



Den alpina trädgränsen i ett föränderligt klimat

Studie över trädgränsen
i de svenska fjällen

JULIA JOHANSSON 2019
HANDLEDARE: JONAS ÅKERMAN
MVEK02 EXAMENSARBETE FÖR KANDIDATEXAMEN 15 HP





WWW.CEC.LU.SE
WWW.LU.SE

Lunds universitet

Miljövetenskaplig
utbildning
Centrum för miljö- och
klimatforskning
Ekologihuset
223 62 Lund

Bild framsida: Vy nära Storulvån, Jämtland. Fotograf: Julia Johansson

Abstract

As temperatures on Earth are rising, the Polar regions experience most rapid climatic changes. In the Swedish Scandes, the alpine tree line is considered as one of the most sensitive indicators of climate change. Therefore, the aim of this study is to study the most important abiotic factors driving position change of the alpine tree line. Through a literature study, these mechanisms were studied and furthermore explored in relation to climate change and its possible future effects on the tree line.

This study shows that temperature can be considered as the most important factor behind tree line position. Other main factors are vegetation season length, snow cover and wind. It was found that tree lines have advanced to higher altitudes during the last century in the Swedish mountains. The maximum detected change found reported in literature, was 200 m. These changes correlates to the atmospheric temperature rise during the same period. Thus, the changes align with recent climate change.

The climate in the Swedish mountain range is according to climate scenarios thought to get both warmer and wetter. This will have implications for the alpine vegetation as rising tree lines alter alpine ecosystems. Through simulations of future tree line advance, the alpine tundra is considered a threatened ecosystem. This could have implications for the biodiversity and the reindeer grazing opportunities of these areas.

Keywords: Tree line, alpine, Sweden, climate change

Innehållsförteckning

Abstract.....	3
Innehållsförteckning	5
1. Inledning	7
1.1. Miljövetenskaplig relevans	7
1.2. Syfte.....	8
1.3. Frågeställningar.....	8
1.4. Etisk reflektion	8
2. Bakgrund	11
2.1. Den alpina trädgränsen i Sveriges fjällkedja.....	11
2.2. Vegetationszoner på fjället	12
2.3. Sveriges klimat	14
2.4. Fjällkedjans klimat	14
2.5. Förändringar av jordens klimat	14
3. Metod	15
3.1. Avgränsningar	15
3.2. Frågeställning 1	16
3.3. Frågeställning 2	17
4. Resultat.....	19
4.1. Trädgränsens mekanismer.....	19
4.1.1. Temperatur	19
4.1.2. Vegetationsperiodens längd.....	20

4.1.3.	Permafrost.....	20
4.1.4.	Vind.....	21
4.1.5.	Snötäcke.....	21
4.1.6.	Topografi och väderstreck	22
4.2.	<i>Klimatet påverkar styrande mekanismer</i>	23
4.3.	<i>Observerade förändringar i fjällkedjans klimat det senaste seklet</i>	23
4.4.	<i>Konstaterade förändringar av trädgränsens position.....</i>	24
4.5.	<i>Förtätning och förändrad artsammansättning nära trädgränsen</i>	25
4.6.	<i>Globala klimatscenarier år 2100</i>	25
4.7.	<i>Scenarier över Sveriges och fjällkedjans klimat år till 2100</i>	26
4.8.	<i>Scenarier för trädgränsen år 2100</i>	27
4.9.	<i>Den historiska trädgränsen: Förändringar av trädgränsen och klimatet under Holocen</i>	28
5.	Diskussion	31
5.1.	<i>Studier av trädgränsens position i den svenska fjällkedjan</i>	31
5.2.	<i>Temperatur och vindklimat.....</i>	32
5.3.	<i>Längre vegetationsperiod och kortare snösäsong</i>	32
5.4.	<i>Är en stigande trädgräns endast av ondo?.....</i>	33
5.5.	<i>Biotiska faktors samspel med abiotiska faktorer</i>	34
5.6.	<i>Den framtida trädgränsen</i>	34
5.7.	<i>Ändrade styrande mekanismer och artskillnader</i>	35
6.	Slutsats.....	37
7.	Referenser	39

