effekt av att nederbördsförhållandena i scenarierna begränsar tillväxtökning i större utsträckning i södra Sverige. Tillgången på vatten påverkar produktionen mer för gran än för tall, vilket är en effekt av att gran har en större barrarea och ett större vattenbehov. Den relativa produktionsökningen är något större för tall. Körningar med B2-scenariet, med mer begränsade utsläpp av växthusgaser, ger också en markant ökning av produktionen men är ca 10% lägre jämfört med A2-scenariet.

Relativ förändring av NPP (%)



Figur 3. Relativa förändringen av NPP (net primary production) för gran (högra figuren) och tall (vänstra figuren) vid ett förändrat klimat enligt A2-scenariet (Bergh et al., 2006).

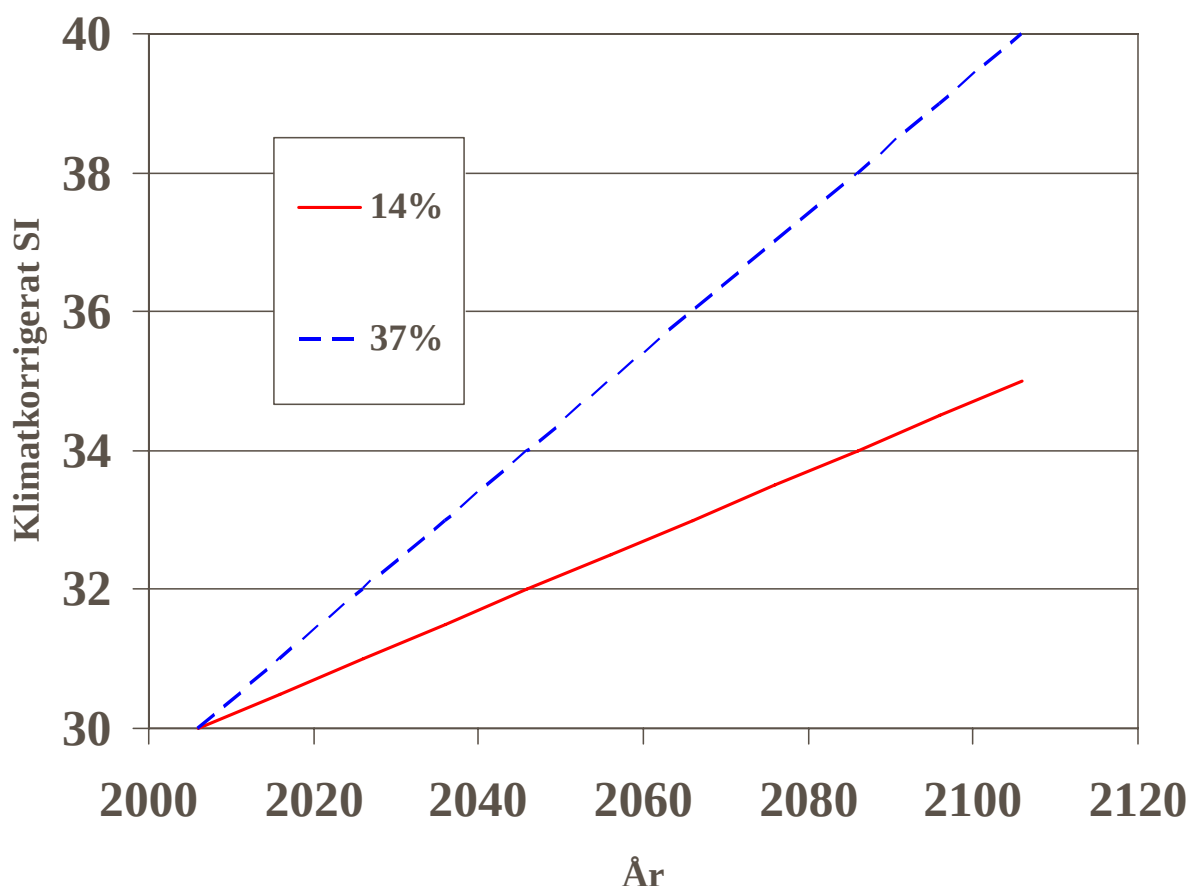
Framtidsanalys för produktionen

Om man tillåts som forskare att spekulera utanför de vetenskapliga ramarna så är det högst sannolikt att produktionen kommer att öka de närmaste 100 åren i stora delar av Sverige, förutsatt att klimatet i stora drag utvecklar sig i enlighet med SWECLIM's scenarier. Om det växer 100 miljoner m³sk per år idag så bör den årliga tillväxten öka till över 120 m³sk per år om 100 år. Den transienta produktionsökningen är antagligen störst fram till 2070 för att sedan avta. Skulle temperaturförändring bli större än i A2-scenariet är det inte säkert att produktionen skulle öka ytterligare, då skillnaden i produktionsökning är liten mellan B2- och A2-scenariet. Nederbörds-klimatet har en stor inverkan på produktionen i framförallt södra Sverige. Därför är det viktigt med tillförlitligheten i SWECLIM's scenarier när det gäller denna parameter. Extrem torka och återkommande torra somrar kan leda till betydande produktionsförluster. När det gäller effekten av hur marken och utbudet av växtnäring kommer att påverkas av ett förhöjt temperaturklimat är det svårt att kvantifiera. Troligtvis kommer det leda till en betydande produktionsökning i framför allt i Sveriges mellersta och norra delar. En effekt som ett förhöjt temperaturklimat kan ha är att granen blir vanligare i norra Sverige, där själva trädslagsbytet innebär en produktionshöjning. I södra Sverige kan man säkert köra gran en omloppstid till men det kan bli aktuellt att byta ut granen i framtiden ifall medeltemperaturen ökar med 2-3 grader. Tallen förekommer i flera olika klimat och kommer antagligen klara sig bäst i södra Sverige av alla våra inhemska trädslag om det blir avsevärt torrare. Skogsskötseln kommer sannolikt att förändras på lång sikt i Sverige, med kortare omloppstider och anpassningar för att minimera olika skadeverkningar (storm, insekts-, svampangrepp). Sveriges och Finlands roll som skogsländer och producenter av skogsråvara inom EU kommer sannolikt att förstärkas om SWECLIM's scenarier blir

sannspådda, då klimatförhållandena för skogsproduktionen kommer att försämrats för stora delar av Europa.

