

Alpina trädgränsens förändring

i Jämtlands- och Dalarnas län över 100 år



Foto: Oviksfjällen i Jämtlands län

Julia Olsson

2009
Centrum för Geobiosfärvetenskap
Naturgeografi och Ekosystemanalys
Lunds Universitet
Sölvegatan 12
223 62 Lund



Förord

Detta arbete är den sista delen av en kandidatexamen i naturgeografi vid Lunds Universitet. Arbetet motsvarar 15 hp. Kurschef: Jonas Ardö,Handledare: Jonas Åkerman

Jag skulle vilja tacka Leif Kullman för den hjälp jag fått med att hitta bra och intressant litteratur men också för att han har tagit sig tid att läsa igenom och kommenterat arbetet och kommit med viktiga synpunkter. Jag vill också tacka Jonas Åkerman som har varit min handledare under arbetet. Men mest av allt vill jag tacka Henrik Holmberg, Carsten Magnusson och Bertil Olsson som har hjälpt och stöttat mig under hela arbetets gång.

Julia Olsson

Abstract

In the Swedish mountain chain the temperature has increased by 1.2°C during the last century. The precipitation, wind velocity and growing season have increased and will probably continue to increase. The snow season might be shorter and with a thinner snow depth.

Since the beginning of the 20th century the alpine tree line of mountain birch (*Betula pubescens ssp*), pine (*Pinus sylvestris*) and spruce (*Picea abies*) has risen with a maximum of 200 m and a mean of 70-90 m in the mountain chain of Jämtland's and Dalarna's province. This is the highest recorded tree line during the past 7 000 years. The clear consensus of opinion is that the geographical area indicates that the climate change is the biggest common cause to the change.

The alpine tree line temperature dependent is most significant in wind protected steep concave slopes. In more wind exposed areas the response to the temperature is weaker. The tree line respond to climate change is strongly heterogeneous and area dependent. This is mainly because of variation in local climate, topography, geology and different disturbances.

The effect of the rising tree line can clearly be seen in the most southern parts of the mountain chain where 3 mountains lost the alpine heaths in recent years. A simulation of the tree line rise until 2100 shows that 75% to 85% of the alpine heaths can be lost with a warmer climate. However historical and present data indicates that big areas of the alpine heaths will still remain in a warmer climate. The rising tree line is not only a Swedish phenomena, similar responses have been recorded in other areas of the world.

An example of the consequences of a rising tree line in Sweden is the reindeer industry, it might be affected positively with more available food. However there may also be a negative impact through decreasing alpine heath which may increase the insect sufferance for the reindeer. Also the already existing conflict of interest between the reindeer industry and the tourist industry might be worse with a smaller alpine heath area.

Key-words: Geography, physical geography, climate change, Swedish mountain chain, alpine tree line advance, *Betula pubescens ssp*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, reindeer industry

Advisor: **Jonas Åkerman**

Degree project 15 credits in Physical Geography and Ecosystem analysis, spring 2009

Department of Physical Geography and Ecosystem Analysis, Lund University

Sammanfattning

I den svenska fjällkedjan har temperaturen stigit med 1,2°C under det senaste seklet. Nederbörden och vindstyrkan har ökat och kommer troligtvis att fortsätta öka. Snösäsongen och snödjupet kan komma att minska och växtsäsongen har förlängts i hela fjällkedjan.

Sedan början av 1900-talet fram till 2007 har den alpina trädgränsen för fjällbjörk (*Betula pubescens ssp*), tall (*Pinus sylvestris*) och gran (*Picea abies*) stigit med som mest 200 m med ett medelvärde på 70-90 m i Jämtland och Dalarnas län. Detta är den högsta uppmätta trädgränsen under de senaste 7000 åren. Den tydliga samstämmigheten över det geografiska området talar för att klimatförändringen är den största gemensamma orsaken till förändringen.

Trädgränsens temperaturberoende är mest signifikant i vindskyddade branta konkava sluttningar. I mer vindexponerade områden svarade den svagare på temperaturökningen. Trädgränsens svar på klimatförändringen är påfallande heterogent och områdesberoende. Detta beror på variationer i lokalklimat, topografi, geologi och störningar av olika slag.

Effekten av en stigande trädgräns kan tydligast ses i södra fjällkedjan där 3 kalfjäll under de senaste decennierna har blivit trädbevuxna och därmed inte längre kan benämnas som fjäll ur ett botaniskt perspektiv. En simulering av trädgränsen fram till 2100 visar att 75% respektive 85% av de svenska kalfjällen kan komma att försvinna. Men historisk och nutida data antyder att stora delar av kalfjällen kommer att finnas kvar även i ett varmare klimat. Trädgränsens förflyttning är inte bara ett svenskt fenomen utan har också noterats globalt.

Övervakningen av fjällvärdens förändring är viktig ur många aspekter, en av de tydligaste är rennäringen som kan drabbas av en minskad kalfjällsareal. Den kan komma att påverkas positivt med mer tillgång på föda. Men också negativt med ett varmare och fuktigare klimat som kan komma att förvärra insektsplågan, detta i samband med att kalfjällsarealen minskar gör det svårare för renen att undkomma insekterna. Dessutom kan de redan existerande intressekonflikterna mellan rennäringen och turismen komma att förvärras med en minskad kalfjällsareal.

Nyckelord: Geografi, naturgeografi, klimatförändring, svenska fjällkedjan, alpina trädgränsens förändring, *Betula pubescens ssp*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, rennäringen

Handledare: **Jonas Åkerman**

Examensarbete 15 hp i Naturgeografi och Ekosystemanalys, våren 2009.

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys, Lunds universitet

Innehållsförteckning

1. Introduktion	6
1.1 Syfte	7
1.2 Metod och Avgränsningar	7
2. Bakgrund	7
2.1 Sveriges klimat	7
2.2 Klimatet och trädgränsen i den svenska fjällkedjan	7
2.3 Vegetationszoner i de svenska fjällen	8
2.4. Trädgränsen	9
2.4.1 Fjällbjörk – <i>Betula pubescens ssp</i>	10
2.4.2 Gran – <i>Picea abies</i>	10
2.4.3 Tall – <i>Pinus sylvestris</i>	10
2.5 Rennäringen	10
3. Resultat	11
3.1 Klimatförändringen i fjällkedjan och framtida klimatscenarion	11
3.1.1 Nederbörd	12
3.1.2 Vegetationsperioden	13
3.1.3 Vindar	14
3.1.4 Klimatförändringar i Jämtland-Dalarna det senaste seklet	14
3.2 Trädgränsens historia	15
3.2.1 Senglacial tid och Holocen	15
3.2.3 Skillnader mellan då och nu	16
3.2.4 Den subalpina zonen	16
3.3 Trädgränsen idag	16
3.3.1 Fjällbjörk, gran och tall	16
3.3.2 Fjällbjörk	18

3.3.3 Gran.....	18
3.3.4 Tall	19
3.3.5 Påverkan på södra fjällkedjan.	19
3.3.6 Skogsgränsen.....	19
3.4 Trädgränsen ur ett globalt perspektiv	20
3.5 Trädgränsen i framtiden.....	20
3.5.1 Förväntade förändringar av trädgränsen	20
3.5.2 Simulering av trädgränsen.....	22
3.6 Rennäringen	23
3.6.1 Positiva effekter	23
3.6.2 Negativa effekter.....	23
4. Framtida forskning	24
5. Diskussion.....	25
6. Slutsats	27
7. Referenser	28

1. Introduktion

”Insikten om betydelsen av kunskap om trädgränsens ekologi har ökat under senare tid i takt med farhågorna att människans klimatpåverkan skulle kunna utlösa ekologiska förändringar av oväntat och oönskat slag. Trädgränsens förändringar över tid kan tjäna som en varningsklocka i detta sammanhang. När den ringer så vet vi att klimatet ändrats så till den grad att ekologiska konsekvenser kan förväntas långt utanför fjällregionen.” (Kullman 2005)

Att klimatet håller på att förändras är idag en allmän kännedom. Sedan början av 1900-talet har den globala medeltemperaturen börjat avvika från tidigare seklers relativt stabila nivå. På 100 år (1906-2005) har medeltemperaturen stigit med 0,74°C, och uppvärmningen har nästan gått dubbelt så snabbt under de senaste 50 åren, med en större temperaturökning över de högre nordligaste latituderna (IPCC 2007). Den pågående klimatförändringen har påverkat och kommer ännu mer att påverka växt- och djurlivet i världen och Sverige (Bernes 2007). Redan 1900-talets ringa uppvärmning resulterade i tydliga förändringar. Under de kommande decennierna kommer sannolikt de biologiska effekterna att bli allt fler och allt mer märkbara (Wilfried et al. 2005). Detta kan för en del arter vara positivt och leda till en tillväxt medan det för andra arter kommer att leda till starka negativa konsekvenser (Bernes 2007).

Sambandet mellan vegetationens spridning globalt, och klimatet är en av de äldsta observationerna i växtekologin och har använts för att förutse olika regioners biom. Detta betyder att med ett förändrat klimat kommer vi också få en förändring i vegetationens spridning (Prentice et al. 1992). Den ökade medeltemperaturen har förändrat växtperiodens längd i framförallt de kallare delarna av världen. På dessa breddgrader räcker det med bara en grads förändring i medeltemperaturen för att växtsäsongen ska öka med uppemot en vecka (Bernes 2007).

Sverige är ett relativt kyligt land, de växter som lever här är väl anpassade till kylan. Här är sällan minimitemperaturen en begränsande faktor, inte heller nederbörden som är relativt hög. I stället är det framförallt växtperiodens längd och intensitet, som är begränsande (Sykes et al. 1996). I Sverige kan resultatet av tjugohundratalets klimatförändring resultera i ett oförändrat antal arter eller en ökning av arter. Men detta betyder inte att vi i Sverige kan sluta oroa oss, Sverige har nämligen ett ekosystem som kan förändras totalt av även mycket små förändringar i temperatur och nederbörd (Bernes 2007). Nämligen det Svenska kalfjället, vars areal redan har börjat minska sedan början av 1900-talet. Klimatförändringen anses idag vara den huvudsakliga anledningen (Kullman 2002, 2006, Kullman & Öberg 2009, Öberg 2008). Mot kalfjället gränsar den alpina trädgränsen som i Sverige består av fjällbjörk (*Betula pubescens* ssp), tall (*Pinus sylvestris*) och gran (*Picea abies*) som anses vara extra viktig i dessa sammanhang då den är lätt att mäta i fält och reagerar snabbt på

förändringar. Trädgränsen påverkas i förhållandevis liten omfattning av icke klimatrelaterade faktorer (Öberg 2008). Detta gör trädgränsen till en känslig och lättolkad klimatindikator som kan ge oss information om de klimatberoende ekologiska processerna som inverkar på ekosystemet både inom och utanför de svenska fjällområdena (Kullman 2000). Övervakningen av fjällvärldens förändring är viktig ur många aspekter, en av de tydligaste är rennäringen och den svenska samiska kulturen som kan drabbas av en minskad kalfjällsareal.

1.1 Syfte

Syftet med denna rapport är att göra en litteraturundersökning över hur mycket den alpina trädgränsen har förändrats i Sverige under det senaste seklet. Vilka är de drivande mekanismerna bakom trädgränsens förändring och hur kommer trädgränsen att förändras i framtiden? Kan resultatet av förändringen leda till att våra kalfjäll försvinner och ersätts av trädklädda berg? Hur kan förändringar i trädgränsen påverka förutsättningarna för rennäringen i Sverige?

1.2 Metod och Avgränsningar

Informationen i arbetet har tagits fram genom litteraturundersökning, det mesta har samlats in från vetenskapliga artiklar men också genom sökningar på internet och genom populärvetenskaplig litteratur. Den delen av den svenska fjällkedjan som är bäst dokumenterad beträffande den alpina trädgränsen finns i Jämtland och Dalarna. Därför är denna studie geografiskt begränsad till detta område. I arbetet behandlas också kort rennäringen i Sverige för att belysa ett av de områden som kan komma att påverkas av en förändrad fjällmiljö. Det finns två olika typer av renskötsel i Sverige varav detta arbete endast kommer att behandla fjällrenskötsel.

2. Bakgrund

2.1 Sveriges klimat

Sverige är beläget i vad som kallas västvindbältet, där framförallt sydvästliga eller västliga vindar dominerar. Lågtryck rör sig längs med zoner där varm tropisk luft åtskiljer kall polarluft. För sin latitud har Sverige ett relativt varmt klimat under vinterhalvåret som ett resultat av närheten till Atlanten och de dominerande vindriktningarna. Lågtrycken resulterar i tämligen hög nederbörd som faller året om (SMHI).

