



UPPSALA
UNIVERSITET

Klimatförändringar och Borealskogen



Kim Karlsson Moritz

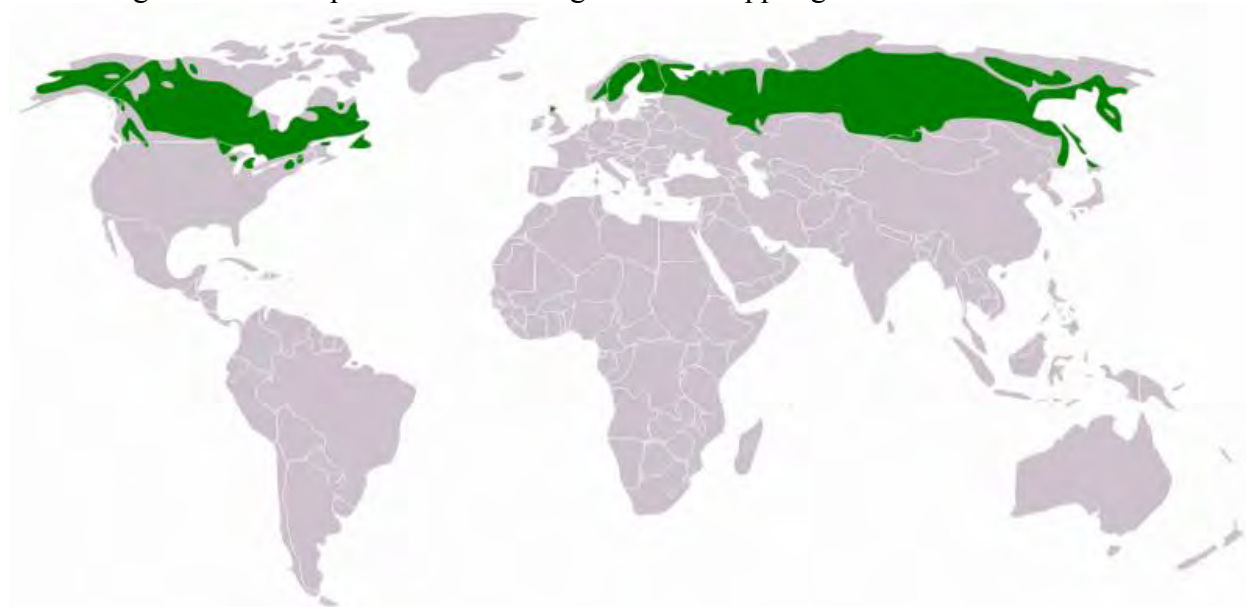
Independent Project in Biology
Självständigt arbete i biologi, 15 hp, vårterminen 2010
Institutionen för biologisk grundutbildning, Uppsala universitet

Sammandrag

Förändringar av CO₂-halt i atmosfären, temperatur och nederbörds mängd, pågående såväl som kommande, riskerar att förändra hela biom dramatiskt. Borealskogen utgör ett av de biom som kan komma att påverkas starkast, vilket är kritiskt eftersom den utgör en stor del av världens totala kolsänka tack vare enorm biomassa, och kommer i sin tur att spela en stor roll för klimatförändringarnas takt. Men att förutspå hur biomets framtid ser ut har visat sig vara en komplex historia. Tillväxttakten hos träd förutspås öka tack vare ökade CO₂-halter och längre tillväxtsäsonger medan den samtidigt hämmas av ökad mellanartskonkurrens, brandrisk, vindfällningsrisk och insektsherbivori. Skogsindustrin kommer givetvis vara starkt beroende av hur framtida förändringar sker och bör ha ett intresse av prognoser och skötselråd. Kanske är det dock så att det är lättare att fokusera på rapporter om kommande högre tillväxt än på de tillväxtdämpande faktorerna. I denna artikel försöker jag generaliserat diskutera kring borealskogens återkopplingsanknytning till klimatet och sammanställer de scenarion olika prognoser pekar mot samt vilka skillnaderna mellan dessa är och söker möjliga anledningar till dessa skillnader.

Inledning

Klimatförändringarna förutspås ske snabbare på höga latituder (Martin 1997), där borealskogen (Fig. 1) utgör en stor yta, och därför är just borealskogen ett biom som är starkt berört. Träd i borealskog är specialiserade på att överleva förhållanden där sommarmedeltemperaturerna är låga, tillväxtsäsongen kort och kvävetillgångarna begränsade (Kellomäki S 1996, Lindner m fl 2010). Borealskogen är världens största sammanhängande skogstäckta yta (Schulze m fl 2001) och jordens största terrestra koldepå (Soja m fl 2007). Förutom klimatförändringarnas direkta effekter som ändrad temperatur och nederbördsmängd kan dess indirekta effekter som ökad brandrisk, förändrade artsammansättningar och nya samt fler insektsherbivorer komma ha en stor inverkan på borealskogens framtid (Wolf m fl 2008, Taggart och Cross 2009, Schulze m fl 2001). När Soja m fl (2007) undersökte tidigare förutsägelser från artiklar med modellanalyser och liknande för att jämföra med verkligheten fann de indikationer på att huvuddragen i förutsägelseerna faktiskt börjat slå in. Exempel på dessa var själva temperaturökningen, migration av trädlinjen och minskad vitalitet. Det är dessa effekter, som både börjat ske och kommer ske även i framtiden, med följder för både ekosystem, biomet i sig och ekonomiska konsekvenser, som är huvudämnet för denna uppsats. Jag beskriver även kolkretsloppet i relation till borealskogen och hur de påverkar varandra genom återkopplingseffekter.



Figur 1. Karta över borealskogens utbredning, (Wikipedia 2010)

Kolflöde i borealskogen

Borealskogen utgör en viktig pusselbit i den globala kolflödesmodellen eftersom den utgör en så stor del av den landbundna biomassan. Många studier har under de senaste decennierna försökt kvantifiera borealskogens bidrag till koldioxidbudgeten.