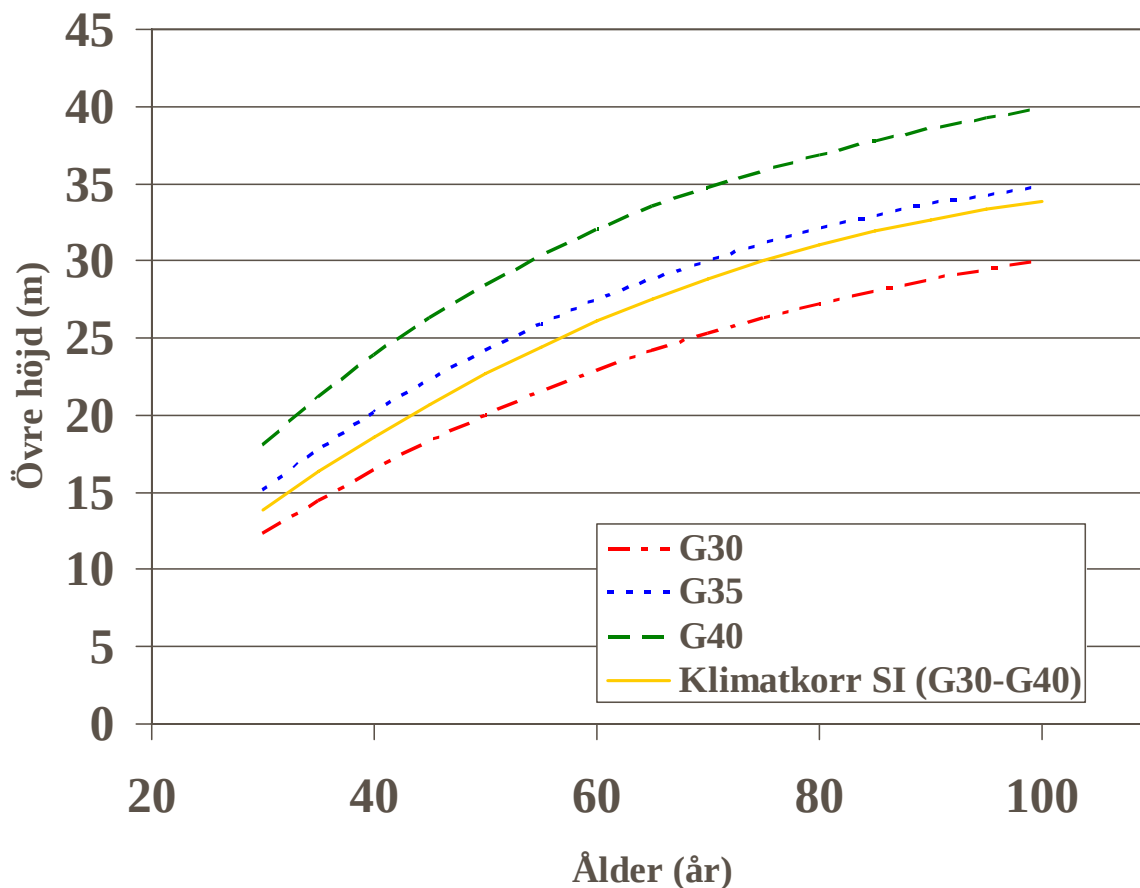
Effekter av förändrat klimat på skötsel och ekonomi vid ökad produktion av gran

I detta kalkylexempel räknar vi med två olika produktionsscenarier, 14% respektive 37% produktionshöjning efter 100 år. Markens bördighet brukar mätas med hjälp av ståndortsindex vilket är den höjd som de högsta träden i beståndet når på 100 år. En relativt bördig granmark, vilken är vanlig i södra Sverige, kan ha ståndortsindex G30 vilket innebär att de högsta träden blir 30 m höga vid 100 års ålder. För en mindre bördig granmark med ståndortsindex G22 blir de högsta träden 22 m efter 100 år. Ståndortsindex kan sedan räknas om till bonitet eller produktionsnivå vilket anger medelproduktion under omloppstiden i m^3/ha år. Genom att beräkna den höjning i ståndortsindex en viss produktionsökning pga förändrat klimat kan sedan produktionsmodeller användas för att beräkna framtida intäkter och kostnader. För ett ståndortsindex för gran på 30 m innebär en 37% produktionshöjning att ståndortsindex ökar med 10 m till 40 m och att en 14% ökning av produktionen medför en ökning av SI med 5 m till 35 m. Vi har antagit att ökningen av SI sker linjärt under 100-årsperioden (figur 4). I tillväxtmodellen beräknas för varje 5-års period en tillväxt med aktuellt SI som läggs till den tillväxt som ackumulerats sedan tidigare. På så sätt fås en gradvis ökning av ståndortsindex och tillväxt.



Figur 4. Klimatkorrigerat ståndortsindex vid produktionshöjning om 100 år på grund av klimatförändring på 14% respektive 35% (Nilsson pers. comm.)

I figur 5 redovisas effekten av ovanstående klimatkorrigerings av SI på övre höjdens utveckling för alternativet med en ökning av tillväxten om 100 år med 37%. Övre höjden för klimatalternativet har då ökat med knappt 4 meter jämfört med normal utveckling för G30.



Figur 5. Övre höjdens (höjden för de 100 högsta träden/ha) utveckling för ståndortsindex G30, G35, G40 och för det klimatkorrigerade alternativet med 37% ökning av produktionen om 100 år (G30-G40).

Medelproduktionen för det klimatkorrigerade alternativet med 14% tillväxtökning om 100 år blir ca 4% högre än för det icke klimatkorrigerade alternativet och ca 11% högre om tillväxtökningen antas bli 37% om 100 år (tabell 1). Anledningen till att den relativa tillväxtökningen för beståndet blir avsevärt lägre än vad tillväxtökningen om 100 år anger är naturligtvis att ökningen av tillväxten sker gradvis under 100-årsperioden. Under de första femårsperioderna har man nästan ingen tillväxtökning alls medan bestånden växer betydligt bättre under slutet av omloppstiden. Det hade varit lätt att anta att tillväxtökningen skulle bli hälften av den antagna tillväxtökningen men granens tillväxtkurva medför att så inte blir fallet. Dels så är granens omloppstid kortare än 100 år så de bestånd som vi planterar idag får aldrig uppleva den antagna produktionsökningen om 100 år. Dels så varierar granens tillväxt under perioden på grund av att bestånd i olika utvecklingsfas har olika tillväxt och är som högst vid 30-40 års ålder, det vill säga när effekten av klimatet på tillväxten endast är 30-40% av vad den kommer att bli om 100 år.

