



UPPSALA  
UNIVERSITET

# Klimatförändringens påverkan på den boreala skogen

Emil Henriksson

---

Independent Project in Biology  
Självständigt arbete i biologi, 15 hp, vårterminen 2017  
Institutionen för biologisk grundutbildning, Uppsala universitet

# Klimatförändringens påverkan på den boreala skogen

Emil Henriksson

Självständigt arbete i biologi 2017

## Sammanfattning

Temperaturökning som orsakas av klimatförändringarna sker globalt och påverkar majoriteten av organismerna på vår planet. Det boreala skogsbältet som återfinns i norra Europa, norra Asien, Sibirien, Ryssland, och Nordamerika står inför risk för utdöende i framtiden. Skogen utgörs mestadels av barrträd från gran- tall- och lärksläktet.

Trädgränsen vid de södra latituderna kan sannolikt komma att tvingas norrut samtidigt som de nordliga trädgränserna expanderar mot det arktiska havet. Orsaken till detta är den ökande temperaturen som kortar ned de kalla säsongerna, vilket tillåter träden att expandera norrut, samtidigt som det blir för torrt vid den sydliga trädgränsen.

Datamodellerna LAVESI, FAREAST och ALFRESCO baseras på ekologiska processer och producerar förutsägelser om hur skogen kommer att utvecklas i framtiden.

Observationer i kombination med projektioner ger en tydligare bild av skogens framtida hälsa, artsammansättning, diversitet och ålder. Ett varmare klimat ökar även frekvensen av störningar såsom eldsvådor och insektsangrepp, vilket kan komma att påverka skogens struktur. Detta resulterar i en homogen skog med ens stor förlust av arter. Dock är frågan komplex då många ekologiska processer och ekosystem är inblandade.

## Bakgrund

Vår planet upplever en temperaturökning som till del orsakats av den eskalerande mängden växthusgaser som människan genom sin dagliga verksamhet frigör till atmosfären. Sedan den industriella revolutionen i slutet på 1700-talet har utsläppen ökat i form av förbränningsgaser från industrier och fordon som tagits i bruk för att främja samhällets utveckling och människors välbefinnande. Dessa växthusgaser stänger inne den värme som avges i atmosfären efter att solens strålar värmer upp planeten. Den naturliga delen av utsläppen som sker i form av nedbrytning av döda organismer och bränder i olika områden bidrar även de till utsläpp av växthusgaser som koldioxidutsläpp, metan och lustgas. Växthuseffekten verkar dock i betydande utsträckning påskyndas av den mänskliga industriella aktiviteten. Till stöd för detta återfinns en stark korrelation mellan människors användning av fossila bränslen och den uppmätta halten koldioxid i luften (Langston 2009).

Naturtyperna som tundra och kalla områden där den boreala skogen växer är inte anpassade till den drastiska temperaturökning som vi erfar. Glaciärer smälter, snöperioder i områden där frost, snö och kyla är en naturlig del av säsongscykeln upplever allt längre och varmare perioder. Områden där vatten normalt flödar torkar ut samtidigt som andra områden får en betydligt större nederbörd. Den globala uppvärmningen skapar problem över hela vår planet där luft- och havsströmmar riskerar att förändras om den globala temperaturen fortsätter öka. Temperaturökningarna sker globalt men till största del på det norra halvklotet där den boreala skogen är belägen och orsaken till detta tros vara

luftströmmar och jordens rotation, vilket IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) redovisade i deras rapporter om temperaturtrender (Langston 2009). Nederbörden kan ha stark påverkan på hur fuktiga områden kommer vara vilket i sin tur leder till mindre eldsvådor startar i områden. Andelen nederbörd varierar från område till område då regn är beroende på höjd över havet, om området är bergigt och hur långt in i landet skogen befinner sig (D'Orangeville *et al.* 2016).

Den boreala skogen kännetecknas av riklig förekomst av barrträd med träd ur tallsläktet, lärkträdssläktet, gransläktet och ädelgransläktet och sträcker sig över Skandinavien, Nordamerika, delar av Asien, Ryssland och Sibirien (Soja *et al.* 2007). Detta område erfar en längre period av kyla, frost och snö som täcker träden och marken, och växtligheten är anpassad till detta. Växtligheten i sig ligger till grund för att flera tusen andra organismer kan leva i området samt är en viktig del av ekosystemet. Nedbrytningen sker långsammare i de kalla områdena än i andra mer tempererade områden, då det kalla klimatet sätter naturtypen i årligt återkommande dvala. Detta gör den boreala skogen till en kolreservoar då växterna tar längre tid för att bli helt nedbrutna till mindre beståndsdelar. Detta är anledningen till att området har en relativt näringsfattig mark (Gauthier *et al.* 2015).

De boreala skogarna är tåliga då naturliga störningar ofta sker i denna naturtyp. Starka vindar som faller stora mängder träd, insektsangrepp som dödar träden och den mest destruktiva störningen av alla: skogsbränder. Dock är även eld en del av skogens naturliga livscykel. Dessa naturliga störningar är inget större problem för den boreala skogen då naturtypen huserar ett stort antal individer i varje population. Arterna rymmer även en stor genetisk variation vilket leder till att även om en stor del av populationen av en art i den boreala skogen slås ut kommer arten sannolikt inte att bli långvarigt lidande av störningen (Langston. 2009).

Den boreala skogen är onekligen svår att rubba då den tål kraftiga störningar, lågt näringsintag och kalla perioder med frost. Frågan är hur långsiktig temperaturökning kan komma att påverka hälsan hos den boreala skogen. Temperaturökningen är en process som sker sakta över en längre tid och är ordentligt dokumenterad då man har studerat processen under en längre tid. Den genomsnittliga temperaturökningen ligger på 0,74° C mellan 1906 och 2008 och är troligtvis till stor del orsakat av antropogena koldioxidutsläppen. Ökningen av koldioxidhalten mellan 1960 och framåt står för en större ökning i jämförelse med skeenden under den tidigare halvan av 1900-talet. Västvärlden har sett en utveckling åt det positiva hållet då teknologin går framåt och alternativa sätt att framställa energi har utvecklats och etablerats. I samband med den industriella utvecklingen i Asien och andra utvecklingsländer börjar ta fart står de för den stora delen av koldioxidutsläppen från 60-talet och framåt (Chen *et al.* 2014).

Ett varmare klimat för den boreala skogen innebär en drastisk ändring av dess livsvillkor. Delvis för att eldsvådor, kraftigare väder, och bättre levnadsförhållande för insekter samt en ökande konkurrens från andra naturtyper från söder skulle kunna driva den boreala skogens trädgränser längre norrut (Gauthier *et al.* 2015). Den boreala skogen agerar som

en grundpelare för planeten genom förmågan att minska koldioxidhalten i atmosfären då skogen tar upp en stor andel koldioxid med fotosyntesen och lägger fast kolet i marken. Då den boreala skogen värms upp av temperaturökningen kommer skogen inte kunna agera som en kolreservoar på samma sätt som idag. Delvis kommer nedbrytningen öka då köldsäsongerna kortas ned och när värmeperioderna förlängs finns risk för att antalet massiva skogsbränder kommer öka. Detta leder till en mindre yta skog som sannolikt då även får en försämrad förmåga att agera som kolsänka samtidigt som bränder kan komma att frisätta mer växthusgaser. Då både temperaturen ökar och nedbrytningen blir snabbare kommer näringen bli mer tillgänglig vilket kan leda till en ökad biomassa. En högre biomassa betyder en högre grad av fotosyntes. Problemet uppstår då om klimatförändringarna leder till alldeles för hög grad av torka som leder till en hög dödlighet bland växtligheten (Chen *et al.* 2015).