Variabel roll som kolsänka

Generellt sett anses borealskogar vara kolsänkor (Lindroth m fl 1998). Försök att förutse borealskogens förändringar som en följd av ett varmare klimat med högre koldioxidhalter och förändrade nederbördsförhållanden har gjorts med hjälp av diverse modeller. Dessa modeller använder sig ofta av, förutom lokala nutida förhållanden, klimatparametrar hämtade ur olika framtidsscenarion med bestämd utsläppsmängd, populationsökning och grad av övergång från fossila bränslen till förnyelsebara, med mera (Tchebakova m fl 2009). Dessa förutsägelser har främst pekat på kraftigare säsonsbränder och en förflyttning av biomgränsen norrut samt högre upp i alpina områden. Något som ytterligare påskyndar klimatförändringarna i borealskogen är den ökande fragmenteringen (Evans och Parschel 2009). Soja m. fl (2009) har jämfört föregående förutsägelser med data på förflyttningar av trädlinjen samt brandarea och brandsäsong. De, som andra, kom fram till att det skett en höjning i trädgränserna i Sibirien samt att antalet kraftiga skogsbränder ökat i både Sibirien, Alaska och Kanada (Soja m fl 2007, Taggart 2009), vilket ytterligare stärker motivationen att undersöka förhållandet till koldioxidhalterna. Borealskogar har i ett antal undersökningar (Takleriam m fl 2009, Schulze m fl 2001) visat sig vara kolsänkor, det vill säga depåer för lagring av luftbundet CO₂ på grunda av ett positivt nettoflöde inåt. Det varierar dock beroende av årstider och temperatur- och hydrologiska variationer om en specifik skog fungerar som sänka eller källa (Lindroth m fl, 1998). Förmågan att fungera som kolsänka beror alltså av säsongsbundna faktorer som nederbörd, torka och tillväxtsångens längd (Takleriam m fl 2009). Schulze m fl (2001) använde data från andra studier samt egna data för att utvärdera borealskogens potential som kolsänka med Sibirien och andra delar av europa. De kom bland annat fram till att inte minst avverkningar medför att skogarna under över ett decennium efter omplantering förblir kolkällor, det vill säga släpper ut kol i atmosfären. Att detta sker trots den höga tillväxten tycks bero på lösgörelse av markbundet kol. De drar till och med slutsatsen att bevarandet av gammelskog i Sibirien bidrar mer till reducering av atmosfärsbunden koldioxid än återplantering efter avverkningar.

Samtidigt som borealskogen generellt sett kan ses som en kolsänka har den även en positiv återkopplingseffekt på uppvärmning. Eftersom en stor del av den boreala zonen är snötäckt en del av året reflekteras en stor del av solljuset, som lättare hade värmt upp bar mark. Träden och annan vegetation som döljer snötäcket absorberar däremot en del av solljuset, och bidrar alltså vintertid delvis till uppvärmning jämfört med ett scenario med borealskogens område utan trädbestånd (Bonan m fl 1992). Ännu en komplicerande faktor vid beräkningar är att jordmånen i sig, trots vegetationens effekt som sänka, ofta kan ha ett nettoutsläpp av kolföreningar som totalt sett förändrar skogens nettobalans (Myeni m fl 2001). Dessutom kan trädarternas flora samt produktivitet förändras (Huang m fl 2009), vilket tillsammans med många andra från modeller bortfallande faktorer gör att man inte vet hur realistiska beräkningar kan vara. För att få en så talande bild som möjligt skulle man helst inkludera de olika arternas specifika bidrag (Olchev m fl 2009), och det finns studier på hur trädarterna skiljer sig åt i förmåga att binda kol i olika förhållanden (Miyamoto m fl 2010). Ännu en studerad och komplicerande inverkan på koldioxidbudgeten är vattendrag, som tack vare löst bikarbonat (HCO₃⁻), kan reducera mängden atmosfärsbundet CO₂ genom bildning av CaCO₃ och därmed dämpa klimatförändringsåterkopplingen något (Smedberg m fl 2006). För att modeller och resultat dessutom ska vara riktigt tillförlitliga i sin helhet vore det också till stor fördel om det fanns ett gemensamt så inkluderande tillvägagångssätt som möjligt (Vygodskaya m fl 2007). Det är också

viktigt att kontinuerligt övervaka och jämföra förändringar med prognoser för att utvärdera modeller (Myneni m fl 2001).

Bidrag till Sveriges CO₂-budget

Politiskt har borealskogens roll som kolsänka för de länder som skrev under Kyotoprotokollet en speciell betydelse, eftersom det är en sänka som landet tillåts räkna in i sin koldioxidbudget (Myeni 2001). I sin artikel beskriver Ramming m fl (2010), med hjälp av ett modellsystem baserat på gran (*Picea abies*), hur tillväxten i norra Sverige kan komma att minska med 25% under början av århundradet, medan de höjda CO₂-koncentrationerna och längre tillväxtsåsongerna kan komma att leda till en snabbare tillväxt mot slutet av århundradet. Modellerna förutspår mindre extrema effekter på skogen i mellan- och sydsverige (Ramming m fl 2010) och resultaten gällande tillväxten i början av århundradet av undersökningen står emot vissa andra undersökningar utförda med andra modeller. Eftersom det främst är norra delen av Sverige som täcks av borealskog är det också den som i deras modell blir utsatta för stora effekter. Den ökade nettoprimärproduktionen (NPP) vid en kommande medeltemperaturshöjning kan, förutsatt att skogarna är friska och nog anpassningsbara, innebära en ökad funktionalitet som kolsänka (Saxe m fl 2001). Den ökade NPP:n i det totala biomet beror emellertid av fler faktorer än växters produktionseffektivitet, exempelvis störningsfrekvens och åldersfördelning.