Sverige är ett långt land och klimatet kan variera kraftigt mellan söder och norr. Enligt Köppens klimatsystem tillhör större delen av Sverige det kalltempererade klimatet med snöklädda vintrar och med barrskogen som den övervägande nativa naturtypen. I Sverige finns även tundra att hitta lokalt i fjällområdena, här domineras vegetationen av mindre växter som dvärgträd och örter. Gränsen till tundran sammanfaller oftast med den alpina trädgränsen (SMHI).

2.2 Klimatet och trädgränsen i den svenska fjällkedjan

Den svenska fjällkedjan sträcker sig längs med gränsen mellan Norge och Sverige, från längst upp i norr till Dalarna i söder. De norra och centrala delarna av den svenska fjällkedjan ligger till största delen i ett maritimt präglat klimat. Värmeöverföringen från hav till land har stor betydelse för klimatet, detta är tydligast under vinterhalvåret då den varma atlantluften förs via de norska

fjordarna långt in i landet och ger milda vintrar, svala somrar och mycket nederbörd. Klimatet går över till mer kontinentalt präglat från väst till öst. De östliga fjällen ligger i skydd från de varma fuktiga vindarna och får ett hårdare och torrare klimat med större variation mellan årstiderna. Det finns även stora lokala variationer i klimatet som i stor utsträckning bestäms av topografiska förhållanden (Rafstedt 1978c, b).

Längre ner i söder, från södra Åreområdet ner till Sälen blir klimatet mer och mer kontinentalt präglat med lägre nederbörd, kallare vintrar och varmare somrar. Nederbörden i de södra fjällen är relativt låg i jämförelse med övriga fjällkedjan (Rafstedt 1978a, 1980, 1982b, a).

Variationen i klimatet påverkar trädgränsens utbredning. På en bred geografisk skala ligger oftast trädgränsen högre i kontinentalt präglade områden och lägre i maritimt präglade (Öberg 2006). I de maritimt präglade områdena formar björken den högsta gränsen mot kalfjället. Barrskogen växer i dessa områden normalt 50 till 100 meter under björken och består till största delen av gran. Tallen förekommer ofta väldigt sparsamt som spridda träd i granskogen (Rafstedt 1978c, b). Allteftersom klimatet blir mer kontinentalt präglat blir tallen allt vanligare. I södra Åre förekommer gran och tall i samma utsträckning. Björken som föredrar mer maritimt klimat förekommer mer sparsamt i dessa områden (Rafstedt 1978a, 1980, 1982b, a). Större delen av Härjedalens fjällområde domineras av tallen, här finns vidsträckt områden med gles tallskog på ett mycket stenigt underlag. I vissa områden kan även den högsta trädgränsen utgöras av tall. Träden växer allt högre upp på fjällslutningarna i de allra sydligaste delarna av fjällkedjan och kalfjället upptar en allt mindre del av fjället. I fjällkedjan som helhet utgör kalfjället idag 10 % av Sveriges areal (Bernes 2007) och det finns 362 kalfjäll med en medelarea på 9700 ha (Moen et al. 2004).

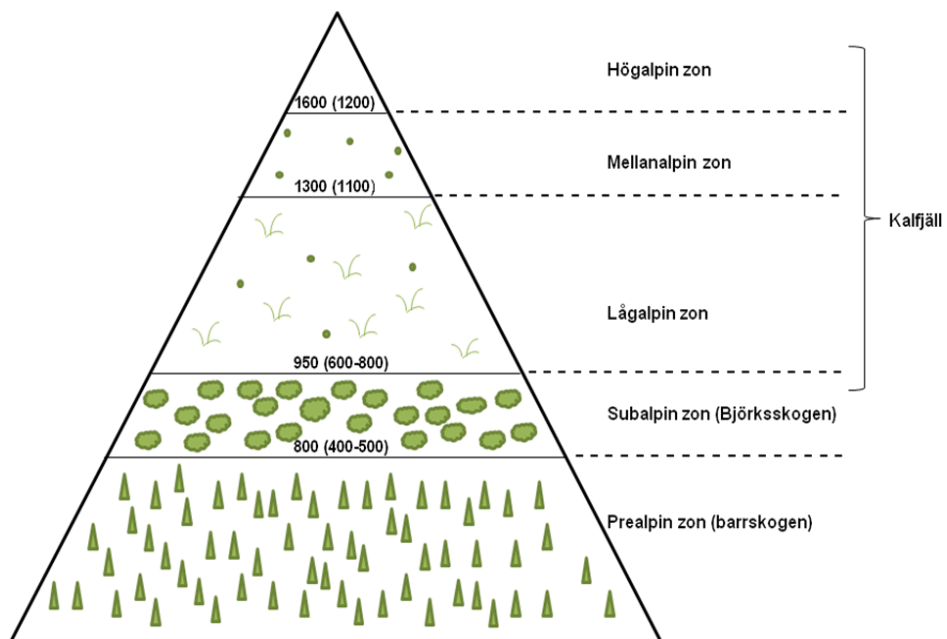
2.3 Vegetationszoner i de svenska fjällen

I de svenska fjällen finns tydliga vegetationszoner vars gränser påverkas av den sänkta temperaturen med höjden över havet ($0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ sommartid). Dessa zoner börjar ovanför prealpina zonen som består av barrskogsbältet, med stigande höjd övergår den i subalpina zonen och därmed fjällbjörkskogen. Ovanför denna zon tar kalfjället vid med den lågalpina zonen, mellanalpina zonen och slutligen den högalpina zonen. Mellan de sydliga och de nordliga fjälltrakterna varierar vegetationszon betydligt i höjd (Nylén 1996) De olika fjällzonerna för ett så kallat "idealfjäll" kan ses i figur 1.

Övergången mellan den prealpina zonen och den subalpina zonen har ingen tydlig och väldefinierad gräns, här blandas björken med tall och gran. Övergången mellan den subalpina zonen och den lågalpina zonen benämns skogsgräns. Denna gräns syns tydlig i fält som det högst nående sammanhängande björkskogsbältet (Nylén 1996). Det saknas en bra definition för skogsgränsen eftersom den är unik för varje fjällslutting. Därför är det svårt att bestämma en användbar definition som gör den jämförbar i tid och rum (Kullman 1979). En bit upp från denna gräns går den alpina trädgränsen. Denna gräns har till skillnad mot skogsgränsen en mycket strikt definition och definieras som det översta trädet av en viss art som är minst 2 m högt i en bestämd fjällslutting (Kullman 1979). Trädgränsen är oftast belägen högre upp i sydliga fjälltrakter än i nordliga. Skillnaderna i höjd är också tydliga på mer lokala skalor där trädgränsen på ett fjälls syd- och västslutting oftast går högre upp än på dess nordslutting (Nylén 1996). Särskilt tydligt är detta i branta sluttningar, detta på grund av att instrålningen blir mer optimal vilket resulterar i höga dygnsmaximala sommartemperaturer.

Trädgränsen kan vara mer än 50 m högre på sydsluttningar jämfört med nordsluttningar i samma område (Öberg 2006).

Ovanför den subalpina zonen och trädgränsen tar kalfjället vid och här börjar den lågalpina zonen. Denna zon är till ytan den största av de alpina zonerna och det är här de flesta av Sveriges fjällväxter kan hittas. Med stigande höjd från denna zon börjar den mellanalpina zonen, det är oftast där blåbärsriset försvinner. Nästa zon är den högalpina zonen vilket också är den högsta och sista alpina zonen, denna tar normalt vid där lingonriset slutar växa och i Sverige kan denna zon bara hittas på våra högsta fjäll (se figur 1) (Nylén 1996).



Figur 1. Bilden visar ett "idealfjäll" med de fem vegetationszonerna och deras utbredning. Höjdsiffrorna visar den ungefärliga gränsen för de olika zonerna i de södra fjällområdena och inom parantes de norra.

2.4. Trädgränsen

Alpina trädgränsen har en strikt definition och kan i motsats till de andra vegetationszonerna lätt bestämmas i fält och jämföras i tid och rum. Detta gör trädgränsen till en unik indikator för förändringar i fjällens ekosystem (Kullman 2000).

Alpina trädgränsens position påverkas av komplex växelverkan mellan tidigare och nutida klimat och störningar av olika slag såsom starka vindar, snöackumulering och tidigare och nuvarande markutnyttjande etc. (Holtmeier & Broll 2007, Kjällgren & Kullman 2002, Kullman 1979, Kullman 2001, Moen et al. 2004, Öberg 2008). Förutsatt att den är i jämvikt med rådande klimat så svarar trädgränsen på variationer i framförallt temperatur och nederbörd genom en förändring i position och sammansättning under tidsperioder från decennium till millennium (Kjällgren & Kullman 2002, Kullman 1979, Kullman & Öberg 2009). Detta eftersom den påverkas mycket lite av andra faktorer

som t.ex. mänsklig påverkan och samspelet med de egna och andra arterna (Öberg 2008) . Detta gör trädgränsen till en känslig och lättolkad klimatindikator (Kullman 2000)

Beroende på lokalt klimat, topografi, geologi och olika störningar svarar trädgränsen olika på förändringar i temperatur och nederbörd i olika regioner (Kjällgren & Kullman 2002, Kullman & Öberg 2009, Moen et al. 2004). För att minimera inverkan av avvikande lokaler i undersökningen av trädgränsen krävs det därför att man har ett stort antal lokaler inom ett stort geografiskt område (Öberg 2008).

Trädgränsen kan förändras genom två olika processer, antingen genom att träd nyetablerar sig eller dör (genotypisk) alternativt genom att redan existerande träd växer till sig eller bryts ner (fenotypisk). Framförallt fjällbjörk och gran är mycket duktiga på vegetativ förökning och återhämtar sig därför snabbt efter en störning vilket gör att förändringen främst sker fenotypiskt. För tallen sker förändringen främst genotypiskt då den inte återhämtar sig lika lätt (Öberg 2008).

2.4.1 Fjällbjörk – *Betula pubescens ssp*

Fjällbjörken trivs som bäst i maritimt präglat klimat med mycket snö (Öberg 2008) och kan växa i lägre temperaturer än gran och tall (Linkowski & Lennartsson 2005). Detta kan tydligt ses i de svenska fjällen idag där trädgränsen för björk normalt är belägen högre än trädgränsen för tall och gran. Fjällbjörkens övervägande typ av förökningsring är med hjälp av vegetativ förökning som stimuleras i stor utsträckning av olika former av störningar så som snöbrott, insekter (framförallt fjällbjörkmätare), renbete och trampskador. Detta gör att mindre störningar kan vara ett positivt inslag och ha fördelaktiga effekter på redan befintligt träd. Fjällbjörkar som lever i skydd från störningar under en längre tid kan tappa sin vegetativa förmåga. Måttliga störningar är därför en viktig förutsättning för att vidbehålla ett friskt fjällbjörksbestånd (Öberg 2008).

2.4.2 Gran – *Picea abies*

Granen trivs precis om fjällbjörken i snörika områden. Den föredrar ett varaktigt snötäcke med låga och stabila marktemperaturer i områden utan eller med ytlig tjäle under vintern (Tallantire 1977, Öberg 2008). Den trivs bäst i fuktiga klimat med frånvaro av framförallt torra under försommaren (Tallantire 1977) och föredrar näringsrikare marker än tallen. Precis som fjällbjörken använder den sig av vegetativ förökning. Detta gör att det ofta finns små krypande individer av granen s.k. krummholz. Dessa kan på vissa ställen hittas högt ovanför granens egen trädgräns och i vissa fall även ovanför fjällbjörkens (Öberg 2008).

2.4.3 Tall – *Pinus sylvestris*

Tallen trivs bäst i kontinentalt präglat klimat. Till skillnad från granen klarar den av torrare och mer näringsfattiga marker med tunnare snötäcke och djupare tjäle. Tallen kan inte fortplanta sig genom vegetativ förökning som fjällbjörk och gran. Den är därför helt beroende av en sexuell fortplantning. (Öberg 2008).