## Syfte och frågeställning

I denna uppsats diskuteras frågan om klimatförändringarnas påverkan på den boreala skogen. Genom att studera projektioner från datamodellerna som LAVESI, FAREAST och ALFRESCO diskuteras skogens framtid utifrån observationer och projektioner.

## Albedoeffekten

Temperaturökningen som orsakas av växthusgaserna i sig är inte det enda som gör att den boreala skogen värms upp. Albedoeffekten är ett sätt att mäta reflektionsförmågan och tar med den del av solljuset som reflekteras av en yta. Den snötäckta marken reflekterar bort mer ljus än den mörka marken som absorberar mer solljus. Detta leder till att träden och marken värms upp mer än vanligtvis om den snötäckta säsongen blir kortare. Den förhöjda temperaturen leder till en högre grad av avdunstning vilket agerar som växthusgaser på en mer lokal nivå och värmer upp området. Där träden växer tätt kommer grenarna att agera som ett skydd mot solens strålar som leder till att marken inte värms upp i samma utsträckning på lokal nivå. Vid trädgränser växer däremot inte träden tätt och kan därför inte erbjuda skuggning för att kunna kyla marknivån. Detta blir en stor temperaturökning för organismer som är anpassade till ett vanligtvis kallt klimat (MacDonald *et al.* 2008).

## Trädgräns

Definitionen för en trädgräns är en övergångszon från många förekommande träd till ett lägre antal träd. Trädgränsen slutar att vara trädgräns då det inte förekommer några träd överhuvudtaget, alternativt att något enstaka träd hittas. Detta kallas även ekoton. Trädgränsen består även av olika sorters arter och linjen gränsar till många olika naturtyper då den boreala skogen är så utbredd. Trädgränsen mot norr gränsar till den kalla och öde tundran. Mot söder kan trädgränsen ligga intill en tempererad lövskog, en torr stäppmark eller havet för att nämna några naturtyper. Trädgränsen hittas även på olika höjdnivåer då träden kan växa på allt från kullar till berg (McDonald *et al.* 2008). Trädgränserna är mest utsatta för invasiva arter och sjukdomar och kan agera som en indikator på hur skogen kommer att reagera i framtiden då temperaturen ligger på en högre eller lägre nivå (Schibalski *et al.* 2014). Genom att studera trädgränsen kan man få

projektioner på vilken utbredning skogen kommer att ha eller om skogen kommer att breda ut sig överhuvudtaget i framtiden. En del av forskarvärlden förutspår att mer tempererade skogar, bar mark, eller gräsfält tar över den boreala skogen vid mer sydliga breddgrader. Då blir frågan om den boreala skogen kan expandera norrut eller om skogen kommer att begränsas geografiskt av den arktiska tundran och de dåliga förhållanden som erbjuds längre norrut. Detta skulle i förlängningen kunna leda till en minskning eller total ödeläggelse av den boreala skogen (Soja *et al.* 2007). En viktig företeelse att tillägga är att trädgränsen hos skogen har en eftersläpande respons till klimatförändringarna särskilt när det kommer till de nu levande träden då de slagit rot och växer. Däremot kan den direkta effekten vara hur pass svårt det är för frön att gro längre norrut i trädgränsen (Lloyd *et al.* 2002).

### ***Den nordliga trädgränsen***

Den nordliga trädgränsen går från en relativt tät barrskog till en gles skog som därefter övergår till en trädfri tundra. Övergången kan sträcka sig upp till hundra kilometer. I en sådan övergångszon kan högre altituder leda till ett abrupt slut på gränsen då barrträden har svårt att anpassa sig till alltför höga höjder. På högre höjder kan barrträden växa sig korta och stabila istället för långa och smala som en anpassning för att klara av de starka vindarna som förekommer, särskilt då den resterande skogen inte ger samma skydd mot starka vindar. Det kan även förekomma träd från poppelsläktet och björksläktet i trädgränsen vilket gäller vid både den nordliga och den sydliga trädgränsen. Vid den nordliga europeiska trädgränsen finns arterna som tall (*Pinus sylvestris L.*), gran (*Picea abies*), en norsk/rysk gran (*Picea obovata*), och Sibirisk lärk (*Larix sibirica*) (McDonald *et al.* 2008). I norra Asiens trädgräns dominerar Sibirisk lärk samt Dahurlärk (*Larix dahurica*), men även Sibirisk tall. Här återfinns även lövträd som glasbjörk (*Betula pubescens*). Den norra Sibiriska trädgränsen domineras mestadels av lärkträd (Kruse *et al.* 2016). Genom att studera artsammansättningen i trädgränsen får man information om de ekologiska processer som träden utsätts för i området och vad som hindrar eller främjar träden i de två olika naturtyperna. En betydande anledning till varför trädgränsen inte expanderar mer norrut har att göra med växtsäsongen och markens temperatur. Om marken är för kall kommer träden att ha problem att ta upp tillräckligt med näring. Om växtsäsongen därefter även är kort kommer inte tillräcklig tid att erbjudas för att träden ska kunna växa till sig så pass mycket att de klarar den karga vintern (Lloyd *et al.* 2002). Den nordliga sibiriska trädgränsen kommer expandera och förtätas norrut mot norra ishavet, sannolikt i form av lärkträd, medan den sydliga trädgränsen kommer att övergå till stäppmark om temperaturen ökar med endast 2° C. Man vet även att temperaturen i den arktiska regionen inte varit så hög som den är nu på över 400 år. Detta kom man fram till genom att undersöka paleoekologiska processer för den geologiska tidsåldern holocen som man jämförde tillsammans med fältobservationer från modern tid. Däremot argumenterar man för att alla ekologiska processer som agerat under hela planetens livstid är alldeles för många och komplexa för att dra slutsatsen att temperaturen inte varit så hög i den arktiska regionen. Man anser fortfarande att det är en bra början att förutspå vad som skulle kunna hända i framtiden (Pearson *et al.* 2013).