1. Inledning

När klimatet på jorden blir varmare, påverkas processer i de flesta ekosystem (IPCC, 2014; Scheffers et al, 2016). Av jordens regioner, påverkas arktiska områden i störst och snabbast utsträckning av pågående klimatförändringar (Myers-Smith & Hik, 2018). Likt det globala klimatet, sker förändringar även i Sveriges klimat (SMHI, 2019b). Sveriges fjällkedja räknas till den subarktiska klimatzonen, och påverkas likt polarnära och arktiska områden, snabbare av klimatförändringarna än andra områden. Detta gör det både viktigt och intressant att utföra klimatforskning i de svenska fjällen.

En tydlig effekt av det förändrade klimatet, är de vegetationsförändringar som ses i de svenska fjällområdena (Kullman och Öberg, 2015). Ofta omnämns den alpina trädgränsens position som en tydlig indikator för arktiska och subarktiska klimatförändringar (Kullman och Öberg, 2015; Kullman och Öberg, 2012). Trädgränsen definieras som den punkt på fjällslutningen där träd högre än två meter finns etablerade. Den varierar mellan trädarter och med avseende på klimatrelaterade faktorer (Kullman och Öberg, 2015). Många klimatrelaterade faktorer påverkar trädgränsens position, såsom temperatur, vegetationsperiodens längd, solinstrålning, snötäcke, väderstreck och vindklimat (Kullman och Öberg, 2015).

Det kommande seklet väntas klimatet i Sverige fortsatt förändras. Det är samtidigt troligt att trädgränsen, i takt med dessa förändringar, förflyttas till högre altituder (Bogaert et al, 2011). Temperaturen tros stiga och nederbörden öka, och konsekvenserna tros bli mest omfattande i de norra delarna av landet (SMHI, 2019a). Dessa förändringar är i linje med globala scenarier för den norra hemisfären (IPCC, 2014). Dessa klimatförändringar kommer också i framtiden påverka fjällkedjans ekosystem, bland annat genom omfattande vegetationsförändringar.

1.1. Miljövetenskaplig relevans

När den alpina trädgränsen förflyttas till allt högre altituder, sker omfattande förändringar av fjällvärldens ekosystem. Vegetationen förändras och kalfjällsområden riskerar att försvinna. För att skydda dessa i många anseenden unika områden, har Sverige upprättat miljömålet *Storslagen Fjällmiljö* (Naturvårdsverket, 2019). Eftersom trädgränsen ofta omnämns som en tydlig indikator för klimatförändringar i fjällvärlden, är studier av denna viktiga för utvärdering och bedömning av arbetet med detta miljömål. Undersökningar av trädgränsens utbredning är även i ett bredare perspektiv intressanta, eftersom eventuella förändringar indikerar framtida

förändringar av fjällandskapet. Dessa områden är ofta helt unika och viktiga ekosystem i fråga om biologisk mångfald och för en fortsatt livskraftig rennäring i Sverige.

1.2 Syfte

Denna studie syftar till att genom en litteraturstudie undersöka den alpina trädgränsen i den svenska fjällkedjan. Detta genom att studera och skapa en översikt över vilka bakomliggande mekanismer som påverkar trädgränsens position. Med bakomliggande mekanismer avses abiotiska faktorer, alltså icke-levande faktorer såsom temperatur och nederbörd. Vidare ska förändringar av trädgränsens position undersökas i relation till pågående klimatförändringar.

1.3. Frågeställningar

- ❖ Vilka klimatrelaterade mekanismer påverkar den alpina trädgränsens position i Sveriges fjällområden?
- ❖ Hur påverkas fjällkedjans alpina trädgräns och dess position av pågående och kommande klimatförändringar? Vilka observationer har gjort det senaste seklet och vilka förändringar kan komma att ske under det kommande seklet?