Ekonomi påverkades relativt sett något mer än produktionen. Samtliga ekonomiska parametrar var ca 7-8% högre för alternativet med 14% tillväxtökning och ca 16-17% högre för alternativet med 37% tillväxtökning (tabell 1). Anledningen till att ekonomin påverkades

relativt sett mer än produktionen var att tillväxtökningen sker sent i beståndets liv och att det då producerades grövre träd. I och med att slutavverkningsbeståndet innehåller grövre träd blir inkomsten per kubikmeter högre eftersom grövre träd betalas bättre. Dessutom är det billigare att avverka grova träd än något klenare.

Tabell 1. Uttag och netton i gallringar och slutavverkning för en relativt bördig granskog (ståndortsindex G30) utan klimateffekter och för G30 med en produktionshöjning om 14% efter 100 år (G30 blir G35) och för G30 med en produktionsökning om 37% efter 100 år (G30 blir G40). För kassaöverskott, nuvärden och medelproduktion anges den relativa skillnaden till kontrollalternativet i kursiv stil. Nuvärdet har beräknats med 2% respektive 3% ränta.

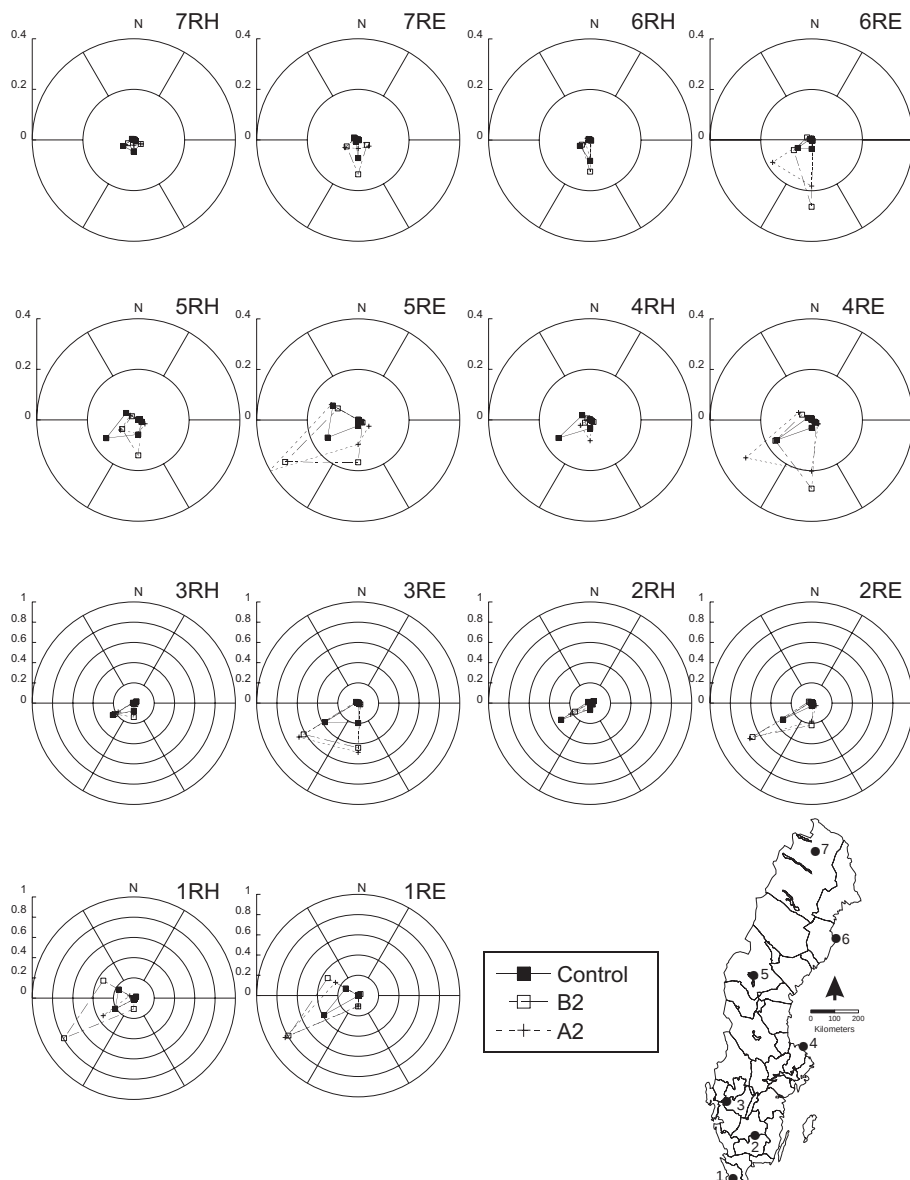
	G30	G30-G35	G30-G40
Gallring 1			
Ålder	33	33	33
Uttag	67	70	76
Netto	5100	6200	6800
Gallring 1			
Ålder	43	43	43
Uttag	88	89	97
Netto	11500	12600	13900
Slutavverkning			
Ålder	73	73	73
Uttag	596	622	665
Netto	182300	194200	210600
Kassaöverskott	2725	2918 1.07	3168 1.16
Nuvärde 2%	50512	54358 1.08	59088 1.17
Nuvärde 3%	26219	28318 1.08	30804 1.17
Medelproduktion	10.3	10.7 1.04	11.5 1.12

Sammanfattningsvis så visar ovanstående simuleringsstudie att produktionen i granskog som planteras idag inte blir avsevärt högre än dagens produktion även om klimatförändringen medför en kommande produktionsökning på så mycket som 35%. Detta beror naturligtvis på att de bestånd som planteras idag lever huvuddelen av sitt liv i dagens klimat och att granskog med kort omloppstid aldrig blir berörd av den klimatförändring som uppkommer om 100 år. Ekonomin påverkas något mer av en klimatförändring än produktionen beroende på att ökningen av tillväxten i beståndets slutfas medför grövre skog som ger högre intäkter och är billigare att avverka. Vi vill också påpeka att denna simuleringsstudie är ett första försök och som sådan behäftad med ett antal antaganden vars effekter behöver studeras. Detta kommer att göras i kommande arbeten.