### ***Vandring av trädgränsen***

Under de senaste decennierna har observationer gjorts angående åt vilket håll trädgränsen vandrar och allt fler studier tyder på att den boreala skogen vandrar norrut. Den största anledningen till detta skulle kunna beskrivas med temperaturökningen som sker globalt men även på en regional nivå. Varmare klimat tillåter mer tillväxt för träden då vatten, näring och tillgänglig mark blir tillgänglig för skogen. Betydande faktorer för skogen är vind, näringstillstånd, markfuktighet, betning av djur och även mänsklig påverkan. En faktor bakom en lyckad migration av trädgränsen är att frön klarar av att spridas samt kunna gro på den nya platsen (Munier *et al.* 2010), men för att få frön att gro behövs gynnsamma förhållanden. Vid gränsen till den arktiska tundran finns snötäckta områden som reflekterar bort solstrålarna. Det ger en kylande effekt och missgynnar frötillväxt. Däremot har det rapporterats att snötäcket minskar år för år då temperaturen ökar vilket betyder att den kylande effekten kommer att avta med tiden (Lloyd *et al.* 2007). Det har visats att temperaturen spelar en viktig roll för att få frön att kunna gro i ett område. Låga temperaturer saktar ned tillväxten för frön och unga träd vilket ökar tiden för fröets och trädets etablering och tillväxt. Om det tar längre tid för träden att kunna växa till sig tillräckligt löper de större risk för mortalitet, då de är sämre utrustade för dåliga väderfenomen eller dålig näringstillgång. Stabila förhållanden med få störningar krävs för att ge träden en chans att kunna etablera sig och expandera den nuvarande trädgränsen. Det sistnämnda är som starkast då klimatet är relativt varmt och torrt men med tillräcklig fuktighet i marken för träden att kunna ta vara på (Mamet *et al.* 2012).

I en studie gjord i Churchill i norra Manitoba i Kanada samt en studie på taigan i västra delen av Mackenziebergen i Kanada, studerades Kanadalärken (*Larix laricina*). Man avsåg att ta reda på hur arten påverkades av temperaturförändringarna och kunde konstatera att vid Churchill samt de klippiga bergen i södra Alberta hade en kraftig ökning av Kanadalärken observerats på senare år. Denna ökning av lärkträd hade även observerats i Sverige, Schweiz, Ryssland, Mongoliet samt Kina. I studien påstods att detta inslag av en ökad biomassa för lärkträden kunde observeras i hela det boreala bältet. Ett av problemen de kom i kontakt med var att endast ett fåtal unga träd av Kanadalärken hittades. Detta kan bero på att unga träd snabbt bryts ned. Detta betyder i sin tur att de unga träden har en hög mortalitet. Om detta är en effekt av temperaturökningen eller någon annan faktor är svårt att förklara och man är inte helt klar på om detta är ett nytt fenomen (Mamet *et al.* 2012).

Andra observationer som gjorts i Alaska är att svartgran reagerar negativt på temperaturhöjningen och att vitgran fortsätter att växa. Både vitgran och svartgran är känsliga för torka. Fastän trädgränsen expanderar norrut är det bara lärkträden som expanderar norrut. Det resulterar i en homogen skog bestående av ett mindre urval arter än vad vi kan se i dagens boreala skog. Både lärkträden och vitgranen reagerar positivt till temperaturökningen så länge tillräckligt med fuktighet erbjuds, vilket leder forskare till att tro att framtiden kommer erbjuda en mer eller mindre homogen skog (Ueyama *et al.* 2015).

I västra Kanada har man observerat en ökning av yngre tallträd som växer relativt snabbt.

Ökningen visar på en skillnad från projektioner där man ser att den boreala skogen kommer bli allt torrare, vilket leder till att de unga träden dör på grund av torkan och det hårda klimatet. Att de växer snabbt och tar över områden beror på att träd från tallsläktet är mindre känsliga för torka. Även den ökande halten koldioxid gynnar tallarna och i kombination ger det dem ett övertag över andra växter som inte är lika torktåliga eller effektiva på att ta upp koldioxid. Den ökande halten koldioxid har inte någon större påverkan på de äldre träden men däremot har torkan en dödlig effekt på dem. Även sjukdomar och insektsangrepp ökar med trädens ålder då de är större och därmed löper större risk att bli angripen av insekter och sjukdomar. De gamla träden är mer gynnsamma för insekterna då de erbjuder mer näring än de unga träden. En av observationerna man gjorde i västra Kanada från 1958 till 2011 var att biomassan hade minskat över hela det studerade området. Dock var minskning inte från de unga träden utan från de äldre träden. Detta betyder att dra grova generaliseringar för de äldre träden och applicera det på de yngre träden inte går för att få en bild av framtiden (Chen *et al.* 2016).

## **Datamodeller och projektioner från LAVESI**

Att kunna förutspå hur trädgränserna kommer se ut i framtiden är svårt. Många olika faktorer som påverkar en mängd olika ekologiska processer kan ha betydelse och påverka hur trädgränserna kan komma att förändras. Vissa studier visar på att trädgränsen vandrar norrut medan studier från andra regioner visar att det endast sker en förtätning av träden. På en del platser visar studier att träden kommer växa sig korta och på andra platser kan de växa sig höga. Även om observationerna som gjorts i Kanada tyder på att lärkträden reagerar positivt på en temperaturökningen kan man inte med säkerhet säga att det är vad framtiden har att erbjuda då man endast kan dra en generell bild av de extremt komplexa processerna. Lärkträden växer fortfarande i Churchill, men vid Mackenziebergen har lärkträdens expansion stannat av på grund av dålig sexuell reproduktion. Detta tyder på att frågan är betydligt mer komplex än vad man först kunnat ana. Detta innebär också att det är viktigt att kunna förstå art-artinteraktioner för att kunna ge en bra projektion av framtiden. Då kan datamodeller vara ett användbart verktyg för att förutse hur skogen kan komma reagera på temperaturökningen (Kruse *et al.* 2016).

Då lärkträden har observerats att öka i biomassa så använde sig forskare av den informationen för att studera träden med en datamodell kallad LAVESI (*Larix* vegetation simulator). Beroende på vad man studerar krävs olika faktorer i de ekologiska processerna samt grunddata för att få verklighetstroga modeller och prediktioner. Detta är centralt om man vill applicera projektionerna på verkligheten och fatta beslut utifrån dem. Tillväxten var det centrala för studien och därför användes en tillväxtmodell för en specifik art av lärkträd, nämligen Dahurlärk (*Larix gmelinii rupr*). Arten valdes för att den kan växa ensam på permafrost under kalla säsonger. Arten var även beroende av nederbörd samt starkt temperaturberoende, specifikt sommartemperaturen, vilket var betydande faktorer för simuleringen. Under simuleringarnas gång lades flertal funktioner till för att likna observationerna som gjorts i området. En av dem som lades till var trädets studerade livscykel, därefter lät man datamodellen göra sina simuleringar. Efter varje simulerat år uppdaterades funktionerna samt nya applicerades i modellen. Till exempel

interaktioner med andra närliggande träd av samma art när det kommer till konkurrens om näring och utrymme. Enligt observationer visste man att Dahurlärken har ett stort rotsystem vilket spelar en viktig roll i art-artinteraktioner som konkurrens om utrymme under marken. Skillnad gjordes på olika storlekar på träden efter ett tag in i simuleringarna då större träd har bättre förutsättningar än mindre träd. Trädens överlevnad var beroende av påverkningar från väder eller tillgång till näring. Även funktioner för fröspridning, fröproduktion, och etablering av fröet för att gro lades till. Dödlighet för både frön och träd lades även till. Åldrandet för träden blev även faktor och träden togs bort ur simuleringen efter att de nått en viss ålder (Kruse *et al.* 2016).