1.4. Etisk reflektion

Undersökningar av trädgränsens position kan kopplas till kalfjällets utbredning och dess potentiella areella minskning. Dessa områden är viktiga och unika ekosystem för många arter och är värd för stor biologisk mångfald. Vid bedömning av värdet av att bevara olika typer av ekosystem, samt vid bedömning av ifall eventuella åtgärder för bevarande av specifika arter och den biologiska mångfalden ska implementeras, kan nytta dras av studier om trädgränsen. Detta eftersom trädgränsen är högst dynamisk och förändringar av dess position riskerar att medföra omfattande förändringar av fjällvärldens ekosystem.

Kalfjällsområdena är viktiga för samernas rätt att bedriva rennäring, vilken är skyddad enligt Regeringsformen, 2 kap. 17§ och av urminnes hävd (Rennäringslagen, 1§). En stigande trädgräns kan därför påverka möjligheterna att bedriva rennäring i de fjällområdena. Det är därmed viktigt att diskutera och ta dessa aspekter i beaktande då kunskap om trädgränsens förändring analyseras och används. Många aktörer och intressen är närvarande i den svenska fjällvärlden. Både forskning och

åtgärdsimplementering bör därför ha en tydlig bild av fjällområdenas förutsättningar och utmaningar.

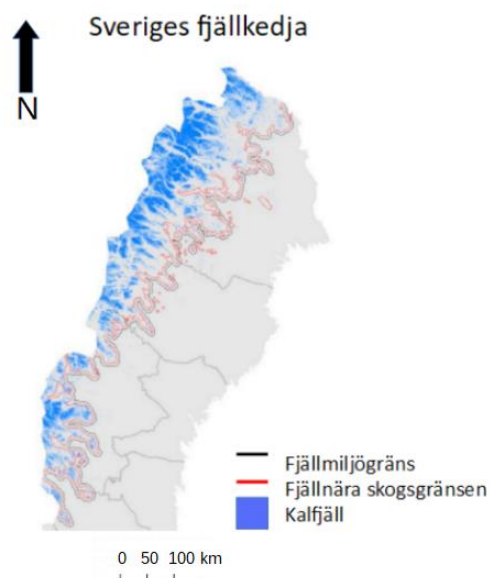
Vidare kan skogsnäringens utformning ha påverkan på trädgränsens position. Detta diskuteras exempelvis av Bognounou et al (2018). Denna studie föreslår att sättet som skogsbruket idag bedrivs i Sverige i framtiden skulle kunna påverka kalfjällets utbredning negativt, främst genom möjlig inverkan på barrträdens etablering i kalfjällsområden (Bognounou et al, 2018).

2. Bakgrund

2.1. Den alpina trädgränsen i Sveriges fjällkedja

Trädgränsen kan avse utbredningsgränser för trädarter både efter latitud och altitud (Körner, 1998). Den alpina trädgränsen åsyftar den vertikala utbredningsgränsen i bergsområden och definieras som den punkt på fjällsluttningen där träd högre än två meter existerar. Denna punkt varierar mellan trädarter och med avseende på klimatrelaterade faktorer (Kullman, 1979; Kullman och Öberg, 2015). Definitionen anses dock vara en känslig indikator för klimatförändringar i fjällen och därmed möjliggöra jämförelser både över tid och rum (Kullman och Öberg, 2015). Trädgränsen i alpina miljöer följer generellt isolinjen motsvarande en medeltemperatur på 10° C, mätt för varmaste sommarmånaden (Virtanen et al, 2004). Den slutna skogen begränsas av skogsgränsen, vilken är mer variabel och inte möjliggör rumsliga jämförelser på samma sätt som för trädgränsen (Kullman och Öberg, 2015). Generellt växer fjällbjörken (*Betula pubescens ssp. czerepanovii*) högre upp på fjällsluttningar än övriga trädarter, varigenom fjällbjörkens trädgräns i allmänhet är den högst belägna (Kullman, 2013). Granens (*Picea abies*) trädgräns återfinns generellt cirka 50 m lägre än fjällbjörkens trädgräns och tallens (*Pinus sylvestris*) ungefär 100 meter lägre (Kullman, 2013). I vissa områden i Dalarna och Härjedalen, växer dock barrskogen högst upp på grund av att klimatet lokalt är kontinentalt betingat (Öberg, 2008).