Risken för vindfällning under ett förändrat klimat

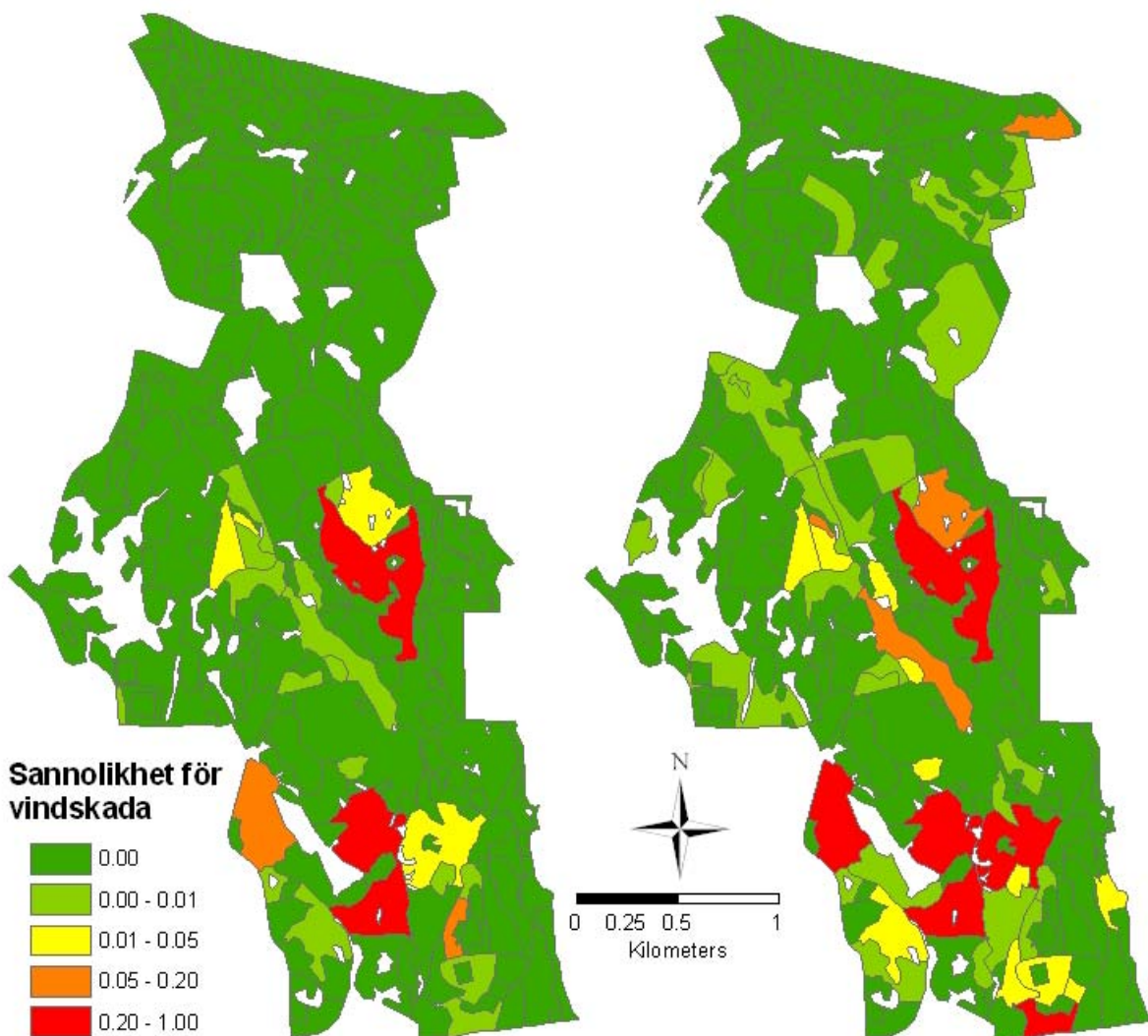
När det gäller det framtida vindklimatet skiljer sig de regionala klimatscenarier som tagits fram vid Rossby Centre åt beroende på vilka globala drivdata man använt sig av vid beräkningarna och beroende på var man befinner sig i landet. Enligt en analys av tillgängliga fyra framtida klimatscenarier för perioden 2071–2100 kvarstår mönstret (Blennow & Olofsson inskickad) med högre sannolikhet för höga vindstyrkor i södra Sverige jämfört med norra Sverige (Raab & Vedin 1995, Nilsson m.fl. 2004). Om sannolikheten för starka vindar skulle öka, ökar också sannolikheten för vindfällning så länge som skogens motståndskraft

mot starka vindar inte ökar. Analysen av klimatscenerierna visar att för sydligaste Sverige ökar sannolikheten för starka vindar i alla scenarier utom ett (figur 6). För övriga undersökta platser spridda över Sverige antingen ökar sannolikheten för starka vindar eller snarare minskar den något beroende på vilka globala drivdata som använts för att ta fram klimatsceneriot. För närvarande kan man inte säga vilka globala drivdata som ger de mest trovärdiga klimatscenerierna. Men sannolikheten för vindfällning beror inte bara på vindens styrka, också vindriktningen är av betydelse. För de flesta undersökta platserna är sannolikheten för stark vind från västliga till sydvästliga riktningar fortsatt förhållandevis hög i scenarierna och sannolikheten för starka vindar från sydliga riktningar är på många håll högre än under dagens klimat. För sydligaste Sverige är sannolikheten för starka vindar från nordväst till sydöst högre i alla framtidsscenarier utom ett. Information om framtida vindriktningar kan användas för anpassningen av skogsbruket genom rumslig planering av slutavverkning och beaktande av topografins inflytande på vindexponeringen. Även om klimatscenerierna inte ger en entydig bild av framtida vindstyrkor över Sverige, kan det inte uteslutas att det blir blåsigare framöver. Dessutom leder ett mildare och blötare vinterklimat till ökad sannolikhet för vind fällning genom försämrad förankring av träden i marken, exempelvis genom minskad eller utebliven tjäle (Peltola m.fl. 1999).