Datamodellen tar dock inte med alla tänkbara betydande faktorer som kan hittas i de naturliga ekosystemen. Några av de funktionerna som datamodellen inte tog med i simuleringen var sjukdomar och skogsbränder. Därför skulle man kunna anta att modellen gav något felaktiga projektioner då varmare klimat leder till att skogen ökar i biomassa, samt leder till torrare klimat. De klimatförhållandena är gynnsamma för brand att starta i samt för insekter att sprida sig i. En annan betydande faktor som inte togs med i simuleringarna var att arter i täta populationer löper större risk för att en sjukdom bryter ut och slår ut populationerna. Sjukdomar kan gå från individ till individ snabbare i populationer där tätheten är stor än i populationer där tätheten är låg. Datamodellen tog dock inte med insektsangrepp i projektionerna fastän de har en liknande effekt som sjukdomar (Kruse *et al.* 2016).

Simuleringarna förutsåg en relativt mogen population med få unga individer. Varför det såg ut så kunde inte projektionen ge ett fullgott svar på. Hos täta populationer kommer ljusintaget att vara en betydande faktor speciellt då träden kommer att skugga varandra, vilket modellen inte tog upp då konkurrensen gått från marknivå till luftnivå. Marknivån är då de interaktionerna arterna har mellan varandra på marken samt under marken. Luftnivån är konkurrensen arterna har genom ljusintag och skuggning av varandra. Modellen tog inte heller upp hur djupt tjälen gick under en permafrost, vilket kan ge fluktuationer i projektionerna (Kruse *et al.* 2016).

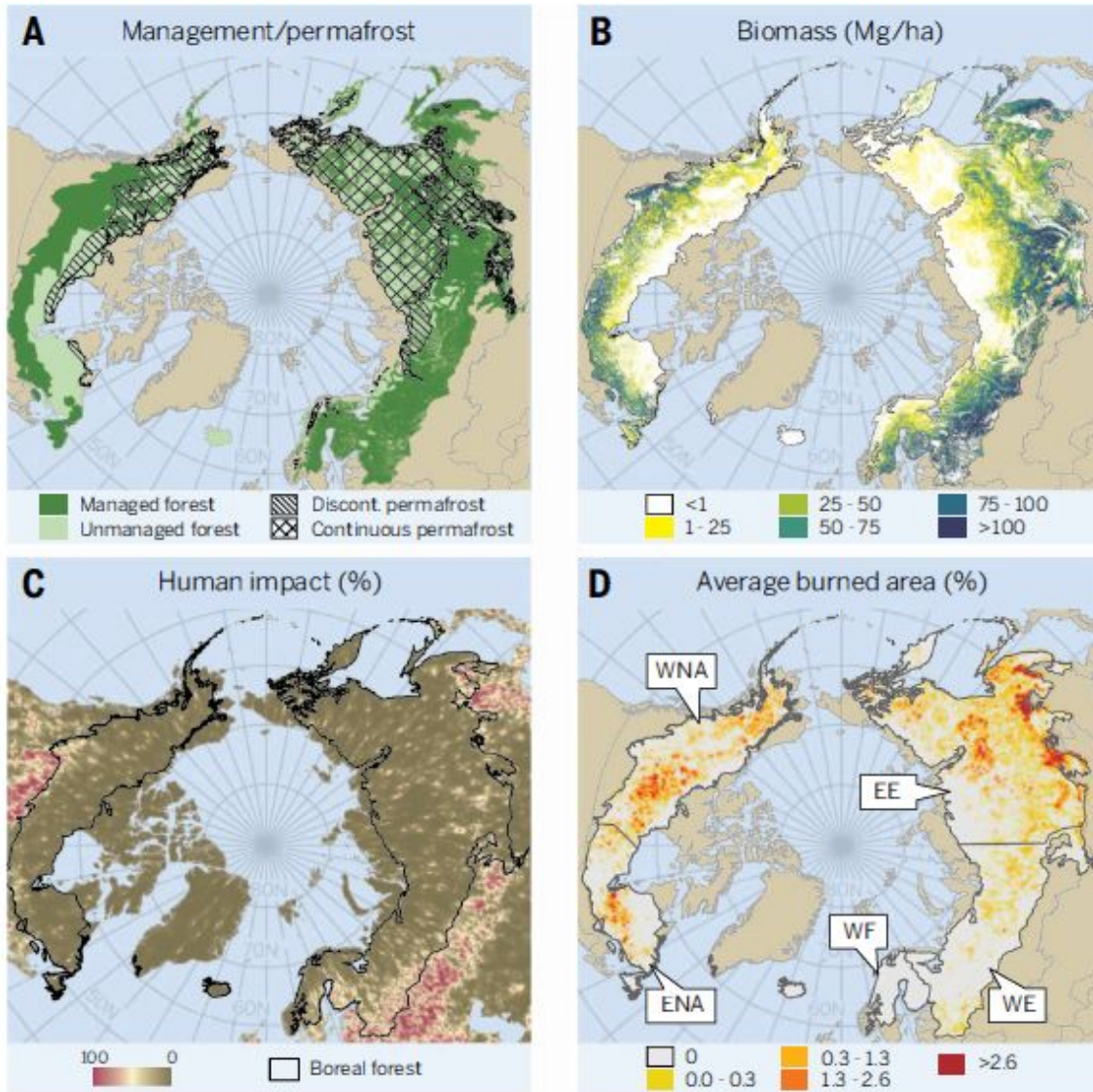
Resultatet av projektionerna var att om temperaturen ökar med 6° C i ekotonen kommer Dahurlärken att dubblera biomassan på endast 100 år. Den största delen av denna ökning sker genom att träden expanderar åt norr. Detta stämmer även bra överens med de observationer man gjort av att Dahurlärken vandrat in på de kala områdena mer norrut. Projektionerna visar att vandringen kommer ske i stor utsträckning och att temperaturen är den drivande faktorn i expansionen, men denna effekt visas flera år senare då träden reagerar långsammare än vad temperaturen ökar. När man sänkte temperaturen i projektionen med endast 1° C observerade man en nedgång av totala antalet individer i populationen på 40%, vilket betyder att träden är mer känslig för en sänkning i temperaturen än en temperaturökning. Detta betyder att träden är mer känslig för ett kallt år eller endast en köldknäpp än vad de är känsliga för ett enda varmt år (Kruse *et al.* 2016).