2.5 Rennäringen

Renen är ett flocklevande hjortdjur som är bäst anpassat till ett kallt klimat och finns framförallt på de nordligaste breddgraderna där vintrarna är långa och snörika. I Sverige har renen en lång historia

och är ett av våra äldsta hjortdjur (Ljungdahl 2008). Under sommaren lever renen framförallt på gräs och örter men betar också löv. Under denna tid finns det rikligt med föda medans det under vintern är mycket mer sparsamt, då äter renen framförallt marklavar som den kommer åt genom att gräva med klövarna i snön. Under snöförhållanden som gör det svårt att komma åt marklavarna övergår den till att beta trädlavar. Den fattiga tillgången på mat under vinter gör att renen då minskar i vikt. Bristen på vinterbete är en av de vanligaste dödsorsakerna bland ren och begränsar ofta renhjordens storlek. Renen rör sig över stora områden under vintern för att kunna hitta mat och behöver därför stora sammanhängande betesområden. Renen är känslig för insekter och värme och håller sig därför sommartid oftast på högre mark såsom kalvfjäll, där vinden oftast minskar insektsplågan och där det finns snölegor som kan erbjuda svalka (NE 2009).

Det finns idag inga vilda renar i Sverige. Renskötseln i Sverige har enligt Ljungdahl (2008) funnits i Jämtland och Härjedalen sedan 1000-talet. Den samiska renskötseln som finns i Sverige idag tros ha nått sin fulla utveckling på 1600-talet. I Sveriges bedrivs renskötsel idag i Norrbottens, Västerbottens, Jämtlands och delar av Västernorrlands och Dalarnas län. Det finns två olika typer av renskötsel. Skogsrenskötsel där renarna vistas och betar i barrskogen året om och fjällrenskötsel där renarna vistas i barrskogen på vintern och i fjällområdena under sommaren. Under hela 1900-talet fanns ca 225 000 renar i Sverige med en viss variation mellan åren och renskötselområdet täckte ca 40 % av Sveriges yta (Moen & Danell 2003). Renskötsel får i Sverige enligt lag endast bedrivas av personer som är medlemmar i en sameby och det finns ca 51 samebyar som bedriver renskötsel genom 900 företag. På markerna där renskötsel bedrivs förekommer det oftast också många andra näringar och det har många gånger skapat konflikter. I fjällmarkerna gäller detta turistindustrin och utvidgad jakt och fiskerätter. Renen transporteras långa sträckor mellan vinter- och sommarbeten. För skedde detta oftast till fots eller med skidor under vintern. Idag sker flytten mestadels med snöskoter, terränggående motorcykel och helikopter. Det förekommer också på vissa ställen att man använder häst. Transporten av renen kommer ofta i konflikt med t.ex. väg och kraftverksbyggen. Det händer att man på längre sträckor får transportera renarna med lastbil (NE 2009).

3. Resultat

3.1 Klimatförändringen i fjällkedjan och framtida klimatscenarion

Under det senaste seklet har den globala medeltemperaturen stigit med 0,74°C och kommer troligtvis att öka ytterligare med 1,8–4,0°C jämfört med 1990 beroende på utsläppsscenario (IPCC 2007). I Sverige har temperaturen ökat med 0,9°C under samma period (Alexandersson 2006) och enligt SOU (2007) modellscenario kommer Sveriges medeltemperatur att kunna stiga med ytterligare 3-5°C till 2080 jämfört med normalperioden 1960-1990 och i norra Sverige tros vintertemperaturen kunna öka med så mycket som 7°C. Klimatförändringen är en stark trendbrytare i ett historiskt perspektiv. Enligt Ruddiman (2003) skulle vi idag befinna oss i början på nästa istid om inte klimatet påverkats av människans aktiviteter.

I de svenska fjällområdena har temperaturen stigit med 1,2°C det senaste seklet (Kullman 2008) vilket är mer än både det globala (IPCC 2007) och det europeiska medelvärdet (Moberg et al. 2005). I Jämtlands och Dalarnas län har temperaturen stigit med 0,9-1,3°C under de senaste 15 åren i jämförelse med normalperioden 1961-1990. En något större ökning har skett i Dalarna jämfört med

Jämtland (Öberg 2008). Men klimatförändringen kommer inte bara att resultera i förändringar av medeltemperaturen utan också i att extrema händelser kan komma att bli allt vanligare så som extrema värmeperioder samtidigt som extremt kalla perioder blir ovanligare (IPCC 2007). Ur ett biotiskt perspektiv är troligtvis förändrande årstidstemperaturer och månadstemperaturer av större relevans än årsmedelvärdet (Kullman 2003).

3.1.1 Nederbörd

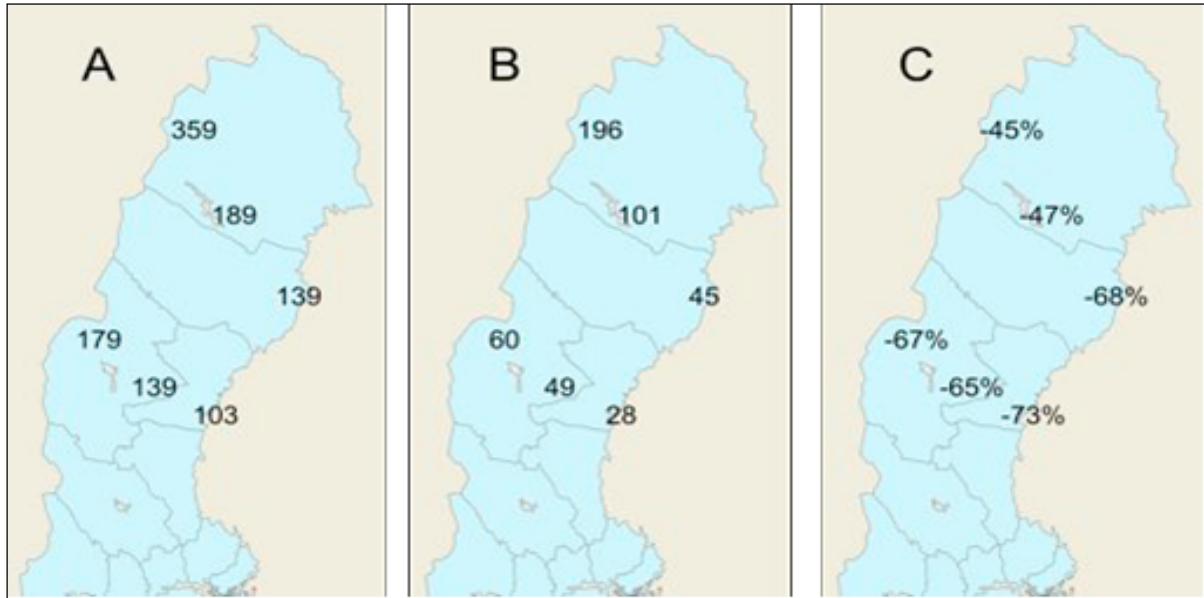
Nederbörden i Sverige beräknas öka med ca 21 % till år 2100 där den största ökningen kan komma att äga rum i fjällområdena med ökad nederbörd under årets alla månader (Gyllenhammar 2008). Intensiteten av nederbörden i fjällområdena beräknas även öka med flera dagar med extrema nederbördsmängder (SOU 2007).

3.1.1.1 Snöfall

Sedan 1961-2003 har det maximala snödjupet ökat något för Norrland, ingen skillnad i antalet dagar med snötäcke har dock kunnat uppmätas. I södra Sverige har både snödjupet och antalet dagar med snötäcke minskat (SMHI 2005). Resultaten från SOU (2007) modellscenario indikerar att den förändring som kan se i söder idag kommer att slå igenom i norr i framtiden. Snödjupet kommer att öka något i norra Sverige på kort sikt, för att på längre sikt minska (SOU 2007). Även om inte snödjupet minskar kommer ändå snöperiodens längd att förkortas med ett varmare klimat. (Gyllenhammar 2008).

En ökad mängd snöfall i ett område behöver inte resultera i vita vintrar. Snöfall kan blandas med regn om temperaturen växlar mellan plus och minus. Detta kan resultera i att ett område får en hög mängd snö som endast bli kvarliggande under kortare perioder (Gyllenhammar 2008).

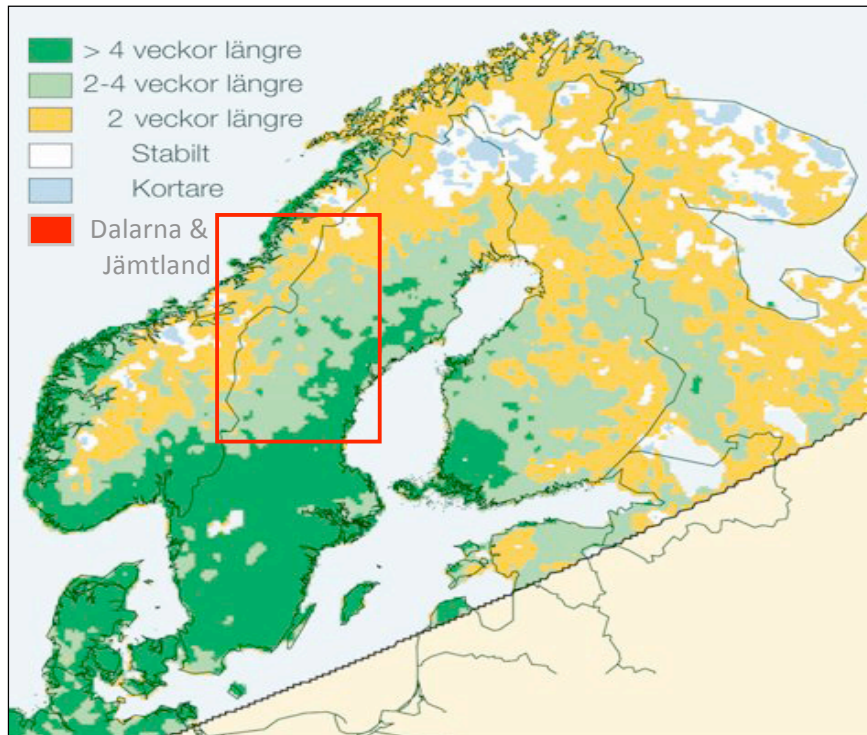
Förändringen i antal dagar med snötäcke kommer att minska i hela Sverige. I många områden i norr minskar andelen dagar med snötäcke med 50 % till 2100. Dessa förändringar går dock något långsammare för fjällområden och snabbare för mer kustnära områden. Detta kan tydligt ses i figur 2 där antalet snötäckta dagar för normalperioden 1961-1990 har jämförts med framtida simuleringar för några regioner i Norrland (Gyllenhammar 2008).



Figur 2. Antal dagar med snötäcke för några regioner i norrland. A visar antalet snödaggar för normalperioden 1961-1990. B visar antalet snödaggar för perioden 2071-2100 med SMHI:s klimatmodell med utsläppsscenario A2. C visar minskning i % mellan A och B (SMHI 2008).

3.1.2 Vegetationsperioden

I Sverige regleras vegetationens tillväxt av framförallt temperaturen. Under de kallaste tiderna på året går fotosyntesen och andra biokemiska processer ner till ett viloläge och tillväxten upphör nästan helt. När temperaturen på nytt stiger igen återupptas fotosyntesen och tillväxten fortskrider. Vegetationsperioden avgörs av den del av året då dygnsmedeltemperaturen övergår en viss temperatur. I Sverige är vegetationsperiodens längd definierad som andelen dagar över $+5^{\circ}\text{C}$ i mer än fyra dagar i rad. Växstsäsongen har förlängts med 2-4 veckor under perioden 1982-1999 vilket kan ses i figur 3. De största förändringarna kan ses i söder men även i fjällområdena är förändringen stor (NMR 2005). Klimatforskningsenheten Rossby Center vid SMHI (2005) har sedan slutet av 1990-talet med hjälp av atmosfärsmodeller simulerat Europas framtida klimat och enligt deras beräkningar kan vegetationsperioden i Sverige bli flera månader längre under de kommande hundra åren (Kjellström et al. 2005)



Figur 3. Förändringen av växtsäsongens längd under perioden 1982-1999 (NMR 2005). Den röda linjen representerar Dalarnas och Jämtlands län

3.1.3 Vindar

Med en ökad höjd över havet tilltar vinden, detta gör att det är relativt vindigt i fjällområdena. Med ett varmare klimat kan de västliga vindarna komma att öka i fjällen (Öberg 2008) och därmed också den maximala vindhastigheten (SOU 2007). Under vinterhalvåret tros vinden kunna öka med 10-20 % (Raisanen et al. 2004).