I Sveriges fjällkedja, som sträcker sig från Dalarna i söder till nordligaste Lappland, återfinns trädgränsen på varierande höjd, både lokalt och regionalt räknat. En karta över fjällkedjan ses i Figur 1. I de södra delarna av fjällkedjan återfinns trädgränsen på cirka 900 m höjd, medan den i de nordligaste delarna ligger på 600 m (SMHI, 2019b). Samtidigt beskriver Kullman och Öberg (2012), att fjällbjörkens trädgräns i den södra fjällkedjan återfinns cirka 1140 meter över havet (m.ö.h) och i norr ungefär 800 m.ö.h. Tidigare studier över trädgränsen i de svenska fjällen, fokuserar övervägande på de södra delarna av Skanderna (Kullman och Öberg, 2009; Kjällgren och Kullman, 1998). Det är därför av intresse att också sammanställa information för att se liknande utveckling tycks ske i den norra fjällkedjan.



Figur 1: Karta över Sveriges fjällområden. Kartan är rekonstruerad utifrån karta och information hämtad från Naturvårdsverkets rapport om miljömålet *Storslagen fjällmiljö* (Naturvårdsverket, 2019).

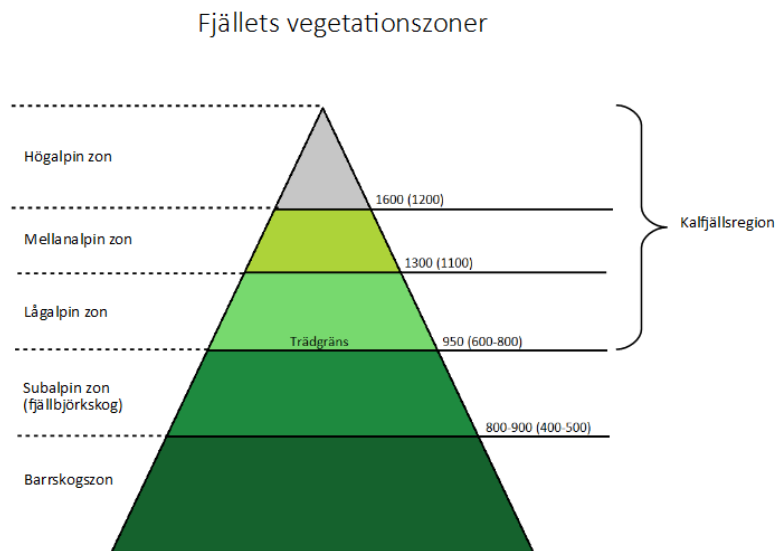
2.2. Vegetationszoner på fjället

I Skandinaviens fjällområden kan vegetationen vertikalt indelas i vegetationszoner, vilkas utbredning huvudsakligen är temperaturberoende. Temperaturen avtar generellt med $0,6^{\circ}\text{C}$ per 100m höjdmässigt, varefter vegetationen förändras (Lundqvist och Sjörs, 1984). Dessutom ökar nederbörden med höjden, samtidigt som vegetationsperioden blir kortare, vilket också bidrar till vegetations-uppdelningen (Rafstedt, 1984). En schematisk figur över vegetationszonerna ses i Figur 2.