Fysiologisk respons

Hos bland annat tall (*Pinus sylvestris*) regleras tillväxtsåsongen genetiskt beroende av omgivande miljöfaktorer och temperaturen på aktuell ståndort avgör vilka genotyper som är mest lämpade (Saxe m fl 2002). För boreala trädarter finns en avvägning mellan utnyttjande av möjlig tillväxtsåsong och risk för frostsador (Saxe m fl 2002). Halten av CO₂ i luften är en annan faktor som påverkar växtens tillväxt. De flesta växter i en studie av sammanställd data från experiment där växter tillåts växa i CO₂-halter högre än i kontrollprover uppvisar snabbare fotosyntes och minskad transpiration från blad (Poorter och Navas 2003). Denna studie tar dock inte hänsyn till interaktioner, exempelvis konkurrens, med andra arter samtidigt som experimenten utfördes. Ramming m fl (2010) gjorde en studie på frosttålighetens betydelse för svensk tall (*P. sylvestris*) tillväxt genom att inkorporera en modell för frosttålighet och en för frostföranledd skada i en tidigare utvecklad modell för prognostisering av borealskogsvegetationens utveckling. De kom fram till att den är en faktor som bör tas hänsyn till i framtida beräkningar, då deras data på biomassaproduktionen tycktes påverkas av detta. Även Savolainen m fl (2004) undersökte frosttålighet, men i en studie för att undersöka anpassningsbarheten till ett kommande klimat. De ansåg att även skillnader i när tillväxtsåsongen börjar hos träden spelar en stor roll, då detta bland annat avgör vilken frosttålighet de faktiskt måste ha.

Störningar och klimatförändringar

Generellt sett antas att ökande temperaturer påverkar de naturligt förekommande störningsregimerna, såsom bränder och stormar. Även om dessa störningar inte tas med i många modeller som simulerar en framtida borealskogs utseende så tycks det hos författare som

undersökt störningsregimernas respons vara allmänt accepterat att det är kommande faktorer att räkna med.

Brand- och väderstörningar

En viktig störningsregim i skogsbestånd är återkommande bränder, där delar av vegetationen i ett bestånd slås ut och ersätts i en successionsordning av andra växter. Vad som sedan ersätter beståndet i exempelvis en kraftigt nedbrunnen granskog avgörs av då rådande miljöfaktorer (Johnstone m fl 2010). Detta innebär att en ny successionsordning i ett framtida klimat med höjd medeltemperatur antagligen ofta kommer ha en annan slags artsammansättning än den i ett scenario med ett oförändrat klimat (McMillan m fl 2008). En ändring av längden av de olika stegen i successionsordningen kan också tänkas skifta till en större och tidigare dominans av de arter som dyker upp sent i successionsordningen eftersom de generellt sett svarar bättre på förhöjda temperaturer än ruderaler (McMillan m fl 2008), som därmed kan sägas bli snabbare. Johnstone m fl (2010) nämner just fördelningen mellan granar och lövfällande träd som en trolig förändring efter bränder, särskilt i torra granmarker, detta baserat på modellering av Alaska. Även i Ryssland förväntas bränder bli vanligare under det 21:a århundradet och om trädvitaliteten minskar även mer omfattande på grund av ökad mängd död ved (Tchebakova m fl 2009). Just Rysslands borealskogar står också på grund av sin utbredning för den allra största delen av kolutsläpp försorsakade av skogsbränder (Lavoue m fl 2000). Bränder lösgör stora mängder assimilerat kol, varav det mesta avsätts till atmosfären men en del även till träkol som lagras i marken (Schulze m fl 2001, Bélanger och Pinno 2008).

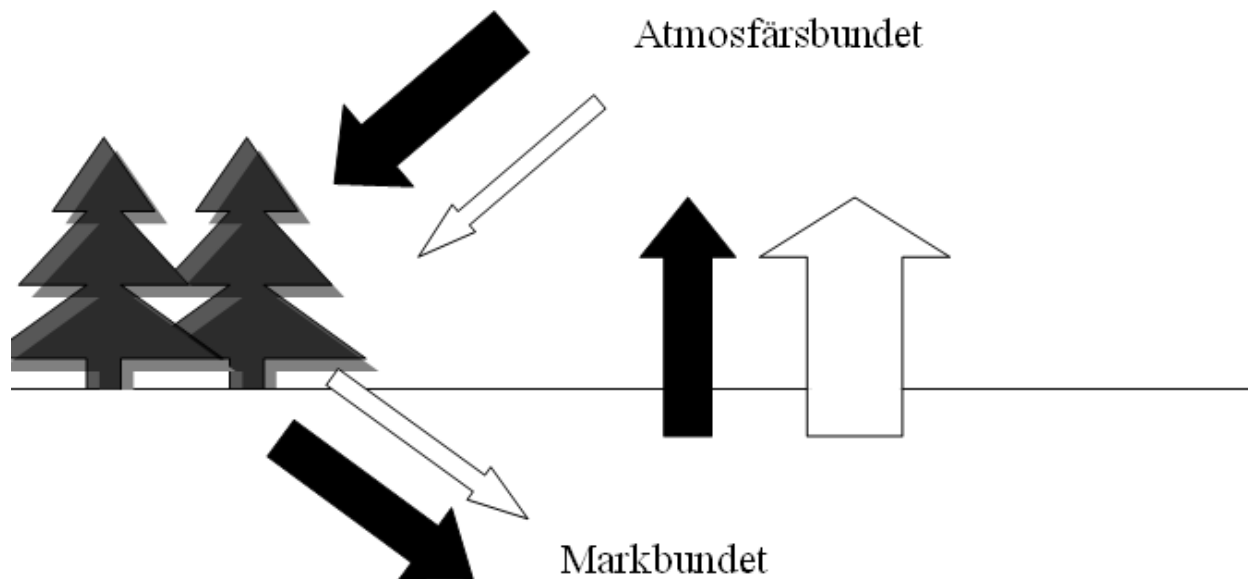
Även mer väderberoende fenomen som översvämningar och torka kan, om de förändras vid ett annorlunda klimat, komma att ha en starkare inverkan på borealskog (Koca m fl 2006). Miller m fl (2008) kom dock i sin modellundersökning av vegetationen fram till att störningar som bränder och torka inte påverkar vegetationstrenden på lång sikt särskilt mycket, vilket inte är helt förenligt med många andra slutsatser. Stormar och de vindfällningar som dessa leder till är en stor störning i skogsekosystem och vindfällning i skogar kommer enligt en undersökning gjord av Vygodskaya m fl (2007) att öka i stora delar av den eurasiska borealzon. Detta leder i sin tur till utsläpp av bundet kol, även om uppvärmningen lokalt tillfälligt dämpas av den minskade solvärmeupptagande ytan (Vygodskaya m fl 2007, Bonan m fl 1992).