3.1.4 Klimatförändringar i Jämtland-Dalarna det senaste seklet

Temperatur och nederbördsdata har undersökts i Dalarnas och Jämtlands län för perioden 1915-2007 vid stationerna, Storlien/Visjövalen och Särna. Data visar på en signifikant linjär temperaturökning med 1,3 respektive 1,0 grader för sommaren (juni – augusti) och 1,4 respektive 0,9 under vintern (december – februari) (Kullman & Öberg 2009). Vid en närmare analys av temperaturdata från de två stationerna har Kullman (2009) kunnat konstatera att temperaturökningen är något högre under vinterhalvåret. Nederbörden har ökat med 5-10 % i Dalarnas län och större delen av Jämtlands län och med 10-15% i de nordligaste delarna av Jämtlands län under det senaste seklet. Den största ökningen har skett under vintern de senaste 25 åren (Alexandersson 2006). Trots den ökade vinternederbörden har området fått ett minskat antal dagar med snötäcke (Moberg et al. 2005) som smälter allt tidigare. Denna trend har blivit extra tydlig under det senaste seklet (Kullman 2004b, a). Snölegorna i den alpina zonen har börjat försvinna allt tidigare under sommaren de senaste 10-15 åren (Kullman 2005) och har ibland saknats helt i slutet av sommaren. Det har hänt att fjällen varit snöfria långt in i december (Kullman 2003). Även glaciärerna i det undersökta området har börjat

smälta och har dragit sig tillbaka. I Sylarnas fjällområde fanns i början av 1900-talet fyra nischglaciärer. Idag anses bara en av dessa kunna definieras som glaciär. Detta resulterar i en minskning av markfukten och en längre och varmare växtsäsong (Kullman 2004a).

På Storsnasens fjäll under perioden 1985-2007 har markens maxtemperatur under sommaren (juni-augusti) och minimitemperatur under vintern (december – februari) mätts upp och en tydlig temperaturökning med 2,2 respektive 3,4 grader har noterats. Den största temperaturökningen har inträffat under vintern (Kullman 2007). I jämtlandsfjällen har det länge funnits isolerade fläckar av permafrost som nu helt har försvunnit. Enligt Kullman (2003) visar detta på en samförd höjning av marktemperaturen.

3.2 Trädgränsens historia

3.2.1 Senglacial tid och Holocen

Genom historien har klimatet pendlat mellan varma och kalla perioder. Tidigare varma perioder kan ge viktig information om hur ett i framtiden varmare klimat kan komma att påverka de växter och ekosystem vi har idag. Med hjälp av subfossila trädlämningar såsom stammar, rötter och kottar har det kunnat konstateras att trädgränsen för björk låg på havsnivå i början av den seneglaciala tiden för ca 20 000 år sedan. Allt eftersom temperaturen ökade efter denna period började björken att klättra upp längs fjällsluttningarna tillsammans med tall och gran. De svarade snabbt på klimatförändringen utan märkbar fördröjning och förflyttade sig mer än 1000 m i höjded under en period på 9000 år. Trädgränsen var kvar på dessa nivåer även under kortare perioder av betydande nerkyllning. Därefter expanderade trädgränsen ytterligare i höjd som svar på nästa uppvärmning mellan den Pleistocena och Holocena övergången för ca 11000 år sedan (Kullman 2006). Klimatet blev då mer kontinentalt präglat med torrare och mindre snö än idag (Kullman 2005). Instrålningen var hög och sommar temperaturen var ca 2,5 grader varmare än vid förra sekelskiftet (Öberg 2008).

Med hjälp av subfossila trädlämningar som har åldersbestämts med C^{14} datering har trädgränsen för tall kunnat beräknas från början av Holocen (11 000 år sedan) fram till början av 1900-talet och kan ses i figur 4. Undersökningen visar att under tidig Holocen låg trädgränsen mer än 400 m högre upp jämfört med dagens nivå och nådde därmed sin högsta postglaciala nivå. Det fanns också stora områden i fjällandskapet där det inte växte träd på denna höjd trots det varma klimatet. Troligtvis har dessa områden varit trädlösa på grund av svåra vindförhållanden och geografisk struktur. Detta är viktigt att ta hänsyn i eventuella framtida scenarion då sådana områden troligtvis kommer att förbli trädlösa även i ett varmare klimat (Kullman 2004b, 2006).

Efter denna period har klimatet blivit allt svalare och fuktigare och mer maritimt präglat. Detta resulterade i en tillbakadragning av trädgränsen med 400 m eller mer. Denna försiktiga och lokala sänkning av trädgränsen under en lång period antyder enligt Kullman (2006) att trädgränsen var i jämvikt med den rådande sommartemperatur förändringen. Trenden har varit tydlig till för ca 100 år sedan, då trädgränsen plötsligt och radikalt började stiga på nytt till följd av en ökad temperatur (Kullman 2006)

3.2.3 Skillnader mellan då och nu

Under tidig postglacial tid fanns det mindre glaciärer och permanent snö än idag. Framförallt vid lägre höjder var grundvatten nivån lägre än dagens normal nivåer. Enligt Kullman (2006) kan den biotiska situationen under tidig Holocen komma att likna situationen i ett framtida varmare klimat i vissa avseenden, men det finns också många olikheter. Biotiska växelverkningar och de klimatdrivande mekanismerna kan skilja sig mellan tidig Holocen och en varmare framtid. Den förutspådda framtida uppvärmningen sker också mycket snabbare än den långsamma nerkyllningen under Holocen. Trots dessa skillnader mellan nu och då är kunskap om historien av stor vikt för framtiden (Kullman 2006).

3.2.4 Den subalpina zonen

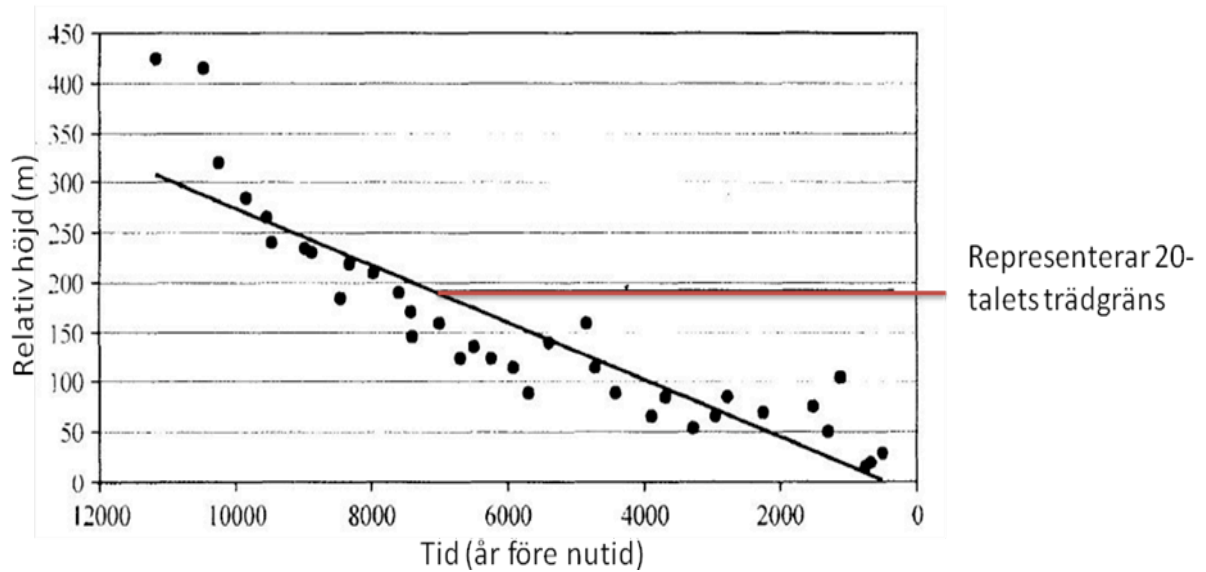
Under tidig Holocen såg fjällzonerna inte ut som de gör idag. Kanten mellan den alpina skogen och kalfjället var inte ett brett bälte av fjällbjörk, istället var det den alpina tallskogen som växte på kanten till kalfjället. Ren björk fanns bara att hitta på små isolerade, vindskyddade och snörika områden, ca 350 m ovanför tidig Holocen tallgräns och ca 600 m ovanför dagens björkskog. En kombination av geomorfologiska hinder, svåra vindförhållanden och ett tunt snötäcke hindrade björken från att fortsätta till högre latituder över ett stort område (Kullman 2004b). Dagens distinkta subalpina björkbälte på kanten till kalfjället uppkom 6000-7000 år sedan, då björken ersatte tallskogen som förmodligen drog sig tillbaka till följd av en allt längre snöperiod och ett djupare snötäcke (Kullman 2004b).

3.3 Trädgränsen idag

I Jämtlands och Dalarnas län har trädgränsen undersökts sedan början av 1900-talet (Smith 1920) fram till nutid (Kullman & Öberg 2009). Trädgränsen har till viss del påverkats av människan men generellt sett är undersökningsområdet opåverkat av mänskliga aktiviteter (Kullman 2005, Kullman & Öberg 2009, Öberg 2008).

3.3.1 Fjällbjörk, gran och tall

Trädgränsen har stigit som mest med ca 200 m för björk, tall och gran under det senaste seklet, med ett medelvärde på 70-90 m i Jämtland och Dalarnas län. Trädgränsens temperaturberoende är mest signifikant i vissa topografiska förhållanden t.ex. vindskyddade branta konkava sluttningar. I mer vindexponerade områden svarade trädgränsen svagare på temperaturökningen. Trädgränsens svar på klimatförändringen är påfallande heterogent och områdesberoende (Kullman & Öberg 2009). Även om björk, tall och gran har svarat på klimatförändringen med ungefär samma expansion i höjdd, så finns det starka regionala skillnader mellan de tre arterna. Detta är relaterat till kontinentala och maritima gradienter i landskapet (Kullman 2006). Dagens trädgränsnivå är en historiskt tydlig trendbrytare och är den högsta uppmätta trädgränsen under de senaste 7000 åren. Detta kan ses i figur 4, där trädgränsen för tall representeras från början av holocen fram till början av 1900-talet. En horisontell linje har dragits vid 200m och representerar 1900-tallets trädgränssökning (Kullman 2004a, 2006).



Figur 4. Trädgränsen för tall i den svenska fjällkedjan under holocen från 11 000 fram till början av 1900-talet. Den horisontala linjen representerar en höjning med 200 m under 1900-talet, vilket är den högsta trädgränsen under de senaste 7000 åren. Datan är baserad på subfossila trädlämningar (Kullman 2006).

Under det senaste seklet har björkens trädgräns avancerat som mest under perioden 1915-1975 medans tallens och granens respektive trädgränser avancerade mest under 1975-2007. Granen är det träd som har den största trädgränsförändringen i medelvärde jämfört med tall och björk (Kullman & Öberg 2009). Granen har avancerat mest i Jämtlands län, tätt därefter kommer tallen som har stigit mest i Dalarnas län och sedan björken i Jämtlands län (Öberg 2008). I några områden har björkens trädgräns varit oförändrad eller till och med har dragit sig tillbaka under det senaste seklet (Kullman & Öberg 2009, Öberg 2008). Sammanlagt har trädgränsen stigit som mest i Härjedalens landskap i Jämtlands län (Öberg 2008). Enligt Kullman (2005) talar den tydliga samstämmigheten över det geografiska området för att klimatförändringen är den största gemensamma orsaken till att trädgränsens drastiska förändring under det senaste seklet. Lokalt kan detta bero på att mänsklig påverkan upphört, men på det stora hela så är klimatets förändring den starkaste drivkraften (Kullman 2003). Trädgränsens maximala förändring i höjdlid är nästan i perfekt jämvikt med den uppmätta temperaturförändringen under samma tid. Sommartemperaturen i fjällen avtar med ungefär 0,6°C för varje 100m i höjdlid (Kullman 2000, 2005, Kullman & Öberg 2009). Detta antyder att trädgränsen reagerar omedelbart på en klimatförändring. Men även om trädgränsen har förflyttat sig med som mest 200 m är det viktigt att poängtera att i de flesta områden har trädgränsen avancerat med betydligt mindre. Detta beror på lokalt klimat, topografi, geologi och olika störningar. Vissa sluttningar ger större möjligheter för trädgränsen att förflytta sig uppåt än andra. (Kullman & Öberg 2009).