Figur 6. Den årliga sannolikheten att för olika vindriktningar överskrider en vindstyrka som ungefärligen motsvarar gränsen för skada i gran för sju platser i Sverige. Observera de olika skalorna. RE och RH avser regionala klimatscenarier för vilka två olika globala drivdata använts. Control avser perioden 1961–1990. B2 och A2 avser två olika utsläppsscenarier för växthusgaser för perioden 2071–2100.

Den förväntade ökningen av skogsproduktionen i sig leder dessutom till ökad sannolikhet för vindfällning på landskapsnivå genom ett mera sårbart skogstillstånd, oavsett om och hur sannolikheten för starka vindar förändras (Olofsson m.fl. inskickad). Den beräknade ökningen av sannolikheten för vindfällning baserat på klimatscenariot RE B2 för Asa skogliga försökspark i Småland (Figur 7) kompenseras dock av att slutavverkningstidpunkten tidigare läggs med i storleksordningen 10 år.



Figur 7. Resultat för Asa skogliga försökspark i Småland avseende den beståndsvis aggregerade årliga sannolikheten för vindfällning för kontrollperioden 1961-1990 baserat på klimatscenariot RE (vänstra kartan), och perioden 2071-2100 baserat på klimatscenariot RE B2 (högra kartan). Beräkningarna är gjorda med modellsystemen BIOMASS (Bergh m.fl. 1998), samt FTM (Andersson m.fl. 2005) och WINDA (Blennow & Sallnäs 2004, Blennow & Olofsson, inskickad). (Olofsson m.fl. inskickad).

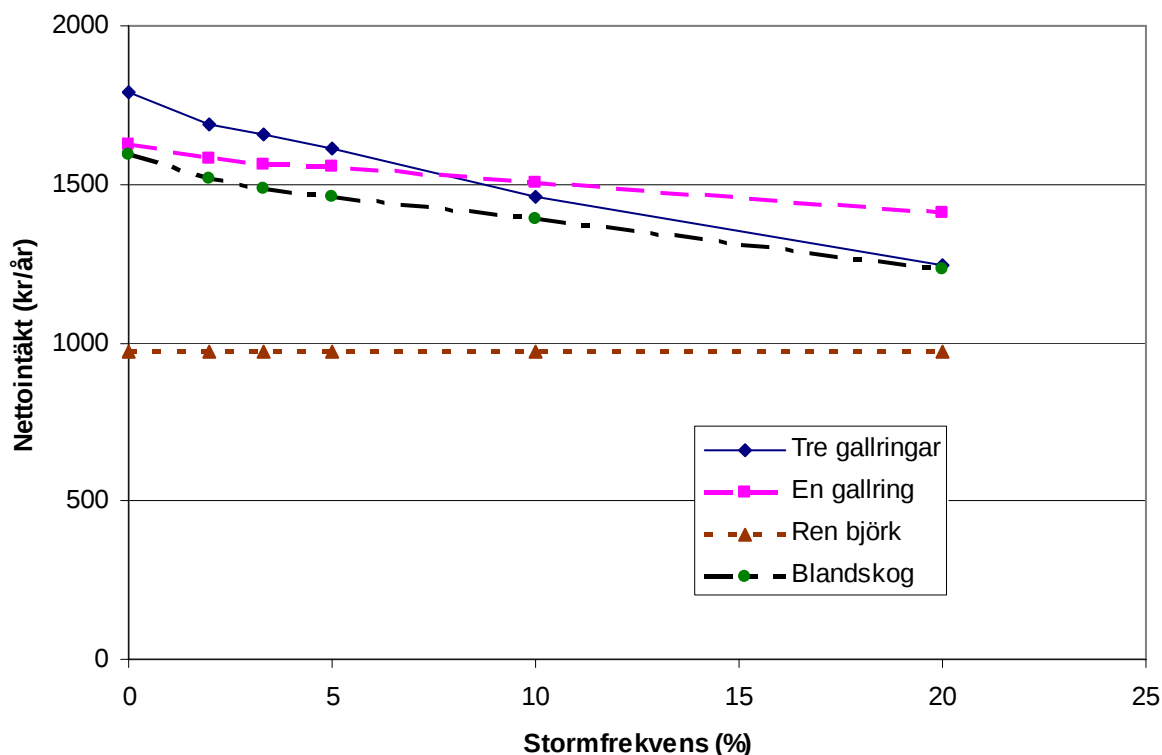
En klimatförändring skulle påverka risken för stormfällning dels direkt genom att sannolikheten för starka vindar förändras, dels indirekt genom att skogens tillstånd och

därigenom dess känslighet för stormskador förändras. Simuleringar har genomförts bl.a. för ASA försökspark (Olofsson et al., 2006) där hänsyn tagits till båda dessa influenser. I tabell 2 ser vi att den förväntade vindfällningsarealen i kontrollscenariet om 19 ha per år ökar till 37 ha per år i B2 scenariet om inga förändringar i skötseln görs. Det är emellertid möjligt att motverka den ökande stormfällningsarealen genom att tidigarelägga slutavverkningarna. Detta medför då en förväntad produktionsförlust och en sämre ekonomi jämfört med om man inte behövt att ta hänsyn till stormfällningsrisken.

Tabell 2. Den förväntade årliga vindfällningsarealen i ASA försökspark för RE kontroll scenario och för olika simuleringar med RE B2 scenario där gränsvärdet för vid vilken volymtillväxtprocent slutavverkning sker varierats.

	RE kontroll 3	RE B2 3	RE B2 3.5	RE B2 4.0	RE B2 4.5	RE B2 5.0
Förväntad vindf. (ha)	19	37	27	21	23	4

I figur 8 visas resultaten av en kalkyl som gjorts för att illustrera effekterna av stormskador på skogsbruket. Kalkylen avser att belysa utfallet för en stor skogsägare som vid ett omfattande stormtillfälle möter lägre virkespriser, fördyrade avverkningar etc. Figur 8 skall läsas så att om vi antar att det aldrig stormar kommer en ägare av en normal skogsmark i Götaland ha ett nettoflöde på ca 1850 kr per hektar och år i genomsnitt över en längre period. Om vi istället antar att vi har en storm i Gudrunklass var 10:e år sjunker detta genomsnittliga netto till ca 1500 kr. Allt detta under förutsättning att skogen sköts enligt gängse granskogsbruksmodell. Även andra skötselalternativ illustreras i figuren.