Insekter och patogener

Ytterligare naturliga störningar kommer från insektsherbivorer och parasiter, vilka i olika grad är beroende av både temperatur och nederbörd (Ayres och Lombardero 2000, Evans och Parschel 2009). Wolf m fl (2008) undersökte med hjälp av en modell herbivorinsekternas framtida inverkan på vegetationen i Barentsregionen. Resultatet visade att insekterna i stort kommer att öka i antal vid temperaturförhöjningar och att detta kommer ha stora konsekvenser på bland annat tillväxt och artsammansättning, men att ett tunnare snötäcke vintertid samtidigt kan svårgöra överlevnad av dessa insekter. De avslutar med att önska att insektsherbivori tas hänsyn till i andra modeller där man försöker förutse vegetationens utveckling i samband med klimatförändringar (Wolf m fl 2008). Huang m fl (2010) påpekar att eftersom ökade insektspopulationer troligen påverkar trädutväxten kan detta vara en felkälla i den studie de gjort på trädutväxten i förhållande till klimat. Insektsherbivori kan på grund av ökad betning på främst gran ytterligare förstärka brandrisken genom sänkning av beståndens vitalitet (Niemelä m fl 2001).

Markuppvärmning

En temperaturökning i jorden leder till att CO₂-utsläppen i borealskogen på grund av högre nedbrytningshastighet av detritus ökar, vilket bidrar till att reducera potentialen som kolsänka (Fig 2). Denna höjning av nedbrytningshastigheten beror av både ökad medeltemperatur och minskad permafrost (Kojima 1994).



Figur 2. Förändringar i kolkretsloppet i framtida borealskog i en förenklad modell. Svarta pilar visar nutid, vita prognostiserad framtid och pilarnas storlek (icke proportionsriktiga) anger förändringar. Författarens bild.

Strömgren och Linder (2002) utförde under sex år en studie med markuppvärmning för längre tillväxtsäsong i samband med bevattning kvävetillförsel och mätte resultaten i stamtillväxt. De fann att stamtillväxten var mycket högre i de testrutor som fick både uppvärmning och bevattning med kvävegödning jämfört med de som inte fick behandling, och drog slutsatsen att de tre faktorerna tillsammans bidrar till en stor skillnad i tillväxt. Av de träd som var vattnade och gödslade växte de uppvärmda bättre än de ouppvärmda. En simulering som gjordes på nedbrytningshastigheten i en kanadensisk skog (Dabros och Fyles 2010), vid en temperaturhöjning av 2°C jämfört med idag tydde dock på att enbart temperaturskillnaden inte var nog för att signifikant höja nedbrytningshastigheten. Vad man däremot fann var att pH-värdet i jorden påverkas. Samtidigt leder en temperaturökning till högre avdunstning och därför torrare jordmån (Kojima 1994). I norra Sverige har beräknats att markmedeltemperaturen kommer att öka med 0,9 - 1,5 °C under århundradet samtidigt som antalet dagar snötäcket ligger kvar kommer minska (Mellander m fl 2007), precis som för biomet totalt sett (Wolf m fl 2008). Snötäckets djup har betydelse för marktemperaturen eftersom det isolerar mark från luften (Strömgren och Linder 2002). I en finsk studie (Maljanen m fl 2010) manipulerades snötäckets tjocklek, så att marken var mindre isolerad från luftkylan, för att eventuella skillnader i lösgjort N₂O skulle kunna detekteras. Man fann en skillnad och ansåg att ett framtida, på grund av global uppvärmning minskat, snötäcke skulle kunna leda till ökad frigörelse av kväve på grund av djupare och mer långvarig tjäle. Detta antagande med kallare framtida marktemperaturer (Maljanen m fl 2010) står dock i kontrast mot många andra prognoser (Dabros och Fyles 2010,

Strömngren och Linder 2002, Kojima 1994, Mellander m fl 2007), som säger att framtida marktemperaturer kommer vara högre. Kanske har Majanen m fl (2010) rätt enbart när det gäller de vintertida medeltemperaturerna, medan många andra fokuserar på årsmedeltemperaturer. Om markuppvärmning sker i boreala områden kommer tillväxten på högre höjder gynnas främst hos migrerade eller planterade arter med genotyp anpassad till lägre höjder (Saxe 2001). Evaporeringsgraden i marken skiljer sig mellan skogstyp, där granskog har liten och skogar med lövfällande träd har högre evaporeringsgrad (Olchev m fl 2009).

Artsammansättning

Nya klimatförutsättningar som höjda temperaturer, höjda CO₂-halter och ökad nederbördsmängd och allt detta under en snabb förändring påverkar de befintliga arternas konkurrenskraft och nya nischer öppnas medan tidigare stängs eller förflyttas. Detta gör nya artsammansättningar på ståndorterna möjliga.