3.3.2 Fjällbjörk

Björken har svarat snabbt på klimatförändringen genom en fenotypisk trädgränsökning med nya skott och stamtillväxt hos individer av björk som blivit utsatta för ett hårt klimat och därför inte kunnat växa till tidigare (Kullman 2006). På Fulufjället i Dalarna var björkarna inte mycket högre än vinterns maximala snödjup för 35 år sedan men under de senaste åren har de växt till träd och de senaste 15 åren har årsskotten varit ovanligt långa (Kullman 2005). Observationer på Lillulvåfjället visar att lövsprickningen för fjällbjörk har ägt rum två veckor tidigare under de två senaste decennierna jämfört med i början av 1900-talet (Kullman & Öberg 2009). Nästan inga nyetablerade plantor har hittats i Jämtland och Dalarnas län, men de få nyetablerade plantor som har hittats, växer på fuktiga läsidor (Öberg 2008). Björkens expansion i höjdled är störst i områden med mycket snöfall där den längre och torrare snöfria årstiden frilagt topografiska sänkor vari snölegor tidigare kvarlegat under större delen av sommaren. Björken växer normalt på en högre nivå än tall och gran och utsätts därför oftast för starkare vindar och har därför expanderat mest i vindskyddade branta konkava slutningar, dessa områden blir relativt varma, snörika och välfuktade under vintern (Kullman & Öberg 2009). Kortare snöperiod och en mer fullständig bortsmältning av snö som ett svar på varmare somrar resulterar i att jorden torkar ut vid lägre höjder av de alpina regionerna under sensommaren (trots en ökad nederbörd) (Kullman 2004a). Den torrare jorden resulterar i en viss tillbakadragning av björken i den nedre delen av det subalpina bältet, detta gör att björkskogen blir fragmenterad och öppnar upp områden för tall och gran att etablera sig (Kullman 2006). Björkskogen har också dragit sig tillbaka som ett resultat av ökad västlig vindcirkulation de senaste decennierna. Detta leder till avkylning, högre avdunstning samt kan resultera i en ökad jorderosion som också i sin tur leder till minskad markfuktighet (Öberg 2008). Andra inverkanse faktorer är renbetning och trampning (Öberg 2002). Men enligt Kullman (2005) har renbetet på den subalpina fjällbjörken inte påverkat trädgränsens läge under de senaste århundradena. Trädgränsens position och dynamik skiljer sig inte signifikant åt mellan områden med hög och låg renbetning (Kullman 2005). Till följd av de senaste decenniernas varma temperaturer, särskilt under vintern har björkar på vissa ställen vaknat upp ur sin vinterdvala för tidigt vilket har resulterat i frostsador (Öberg 2002). På lång sikt kan små björkpopulationer i topografiska sänkor i landskapet vara det enda som kommer att finnas kvar av den karakteristiska fjällbjörkskogen (Kullman 2006).

3.3.3 Gran

Granen har expanderat i höjdled framförallt genom en fenotypisk trädgränsökning. Detta innebär att lågvuxna individer som växt krypande längs med marken på grund av ett för hårt klimat, s k *krumholz* under kort tid har blivit konverterade till rakt växande träd (Kullman 2006). Nyetablerade plantor av gran har endast hittas på mycket få ställen, men där har de visat på en god föryngring. (Kullman & Öberg 2009) Överlevnaden hos gran är starkt påverkad av förvinterns marktemperaturer. Granarna har därför under de senare åren i överlag sett mycket friska och välmående ut med långa årsskott och ett stort antal träd som bär kottar som ett resultat av senaste årens milda vintrar och mindre tjälbildning i marken. På vissa ställen i Härjedalen och i Dalarnas län har den högsta trädgränsen utgjorts av gran (Öberg 2008).

Granen var förmodligen ett av de tidigaste etablerade träden efter senaste inlandsisens avsmältning. I fjällkedjan har små buskar av gran hittats som varit äldre än 9000 år gamla och som representerar den första generationen av postglaciala individer (Kullman 2004a). Tack vare sin vegetativa förökning

har dessa plantor kunnat överleva ända in i nutid genom att växla mellan trädform och buskform allt eftersom klimatet har varierat (Kullman 2005).

3.3.4 Tall

Tallen har expanderat i höjddled genom att etablera ett stort antal nya individer ovanför 1915-års trädgräns. Denna genotypiska trädgränsökning innebär en relativt långsam process, men på lång sikt resulterar processen i den mest signifikanta ökningen av stamdensitet (tätheten stammar per ytenhet) i jämförelse med björk och gran (Kullman 2006). I områden där klimatet till största del är kontinentalt präglat har tallen varit den mest expansiva arten. Den håller redan på att ersätta björken som idag är den härskande arten på den översta gränsen mot kalfjället. Detta är redan en klar trend och har framförallt observerats i Härjedalen och i Dalarnas län där björkens trädgräns ofta har överskridits av tallen (Öberg 2008). Tallens trädgräns har på Fulufjället i Dalarna förflyttats nästan 5 km västerut på mindre än ett sekel (Kullman 2005). Tallen är på god väg att forma en ny och distinkt övre trädgräns och därmed återskapa den tidiga Holocena situationen (Kullman 2005, 2006). En undersökning gjord i Handöl i västra Jämtland visar att det finns ett direkt signifikant samband mellan tallens genotypiska etablering och temperaturen. Kalla vintrar resulterar i vinteruttorkning av tallen, detta är den största orsaken till att tallar dör i fjällmiljö. Det finns en stark signifikant korrelation mellan tallens överlevnad och en ökad vintertemperatur, inget samband kan ses för en ökad sommartemperatur. Möjligheten för nya frön att lyckas etablera sig och överlevnaden av små plantor är istället starkt korrelerad med en ökad sommartemperatur (Kullman 2007). De senaste decenniernas varma somrar har resulterat i många nya tallplantor både ovanför och på trädgränsen. Tallarna har också under de senaste åren haft ovanligt långa årsskott (Öberg 2008) och ett tätt och symmetriskt grenverk (Kullman 2005). Det har också observerats att träd som frostskadats under föregående kyligare decennier nu snabbt kunnat återhämta sig (Kullman 2000). Nästan inga frostsador har påträffats hos tallar under de senaste årens milda vintrar (Öberg 2008) och många nya tallar har etablerat sig under de senaste 10-15 åren (Kullman 2005). Lokalt har tallens trädgräns begränsats av ett ökat betestryck från framförallt älg som har avancerat mot fjällen under 1900-talet (Kullman 2000).

3.3.5 Påverkan på södra fjällkedjan.

Allt eftersom trädgränsen klättrar uppåt minskar följaktligen kalfjällen. I Transtrandsfjällen som ligger längst i söder av fjällkedjan har klimatförändringen inneburit stor påverkan på fjällen. Här ligger Tandövala som länge benämnts som Sveriges sydligaste fjäll. Uppvärmningen under det senaste seklet har medfört att detta område nu blivit trädbevuxet av framförallt gran och kan därmed inte längre benämnas som fjäll ur ett botaniskt perspektiv. Än så länge är skogen lågväxt och gles, men med en fortsatt uppvärmning kommer den förmodligen att tätna (Kullman 2000). Samma sak har under de senaste åren också hänt Köarskärsfjället och Storfjället som ligger i samma område. Gammalsättersfjället som är beläget söder om Storfjället är på väg att gå samma öde till mötes eftersom det nu endast kvarstår en höjdmeter av kalfjället (Öberg 2008). Även på Fulufjällets högsta topp har unga tallplantor hittas under de senaste åren (Kullman 2005).

3.3.6 Skogsgränsen

I de flesta undersökta områdena har inte trädgränsens förflyttning resulterat i att skogsgränsen har stigit till samma höjd. Men på vissa områden har björkskogen etablerat sig i området mellan den

tidigare trädgränsen och den nuvarande trädgränsen. Även barrskogen har förflyttat sig uppåt och börjat växa i den nedre delen av den subalpina zonen. Skogsgränsen och trädgränsen har dessutom blivit allt tätare de senaste åren. Detta resulterar i att de vegetationszonerna som finns i fjällen idag förändras och fragmenteras (Kullman 2005, 2006, Öberg 2008).

3.4 Trädgränsen ur ett globalt perspektiv

I ett globalt perspektiv är det framförallt temperaturen som påverkar trädgränsens fysiologiska processer. Temperaturen påverkar både direkt och indirekt överlevnaden oss träd. Detta kan tydligt ses om man går från ekvatorn mot polerna. Med det finns självklart undantag, på många ställen är det istället tillgången på vatten som skapar den tydliga trädgränsen i landskapet (Holtmeier & Broll 2007).

Trädgränsens förändring som ett resultat av senaste seklets temperaturhöjning är inte bara ett fenomen som har noterats i de svenska fjällen, liknande resultat har observerats på andra fjällområden runt om i världen (Holtmeier & Broll 2007). Men det finns också många områden där det inte har kunnat uppmätas någon förflyttning av trädgränsen i samband med temperaturökningen (Louise et al. 2001). Trädgränsens dynamik påverkas av många olika faktorer varav temperaturen lokalt endast är en liten del av det hela, det är minst lika viktigt med vindstyrka, sent kvarliggande snötäcke, energiförluster orsakad av snösmältningen, evaporation, torka och erosion (Holtmeier & Broll 2007). I norra finska lappland finns det områden där trädgränsen hindras från att expandera i höjded. Detta är ett resultat av stark erosion av marken på högre altitud som uppkommit då trädgränsen drog sig tillbaka under holocen (Holtmeier & Mujica-Crapanzano 2004).

Landskapets historia i olika områden har också en fundamental betydelse. Trädgränsens nuvarande position och struktur kan inte ensamt förklaras av klimatförändringen, historiska störningar orsakade direkt eller indirekt av naturliga och antropogena faktorer måste beaktas och har stor betydelse för hur trädgränsen reagerar i ett förändrat klimat. Betande boskap, starka stormar, extrema vintrar, torka och massutbrott av skadeinsekter är exempel på faktorer som oftast har kvarstående effekter (Holtmeier & Broll 2007). T.ex. i norra Quebec har det inte skett någon nyetablering av trädplantor förrän nyligen, troligen beror detta på att de kvarstående effekterna av den lilla istiden överträffat dagens temperaturökning (Kateri & Serge 1995).

3.5 Trädgränsen i framtiden

3.5.1 Förväntade förändringar av trädgränsen

Samspelet mellan temperaturen och de många andra faktorer som påverkar ett trädets tillväxt och överlevnad kommer kanske inte att se likadana ut i framtiden. (Holtmeier & Broll 2007). Hur trädgränsen kommer att svara på klimatförändringen kommer att se olika ut för olika trädarter och typer av trädgräns (Holtmeier & Mujica-Crapanzano 2004). Trädgränstyper påverkas lokalt av topografin, landskapshistorien, lokalt klimat och omgivande flora. En trädgräns som är påverkad av människan på ett eller annat sätt svarar annorlunda på klimatförändringen än en ostörd trädgräns (Holtmeier & Broll 2007, Kullman & Öberg 2009). Under fortsatta gynnsamma klimatförhållanden kan trädgränsens förflyttning i höjded komma att ligga efter klimatförändringen med decennium eller till och med sekel (Holtmeier & Broll 2007).

Den varierade topografin i ett fjällområde skapar områdesberoende egenskaper, dessa skillnader kan lokalt överskrida effekterna av en något högre temperatur. Trädgränserna förflyttar sig normalt inte som en sluten linje parallellt med den förändrade isotermin. Faktorer som solexponering, vindstyrka, vindriktning, snöfördelning samt alla de direkta och indirekta effekterna som t.ex. växtsäsongens längd, snöskyttesvampinfektioner och mekaniska störningar som stambrott har alla en stor betydelse (Holtmeier & Broll 2007, Kullman & Öberg 2009). På samma sätt inverkar marktemperaturen, jordtyp, markfuktighet samt tillgången på mineraler och näringsämnen (Holtmeier & Broll 2007, Kullman 2007).

Topografin i fjällområden kan variera kraftigt över relativt små områden. Trädgränsen på en mjukt formad fjällsluttning kommer att reagera annorlunda på klimatförändringen jämfört med en trädgräns på ett brant skrovlig fjällsluttning. På många branta höga fjällsluttningar kan lavinaktiviteter, instabila material samt avsaknad eller fragmenterad jordtillgång hindra trädgränsen från att nå den nivån som temperaturen tillåter (Holtmeier & Broll 2007, Kullman & Öberg 2009).

På längre sikt kommer inte trädgränsen att expandera i höjdlängd på grund av fenotypisk förändring av att gamla kortvuxna träd växer till sig under mer gynnsamma förhållanden. Det som kommer att vara avgörande för trädgränsens stigning är möjligheten till genotypisk förändring, det vill säga nyetablerade plantors överlevnad och möjligheten för frön att börja gro (Holtmeier & Broll 2007). Dödligheten för unga plantor är generellt stor vid trädgränsen eftersom de befinner sig på gränsen till sin utbredningsförmåga. Detta kan komma att förändras i ett varmare klimat då överlevnaden är korrelerad med en längre period av gynnsamma förhållanden (Kullman 2007).