## Eld som drivande faktor

Då datamodellen inte tar eldsvådor med i åtanke och då modellen visar att biomassan kommer öka med ökad temperatur behöver man ta reda på hur eld kan påverka området. Lyckligtvis är eld inte endast en dålig faktor. Det är ett allmänt känt faktum att eldsvådor i det boreala skogsbältet är en drivande och, många gånger gynnande, kraft för skogens livsutveckling. Eldsvådor som kan bränna upp stora delar av skogen hjälper till att driva successionsprocesser, då de konkurrenskraftiga växterna slås ut för att ge plats åt de mindre konkurrenskraftiga växterna. Det leder även till en högre växtdiversitet samt en annan artsammansättning i vissa fall. Samt vid eldsvådor frigörs många näringsämnen för skogen att använda. Eldsvådor föryngrar även träden i området då äldre träd brinner upp och nya yngre kan ta deras plats. Eldsvådor börjar oftast i områden där temperaturen är hög och nederbörden låg. Detta kan observeras genom att studera dagens klimat i södra Asien där temperaturen är hög och nederbörden relativt låg, vilket resulterar i frekventa bränder (Figur 1)(Gauthier *et al.* 2015). Klimatförändringarna medför generellt en högre temperaturer kring det norra halvklotet vilket skulle kunna leda till ett torrare klimat. Effekterna från eldsvådor är avgörande när det kommer till att studera ekosystemet i sig och man bör ha detta i åtanke när man gör projektioner i LAVESI. Dessa komplikationer pekar även på att denna del av ekosystemet är svårt att förutspå även om det är sannolikt att eldsvådor kommer öka i antal över hela det boreala skogsbältet på grund av temperaturhöjningen. En stor anledning till ökningen är blixtnedslag som orsakar uppvärmningen av atmosfären, som leder till extrema väderförhållanden. Säsongerna då eldsvådorna oftast sker kommer bli längre och eldsvådorna kommer att öka drastiskt i intensitet (Gauthier *et al.* 2015).

I vissa områden i den boreala skogen kan eldsvådor bränna endast på marknivå men lyckas inte sprida sig till trädkronorna. Eldsvådor som når ända upp till trädkronorna förekommer men inte alls i lika stor utsträckning. Anledningarna till detta är att temperaturen inte når de höga nivåer som får bränder att starta. Människor kontrollerar även eldsvådorna och släcker elden för att inte låta den sprida sig till städer och skada människor. Intensiva eldar är svårare för människor att kontrollera och kan i bästa fall släckas men oftast går det bara att begränsa spridningen av sådana eldar. Om intensiteten ökar på eldsvådorna kommer bränderna på endast marknivå att minska i antal, men bränderna som når upp till trädkronorna kommer att öka. Om både intensiteten och eldens spridning ökar kommer stora områden i skogen slås ut och kan därefter ersättas av en naturtyp med en helt annan artsammansättning. Om elden härjar och bränner bort områden mot den södra trädgränsen som gränsar till lövskog eller gräsländer, löper den boreala skogen risk att bli utkonkurrerad av de närliggande markernas artsammansättning (Gauthier *et al.* 2015).



Figur 1. Illustrationer över det boreala skogsbältet. Illustration A visar förvaltd skog samt skog med permafrost. Där mörkgrön visar förvaltd skog och ljusgrön visar opåverkad skog. Streckade områden visar där permafrosten förekommer oregelbundet. Det rutade området visar där permanent permafrost förekommer. Illustration B visar biomassan där färgerna indikerar megagram per hektar. Färgen lila är över 100 Mg/ha och färgen vit visar 0 Mg/ha. Illustration C visar vilken procentuell påverkan människan har på skogen där 100 är en hög grad av påverkan och brun är en låg grad av påverkan. Illustration D visar det genomsnittliga brända områdena. Där färgerna indikerar andelen procent av skog som brunnit. Röd är en hög procentandel som brinner och vit är en låg procentandel som brinner. From Gauthier, S. *et al.* (2015) 'Boreal forest health and global change', *Science*, 349(6250), pp. 819–822. Reprinted with permission from AAAS.

Eldsvådor som brinner var tjugonde till var femtionde år sker i skogar där lärkträdd dominerar. I skogar som brinner var åttionde till var trehundra år dominerar mörka barrträdd, bestående av mestadels de sibiriska arterna, då de skogarna är skuggtåliga och kräver en högre fuktighet. Som nämnt tidigare reagerar dock de mörka barrträddsskogarna negativt på den ökande värmen. De skogarna har en stor artdiversitet på marknivå och

växer relativt tätt. Då värmen ökar leder det till att de täta och artrika barrskogarna torkar vilket utgör perfekt material för extremt intensiva bränder. Om trenden där lärkträden fortsätter att expandera norrut och trenden där de mörka barrträden minskar sitt område kommer effekten även vara att eldsvådorna ökar i antal (Gauthier *et al.* 2015).

## **Insektangrepp - en betydande faktor**

LAVESI tog inte med sjukdomar eller insektsangrepp. Det har gjorts observationer som visar att insektsangrepp ökar i samband med temperaturhöjningen. Under de torra åren 1992 till 2000 i Kenai i Alaska dog en stor del av populationerna på grund av insektsangrepp under flera år. Insekten som angrep var Granbarkborre (*Dendroctonus rufipennis*) som befinner sig i varma och torra skogar. Med temperaturhöjningarna som sker förändras de kalla, fuktiga skogarna i Alaska till varma och torra vilket gjorde att Granbarkborren kunde härja fritt och döda en miljon hektar av skog. Granbarkborren ökade därefter som effekt till höga nivåer men har minskat på senare år till normala nivåer då träden de livnär sig på har minskat. Det är en av många insekter och fler utbrott har observerats och man misstänker att det är temperaturhöjningen som står bakom detta (Soja *et al.* 2007). En högre temperatur ger högre aktivitet hos insekter då förhållandena för dem gynnas men insektsangrepp, precis som eldsvådor, är en naturlig del i skogens livscykel. När en art reduceras till extremt lågt antal står trädarterna i risk för att inte kunna etablera sig i framtiden, då den genetiska diversiteten blir mindre med lägre antal individer av arten (Soja *et al.* 2007).

## **Datamodellen FAREAST**

Då vi människor avverkar stora delar av den boreala skogen sänker vi medelålder för skogen. De träd som når en viss ålder ger bättre ved och plankor. Vi återplanterar träd för att låta dem mogna för att sedan återigen avverka träden. Den boreala skogen står inför ett åldersdilemma där skogens medelålder kan komma att drastiskt sänkas. Detta är för att äldre träd inte klarar av torka i samma utsträckning som de yngre träden. Med hjälp av modellen FAREAST kunde man projektera hur träd av olika åldrar reagerar på temperaturhöjningen. Modellen användes förr för att simulera skogar i Kina och Rysslands östliga skogar, vilket modellen fått namnet ifrån (Lutz *et al.* 2013).