Figur 8. Stormfrekvensens inverkan på nettointäkt vid olika skötsel och trädslagsalternativ.

Klimatförändringar kommer att påverka skogsbrukets ekonomi

Drivmotorn för ekonomin i skogen är tillväxten och förändras tillväxthastigheten, till följd av klimatförändringar, påverkas även skötseln och möjligheterna att bedriva ett ekonomiskt skogsbruk. I nedanstående tabell 3 bedömer man effekterna av en klimatförändring på skogen. Vissa av dessa har en betydande inverkan på ekonomin medan andra är mer marginella. Enligt tabellen ökar produktionen i hela Sverige och om man summerar figur 3, innebär det att den årliga tillväxten av stamved skulle öka från dagens nivå på 100 miljoner m³ per år till ca 120 miljoner år 2085. En ökad tillväxt på ca 20 miljoner m³ per år motsvarar flera miljarder kronor om man utnyttjar den ökade tillväxten. Trädslagsdiversitet behöver inte ha någon direkt betydelse för ekonomin om man inte byter trädslag i stor skala. Om man blev tvungen att byta ut granen i södra Sverige skulle det sannolikt ha negativa effekter på ekonomin, samtidigt som ett ökat användande av gran i norra Sverige kunde ha en positiv effekt på ekonomin.

Om stormfrekvensen och vindfällningarna ökar kommer det ha negativa effekter på ekonomin eftersom det är kostsamt att ta hand om stormfällt virke och kvaliteten försämras dels pga sprickor, spjälkning och brutna stockar och dels för att virket kan bli angripet av röta och insekter. Dessutom blåser det ner alltför tidigt under omloppstiden och man utnyttjar inte produktionsförmågan fullt ut. Skogstyrelsen anger att den samhällsekonomiska kostnaden för Gudrun blev ca 10 miljarder kronor (Skogstyrelsen, 2006). Stormfällningar är betydligt vanligare i södra Sverige men anpassningar i form av skogsskötsel av gran eller byte av trädslag kan påverka stormrisken avsevärt.

Tabell 3. Bedömda effekter av en klimatförändring på skogsproduktivitet och hälsa i ett 20—100 års perspektiv. + = ökning, - = minskning. Översatt från Sonesson et al., 2004.

Förändring i	södra Sverige	centrala Sverige	norra Sverige
Trädslagsdiversitet	++	+++	+
Skogsproduktion	+++	+++	+++
Skador orsakade av:			
Vind	+	+	+
Snö	-	-	-
Brand	+	+	±
Vårfrost	±	±	±
Höstfrost	-	-	-
Vintertorka	+	±	±
'Hardwood decline'	+	+	±
Torka	++	+	±
Vattensjuk mark	+	+	++
Ryggradslösa djur	+	+	+
Ryggradsdjur	±	+	+
Mikroorganismer och svampar	±	±	±
Markvegetation	+	+	+

Mängden snö kommer att minska och varaktigheten då skogsmarken är täckt av snö kommer att förkortas. Detta kommer i sig inte ha någon direkt påverkan på ekonomin. Avverkningarna utförs dock till stor del under vinterhalvåret då marken är tjälad och marken bär och vid sådana markförhållanden orsakar inte skogsmaskiner några körsador. Det kommer med andra ord bli svårare att avverka under vintern och få ut virket ur skogen. Detta kan ge negativa effekter på ekonomin om det inte kan lösas genom planering och att man avverkar under andra delar av året än vintern.

Brandrisken förväntas öka enligt tabell 3, vilket måste anses ha en negativ inverkan i ekonomiska termer. Störst brandrisk har vi under varma och torra somrar, vilket förutspås öka i SWECLIMs scenarier, i framför allt Sveriges sydöstra delar. I ett historiskt och globalt perspektiv är det tydligt att skötta skogar där man bedriver ett aktivt skogsbruk brandhärjas mindre frekvent. Vad det kan innebära i ekonomiska termer är omöjligt att förutsäga men sannolikt relativt marginellt jämfört med andra skadeverkningar.

Frekvensen av vårfrost och höstfrost förväntas vara den samma eller minska. Vårfrost i planteringar kan orsaka att skotten dör om frosterna inträffar i samband med skottskjutningen på våren. Detta tar vanligtvis inte död på plantorna eller de unga träden om det inte inträffar flera år i följd. Man bör tänka sig för i framtiden vad man väljer för något plantmaterial men det behöver vi inte bry oss om i någon större utsträckning idag. Vår- och höstfroster kommer inte ha någon signifikant inverkan på ekonomin.

Vintertorka kan eventuellt öka i södra Sverige men vår bedömning är att det kommer att ha en marginell omfattning och betydelse. Däremot kan svår torka under sommaren orsaka barr- och bladförluster och ge kraftiga produktionsnedsättningar ett antal år efter. Om det inträffar flera år efter varandra kan trädens vitalitet nedsättas och i slutändan även att träden dör. Försämrad vitalitet kan minska motståndskraften mot skadegörare som insekter och mikroorganismer. Om vi får varmare med mycket torra somrar kan det ge betydande produktionsförluster i framför allt södra Sverige.

”Hardwood decline”, som eventuellt kan översättas till diffusa lövträdssyndrom. Dessa kan öka med ett förändrat klimat, men kunskapen om vad som orsakar detta är bristfällig. Lövträden står för en mycket liten del av den årliga tillväxten och den stående skogen i Sverige och produktionsnedsättande effekter på lövträd har i dagsläget marginell betydelse för ekonomin i skogsbruket.