Varmare förhållanden vintertid med en temperatur som pendlar mellan plus och minus ökar risken för våt snö vilket kan öka risken för snöskyttesvampinfektioner på unga plantor. Ett varmare torrare klimat med en tidigare snösmältning kan istället minska risken för snöskyttesvampinfektioner. Tidigare bortsmältning av snön innebär också att unga plantor kommer att exponeras för sen frost och torka. Mildare vintrar kan också leda till ett tunnare snötäcke, unga plantor som inte helt blir täckta av den isolerade snön kan då drabbas av frostsador och vinteruttorkning. Varmare vintrar kan också leda till frostsador då nybildningen av skott börjar innan vintern är över (Holtmeier & Broll 2007, Holtmeier & Mujica-Crapanzano 2004).

Permanent stark vind kan resultera i en försämrad tillväxt av trädplantor, detta kan leda till lågt växande, buskliknade individer som inte lyckas komma upp i trädstorlek. Normalt tilltar vindstyrkan med en ökad höjd över havet. Trädgränsens expansion i höjdlängd kan därför hindras av den tilltagande vinden. En starkare vind resulterar i en större avkylning, högre avdunstning samt en ökad erosion av marken. Vinden orsakar en mekanisk slitfaktor på växten på grund av vindburna partiklar men också från vindens fysiska belastning (Holtmeier & Broll 2007, Holtmeier & Mujica-Crapanzano 2004). På de mest utsatta områdena krävs det att stenar och annan vegetation ger skydd till unga plantor under deras första år (Öberg 2008). Dessa plantor kommer att nå trädstorlek bara om de kan överleva när de kommer upp från det mikroklimat som området nära maken erbjuder. Möjligheten för träd att växa och överleva ökar med ett ökat antal träd som kan skydda varandra. Det skapas en positiv återkoppling där ett ökat antal träd leder till ett bättre vindskydd och en ökad ackumulering av snö. Detta i sin tur ökar marktemperaturen vilket medför att näringsämnen lättare frigörs (Moen 2008).

Kraftiga mikroklimat påverkar och kontrollerar troligtvis trädgränsens dynamik mer än klimatförändringen på lokal nivå, åtminstone på kort sikt. På lång sikt kan ett ökat antal träd ha en mildrande effekt. I ett långt perspektiv kommer den lokala topografin att vara den enda konstanta faktorn i trädgränsens miljö som inte kommer att påverkas av klimatförändringen (Holtmeier & Broll 2007).

Trädgränsen i Dalarna och Jämtlands län kan komma att förflytta sig snabbt uppåt i en varmare framtid. Ett stort antal nyetablerade plantor av björk, tall och gran har hittats 400-700 m ovanför nuvarande trädgräns. Dessa individer är ännu för små för att klassificeras som träd (>2 m) men kommer förmodligen att snabbt växa till i ett varmare klimat. Detta betyder att trädgränsen för alla tre arterna tros kunna klättra upp till ca 400-700 m högre än dagens trädgräns i vissa områden inom en snar framtid (Kullman 2003, Kullman 2005, 2006), mycket tyder dock på att trädgränsen inte kommer att öka till dessa nivåer på de flesta fjällsluttningar (Kullman & Öberg 2009).

3.5.2 Simulering av trädgränsen

För att förutspå trädgränsens förändring i den svenska fjällkedjan under ett varmare klimat har Moen (2004) använt två olika klimatscenarion, (Hadley Center (HC) och Max-Planck (MPI)). Trädgränsens förändring har simulerats mot en förhöjd medelvärde på sommartemperaturen för år 2100. I simuleringen har det antagits att den översta trädgränsen är i balans med rådande klimat och att trädgränsens förändring är snabb nog för att temperaturskillnaden ska kunna ge utslag inom den simulerade tidsperioden. De har även antagit att trädgränsen är lägre på nordsluttningar än på sydsluttningar, och att träd bara kan växa på områden där det idag finns ett jordlager. För att undersöka initiala landskapsförändringar som ett resultat av trädgränsens förflyttning har det även utförts en försiktig simulering där trädgränsen tillåts stiga med endast 100 m (Moen et al. 2004).

Med en ökning av sommartemperaturen på 1,4–2,4°C i scenario HC skulle trädgränsen förflytta sig med 233-400 m till år 2100. Med en temperaturhöjning med 2,6–4,0 i scenario MPI skulle trädgränsen förflytta sig med 433-667 m under samma tidsperiod, och kan ses i figur 5. Detta skulle innebära att 75 % respektive 85 % av dagens kalfjäll skulle försvinna. Endast i norra delen av fjällkedjan där topografin är brantare och fjällen når högre altituder skulle ett fåtal kalfjäll finnas kvar. Även den försiktiga höjningen av trädgränsen (100 m) skulle resultera i att 41 % av kalfjället skulle försvinna och de kvarvarande områdena skulle bestå till största delen av steniga fält (Moen et al. 2004).

Enligt simuleringarna skulle de kvarvarande kalfjällen bli fragmenterade. Det finns 362 kalfjällsområden i den svenska fjällkedjan med en medelarea på 9700 ha. De minsta kalfjällsarealerna finns att hitta i de södra delarna av fjällkedjan medan de norra har stora områden med kalfjäll. En höjning av trädgränsen med 100 m skulle resultera i en fragmentering där antalet kalfjäll skulle bli fler med en mindre areal (se figur 5). Detta för att lågt liggande dalgångar som idag är trädlösa skulle täckas av skog. Vid en högre stigning av trädgränsen skulle kalfjällen helt försvinna på många ställen och istället för fjäll skulle vi ha trädklädda berg. Under de mest extrema klimatscenariorna skulle endast 4 % av dagens kalfjäll finnas kvar (se figur 5). Detta skulle innebära att samtliga fjäll i Dalarna och de flesta i Härjedalens, Jämtland och Västerbotten skulle bli skogsbevuxna (Moen et al. 2004)



Figur 6. En jämförelse mellan dagens kalfjällsområden med framtida simuleringar av kalfjällsområdet för år 2100. a) Dagens kalfjällsutbredning. b) Simulerad kalfjällsutbredning med 100m förflyttning av trädgränsen. c) Simulerad kalfjällsutbredning enligt klimatscenario MPI (Moen et al. 2004).

3.6 Rennäringen

3.6.1 Positiva effekter

Fjällmiljön har under de senaste decennierna blivit ovanligt frodig och grön, med mer örter, gräs och unga trädplantor (Kullman 2003) som alla är en viktig del av renens somrardiet. Ett varmare klimat kan resultera i att växtperioden förlängs med flera månader (Kjellström et al. 2005). Enligt SOU (2007) modellscenario kan växtproduktionen komma att öka med 20-40 % samtidigt som snösäsongen förkortas (Gyllenhammar 2008). Detta kommer att gynna renarna som får större tillgång på mat under en längre period. Barmarksbetet är den tiden på året då renen bygger upp sina fett- och protein reserver inför vintern och kvalitet på denna föda är viktig för renens hälsa och tillväxt (SOU 2007).

3.6.2 Negativa effekter

Den ökade tillgången på föda under sommaren kan resultera i en tillväxt av renhjordarna, detta kan sedan leda till att betningen under vinter blir högre än vad de långsamt växande lavarna klarar av, vilket kan leda till en krasch i hjordarna. Varmare somrar resulterar dessutom i att de viktiga snölegorna som erbjuder svalkande vila smälter bort samtidigt som fuktigare somrarna resulterar i fler insekter. Detta stressar lätt renen som får svårigheter att beta (Moen 2008). Kombination med att trädgränsen stiger kan resultera i att renen får svårare att undkomma insektsplågan (SOU 2007), vissa betesområden kommer av dessa anledningar bli omöjliga att använda. Fler träd och buskar på kalfjället som blir allt tätare kan minska biomassan på marken (Moen 2008).

Varmare vintrar med snabba väderomslag där temperaturen pendlar mellan plus och minus kan ställa till med svåra problem för renen. När det regnar på redan lagd snö leder det till en viss

uppvärmning vid markytan då regnet tränger igenom snölagret och ger ifrån sig värme vid frysningsprocessen vid markytan. Detta kan resultera i ökad svamp- och mögelangrep på markvegetationen. Regnet leder också till att det kan bildas ett islager över vegetationen som gör det svårare för renen att tränga igenom, dessutom kan detta leda till ett starkt slitage på de långsamt växande växterna när renen får skrapa hårt för att komma åt födan (SMHI 2007b). Den ökade nederbörden i fjällområden kan ha negativa konsekvenser då möjligheten att förflytta renhjordarna blir svårare vid höga vattenflöden. Det är framförallt renhjordarnas möjlighet att förflytta sig från sommar- till vinterbetet som kan komma att försämrats (SOU 2007).

Den minskade kalvfjällarealen som ett resultat av framförallt en ökad trädgräns kommer att leda till ett ökat betestryck om dagens renbestånd kvarstår. Detta kommer troligtvis att vara extra märkbart i de södra delarna av fjällområdet där kalvfjället redan är mindre. Med ett minskat kalvfjäll kommer troligtvis de redan existerade intressekonflikterna mellan fjällturism och rennäring att öka (SOU 2007).

4. Framtida forskning

Det behövs bredare förståelse för hur det fysiologiska och klimatologiska samspelet fungerar. Det är framförallt viktigt att undersöka balansen mellan sommar och vinter eftersom enligt Kullman (2007) är både vintern och sommartemperaturen viktiga för växtens överlevnad och fortplantning. Andra undersökningar hävdar att enbart sommartemperaturen är avgörande för trädgränsens respons t.ex. (Moen et al. 2004). Samtidigt kan en varmare vintertemperatur vara förödande för växternas överlevnad (Holtmeier & Broll 2007, SMHI 2007b). Trädgränsens respons på ett varmare klimat är mycket komplex och det behövs en större förståelse för hur allt hänger ihop. T.ex. behövs markfuktens relation till topografi och avrinning undersökas mer.

En av de många sakerna som påverkar trädens respons är vinden. Vinden ökar normalt med en ökad höjd över havet och hindrar därför trädgränsens förflyttning i många områden. Enligt SOU (2007) och Raisanen (2004) kommer vindstyrkan att kunna öka i ett varmare klimat och därför bör man undersöka i vilken omfattning vinden påverkar, kommer den att kunna överskrida effekten av ett varmare klimat?

Forskningen borde fokuseras mer på nyetablerade plantors överlevnad än tillväxten av redan befintliga träd, samtidigt så måste vuxna träds möjlighet att fortplanta sig undersökas. Samt hur kan ett varmare klimat påverka sjukdomar och skadeinsekter och deras påverkan på träden.

Enligt bland annat Sykes (1996) har värmesumman, det vill säga antalet växtdagar (growing degree days GDD) stor betydelse för växters utbredning framförallt i alpina och arktiska miljöer. Det borde undersökas i större utsträckning hur relationen för detta ser ut i Sveriges fjäll.

I de studier som har lästs under arbetet med denna rapport har framförallt sommar- och vintertemperaturer diskuterats. I ett förändrat klimat kommer normerna för vad som räknas till sommar respektive vinter att bli allt mindre tydliga. Detta kan komma att komplicera jämförelserna av resultaten i framtiden. På en global nivå kan det redan nu ställa till problem eftersom årstiderna inte ser likadana ut överallt. Istället för att använda sig av årstider och månadstemperaturer borde man konvertera över till GDD som kan jämföras globalt och i framtiden och som inte påverkas av hur

årstiderna kan se ut i en varmare framtid. Man har redan idag gått över till GDD istället för månads och årstider inom många forskningsområden.

För att fylla upp lokala och regionala luckor kan man använda sig av fjärranalys, det skulle även ge möjlighet att lättare urskilja geografiska mönster. Idag är trädgränsen endast undersökt på några begränsade områden. Data över längre tidsperioder finns idag endast från Dalarna och Jämtlands län.

Trädgränsfenomenet är mycket komplext eftersom det finns många saker som påverkar huruvida den svarar på en klimatförändring eller inte. Oavsett hur mycket forskning som läggs ner på att undersöka dessa är det inte säkert att vi någonsin kommer att kunna lösa hela pusslet.

5. Diskussion

Trädgränsen har förändrats radikalt i den svenska fjällkedjan liksom i andra delar av världen. Det råder inget tvivel om att temperaturförändringen är den starkaste gemensamma nämnaren till dessa förändringar. Mönstret är dock inte homogent på grund av det komplexa samspelet mellan de naturliga och antropogena påverkningarna.