609 platser med skog i centrala Sibirien användes för att kunna studera parametrarna som behövdes för att göra simuleringarna. De platserna bidrog med data om artsammansättning. Därefter tog man jordvärden från "Land resources of Russia" databas, IIASA. Data på klimatförhållandena togs från väderstationer för platserna runt om i Ryssland. Torka på grund av den förhöjda temperaturen togs med i simuleringen då träden har en högre transpiration vid högre temperaturer, vilket resulterar i torka. Simuleringarna för platserna började utan någon temperaturhöjning under 100 år för att få en etablerad skog med variation i ålder över området. Därefter fortsatte tre projektioner med en temperaturhöjning på 2°C, 4°C och 6°C över 100 år. Projektionerna visade att träden reagerade olika beroende på vilken ålder de var när de utsattes för temperaturökningen. Vid en låg temperaturhöjning på 2° C ändrades skogarna med en ålder kring 50 år lite i jämförelse med träd som var äldst 200 år. De äldre träden är mer utsatta och dör av temperaturökningen på grund av torka. Att äldre träd hos gran och

tallskogar har mindre tillväxt, högre dödstal samt lägre biomassa på grund av den förhöjda temperaturen dokumenteras världen över i det boreala skogsbältet. I simuleringen kollapsade den Sibiriska lärken och ersattes snabbt med Sibirisk tall och Sibirisk silverbjörk. För en 4° C temperaturhöjning visade simuleringen att träden mellan 50 till 100 har svårt att leva i området precis som de äldre träden. För 6° C temperaturhöjning spelade inte åldern någon roll utan träd av alla åldrar i skogen upplevde hög stress från torka. Den boreala skogen kommer då att öka i aktivitet och ta upp koldioxid i större mängder samtidigt som skogen samtidigt kommer att släppa ut mer koldioxid då nedbrytningen ökar till följd av temperaturökningen. Det kalla vinterhalvåret kommer bli kortare samtidigt som koldioxidhalten i atmosfären kommer öka. Då kan man anta att skogen kommer att öka drastiskt i biomassa, produktivitet och kommer då som följd även i förlängningen att sänka koldioxidhalten i atmosfären. Den ökande temperaturen kommer även att öka torkstressen för träden, vilket leder till större antal döda träd. Detta leder i sin tur till ett högre utsläpp av koldioxid vid nedbrytningen. Skogen må öka i produktivitet men arter ersätts med andra arter som tall och björk. Lövträd har dock inte lika hög kapacitet att lagra koldioxid som barrträd och de lärkdominerade skogarna där lärkarterna kollapsar kan därför komma att ersättas med lövträd vilket kan komma att minska skogens kollagringskapacitet (Lutz *et al.* 2013).

## **Datamodellen ALFRESCO**

Datamodellen ALFRESCO är en vegetationsstörningsmodell och simulerar störningsapsekterna i skogen orsakat av den ökande temperaturhöjningen. Datamodellen tar med hur eldsvådor i skogen påverkas av topografi, ålder och spridningen av träd. Modellen simulerar även hur skogen växer tillbaka efter att en störning skett i ett område. Simuleringarna sker inte för trädgränsen utan djupt inne i skogen där träden förekommer frekvent. Området som användes för simuleringarna var Alaska och Brooks range i Nordamerika då platserna erbjuder en växlande topografi. Skogen området domineras av svartgran, asp, vitgran, och björk. För den här modellen, precis som för LAVESI och FAREAST, togs information från det observerade området om växtligheten och de ingående arternas ekologiska processer, fröspridning, och tillväxt som applicerades i modellen. Även information om elddynamik togs från litteratur och användes i simuleringarna, för att få en verklighetstrogen simulering där eld är en avgörande faktor. För att göra projektioner för framtiden med modellen fick man inkludera andra projektioner för nederbörd och temperatur i regionen. Data erhöles från generella klimatmodeller och projektioner som passade in med Alaskas historiska väder och som därför är lämpade för att förutse det framtida vädret. Skogens risk att börja brinna baseras i grunden på vilken vegetationstyp området karaktäriseras av. Utöver detta beror risken på hur klimatet varit och förväntas bli. Hög temperatur med låg nederbörd gynnar eld. Låg temperatur med hög nederbörd får motsatt effekt. Alla dessa värden togs från observerad data. Med dessa värden gjordes simuleringar tills det att de stämde överens med observationer från den aktuella platsen. Simuleringarna visade att bränderna kommer att öka i betydelse jämfört med tidigare år. Stora områden av skogen försvinner enligt modellen då förhållanden som gynnar eld ökar. Eldsvådorna kan elda upp över 15 000 km<sup>2</sup> stora skogsområden. Dessa megaeldar, som de kallas, sker sporadiskt och lär bli vanligare i framtiden. Då eldsvådor blir

vanligare kommer skogens medelålder att minska. Det tar lång tid för träden att bli gamla, vilket de frekventa eldsvådorna inte tillåter i framtiden. Även tiden mellan eldsvådor förväntas bli kortare, vilket leder till att tillväxtsperioden för många träd krymper. Det leder till att växter som gynnas av frekvent störning etablerar sig i områdena. Skogens artsammansättning kommer förändras om störningarna är alltför frekventa. Enligt modellen kommer de nedbrända granträden att ersättas med de inhemska lövträden. Vanligtvis påstår man att lövskog inte besitter samma elddynamik som boreala skogar har. Detta skulle betyda att eldsvådor kommer minska i antal då lövskogar inte är lika lättantändliga som barrskogarna. Dock påverkas lövskogar av en temperaturhöjning också. Temperaturhöjningen som kommer att ske i framtiden är så pass hög att lövskogarna kommer att påverkas av torkperioder och därefter eldsvådor. En stor anledning till varför bränderna ökar i antal har att göra med att endast en liten höjning av temperaturen leder till att en större risk för bränder att starta. En annan anledning är det stora lager av organiskt material som ansamlats under flera århundranden, vilket skulle kunna fungera som brandmaterial. Även skogens medeltemperatur kan komma att öka om lövskogen breder ut sig då lövskogens stora blad, i jämförelse med barrskogens barr, har en högre evapotranspiration. Vattnet som då transporteras från marken upp i atmosfären kommer att leda till att värmen ökar (Mann *et al.* 2012).

## Diskussion

Att avgöra exakt vad som kommer hända med klimatförändringarna och den boreala skogen 100 år in i framtiden är svårt att förutsäga. Man har observerat trender på många platser i det boreala skogsbältet, men det är svårt att utifrån dessa observationer få en bild av hur det kommer att vara i synnerhet då det finns trender som motsäger varandra. Observationer som gjorts om att lärkträden sprider sig över hela det boreala bältet samt tar över trädgränserna visar på en möjlig utveckling. Samtidigt rapporteras det om en minskning av lärkträden i många områden, och där måste man studera orsakerna för att kunna göra en mer säker bedömning. Att frågan är komplex beror på att flera faktorer spelar en viktig roll i att avgöra skogens respons på ökad temperatur. Ålder, artsammansättning, anpassningar, markförhållanden, höjd över havet, näringstillgång, art-artinteraktioner och väderförhållanden, för att nämna några. På grund av denna komplexitet kan de datamodeller som utvecklats vara användbara för att ge relativt säkra projektioner om framtiden. Datamodellerna tar onekligen inte med alla ekologiska faktorer i simuleringarna, men de ger ändå en bild av hur skogen kommer att påverkas baserat på en mängd relevant fakta. Dessa simuleringar går sedan att jämföra med observationer man gjort i fält för validering. Ser man liknande mönster i fält som en korrekt simulering gett tidigare kan man anta att det är så framtiden kan komma att se ut. Människor vill hitta mönster och logik i det de observerar och därför kan observationer vara vinklade och projektioner behöver inte visa hur det faktiskt kommer bli. Då ett flertal projektioner görs kan man anse de som en vägvisare på vägen till det korrekta svaret.