De lägst liggande områdena täcks av barrskog, varefter zonen benämns som barrskogszonen. Därefter följer den subalpina zonen, dominerad av fjällbjörkskog. Marktäcket under fjällbjörkskogen domineras ris, som blåbär (*Vaccinium myrtillus*) och kråkbär (*Empetrum nigrum*) (Lundqvist och Sjörs, 1984). Sedan följer ett lågalpint bälte. Det i den subalpina karaktäristiska risdominerade marktäcket, fortsätter upp i den lågalpina zonen. Videarter (*Salix*), dvärgbjörk (*Betula nana*) och en (*Juniperus communis*)

förekommer här (Lundqvist och Sjörs, 1984). Risarterna dominerar alltså vegetationen på denna höjd av fjällsluttningen, ibland i kombination med enstaka fjällbjörkar (Lundqvist och Sjörs, 1984). Dock räknas gränsen mellan den subalpina fjällbjörkskogen och efterföljande lågalpin zon som den position där trädgränsen återfinns. Denna position är starkt betingad av såväl den avtagande temperaturen, som den med höjden tilltagande vindstyrkan (Öberg, 2008).

Ovan trädgränsen tar kalfjället vid. Efter den lågalpina zonen återfinns den mellanalpina zonen. I både den mellan- och högalpina zonen domineras vegetationen av längre växtlighet (Lundqvist och Sjörs, 1984). Kalfjället räknas till biomet tundra, vilken är ett av de största biomen globalt (Virtanen et al, 2016). I den mellanalpina zonen ersätts risväxtligheten i huvudsak av gräshedar, vilka domineras av diverse gräs, halvgräs och carexarter (Lundqvist och Sjörs, 1984). På grund av de kärva förhållandena, är vegetationen i den högalpina zonen kraftigt begränsad och består till stor del av blockmark (Lundqvist och Sjörs, 1984).



Figur 2: Fjällets vegetationszoner, samt vid vilka altituder de förekommer. Altituderna hänvisar till antalet meter över havet. Figuren konstruerades utifrån information från (Rafstedt, 1984).

2.3. Sveriges klimat

Sveriges klimat är mildare än andra områden vid samma latitud, främst under vinterhalvåret, vilket beror på närheten till Atlanten och golfströmmen (SMHI, 2019b). Landets södra kustområden klassificeras som varmtempererat klimat, naturligt huvudsakligen dominerat av lövskog (SMHI, 2019b). Övriga delar av Sverige ligger i den kalltempererade klimatzonen, vilken vegetationsmässigt karaktäriseras av barrskog samt längre, snörika vintrar. De delar av fjällkedjan som domineras av kalfjäll, klassificeras till den polara klimatzonen. Denna klassificering utgår från Köppens klimatzoner (SMHI, 2019b).

2.4. Fjällkedjans klimat

Generellt är fjällkedjans klimat maritimt präglat, vilket betyder att klimatet är relativt milt och fuktigt (Rafstedt, 1984). Den fuktiga luften förs från Atlanten och faller som regn eller snö över fjällkedjan. Torrare och mer kontinentalt präglat klimat uppstår därmed öster om fjällkedjan, exempelvis i norra Dalarna, Härjedalen och norra Lappland (Rafstedt, 1984). Årsmedeltemperaturen varierar kraftigt inom fjällkedjan. De högsta temperaturerna förekommer i Jämtlands- och södra Lapplandsfjällen, medan de lägsta temperaturerna råder i den nordligaste delen av fjällkedjan. Variationen i årsmedeltemperaturen mellan åren 1961–1990 var -9°C till $2,5^{\circ}\text{C}$ (SMHI, 2012). Nederbördsmängderna i Sveriges fjällregion varierar mycket både regionalt och lokalt. Fjällregionerna nära Norge, kan få årliga nederbördsmängder på 1500–2000 mm. Skyddade dalgångar samt de östliga delarna av fjällkedjan, kan ha nederbördsmängder om endast 400 mm per år (SMHI, 2019b). Fjällkedjan täcks av snö 6–8 månader om året (SMHI, 2019b).