Även om temperaturen tycks vara den gemensamma nämnaren för det senaste seklets förändringar finns det oklarheter kring huruvida det är sommar eller vintertemperaturerna som är viktigast i sammanhanget. Enligt Kullman (2007) finns det ett signifikant samband mellan tallens överlevnad och en ökad vintertemperatur. Samtidigt har Holtmeier (2007) fått fram resultat som antyder att snö och vindförhållanden har en större inverkan än temperaturen. Vintertemperaturens inverkan borde också påverkas av hur stor förändringen är. Till en början kan en ökad vintertemperatur ha en positiv inverkan under det att temperaturen fortfarande är tillräckligt låg för att ett skyddande snötäcke skall kunna bildas. Vid en nog stor temperaturökning kommer ett tröskelvärde att nås där det skyddande snötäcket byts ut mot snöblandat regn och is. Detta skulle då medföra en negativ inverkan på växter som kan få frysskador och ökade svamp- och mögelangrepp.

Trädgränsen för tall, björk och gran har alla höjts under det senaste seklet i ungefär samma omfattning. Men det finns ändå skillnader mellan de olika arterna. Björken expanderade som mest under de första 60 åren (1915-1975). Medans granen och tallen har expanderat mest under de senaste 30 åren (1975-2007). Detta tyder på att björken missgynnats av det klimat som varit under de senaste decennierna. Granen är det träd som har visat på störst trädgränsökning i genomsnitt. Men det är viktigt att komma ihåg att både granen och björken har expanderat mestadels genom fenotypisk förändring. Det träd som tycks gynnas bäst av de senaste decenniernas klimat är tallen vars ökning mestadels skett genotypiskt. Tallen har under de senaste åren börjat komma ikapp både björk och gran. Detta tyder på att klimatet börjar bli allt mer gynnsamt för tallen. Detta kan också vara ett resultat av att tallen ofta växer längre ner än både gran och björk. Tallens sena acceleration i höjdlöd kan komma att minska allt eftersom den klättrar högre upp och kommer i höjd med björken. Troligtvis så kommer tallen i längden att vinna på den klimatförändring vi står inför, vilket också är i linje med historisk data från den senaste värmeperioden.

Enligt de framtidsscenario som har presenterats i arbetet kommer snötäckets djup att minska. Redan nu har det observerats att snön smälter tidigare, vilket kan leda till torka under sensommaren. Detta kan komma att ytterligare förvärras med en ökning av temperatur och vindstyrka. Detta gynnar

tallen som klarar av ett tunnare snötäcke och en torrare mark än både granen och björken. Samtidigt pekar scenariona på att nederbörden kommer att öka. Det är därför svårt att veta om den ökade nederbörden kommer kunna kompensera för den tidigare snösmältningen och den ökade avdunstningen med en kraftigare vind. Om så är fallet skulle detta kunna gynna björken. Det måste också nämnas att vinden i sig själv kan utgöra en mekaniskt begränsande faktor för samtliga av arterna.

Klimatscenariona antyder inte bara att nederbörden kommer att öka utan också intensifieras. Detta kan orsaka jorderosion, jordflytning och jordskred. En positiv effekt av att trädgränsen klättrar uppåt skulle kunna vara att den ger en stabiliserande effekt av jorden vilket skulle minska dessa risker. Detsamma gäller under vintern då snötäcket skulle bindas samman med mindre risk för laviner som följd.

Trädgränsens definition är väldigt strikt, men den ger ingen indikation för hur spridningen och stamdensiteten ser ut. T.ex. så ger ett ensamt träd och en större population samma resultat. Det vore intressant att dessutom beakta kvalitén på trädgränsen. Ett mått på stamdensitet vid den uppmätta höjden skulle ge en bättre bild av det aktuella läget. Som nämnts i arbetet skapar en högre stamdensitet en positiv återkoppling för trädens möjlighet att etablera sig och överleva. Detta skulle alltså också utgöra ett mått på trädgränsens livskraftighet.

Trädgränsen anses vara ett fenomen som kan jämföras i tid och rum. Detta kan dock ifrågasättas. Som presenterats i detta arbete finns det många faktorer som påverkar trädgränsen. Mycket av detta bygger på lokala variationer som är knutna både till naturliga och antropogena orsaker. Förutom alla naturliga variationer mellan olika geografiska områden kan det finnas skillnader som bottnar i kulturella skillnader där marken utnyttjats på olika sätt. Det är uppenbart att trädgränsen kan jämföras i tiden men det finns många begränsande faktorer för hur bra den verkligen kan jämföras i rummet.

I rapporten har resultaten från en simulering av ett framtidsscenario presenterats. Simuleringen bygger på en rad antaganden som inte förmår fånga upp den komplexa verkligheten. Ett av antagandena är att sommartemperaturen är den starkaste drivkraften för en trädgräns förändring. Men som nämnts tidigare är det mycket mer komplext än så och både sommar- och vinter temperaturen är viktiga. Ett exempel på saker som är svåra att fånga upp i en simulering är mikroklimatet som har stor inverkan i detta sammanhang. De resultat som fås i simuleringen ligger dock inom historiska värden och även inom det område där man redan idag funnit nyetablerade plantor.

Som nämnts så bygger denna rapport på litteratursökning av trädgränsen i framförallt Sverige. Den litteraturen som finns inom ämnet härstammar mestadels från samma källa (Leif Kullman) och behandlar ämnet i ett geografiskt begränsat område. Fler forskare inom området skulle kunna bidra med nya idéer och infallsvinklar, dessutom skulle det innebära att resultaten lättare kunde värderas. Men fördelen med en ensam forskare kan vara att resultaten i tiden blir lättare jämförbara då hanteringen av data kan tänkas vara mer konsekvent.

Det finns inget tvivel om att klimatet i de svenska fjällen har förändrats, och kommer med största sannolikhet att fortsätta att förändras. Det går dock att ifrågasätta de scenarion som har

presenterats i denna rapport. Klimatmodellerna kan ge oss ledtrådar om det framtida klimatet i den svenska fjällkedjan, men inte mycket mer.

Man kommer aldrig med säkerhet kunna säga hur klimatet kommer att vara i framtiden och inte heller hur trädgränsen kommer att svara på den klimatförändring vi står inför. Men vad som är säkert är att trädgränsen kommer att fortsätta att förflytta sig uppåt och fjällmiljön kommer att fortsätta förändras. Detta kommer inte bara att få konsekvenser för de djur och växter som lever där utan också för oss människor. Människor har i alla tider fascinerats av fjällen. Fjällen erbjuder ett lugn som vi sällan kan hitta någon annanstans. Det är en speciell känsla att stå längst upp på en fjälltopp och kolla ut över vyerna. Med en stigande trädgräns kan dessa vyer på vissa ställen bytas ut mot snår av björk och tall, med surrande insekter och kliande myggbett.

6. Slutsats

Trädgränsen har visat sig vara mycket komplex och dess svar på klimatförändringen är påfallande heterogent och områdesberoende. Under det senaste seklet har trädgränsen som mest förflyttat sig ca 200 m uppåt och i medel med 70-90 m i Jämtland och Dalarnas län. Temperaturen är den viktigaste faktorn men den påverkas även mycket av vinden, snötäcket, nederbörd och växtperiodens längd. Lokalt påverkas trädgränsen av topografin, mikroklimatet och antropogen påverkan men även av historiska störningar som kan få länge kvarvarande effekter. Även under fortsatta gynnsamma klimatförhållanden kan trädgränsens förflyttning i höjdd led ligga efter klimatförändringen med decennier eller till och med sekel. På längre sikt kommer möjligheten till genotypisk förändring att vara avgörande för trädgränsens förflyttning. Med hjälp av historiska data har det konstaterats att det under trädgränsens högsta postglaciala nivå fanns stora arealer av kalfjäll. Även dagens variationer i trädgränsens förflyttning antyder att delar av kalfjällen kommer att finnas kvar i ett varmare klimat. Det finns ingen större anledning att förvänta sig att regionala variationer i trädgränsen svar på klimatförändringen kommer att vara mindre i framtiden än de har varit förr. Man kommer aldrig att kunna säga hur ett förändrat klimat kommer att påverka den alpina trädgränsen och dessutom kan inte extrema händelser och dess inverkan förutspås.

Den förändrade trädgränsen kan ha både positiva och negativa effekter på rennäringen. Den högre trädgränsen ger mer föda, samtidigt erbjuder den minskade kalfjällsarealen minskat skydd mot insekter under sommarmånaderna. Det finns också en risk för att dagens intressekonflikter mellan rennäringen och turismnäringen ökar.

7. Referenser

- Alexandersson H (2006): Klimat i förändring En jämförelse av temperatur och nederbörd 1991-2005 med 1961-1990. SMHI
- Bernes C (2007): En ännu varmare värld - Växthuseffekten och klimatets förändring: Naturvårdsverket Värnamo, 1-176 pp
- Gyllenhammar A (2008): Norrland Klimatet förändras och förändrar. SMHI, Östersund
- Holtmeier F-K, Mujica-Crapanzano L (2004): Mountain Timberlines: Ecology, Patchiness, and Dynamics. Arctic, Antarctic, and Alpine Research **63**: 364-635
- Holtmeier F-K, Broll G (2007): Treeline advance - driving processes and adverse factors. Landscape Online **1**: 1-33
- IPCC (2007): Climate change 2007 : The physical science basis, Working group 1 contribution to the fourth assessment report of the IPCC University press, Cambridge
- Kateri L-S, Serge P (1995): Recent Advance of the Arctic Treeline Along the Eastern Coast of Hudson Bay. Journal of Ecology **83**: 929-936
- Kjellström E, Barring L, Gollvik S, Hansson U, Jones C, Samuelsson P, Rummukainen M, A U, Willén U, Wyser K (2005): A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3), SMHI Norrköping, Sverige pp. 1-70
- Kjällgren L, Kullman L (2002): Geographical patterns of tree-limits of Norway spruce and Scots pine in the southern Swedish Scandes. Norwegian Journal of Geography **56**: 237-245
- Kullman L (1979): Change and stability in the altitude of the birch tree-limit in the southern Swedish Scandes 1915-1975. Acta Phytogeogr. Suecica **65**: 1-121
- Kullman L (2000): Trädgränse - en klimatindikator, Varmare klimat ger stigande trädgränser i svenska fjällen. Fauna och Flora **95**: 113-130
- Kullman L (2001): 20th century climate warming and tree-limit rise in the southern Scandes of Sweden. Ambio **30**: 72-80
- Kullman L (2002): Rapid Recent Range-Margin Rise of Tree and Shrub Species in the Swedish Scandes. Journal of Ecology **90**: 68-77
- Kullman L (2003): Förändringar i fjällens växtvärld - effekter av ett varmare klimat. SVENSK BOTANISK TIDSKRIFT **97**: 210-221
- Kullman L (2004a): A face of global warming "ice birches" and a changing alpine plant cover. Geoöko **25**: 181-202
- Kullman L (2004b): Early Holocene Appearance of Mountain Birch (Betula pubescens ssp. tortuosa) at Unprecedented High Elevations in the Swedish Scandes: Megafossil Evidence Exposed by Recent Snow and Ice Recession. Arctic, Antarctic, and Alpine Research **36**: 172-180
- Kullman L (2005): Gamla och nya träd på Fulufjället – vegetationshistoria på hög nivå. Svensk Botanisk Tidskrift **99**: 315-329
- Kullman L (2006): Transformation of alpine and subalpine vegetation in a potentially warmer future, the Anthropocenc era. Tentative projections based on long-term observations and paleovegetation records. Current Trends in Ecology **1**: 1-16
- Kullman L (2007): Tree line population monitoring of Pinus sylvestris in the Swedish Scandes, 1973-2005: implications for tree line theory and climate change ecology. **95**: 41-52
- Kullman L (2008): Thermophilic Tree Species Reinvade Subalpine Sweden - Early Responses to Anomalous Late Holocene Climate Warming. Arctic, Antarctic, and Alpine Research **40**: 104-110
- Kullman L, Öberg L (2009): Post-Little Ice Age tree line rise and climate warming in the Swedish Scandes: a landscape ecological perspective. Journal of Ecology **97**: 415-429
- Linkowski WI, Lennartsson T (2005): Biologisk mångfald i fjällbjörkskog – en kunskapssammanställning, Centrum för Biologisk Mångfald