Yngre träd kommer att breda ut sig samtidigt som de äldre träden kommer att möta en

betydligt större motgång om de inte dör i förtid. Skogen kommer även att bli mer homogeniserad rent artmässigt, vilket leder till att många arter som är beroende av andra specifika växter kommer dö. Det är svårt att säga vilka arter som överlever och kommer att dominera skogarna. LAVESI-datamodellen ger en framtidsbild där lärkträd kommer att etablera sig vid trädgränsen och konkurrera ut träd som gran och tall. Samtidigt ger FAREAST-datamodellen en bild av att lärkträden så småningom kraschar. Det betyder att tall och gran har en större chans att etablera sig. Dock talar ALFRESCO-datamodellen mot att gran och tall kommer ha en god chans för att stadigt etablera sig när sådana skogar löper en större risk för att bli drabbade av megaeldar. Det leder till att lövskogar kommer att gynnas. Vad som driver lärkträden till en krasch enligt FAREAST vet man inte i dagsläget. Särskilt inte då man har gjort observationer att lärkträd breder ut sig på stora områden redan idag. Det skulle kunna vara så att FAREAST inte ger den korrekta bilden av framtiden. Troligtvis är det någon faktor som lärkträden gynnas av i den nuvarande temperaturökningen vi ser idag och därför skulle datamodellen LAVESI visa hur framtiden faktiskt kommer att se ut. Just för att den påvisar att Dahurlärken kommer öka i biomassa. Det man kan vara säker på är att eldar kommer öka i antal om temperaturen ökar. De gamla urskogarna som huserar en stor artdiversitet riskerar också att gå förlorad om temperaturökningen sker. Dessa habitat kommer inte att gå att återskapa då träden inte tillåts nå gammal ålder på grund av de frekventa störningarna som sannolikt kommer att ske. ALFRESCO-modellen tar upp att endast en liten ökning av temperaturen kommer leda till ett högre antal bränder. Varje brand som startar löper sedan en risk att utvecklas till en megaeld som bränner stora områden. Den lilla temperaturökningen orsakas av klimatförändringarna som i sin tur är delvis orsakat av växthusgaserna. Den boreala skogen agerar som en kolreservoar och då områden i skogen brinner upp och släpper ut brandgaser löper planeten risk att inte kunna förvara koldioxid i samma utsträckning som idag. Om skogen minskar i sitt område och de nuvarande barrträden, som har en hög kapacitet att förvara koldioxid, ersätts med lövträd eller andra växter som har lägre kapacitet betyder det att koldioxidhalten kommer öka i atmosfären. En högre halt koldioxid i atmosfären leder till en snabbare temperaturökning vilket i sin tur leder tillbaka till att bränder startar. En ond cirkel som är svår att bryta och har en negativ effekt på skogen som helhet.

Skogsindustrin använder sig av projektioner för att veta hur mycket man ska avverka och var man kan och bör göra ingrepp. Detta är oerhört viktigt för att kunna bevara skogen och tillåta den att återväxa på ett hälsosamt sätt, speciellt för länder som baserar en stor del av sin ekonomi på träindustrin. Det krävs kunskap om skogens svar på det förändrade klimatet samt kunskap om hur man ska hantera avverkning för att inte slå ut stora delar av skogarna, i synnerhet då skogen är betydligt känsligare nu än vad den var förr. Även kunskap om hur man ska plantera yngre plantor för att få dem att överleva är viktigt. Kunskapen är betydande för miljövärdare för att kunna bevara naturreservat och en rik artsammansättning och inte få monokulturer som återplanteringen av skog kan komma att ge efter avverkning (Lutz *et al.* 2013). De monokulturer som uppstått på senare tid på grund av återplanteringen av skogen är vad som vi i framtiden kan vänta oss i storskalig nivå över hela det boreala skogsbeltet. Därför behövs forskning om hur man kan motverka dessa trender och återskapa den natur som en gång funnits för att främja

diversitet och mångfald. Att temperaturen ökar är ett faktum och fastän mycket har gjorts för att dämpa utsläppen av växthusgaserna har det inte varit tillräckligt. Därför är det extra viktigt att veta hur ekosystem kommer att påverkas.

## Tack

Jag vill uttrycka mitt tack till mina medstudenter Emma Hellkvist, Krisztina Csiki och Marcus Nyström. Samt ett tack till min handledare Stefan Bertilsson för värdefulla kommentarer under kursens gång.

## Referenslista

Chen, Y., Li, B., Li, Z. and Shi, X. (2014) 'Quantitatively evaluating the effects of CO2 emission on temperature rise', *Quaternary International*, 336, pp. 171–175.  
doi: [10.1016/j.quaint.2013.11.031](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.11.031).

Chen, H. Y. H. and Luo, Y. (2015) 'Net aboveground biomass declines of four major forest types with forest ageing and climate change in western Canada's boreal forests', *Global Change Biology*, 21(10), pp. 3675–3684. doi: [10.1111/gcb.12994](https://doi.org/10.1111/gcb.12994).

Chen, H. Y. H., Luo, Y., Reich, P. B., Searle, E. B. and Biswas, S. R. (2016) 'Climate change-associated trends in net biomass change are age dependent in western boreal forests of Canada', *Ecology Letters*. Edited by B. Enquist, 19(9), pp. 1150–1158. doi: [10.1111/ele.12653](https://doi.org/10.1111/ele.12653).

D'Orangeville, L., Duchesne, L., Houle, D., Kneeshaw, D., Côté, B. and Pederson, N. (2016) 'Northeastern North America as a potential refugium for boreal forests in a warming climate', *Science*, 352(6292), pp. 1452–1455. doi: [10.1126/science.aaf4951](https://doi.org/10.1126/science.aaf4951).

Gauthier, S., Bernier, P., Kuuluvainen, T., Shvidenko, A. Z. and Schepaschenko, D. G. (2015) 'Boreal forest health and global change', *Science*, 349(6250), pp. 819–822.  
doi: [10.1126/science.aaa9092](https://doi.org/10.1126/science.aaa9092).

Kruse, S., Wiczorek, M., Jeltsch, F. and Herzsuh, U. (2016) 'Treeline dynamics in Siberia under changing climates as inferred from an individual-based model for Larix', *Ecological Modelling*, 338, pp. 101–121. doi: [10.1016/j.ecolmodel.2016.08.003](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.08.003).

LANGSTON, N. (2009) 'Paradise Lost: Climate Change, Boreal Forests, and Environmental History', *Environmental History*, 14(4), pp. 641–650. Available at: <http://www.jstor.org.ezproxy.its.uu.se/stable/40608541> (Accessed: 20 April 2017).

Lloyd, A. H. and Bunn, A. G. (2007) 'Responses of the circumpolar boreal forest to 20th century climate variability', *Environmental Research Letters*, 2(4), p. 045013.  
doi: [10.1088/1748-9326/2/4/045013](https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/4/045013).