Vattensjuk mark eller försumpning förväntas öka och skulle kunna ha en negativ inverkan på produktion i framför allt norra Sverige där nederbördsökningen förväntas vara störst enligt SWECLIMs scenarier. De negativa produktionseffekterna kommer sannolikt att bli störst på friska marktyper med finare textur än sand. Områden i skogslandskapet där avrinning hämmas eller förhindras av topografin är de som ligger främst i riskzonen för försumpning. Skötselåtgärder för att motverka försumpning och produktionsförluster som dikning bör diskuteras men är kontroversiellt i dagsläget. En ökad temperatur och avdunstning kan motverka försumpningseffekten. Försumpning kan regionalt ge ekonomiska förluster för de skogsbruket i främst norra Sverige.

Om klimatet ändras, t.ex. genom att temperaturen ökar, kommer antagligen insektangreppen att öka i skogen. Förutom mer problem med redan kända skadegörare finns en risk att nya dyker upp. Det saknas kunskaper om vad det är som styr populationsdynamiken hos de flesta arter och om man ska kunna förutsäga framtida problem i samband med t.ex. en förhöjd temperatur måste vi lära oss mer om skadeinsekters ekologi. Snytbaggen är den skadeinsekt

som angriper barrplanteringar och orsakar idag de största förlusterna i ekonomiska termer och problemen är större i södra Sverige jämfört med norra. Om man inte fick använda dagens insekticid mot snytbagge, har man uppskattat kostnaden till 550 miljoner per år. Ökade problem norröver är sannolikt att vänta med ett varmare klimat. Barkborrar är annan betydande grupp skadegörare som påverkar bland annat virkeskvaliteten. En tredje grupp skadeinsekter är blad- och barrätande insekter (tallmätaren och tallstekeln) där barrförluster kan ge tillväxsförluster. Ökande problem med skadeinsekter, särskilt i kombination med ökande stormfällningar och sommartorka, kan ge stora ekonomiska förluster i framtiden.

Få försök till kvantifiering har emellertid gjorts. Ett undantag är Anna-Maris Jönsson som publicerat en beräkning av hur granbarkborren kan tänkas påverkas av en klimatförändring (Jönsson, 2004), där man har utgått från Hadleys klimatscenarier A och B. Genom att simulera klimatförändringarna i en modell för barkborrens ekologi har hon lyckats prognostisera hur borrararnas benägenhet eller möjlighet att genomföra en sensommarsvärmning under olika scenarios. Beräkningarna har gjorts för två olika lokaler i Götaland; Växjö och Ljungbyhed och resultaten kan sammanfattas i tabell 4. Jönsson drar slutsatsen ”Det finns all anledning till att tro att ökad frekvens av sensommarsvärmningar kommer att öka risken för angrepp på levande träd.”

Tabell 4. Antal tillfällen under en 30-årsperiod som barkborren kan förväntas genomföra en sensommarsvärmning under olika scenarier.

	Dagens klimat	Hadley A-scenarie	Hadeley B-scenarie
Ljungbyhed	1-4	30	26-28
Växjö	1-4	30	20-23

Varmare väder påverkar på olika vis de svamporganismer, som angriper våra skogsträd både direkt och indirekt. Svampar vars spridning gynnas av mildt väder kan förutsättas att öka i betydelse om klimatet blir varmare som t.ex. rotröta. Rotrötan påverkar i första hand trädets kvalitet i rotstocken. Idag är problemen med rotröta störst i södra Sverige, framför på västsidan där nederbörden är högre. Svampar som angriper trädet under vintern kan medföra antingen ökade eller minskade angrepp beroende på trädets hårdighet under vintervilan. Varm vinter tycks hittills ha underlättat angrepp, medan torr sommar kan motverka angrepp av t.ex. Gremmeniella. Betydande barrförluster leder till minskad produktion och är omfattningen mycket hög kan det leda till att skogen dör. Tallskytte, är ytterligare ett exempel på en patogen som utvecklas under trädets viloperiod. Svampar som gynnas av att värdrädet utsätts för stress, t.ex. extremt torrt väder kan bli allvarigare som exempelvis honungsskivlingar representerar denna svamptyp. Exempel på skadetyper är grantorka och ekdöd. Skador och nedsatt tillväxt orsakade av svampskadegörare på skog kan ha en stor negativ effekt på ekonomin inom skogsbruket men i likhet med skadeinsekter vet man mycket lite inom området och omfattning vid ett förändrat klimat är mycket osäker.

Bland ryggradsdjur finns det flera vanliga arter som påverkar skogsekosystemet och som dessutom kan orsaka skador på ekonomiskt viktiga trädslag och i övrigt ha oönskade effekter. De väsentligaste arterna ur dessa perspektiv är älg, kronhjort, dovhjort, rådjur, vildsvin och harar. De ekonomiskt viktiga trädarterna som i första hand påverkas av viltet är tall och flera lövträdsarter (björkarna och ädellöv). Flera arter har sin naturliga nordgräns ungefär vid norrlandsgränsen. Dessutom anses rådjur leva på marginalen i stora delar av Norrland. En förändring av klimatet enligt SWECLIMs scenarier kommer sannolikt att medföra ökade

utbredningsområden för nämnda arter, vilket i sin tur bl.a. påverkar storskaliga skademönster. Förändringar i t.ex. växtsäsongens längd, trädslagsblandning, tillväxthastighet och omloppstiden i skogen kommer att ge en annan fodersituation, med konsekvenser för viltets populationsdynamik. Generellt skulle det ge en förbättrad födotillgång och därmed påverka populationsdynamiken och reproduktionen. Ökande viltstammar innebär ökat problem med negativa ekonomiska konsekvenser.

Markvegetationen kommer att påverkas vid ett varmare klimat med förlängd vegetationsperiod och ökad tillgång på växtnäringsämnen i marken. Markvegetationen konkurrerar med plantorna och kan orsaka plantdöd om man inte anpassar markberedningsmetod, planteringstidpunkt och eventuell herbicidbehandling. Ökad markvegetation vid ett förändrat klimat kan man sannolikt hantera med anpassning av föryngringsarbete som kan medföra ökade kostnader för skogsbruket. Sammantaget har det en liten inverkan på ekonomin.

Om man skulle våga sig på konststycket att rangordna de ekonomiska effekterna av förändrad produktion och risken för stormfällningar, produktionsförluster, skadeangrepp och andra olägenheter som klimatförändringarna kan innebära skulle det kunna sammanfattas som i tabell 5.