- Ljungdahl E (2008): Samerna och rennäringen i södra Jämtlandsfjällen, sunsvall
- Louise EC, Glenn HS, Richard PD, Jonathan GP (2001): Disturbance and Climate Warming Influences on New Zealand Nothofagus Tree-Line Population Dynamics. *Journal of Ecology* **89**: 1061-1071
- Moberg A, Sonechkin DM, Holmgren K (2005): Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data. *Nature* **433**: 613-618
- Moen J, Danell Ö (2003): Reindeer in the Swedish Mountains: An Assessment of Grazing Impacts. *Ambio* **32**: 397-402
- Moen J, Aune K, Edenius L, Angerbjörn A (2004): Potential effects of climate change on treeline position in the Swedish mountains. *Ecology & Society: a journal of integrative science for resilience and sustainability* **9**: 16-16
- Moen J (2008): Climate Change: Effects on the Ecological Basis for Reindeer Husbandry in Sweden. *AMBIO - A Journal of the Human Environment* **37**: 304-312
- NE (2009). Nationalencyklopedin <http://www.ne.se/ludwig.lub.lu.se/lang/ren/292291>. Access date 4 maj
- NMR (2005): Nordisk Naturförvaltning i ett ändret klimat. Nordisk Ministerråd, Köpenhamn
- Nylén B (1996): Fjällflora: Norstedts förlag AB, Stockholm
- Prentice IC, Wolfgang C, Sandy PH, Rik L, Robert AM, Allen MS (1992): Special Paper: A Global Biome Model Based on Plant Physiology and Dominance, Soil Properties and Climate. *Journal of Biogeography* **19**: 117-134
- Rafstedt T (1978a): Vegitationskarta över de svenska fjällen, Kartblad nr 19 Åre Naturgeografiska insitutionen Stockholms Universitet
- Rafstedt T (1978b): Vegitationskarta över de svenska fjällen, Kartblad nr 16 Häkafot Naturgeografiska insitutionen Stockholms Universitet
- Rafstedt T (1978c): Vegitationskarta över de svenska fjällen, Kartblad nr 15 Frostviken Naturgeografiska insitutionen Stockholms Universitet
- Rafstedt T (1980): Vegitationskarta över de svenska fjällen, Kartblad nr 20 Tunäsdalen, Naturgeografiska insitutionen Stockholms Universitet
- Rafstedt T (1982a): Vegitationskarta över de svenska fjällen, Kartblad nr 22 Sälen/Särna Naturgeografiska insitutionen Stockholms Universitet
- Rafstedt T (1982b): Vegitationskarta över de svenska fjällen, Kartblad nr 21 Idre Naturgeografiska insitutionen Stockholms Universitet
- Raisanen J, Hansson U, Ullerstig A, Doscher R, Graham LP, Jones C, Meier HEM, Samuelsson P, Willän U (2004): European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios, pp. 13-31
- Ruddiman WF (2003): Orbital insolation, ice volume, and greenhouse gases. *Quaternary Science Reviews* **22**: 1597-1629
- SMHI (2005): Sveriges snöklimat under 100 år, Faktablad nr: 23, Norrköping
- SMHI (2007a). Sveriges klimat <http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=5441&l=sv>. Access date 2009-04-01
- SMHI (2007b). Jordbruket, rennäringen och fisket <http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=6642&a=18383&l=sv>. Access date 2009-05-04
- SMHI (2008). Sveriges klimat i framtiden <http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=8785&l=sv>. Access date 2009-03-20
- Smith H (1920): Vegetationen och dess utvecklingshistoria i det centralsvenska högfjällsområdet Uppsala
- SOU (2007): Klimat- och Sårbarhetsutredningen. Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter Statens Offentliga Utredningar, Stockholm

- Sykes M, Prentice IC, Wolfgang C (1996): A Bioclimatic Model for the Potential Distributions of North European Tree Species Under Present and Future Climates. *Journal of Biogeography* **23**: 203-233
- Tallantire PA (1977): A Further Contribution to the Problem of the Spread of Spruce (Picea abies (L.) Karst.) in Fennoscandia. *Journal of Biogeography* **4**: 219-227
- Wilfried T, Sandra L, Martin TS, Prentice IC, Harold AM (2005): Climate Change Threats to Plant Diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **102**: 8245-8250
- Öberg L (2002): Trädgränsdynamik på Sånfjället. *Svensk Botanisk Tidskrift* **96**: 177-185
- Öberg L (2006): Trädgränsprojektet, Ett samarbete mellan Länsstyrelsen i Jämtlands och Dalarnas län och Leif Kullman, Umeå Universitet, Lägesrapport 2006 Länsstyrelsen Jämtlands län, Miljöövervakning Östersund
- Öberg L (2008): Trädgränsen som indikator för ekologiska klimateffekter i fjällen, Miljöövervakningsfunktionen Avdelningen Miljö och Fiske Länsstyrelsen Jämtlands län, Östersund

Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serien startade 1985. Uppsatserna är även tillgängliga på <http://www.geobib.lu.se/>

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden.

Report series started 1985. Also available at <http://www.geobib.lu.se/>

111. Tränk, L., (2005): Kadmium i skånska vattendrag – en metodstudie i föroreningsmodellering.
112. Nilsson, E., Svensson, A.-K., (2005): Agro-Ecological Assessment of Phonxay District, Luang Phrabang Province, Lao PDR. A Minor Field Study.
113. Svensson, S., (2005): Snowcover dynamics and plant phenology extraction using digital camera images and its relation to CO₂ fluxes at Stordalen mire, Northern Sweden.
114. Barth, P. von., (2005): Småvatten då och nu. En förändringsstudie av småvatten och deras kväveretentionsförmåga.
115. Areskoug, M., (2005): Planering av dagsutflykter på Island med nätverkanalys
116. Lund, M., (2005): Winter dynamics of the greenhouse gas exchange in a natural bog.
117. Persson, E., (2005): Effect of leaf optical properties on remote sensing of leaf area index in deciduous forest.
118. Mjöfors, K., (2005): How does elevated atmospheric CO₂ concentration affect vegetation productivity?
119. Tollebäck, E., (2005): Modellering av kväveavskiljningen under fyra år i en anlagd våtmark på Lilla Böslid, Halland
120. Isacsson, C., (2005): Empiriska samband mellan fältdata och satellitdata – för olika bokskogområden i södra Sverige.
121. Bergström, D., Malmros, C., (2005): Finding potential sites for small-scale Hydro Power in Uganda: a step to assist the rural electrification by the use of GIS
122. Magnusson, A., (2005): Kartering av skogsskador hos bok och ek i södra Sverige med hjälp av satellitdata.
123. Levallius, J., (2005): Green roofs on municipal buildings in Lund – Modeling potential environmental benefits.
124. Florén, K., Olsson, M., (2006): Glacifluviala avlagrings- och erosionsformer i sydöstra Skåne – en sedimentologisk och geomorfologisk undersökning.
125. Liljewalch-Fogelmark, K., (2006): Tåguller i Skåne – befolkningens exponering.

126. Irminger Street, T., (2006): The effects of landscape configuration on species richness and diversity in semi-natural grasslands on Öland – a preliminary study.
127. Karlberg, H., (2006): Vegetationsinventering med rumsligt högupplösande satellitdata – en studie av QuickBird-data för kartläggning av gräsmark och konnektivitet i landskapet.
128. Malmgren, A., (2006): Stormskador. En fjärranalytisk studie av stormen Gudrunskogsskador och dess orsaker.
129. Olofsson, J., (2006): Effects of human land-use on the global carbon cycle during the last 6000 years.
130. Johansson, T., (2006): Uppskattning av nettoprimärproduktionen (NPP) i stormfällan efter stormen Gudrun med hjälp av satellitdata.
131. Eckeskog, M., (2006): Spatial distribution of hydraulic conductivity in the Rio Sucio drainage basin, Nicaragua.
132. Lagerstedt, J., (2006): The effects of managed ruminants grazing on the global carbon cycle and greenhouse gas forcing.
133. Persson, P., (2007): Investigating the Impact of Ground Reflectance on Satellite Estimates of Forest Leaf Area Index
134. Valoczi, P. (2007): Koldioxidbalans och koldioxidinnehållsimulering av barrskog i Kristianstads län, samt klimatförändringens inverkan på skogen.
135. Johansson, H. (2007): Dalby Söderskog - en studie av trädarternas sammansättning 1921 jämfört med 2005
137. Kalén, V. (2007): Analysing temporal and spatial variations in DOC concentrations in Scanian lakes and streams, using GIS and Remote Sensing
138. Maichel, V. (2007): Kvalitetsbedömning av kväveretentionen i nyanlagda våtmarker i Skåne
139. Agardh, M. (2007): Koldioxidbudget för Högestad – utsläpp/upptag och åtgärdsförslag
140. Peterz, S. (2007): Do landscape properties influence the migration of Ospreys?
141. Hendrikson, K. (2007): Småvatten och groddjur i Täby kommun
142. Carlsson, A. (2008): Antropogen påverkan i Sahel – påverkar människans aktivitet NDVI uppmätt med satellit.
143. Paulsson, R. (2008): Analysing climate effect of agriculture and forestry in southern Sweden at Högestad & Christinehof Estate
144. Ahlstrom, A. (2008): Accessibility, Poverty and Land Cover in Hambantota District, Sri Lanka. Incorporating local knowledge into a GIS based accessibility model.

- 145 Svensson T. (2008): Increasing ground temperatures at Abisko in Subarctic Sweden 1956-2006
- 146 af Wåhlberg, O. (2008): Tillämpning av GIS inom planering och naturvård - En metodstudie i Malmö kommun.
- 147 Eriksson, E. och Mattisson, K. (2008): Metod för vindkraftslokalisering med hjälp av GIS och oskarp logik.
- 148 Thorstensson, Helen (2008): Effekterna av ett varmare klimat på fenologin hos växter och djur i Europa sedan 1950.
- 149 Raguz, Veronika (2008): Karst and Waters in it – A Literature Study on Karst in General and on Problems and Possibilities of Water Management in Karst in Particular.
- 150 Karlsson, Peggy (2008): Klimatförändringarnas inverkan på de svenska vägarna.
- 151 Lyshede, Bjarne Munk (2008): Rapeseed Biodiesel and Climate Change Mitigation in the EU.
- 152 Sandell, Johan (2008): Detecting land cover change in Hambantota district, Sri Lanka, using remote sensing & GIS.
- 153 Elgh Dalgren, Sanna (2008): vattennivåförändringar i Vänern och dess inverkan på samhällsbyggnaden I utsatta städer
- 154 Karlgård, Julia (2008): Degrading palsa mires in northern Europe: changing vegetation in an altering climate and its potential impact on greenhouse gas fluxes.
- 155 Dubber, Wilhelm and Hedbom, Mari (2008) Soil erosion in northern Loa PDR – An evaluation of the RUSLE erosion model
- 156 Cederlund, Emma (2009): Metodgranskning av Klimatkommunernas lathund för inventering av växthusgasutsläpp från en kommun
- 157 Öberg, Hanna (2009): GIS-användning i katastrofdrabbade utvecklingsländer
- 158 Marion Früchtl & Miriam Hurkuck (2009): Reproduction of methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions
- 159 Florian Sallaba (2009): Potential of a Post-Classification Change Detection Analysis to Identify Land Use and Land Cover Changes. A Case Study in Northern Greece
- 160 Sara Odelius (2009): Analys av stadsluftens kvalitet med hjälp av geografiska informationssystem.

- 161 Carl Bergman (2009): En undersökning av samband mellan förändringar i fenologi och temperatur 1982-2005 med hjälp av GIMMS datasetet och klimatdata från SMHI.
- 162 Per Ola Olsson (2009): Digitala höjdmodeller och höjdsystem. Insamling av höjddata med fokus på flygburen laserskanning.
- 163 Johanna Engström (2009): Landskapets påverkan på vinden -sett ur ett vindkraftperspektiv.
- 164 Andrea Johansson (2009): Olika våtmarkstypers påverkan på CH₄, N₂O och CO₂ utsläpp, och upptag av N₂.
- 165 Linn Elmlund (2009): The Threat of Climate Change to Coral Reefs
- 166 Hanna Forssman (2009): Avsmältningen av isen på Arktis - mätmetoder, orsaker och effekter.
- 167 Julia Olsson (2009): Alpina trädgränsens förändring över 100 år.s
- 168 Helen Thorstensson (2009): Relating soil properties to biomass consumption and land management in semiarid Sudan – A Minor Field Study in North Kordofan
- 169 Nina Cerić och Sanna Elgh Dalgren (2009): Kustöversvämningar och GIS - en studie om Skånska kustnära kommuners arbete samt interpolations-metodens betydelse av höjddata vid översvämningssimulering
- 170 Mats Carlsson (2009): Aerosolers påverkan på klimatet