Lloyd, A. H. and Fastie, C. L. (2002) 'Spatial and Temporal Variability in the Growth and Climate Response of Treeline Trees in Alaska', *Climatic Change*, 52(4), pp. 481–509.  
doi: [10.1023/A:1014278819094](https://doi.org/10.1023/A:1014278819094).

Lutz, D. A., Shugart, H. H., Ershov, D. V., Shuman, J. K. and Isaev, A. S. (2013) 'Boreal forest sensitivity to increased temperatures at multiple successional stages', *Annals of Forest Science*, 70(3), pp. 299–308. doi: [10.1007/s13595-012-0258-4](https://doi.org/10.1007/s13595-012-0258-4).

MacDonald, G. M., Kremenetski, K. V. and Beilman, D. W. (2008) 'Climate Change and the Northern Russian Treeline Zone', *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 363(1501), pp. 2285–2299. Available at: <http://www.jstor.org.ezproxy.its.uu.se/stable/20208638> (Accessed: 20 April 2017).

Mamet, S. D. and Kershaw, G. P. (2012) 'Subarctic and alpine tree line dynamics during the last 400 years in north-western and central Canada: Four centuries of subarctic and alpine tree line dynamics', *Journal of Biogeography*, 39(5), pp. 855–868. doi: [10.1111/j.1365-2699.2011.02642.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02642.x).

Mann, D. H., Rupp, T. S., Olson, M. A. and Duffy, P. A. (2012) 'Is Alaska's Boreal Forest Now Crossing a Major Ecological Threshold?', *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 44(3), pp. 319–331. Available at: <http://www.jstor.org.ezproxy.its.uu.se/stable/23252330> (Accessed: 3 May 2017).

Munier, A., Hermanutz, L., Jacobs, J. D. and Lewis, K. (2010) 'The interacting effects of temperature, ground disturbance, and herbivory on seedling establishment: implications for treeline advance with climate warming', *Plant Ecology*, 210(1), pp. 19–30. Available at: <http://www.jstor.org.ezproxy.its.uu.se/stable/40802413> (Accessed: 20 April 2017).

Pearson, R. G., Phillips, S. J., Loranty, M. M., Beck, P. S. A., Damoulas, T., Knight, S. J. and Goetz, S. J. (2013) 'Shifts in Arctic vegetation and associated feedbacks under climate change', *Nature Climate Change*, 3(7), pp. 673–677. doi: [10.1038/nclimate1858](https://doi.org/10.1038/nclimate1858)

Schibalski, A., Lehtonen, A. and Schröder, B. (2014) 'Climate change shifts environmental space and limits transferability of treeline models', *Ecography*, 37(4), pp. 321–335. doi: [10.1111/j.1600-0587.2013.00368.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00368.x).

Soja, A. J., Tchebakova, N. M., French, N. H. F., Flannigan, M. D., Shugart, H. H., Stocks, B. J., Sukhinin, A. I., Parfenova, E. I., Chapin, F. S. and Stackhouse, P. W. (2007) 'Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations', *Global and Planetary Change*, 56(3-4), pp. 274–296. doi: [10.1016/j.gloplacha.2006.07.028](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.028).

Ueyama, M., Kudo, S., Iwama, C., Nagano, H., Kobayashi, H., Harazono, Y. and Yoshikawa, K. (2015) 'Does summer warming reduce black spruce productivity in interior Alaska?', *Journal of Forest Research*, 20(1), pp. 52–59. doi: [10.1007/s10310-014-0448-z](https://doi.org/10.1007/s10310-014-0448-z).



## **Bilaga**

### **Vem bär det moraliska ansvaret för klimatförändringarna?**

Emil Henriksson

#### **Bakgrund**

Temperaturhöjning orsakad av globala klimatförändringar är ett av de stora problem som den boreala skogen står inför. Växthusgaserna som är den grundläggande orsaken till att planeten värms upp är orsakat av människans användning av transportmedel samt industrier. Västvärlden var tidig med att använda kol i stora fabriker som förbränning. Det är bara på senare år som den resterande världen har börjat släppa ut koldioxid i lika stor utsträckning. En högre temperatur än vad vi har idag betyder att barrskogarna kommer få betydande problem. Stora delar av den boreala skogen försvinner och med den även en stor uppsättning av arter som är beroende av skogen.

#### **Etisk frågeställning**

Vem bär det moraliska ansvaret för klimatförändringarna?

#### **Diskussion**

Vem har det moraliska ansvaret för klimatförändringarna? Är det västvärlden som hade ett försprång för industriutveckling från tidigt 1800-tal eller är fattiga länder som nu genomgår en snabb utveckling? Västvärlden fick ett rejält försprång i utvecklingen då vi koloniserat ett flertal kontinenter under århundraden. Råvaror hittades eller utvanns och kunde därefter fraktas tillbaka till det koloniserande landet. Detta till betydande kostnad för det land som blev koloniserat. Detta försprång gav de industrialiserade länderna ekonomi för att bygga upp ett fungerande samhälle samtidigt som de fattiga länderna knappt hade någon infrastruktur eller fungerande samhälle.

Idag sker storskalig forskning på området för att minska utsläpp av växthusgaser. Elbilar, effektivare produktion, hälsosammare matproduktion samt lagar och förordningar för att tvinga fram alternativa förbränningsmaterial som är bättre rent långsiktigt sett för planeten. Fattiga länder som har fått fart på sin utveckling och kan bygga upp ett helt fungerande samhälle med sjukvård, rent vatten, transportsystem och matproduktion behöver till exempel använda kol som förbränningsmaterial, då detta är en relativt billig energikälla. Vem ligger då ansvaret på? Vi i västvärlden som redan har allt? Eller de fattiga länder som idag använder samma förbränningsmaterial som är den direkta orsaken bakom den ökande temperaturen?

Det största ansvaret bör enligt mig ligga hos västvärlden där ekonomi finns för att driva en forskning i framkant för att hitta alternativa sätt att driva fordon, effektivisera produktion av mat och material till ett billigt pris. Dessa länder bör dela med sig av den forskningen till alla världens länder. Klimatförändringarna är ett globalt problem och kommer att påverka varenda person på den här planeten. Tråkigt nog för de fattiga länderna sker idag avtal med dem för att minska de farliga utsläppen. Detta hindrar de fattiga länderna från att utvecklas i en snabb takt och ansvaret bör därför inte enbart ligga hos dem. Fattiga länder har många gånger betalat i form av krig och invasioner.

Västvärlden har dessutom kommit en god bit på vägen för att få ett fossilfritt samhälle. Genom att fortsätta driva den frågan och leda vägen till ett samhälle helt utan fossila bränslen kan man få andra länder att följa. Fattiga länder skulle sannolikt följa om det vore billigare att använda och hantera bränslena vilket fattiga länder skulle gagnas av. Klimatförändringarna kan inte minskas i hastighet om inte alla länder hjälper till. Därför ligger det egentliga ansvaret hos oss alla gemensamt. Däremot bör västvärlden sätta ett exempel och driva forskningen framåt.