Tabell 5. Uppskattning av de ekonomiska effekterna vid ett förändrat klimat.

Förändring av	Positivt för ekonomin	Negativt för ekonomin	Forskningsbarhet
Skogsproduktion	> 2 miljarder per år		Hög: bra kunskaper, prioriterat
Trädslagsdiversitet	1-100 miljoner per år		Måttlig: omvärldsfaktorer styr trädslagsval
Stormfällningar		miljoner till miljarder per stormtillfälle	Hög: bra kunskaper, prioriterat
Snöförhållanden		< 100 miljoner i fördyrande omständigheter per år	Låg: lämpar sig för uppskattning - planering
Skogsbränder		0.1-200 miljoner per brandtillfälle	Låg: lämpar sig för uppskattning - planering
Frost		1-100 miljoner per år	Måttlig: stora osäkerheter och svårt att analysera
Torka		10-500 miljoner per extremt torrår	Måttlig: stora osäkerheter och svårt att analysera
Sjukdomar på lövträd		< 10 miljoner per år	Hög: har dock liten effekt på ekonomin
Skadeinsekter		10-500 miljoner per år	Hög: dåliga kunskaper, högprioriterat
Svampar och patogener		10-500 miljoner per år	Hög: dåliga kunskaper, högprioriterat
Viltskador		10-200 miljoner per år	Hög: dåliga kunskaper, prioriterat
Vattensjuk mark		1-100 miljoner per år	Måttlig: jämförelse mellan markfuktighetsklasser
Markvegetation		1-100 miljoner per år	Låg: lämpar sig för uppskattning - planering

Den stora och enda positiva ekonomiska effekten av klimatförändringarna är den ökade produktionen medan riskerna för skadeverkningar är många och mycket svåra att kvantifiera. Osäkerheterna är stora inom de flesta forskningsområdena när det gäller hur klimatförändringarna kan komma att påverka den svenska skogen. Det finns dock mycket som är forskningsbart och där vi kan förbättra vår kunskap avsevärt och förmåga att förutsäga hur skogen kommer att påverkas i framtiden. Det är både forskarsamhällets och de politiska beslutsfattarnas uppgift att skapa en plattform och beredskap inför kommande klimatförändringar.

Referenser

- Andersson, M., Dahlin, B., & Mossberg, M. 2005. The Forest Time Machine – a multipurpose forest management decision-support system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 49:114–128.
- Bergh J., McMurtrie R.E. & Linder S. 1998. Climatic factors controlling the productivity of Norway spruce: a model-based analysis. *Forest Ecology and Management* 110: 127-139.
- Bergh, J., et al. 2003. Modelling the short-term effects of climate change on the productivity of selected tree species in Nordic countries. *Forest Ecology and Management* 183: 327-340.
- Bergh, J., Freeman, M., Räisänen, J. 2006. Effects of global change on net primary production in Scandinavia –a model based analysis on regional climate scenarios. *Global Change Biology* (in press).
- Blennow, K., & Sallnäs, O., 2004. WINDA – A system of models for assessing the probability of wind damage to forest stands within a landscape. *Ecological Modelling*, 175(1):87–99.
- Blennow K. & Olofsson E., inskickad. The probability of wind damage in forestry under a changed wind climate. *Climatic Change*.
- Jönsson, A-M., 2004. Klimatet och risken för angrepp av granbarkborre. I Blennow(ed.) *Osäkerhet och aktiv riskhantering – aspekter på osäkerhet och risk i sydsvenskt skogsbruk*. SUFOR
- Nilsson C., Stjernquist I., Barring L., Schlyter P., Jönsson A.M. and Samuelsson H. 2004. Recorded storm damage in Swedish forests 1901–2000. *Forest Ecology and Management*, 199:165–173.
- Olofsson, E., Andersson, M., Bergh, J., Blennow, K., och Sallnäs, O. Inskickad. Climate change and the risk of wind damage to forests in a south Swedish landscape – impacts and possibilities for risk reduction. *Canadian Journal of Forest Research*
- Peltola H., Kellomäki S. and Väisänen H. 1999. Model computations of the impact of climatic change on the windthrow risk of trees. *Climatic Change*, 41: 17–36.
- Raab B. & Vedin H. 1995. *Klimat, Sjöar och Vattendrag*. Sveriges Nationalatlas, Vol. 14. SNA Förlag, Box 45209 S-10430 Stockholm. 176 sidor.
- Räisänen, J., Hansson, U. and Ullerstig, A. 2002. First GCM-driven RCAO runs of recent and future climate. *SWECLIM Newsletter*, 12, 16-21. [Available from Rossby Centre, SMHI, S-60176 Norrköping, Sweden]
- Skogsstyrelsen, 2006. Stormen 2005- en skoglig analys. Meddelande 1:2006. Jönköping

Regionala klimatscenarier

Med hjälp av generella cirkulationsmodeller (GCM) tas fram globala scenarier för hur det framtida klimatet kan komma att utvecklas. Ett scenario kan definieras som en konsistent beskrivning av hur framtiden kan komma att se sig (Porter, 1985 i Rodgers, 2001). Ett scenario utgör alltså inte någon prognos utan en beskrivning av en möjlig utveckling givet vissa antaganden. De rumsliga upplösningen i ett klimatscenario kan ökas över en viss region genom nedskalning där ett globalt klimatscenario används som drivdata.

För senaste generationens dynamiska regionala klimatscenarier (R) som tagits fram vid Rossby Centre vid SMHI (Räisänen med flera, 2004) har man använt sig av två uppsättningar globala drivdata vid beräkningarna, framtagna med två olika GCM (E och H²). Dessutom bygger de på två olika scenarier för framtida utsläpp av växthusgaser; SRES B2 och A2, där A2 motsvarar något högre utsläpp än B2 (Nakićenović et al., 2000). Sammanlagt finns fyra klimatscenarier för perioden 2071-2100 och två kontrollscenarier för perioden 1961-1990, alla med en rumslig upplösning av 49 km.

² E står för ECHAM4/OPYC3-modellen från Max-Planck Institute of Meteorology i Tyskland (Roeckner et al., 1999) och H står för HadAM3h-modellen från Hadley Centre i Storbritannien (Pope et al., 2000).