Biommigration

När klimatet blir varmare kan de boreala trädarterna spridas längre norrut (Saxe m fl 2001). Man kan se biommigrationen som att två angränsande vegetationstypers övergångsområde förskjuts (Tchebakova m fl 2009). Vid en nordlig migration av biomet uppstår nya artuppsättningar som beror av de specifika arternas olika förmåga att sprida frön samt avstånden detta sker över och toleranser mot klimatfaktorer (Taggart och Cross 2009). I en studie av vegetationens förändringar av klimatförändringar i Alaska (Potter 2004) drogs slutsatsen att artsammansättningen förändrats markant bara under de senaste 50 årens klimatförändringar. För att beskriva konsekvenser av klimatförändringar, och försöka prognostisera kommande förändringar i biom använder man sig av olika modeller där hänsyn tas till temperaturförändringar, förändringar i nederbörd och nuvarande scenario. För att sedan kunna använda sig av modellerna måste man ta datan rörande temperatur- och nederbördsförändringar från olika tänkbara framtida scenarion. En kanadensisk studie (Miyamoto m fl 2010) av radiärtillväxt hos tre barrträdarter i förhållande till klimatet fanns en skillnad i respons på variationer i temperatur och nederbörd och fann att detta pekar på att framtida klimatförändringar kan ge nya förutsättningar för arterna att konkurrera med varandra om samma nisch. Detta är alltså ytterligare en drivkraft till förändringar. Artsammansättningar i nuvarande borealskog kommer troligtvis förändras markant vid en global uppvärmning och ökad nederbörd har dessutom stor påverkan i artsammansättningen väldigt tidigt i successionsordningen (Shuman och Shugart 2009). Vid en höjning av medeltemperaturen i den europeiska delen av Rysslands borealskog på 1-2°C skulle andelen gran i dessa områden enligt en modell minska med 40%, medan den om hundra år skulle få en ökande betydelse och tillsammans med asp och björk komma att dominera skogar där idag inga skogar står, när biomet migrerar norrut (Olchev m fl 2009). Tchebakova m fl (2009) gjorde i en modellbaserad studie bland annat jämförelser mellan biomens nutida utsträckning och kommande klimatförändringar och ansåg att hela biomet skulle vara tvunget att ligga långt mer nordostligt för att ligga i jämvikt. Deras resultat tydde på att en stor del av nuvarande Sibirien istället för borealskog snarare kommer vara lämpligt för gräsmark och en skog-stäppekoton på grund av det varmare och torrare klimatet, medan skog dominerad av lärk kommer utgöra den övergående zonen när borealskogen breder ut sig norrut och österut. Även i New England i USA förväntas de boreala barrträdsbestånden påverkas kraftigt under det

21a århundradet. 71-100% av arean som nu täcks av barrskog förväntas försvinna enligt en modellberäkning med BIOME4, där hänsyn dock inte togs till barrträdens högre produktivitet vid högre CO₂-halter (Tang 2010). Potter (2004) anser att också vegetationen i Alaska troligen kommer förändras vid kommande uppvärmning och att detta kommer att påverka biosfärens interaktioner med atmosfären. I USA riskerar problemen förknippade med invasiva arter att öka ytterligare i och med klimatförändringar (Evans och Perschel 2009).

Taggart och Cross(2009) jämför i sin artikel förväntade klimatförändringar med den kunskap som finns om borealskogens historiska utbredning under tidigare perioder med varmare och mer CO₂-rikt klimat och understryker att prognoser rörande klimatförändringarnas hastighet pekar mot att många arter riskerar att inte kunna spridas naturligt i en takt snabb nog att klara den snabba förändringen. De påpekar även att borealspecifika arter hade bättre förutsättningar för en spridning norrut vid en långsam ismältning på grund av att spridningen skedde i en våtare och kallare jord än de boreala arter som ska kolonisera ny mark under den förväntade klimatförändringstakten. Reservat som avsatts för att skydda biodiversiteten skyddar arter från direkt mänsklig och industriell påverkan, men inte mot klimatförändringar på lång sikt, och därför vore i sig minskade klimatförändringar den mest långsiktiga lösningen(Martin 1996).

Evolutionära anpassningar

I exempelvis studien av Tchebakova m fl (2009) undersöktes hur biomet skall ligga i framtiden för att ligga i samma jämvikt som i dag antas att alla arter är oförändrade och oom Anpassningsbara. Detta för genomförbarhetens skull. Vid ett förändrat klimat och förändrade förutsättningar för tillväxt och konkurrens krävs nya anpassningar hos de arter som lever i den nuvarande borealskogen för att kunna leva där, och studier finns även för att uppskatta i vilken mån detta är möjligt. Ett av de problem som är ett frågetecken för biommigration, inte minst för träd, är det minskade solljuset på högre latituder (Taggart och Cross 2009).

Kuparinen m fl (2010) undersökte möjligheten för *Betula pendula* (vårtbjörk) och *P. sylvestris* (tall) att evolutionärnt anpassas till kommande klimatförändringar och de kom fram till att en ökad mortalitet med anledning av större skillnader mellan arternas optimala förhållanden och faktiskt klimat samt högre frekvens av störningar skulle komma att vara den största faktorn som leder till en högre anpassningsbarhet. Mortaliteten kommer dock troligen samtidigt att dämpas på grund av längre tillväxtssäsonger. De nämner dock också att träd med normalt längre generationstid, i deras exempel tall, har en sämre förmåga att anpassa sig till nya betingelser snabbt nog än de med en kortare generationstid, exempelvis vårtbjörk. De betonar även vikten av att ha en effektiv fröspridning. Även pollenmigration har nämnts som möjlig hjälpsfaktor för genetisk evolution genom uppblandning av gener söderifrån norrut(Savolainen m fl 2004). Denna anpassningsförmåga kommer dock troligen ligga långt efter den takt i vilken klimatförändringarna kommer ske enligt prognoserna (Tchebakova m fl 2009). Men även om evolutionstakten inte kommer att gå snabbt nog kan den fenotypiska plasticiteten komma att dämpa de negativa effekterna av för snabb uppvärmning något (Saxe m fl 2001). Niemelä m fl (2001) nämner i sin artikel att ökat insekts herbivori till följd av klimatförändringar kan komma att få en betydande inverkan på artsammansättningar i Finland och Skandinavien genom selektiv betning. Baserat på uppskattningar och modellering av förhållandet mellan träd och herbivor i Alaska tycks det främst vara granarter, *Picea* spp. som är de mest utsatta i ett framtidsscenario

med uppvärmning men liten ökning av nederbörd i Alaska (på grund av det kontinentala klimatet)(Niemelä m fl 2001). De nordiska länderna förväntas ha en större nederbördsökning samtidigt med temperaturhöjningen. *P. abies* anses dessutom vara en stark konkurrent i interaktioner med andra arter (Miller m fl 2008) och kan därför ha bättre förutsättningar.

Skogsindustrins beroende av borealskogens framtid

För skogsvård och egagemang i frågan om borealskogens framtid är markägare och industriella aktörer starkt inverkan parter. Företag och privatpersoner som ekonomiskt är helt beroende av skogsbruk beror av tillväxt och uttag av bestånd (*Fig 3*).