2.5. Förändringar av jordens klimat

Förändringar av jordens klimat kan ske naturligt eller pådrivas av mänsklig påverkan (IPCC, 2014). Växthuseffekten orsakar uppvärmning av jordytan och atmosfären, vilken förstärks genom de mänskligt orsakade klimatförändringarna. (IPCC, 2014). Detta sker bland annat genom ökade koncentrationer aerosoler och växthusgaser i atmosfären, där koldioxid och metan är de viktigaste (IPCC, 2014). Jordens ytmedeltemperatur, beräknat för både land- och vattenmassor, steg med $0,85^{\circ}\text{C}$ mellan åren 1880–2012, detta beräknat utifrån flertalet av varandra oberoende mätningar (IPCC, 2014).

3. Metod

Eftersom trädgränsens position och förändring anses bero på ett komplext samspel mellan flertalet faktorer, är det av intresse att genom en litteraturoversikt sammanställa relevant information på området. Detta eftersom kunskaper om trädgränsen kan användas i syfte att undersöka klimatförändringarnas påverkan på arktiska områden (Kullman och Öberg, 2009). Frågeställningarna studerades genom litteratursökningar, för vilka sökprocessen konstruerades utifrån Biologibiblioteket vid Lunds universitets guide för litteraturoversikter (Lunds universitet, 2019). Dessa genomfördes i databasen Scopus och gjordes på engelska, utifrån för frågeställningarna relevanta sökord och avgränsningar. Sökord och avgränsningar, samt relevanta sökordssynonymer, bestämdes utifrån testsökningar. Testsökningarna gjordes både i databaserna Scopus och Web of Science, varefter databasernas sökningar jämfördes. De vetenskapliga artiklarna som genom litteraturoversikten insamlades, kompletterades med information från rapporter och myndigheter, exempelvis IPCC, SMHI och Naturvårdsverket. Vidare tillämpades "snöbollsmetoden" genom att ytterligare relevanta artiklar hittades i referenslistorna till de genom litteraturoversikten funna artiklarna. Ett relativt stort antal artiklar har i arbetet inkluderats, vilka på ett objektivt sätt har analyserats och på ett tydligt sätt refererats till. Att inkludera ett brett material var vidare också ett viktigt etiskt avvägande, eftersom detta möjliggjorde att en så tillförlitlig bild som möjligt kunde presenteras av trädgränsens komplexa samband.

3.1. Avgränsningar

Studien avgränsades till att undersöka den alpina trädgränsen i den svenska fjällkedjan. Rapporten diskuterar enbart den alpina trädgränsen för arterna fjällbjörk (*Betula pubescens ssp. czerepanovii*), gran (*Picea abies*) och tall (*Pinus sylvestris*), eftersom detta är de främst förekommande trädarterna i samband med Sveriges fjällområdets trädgräns. Antropogen påverkan studerades enbart genom inverkan genom pågående klimatförändringar. Därmed uteslöts annan antropogen inverkan, såsom förändrad markanvändning, avverkning och liknande. Studien avgränsades till att undersöka abiotiska faktorer.

3.2. Vilka klimatrelaterade mekanismer påverkar den alpina trädgränsens position i Sveriges fjällområden?

Efter att relevanta sökord identifierats för frågeställningen, genomfördes en litteratursökning. För frågeställning 1 genomfördes sökningen enligt processen i Tabell 1. De booleanska operatorerna OR och AND nyttjades, och en stjärna (*) infogades efter de ord där alla ändelser skulle inkluderas. Sökningen avgränsades till sökning i titel, nyckelord och abstract. Sökresultatet bestod av 148 artiklar som sorterades efter relevans, och avgränsades till vetenskapliga artiklar och geografiskt till Sverige. Sökningen avgränsades inte i tid, eftersom det för syftet och frågeställningen ej ansågs vara av relevans. Detta möjliggjorde också ett brett sökresultat för översikten över trädgränsen i Sverige.