En delvis ekonomisk fråga

Få studier har undersökt den faktiska sårbarheten för klimatförändringar hos skogsindustrin (Lindner m fl 2010). Men klimatrelaterade katastrofer, som stormar och bränder, i borealskog leder till stora ekonomiska förluster för företag och privatpersoner som är beroende av skogsbruk och ökade årliga temperaturfluktationer i borealskogarna föranledda av klimatförändringar skulle innebära ökade frostsador och minskad produktivitet hos träden, vilka i sin tur även påverkar hela ekosystem. Den ekonomiska inverkan som dessa katastrofer har varierar regionalt beroende av förmåga att hantera och åtgärda förluster och vilka resurser de berörda parterna har (Lundmark 2008, Lindner m fl 2010).



Figur 3. Bestånd av olika åldrar. Vy från kalhygge i södra Lappland, Sverige. Författarens bild.

Framtida tillväxt

En studie (Huang m fl 2010) utförd längs med en syd-nordlig gradient i Kanadas östra borealskog visade på att ett varmt och fuktigt år har en positiv inverkan på stamtillväxten

följande år på både *Picea mariana*, *Pinus banksiana*, *Betula papyrifera* (pappersbjörk) och *Populus tremuloides* (asp) på de nordliga delarna av gradienten när de jämförde med data som sträckte sig mellan åren 1950 och 2003. Författarna pekar på att kommande uppvärmning av borealskogen troligen kommer påverka stamtillväxten hos främst *P. mariana* och *P. banksiana* positivt (Huang m fl 2010) Denna studie uppmärksammade dock inte konkurrens mellan de undersökta arterna och andra arter, vilket kan tänkas vara en orsak till att främst *P. tremuloides* och *B. papyrifera* inte hade samma positiva respons till varmare väder på den sydligaste delen av gradienten, där arter mer anpassade till det varmare klimatet bör ha vunnit konkurrenskraft. Eftersom studien, precis som många andra modellbaserade studier av samma slag, inte tar hänsyn till mellanartskonkurrens är det också svårt att säga om inte även *P. mariana* och *P. banksiana* på sikt kan komma att påverkas negativt på de sydligare av dagens ståndorter. En liknande studie (Lo m fl 2010), också utförd i Kanada men på enbart *P. mariana* och *P. banksiana* visade också på att föregående års nederbörd spelar stor roll, men även att nederbörden under själva tillväxtsäsongen inverkar. Även de drar slutsatsen att ett varmare klimat med högre nederbörd kommer gynna tillväxten, precis som Miyamoto m fl (2010). Också Lindner m fl(2010) drog slutsatsen att skogstillväxten kommer öka i borealskogar och menar främst att av europeiska bestånd så kommer främst nordliga och västliga bestånd att gynnas. Vidare påpekar de att vilka strategier som är effektiva skiljer sig regionalt. Prognoser gällande specifikt den svenska skogen förutspår en ökad tillväxt(Koca m fl 2006)

Ytterligare en faktor som kommer gynna tillväxten av skogsbestånd under kommande århundrade är den minskade risken för snöfallsförsorsakade skador (Kilpeläinen m fl 2010). Prognoserna är dock inte alla samstämmigt förenliga med varandra. Även om många experiment visar på bättre tillväxt vid högre temperaturer, CO₂-halter och större nederbördsmängder så exkluderar dessa undersökningar ofta många miljöfaktorer som skogar utan tvekan kommer komma i kontakt med, inte minst mellanartskonkurrens och herbivori. Saxe m fl (2001) drar i sin artikel slutsatsen att rätt skötsel och inte minst val av proveniens kommer bli viktigt för skogen ur produktionssynpunkt i ett framtida klimat. Evans och Perchel (2009) säger i sin artikel rörande kommande klimatförändringars effekt på skog i nordöstra USA att skogsvård bör ta hänsyn till kommande förändringar i artuppsättningar och störningsregimer och pekar av de sistnämnda särskilt ut torra.

Diskussion

Studiers slutsatser och projektioner ändras med tiden när förbättringar av modeller och metodik ger andra utslag och därför är det viktigt att hålla ögonen på publiceringsdatum och veta vilka debatter som ännu pågår i ett så aktivt forskningsområde.

Framtida vägval

Huang m fl (2009) anser att hållbar skogsskötsel i framtiden bör utföras med hänsyn till studier av kommande klimatförändringar, till exempel kan framtida produktivitetsskillnader mellan arter betraktas. Skillnaden mellan arters optimum och ståndortsmiljö kommer öka, och som Tchebakova m fl (2009) beskriver kommer troligtvis betingelser för helt andra biom ersätta nuvarande på många ställen. Detta väcker frågan om vad som är viktigast: Att ha en så hög produktion, och därmed även så stark kolsänka, som möjligt eller att bevara borealskogen i sin nuvarande artsammansättning i den mån man kan? Vilket alternativ som är mest ekonomiskt tungt vägande bör väl inte vara en svår fråga, men vilket alternativ som är det mest långsiktiga för en hållbar ekologi är inte lika självklart. Taggart och Cross (2009) påpekar att spridningen norrut kan underlättas av människor genom utspridning av frön, även om de ställer sig kritiska till att detta skulle vara verkligt effektivt över den stora yta det faktiskt handlar om. Även om detta är genomförbart i länder som de Skandinaviska handlar det om projekt av en helt annan storleksordning i länder som Kanada och inte minst Ryssland. Dessutom kommer klimatet troligen förändras under trädets uppväxt och hur man i så fall skulle välja provinens för artificiellt spridda och planterade träd är heller inte självklart, eftersom man ska försöka välja vid vilken ålder det är bäst att beståndet ska ha sitt optimum i förhållande till klimatet utan att mortaliteten ska vara för hög vid någon ålder. Var utplantering och sådd skall ske lär till stor del styras av ekonomiska intressen och åtkomlighet.

Oenighet och osäkerhet

En möjlig förändring, som det tycks råda delade meningar om, är hur marktemperaturerna i borealskogarna kommer förändras och därför hur det i sin tur kommer att påverka ekosystemen. Maljanen m fl (2010) för resonemanget att eftersom snötäcket kommer att vara reducerat i både tjocklek och varaktighet, och isolering därför försvinner, kommer istället marken att kylas mer vintertid och vara kall längre in på sommaren. Många andra (Dabros och Fyles 2010, Strömgren och Linder 2002, Kojima 1994, Mellander m fl 2007) tycks ha fört ett omvänt resonemang, det vill säga att marken hinner värmas upp mer under den snöfria perioden, bland annat tack vare den minskade reflektionen av solvärme. Men som Maljanen m fl (2010) skriver i sin artikel är deras ståndpunkt relativt ny, och kanske är det därför naturligt att den är aningen obeprövad och motsägande. Författare som beskriver undersökningar på marktemperaturers samband med gasutsläpp testar dessutom för sig CO₂, N₂O och CH₄, vilka tycks påverkas olika av markuppvärmning respektive nedkylning (ökat CO₂-utsläpp vid uppvärmning (Kojima 1994) och ökning av utsläpp av N₂O samt möjligtvis CH₄ vid nedkylning (Maljanen m fl 2010). Kanske är för många faktorer inblandade för att man ska kunna göra tillförlitliga beräkningar på detta ännu, kanske är det metodikskillnader som avgör. Något som också bör diskuteras är hur vinsterna (snabbare individuell trädillväxt) och förlusterna (ökad frekvens av brand, vindfällning och insekts herbivori) av klimatförändringarna väger mot varandra för att kunna göra kvalificerade

uppskattningar. Just komplexiteten och bortfallande faktorer i modeller tycks vara något värt att fokusera på med tanke på att så många forskare påpekar nya faktorer som tycks komma att inverka snabbt, exempelvis frosttålighet och insektherbivori.

Skogsvård

Vad har skogen sammanfattningsvis för framtidsutsikter enligt de prognoser vi idag ser? Skogsindustrin kan ju tyckas ha mycket att vinna på att i det längsta säkra framtida skog. Flera undersökningar (Huang m fl 2010, Lo m fl 2010, Koca 2006, Lindner 2010) tyder på ökad tillväxt vid kommande uppvärmningar, så kanske är det lätt att fokusera starkt på just denna prognos, som för skogsägare onekligen måste låta ljus. Det kanske lätt händer att det är enklare att se de positiva effekterna av något som ändå tycks ske än att fokusera på spridda orosmoln som ökad brandrisk (Johnstone m fl 2010, Tchebakova m fl 2009) och ökande populationer av herbivora insekter (Evans och Parschel 2009, Wolf m fl 2008) om allt för stort fokus läggs på förväntad tillväxtökning. Dessa spridda orosmoln kan dock komma hopa sig och slå hårt mot den totala tillväxten, varför även industriella och privata berörda parter borde vara intresserade av att motverka en utveckling mot ett uppvärmt klimat och lätt kan anses ha ett visst ansvar.

Tack

Jag vill tacka Erica Holmqvist, Beke Regelin, Camilla Zetterlund och Elin Willborg för värdefull återkoppling.

Referenser

- Ayres MP, Lombardero MJ, 2000, Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens, *The Science of The Total Environment*, **262**:263-286
- Bélanger N, Pinno BD, 2008, Carbon sequestration, vegetation dynamics and soil development in the Boreal Transition ecoregion of Saskatchewan during the Holocene, *Catena*, **74**:65-72
- Bonan GB, Pollard D, Thompson SL, 1992, Effects of boreal forest vegetation on global climate, *Nature*, **359**:716-718
- Dabros A, Fyles JW, 2010, Effects of open-top chambers and substrate type on biogeochemical processes at disturbed boreal forest sites in northwestern Quebec, *Plant and Soil*, **327**:465-479
- Evans AE, Perschel R, 2009, A review of forestry mitigation and adaptation strategies in the Northeast U.S., *Climatic Change*, **96**:167-183
- Huang J, Tardif JC, Bergeron Y, Denneler B, Berninger F, Girardin P, 2010, Radial growth response of four dominant boreal tree species to climate along a latitudinal gradient in the eastern Canadian boreal forest, *Global Change Biology*, **16**: 711-731
- Johnstone JF, Hollingsworth TN, Chapin FS, Mack MC, 2010, Changes in fire regime break the legacy lock on successional trajectories in Alaskan boreal forest, *Global Change Biology*, **16**:1281-1995
- Kellomäki S, Karjalainen T, Väisänen H, 1997, More timber from boreal forests under changing climate?, *Forest Ecology and Management* **94**:195-208
- Kilpelinen Am Gregow H, Strandman H, Kellomäki S, Venäläinen A, Peltola H, 2010, Impacts of climate change on the risk of snow-induced forest damage in Finland, *Climatic Change*, **99**:193-209
- Koca D, Smith, B, Sykes MT, 2006, Modelling Regional Climate Change Effects on Potential Natural Ecosystems in Sweden, *Climatic Change*, **78**: 2-4
- Kojima S, 1994, Effects of Global Climatic Warming on the Boreal Forest, *Journal of Plant Research*, **107**:91-97
- Kuparinen A, Savolainen O, Schurr FM, 2010, Increased mortality can promote evolutionary adaptation of forest trees to climate change, *Forest Ecology and Management* **259**:1003-1008
- Lavoue D, Liousse C, Cachier H, Stocks BJ, Goldammer JG, Modeling of carbonaceous particles emitted by boreal and temperate wildfires at northern latitudes, *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, **105**: 26871-26890
- Lindner M, Maroscheck M, Netherer S, Kremer A, Barbatti A, Garcia-Gonzalo J, Seidl R, Delzon S, Corona P, Lexer MJ, Marchetti M, 2010, Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems, *Forest Ecology and Management*, **259**:698-709
- Lindroth A, Grelle, A, Morén AS, 1998, Long-term measurements of boreal forest carbon balance reveal large temperature sensitivity, *Global Change Biology*, **4**:443-450
- Lundmark L, Paskevich A, Jansson B, Wiberg U, 2008, Effects of climate change and extreme events on forest communities in the European North, *Climatic Change*, **87**:235-249
- Lo YH, Blanco JA, Seely B, Welham C, Kimmins JP, 2010, Relationships between climate and tree radial growth in interior British Columbia, Canada, *Forest Ecology and Management*, **259**:932-942

- Maljanen M, Alm J, Martikainen PJ, Repo T, 2010, Prolongation of soil frost resulting from reduced snow cover increases nitrous oxide emissions from boreal forest soil, *Boreal Environment Research*, **15**:34-42
- Martin LM, 1996, Will forest preserves protect temperate and boreal biodiversity from climate change?, *Forest Ecology and Management*, **85**:335-341
- McMillan AMS, Winston GC, Goulden ML, Age-dependent response of boreal forest to temperature and rainfall variability, *Global Change Biology*, **14**:1906-1916
- Mellander PE, Ottosson Löfvenius M, Laudon H, 2007, Climate change impact on snow and soil temperature in boreal Scots pine stands, *Climatic Change*, **85**:1573-1480
- Miyamoto Y, Griesbauer HP, Green DS, 2010, Growth responses of three coexisting conifer species to climate across wide geographic and climate ranges in Yukon and British Columbia, *Forest Ecology and Management*: **259**:514-523
- Miller PA, Giesecke T, Hickler T, Bradshaw RHW, Smith B, Seppä H, Valdes PJ, Sykes MT, 2008, Exploring climatic and biotic controls on Holocene vegetation change in Fennoscandia, *Journal of Ecology*, **96**:247-259
- Myeni RB, Dong J, Tucker CJ, Kaufmann RK, Kauppo PE, Zhou L, Alexeyev V, Hughes MK, A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests, 2001, *The Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, **98**:14784-74789
- Niemelä P, Chapin III FS, Danell Kjell, Bryant JP, 2001, Herbivory-Mediated Responses of Selected Boreal Forests to Climatic Change, *Climatic Change*, **48**:427-440
- Olchev A, Desherevskaya O, Krasnorutskaya K, Kurbatova J, 2009, Effects of climatic changes on carbon dioxide and water vapor fluxes in boreal forest ecosystems of European part of Russia, *Environmental Research Letters*, **4**
- Poorter H, Navas ML, 2003, Plant growth and competition at elevated CO₂: on winners, losers and functional groups, *New Phytologist*, **157**:175-198
- Potter C, 2004, Predicting climate change effects on vegetation, soil thermal dynamics, and carbon cycling in ecosystems of interior Alaska, *Ecological Modelling*, **175**:1-24
- Ramming A, Jonsson AM, Hickler T, Smith B, Barring L, Sykes MT, 2010, Impacts of changing frost regimes on Swedish forests: Incorporating cold hardiness in a regional ecosystem model, *Ecological Modelling*, **221**:303-313
- Savolainen O, Bokma F, García-Gil R, Komulainen, Repo T, 2004, Genetic variation in cessation of growth and frost hardiness and consequences for adaptation of *Pinus sylvestris* to climatic changes, *Forest Ecology and Management*, **197**:79-89
- Saxe H, Cannell MGR, Johnsen Ø, Tyan MG, Vourlitis G, 2001, Tree and forest functioning in response to global warming, *New Phytologist* **159**:369-399
- Schulze ED, Lloyd J, Kelliher M, Wirth C, Reibmann C, Luehker B, Mund M, Knohl A, Milyukova IM, Schulze W, Ziegler W, Varlagin AB, Sogachev AF, Valentini R, Dore S, Grigoriev S, Kolle M, Panfyorov MI, Tchebakova N, Vygodskaya NN, 2001, Productivity of forests in the Eurosiberian boreal region and their potential to act as a carbon sink - a synthesis, *Global Change Biology*, **5**:703-722
- Shuman JK, Shugart HH, 2009, Evaluating the sensitivity of Eurasian forest biomass to climate change using a dynamic vegetation model, *Environmental Research Letters*, **4**:1748-9326
- Smedberg E, Mörth CM, Swaney DP, Humborg C, 2006, Modeling hydrology and silicon-carbon interactions in taiga and tundra biomes from a landscape perspective: Implications for global warming feedbacks, *Global Biochemical Cycles*, **20**:
- Soja AJ, Tchebakova NM, French NHF, Flannigan MD, Shugart HH, Stocks BJ, Sukhinin AI,

- Parfenova EI, Chapin III FS, Stackhouse PW Jr, 2007, Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations, *Global and Planetary Change*, **56**:274-296
- Strömngren M, Linder S, 2002, Effects of nutrition and soil warming on stemwood production in a boreal Norway spruce stand, *Global Change Biology*, **8**:1194-1204
- Tchebakova NM, Parfenova E, Soja AJ, 2009, The effects of climate, permafrost and fire on vegetation change in Siberia in a changing climate, *Environmental Research* **4**:1748-9318
- Taggart RE, Cross AT, 2009, Global greenhouse to icehouse and back again: The origin and future of the Boreal Forest biome, *Global and Planetary Change*, **65**:115-121
- Tang GP, 2010, Projecting the distribution of forests in New England in response to climate change, *Diversity and Distributions*, **16**:144-158
- Teklemariam T, Staebler RM, Barr AG, 2009, Eight years of carbon dioxide exchange above a mixed forest at Borden, Ontario, *Agricultural and Forest Meteorology*, **11**:2040-2053
- Vygodskaya NN, Groisman PY, Tchebakova NM, Kurbatova JA, Panyferov O, Parfenova E, Sogachev AF, 2007, Ecosystems and climate interactions in the boreal zone of northern Eurasia, *Environmental Research Letters*, **2**
- Wolf A, Kozlov MV, Callaghan TV, 2008, Impact of non-outbreak insect damage on vegetation in northern Europe will be greater than expected during a changing climate, *Climatic Change*, **87**:91-106

Omslagsbild: Författarens bild

Fig 1: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/Distribution_Taiga.png

Hämtad 2010-05-07

Fig 2, 3: Författarens bilder