Utifrån sökresultatet gjordes ett första urval enligt uppsatta inkluderings- och exkluderingsvillkor genom läsning av artiklarnas titel och abstract. Urval 1 gav 30 artiklar. Artiklar inkluderades som beskrev abiotiska faktorer bakom trädgränsens position och förändring. Eftersom studien studerar den nutida trädgränsen, exkluderades de artiklar som diskuterade trädgränsen i ett historiskt perspektiv, det vill säga innan år 1900. De artiklar som diskuterade biotiska faktorer, såsom betning från djur (herbivori), exkluderades också. Ett sista urval gjordes slutligen efter att första urvalets artiklar lästs igenom fullständigt. Urval 2 gav 8 artiklar, som valdes ut och sorterades därefter i kategorier efter de mekanismerna för trädgränsen identifierades.

Tabell 1: Tabellen visar sökprocessen för sökningen till frågeställning 1.

Databas/ Datum	Sökord	Avgränsningar	Antal träffar	Urval 1	Urval 2
2019-04-23 Scopus	”Tree line” OR ”Tree limit” OR Tundra OR “Alpine tree line” OR “Timber line” OR “Tundra forest ecotone” AND Mechanism* OR Factor* OR Control* OR Dynamic* AND Swed* OR Fennoscandia OR Scandi* OR “North Sweden”	Sverige, enbart vetenskapliga artiklar.	148	30	8

3.3. Hur påverkas trädgränsens position av pågående och kommande klimatförändringar?

Sökprocessen för frågeställning 2 var identisk med den som användes för den första sökningen, men sökorden anpassades till frågeställning 2, se Tabell 2. Dessutom adderades en tidsavgränsning, vilken bestämdes till årtalen 2010–2019. Detta ansågs relevant, eftersom det är viktigt att resultatet innefattar de senaste studierna om klimatets inverkan på trädgränsens position. Sökningen gav 72 träffar.

Utifrån sökresultatet gjordes ett första urval genom läsning av artiklarnas titel och abstract. Artiklar med tydlig koppling till stigande temperaturer eller klimatförändringar inkluderades, i kombination med diskussion av den nutida alpina trädgränsen. Även artiklar med fokus på mer generella vegetationsförändringar i fjällmiljöer inkluderades. Artiklar med fokus på biotiska faktorer uteslöts. Urval 1 inkluderade 32 artiklar. Ett andra urval gjordes sedan efter fullständig läsning av artiklarna i urval 1. Studier med observationer av trädgränsens förändring under det senaste seklet, eller med diskussion om klimatets påverkan på trädgränsen idag eller i framtiden inkluderades. Urval 2 gav 8 artiklar. Även en mindre sökning genomfördes över trädgränsen under holocen, i syfte att vidga perspektivet av nutida trädgränsförändringar. Sökningen gav 5 träffar, varav 3 ansågs relevanta.

Tabell 2: Tabellen visar sökprocessen för sökningarna till frågeställning 2.

Databas: Datum:	Sökord	Avgränsningar	Antal träffar	Urval 1	Urval 2
Scopus 2019-05-01	"Tree line" OR "Tree limit" OR Tundra OR "Alpine tree line" OR "Timber line" OR "Tundra forest ecotone" OR "Forest expansion" OR "Tree expansion" AND "Climate change" OR Climate* OR Trend* AND Swed* OR Fennoscandia OR Scandi* OR "North Sweden"	Avgränsning till Sverige och åren 2010–2019, endast vetenskapliga artiklar.	72	32	8
Scopus 2019-04-24	"Holocene tree line"	Avgränsning till Sverige, endast vetenskapliga artiklar.	5	5	3

4. Resultat

Förändringar av trädgränsen kan ske genom förändrad position, struktur eller förändringar i artsammansättningen. Dessa förändringar sker genom två huvudsakliga processer; fenotypisk eller genotypisk förändring (Öberg, 2008). Den genotypiska förändringen innebär etablering eller förlust av nya individer, medan den fenotypiska förändringen härrör från nedbrytning eller tillväxt av redan etablerade träd (Öberg, 2008). Trädgränsens position och uppbyggnad beror på ett komplext samspel mellan flertalet faktorer. Komplexiteten och variabiliteten är större på lokal skala än regionalt (Kullman och Öberg, 2012). Samtidigt, likt konstaterat av Kullman och Öberg (2009), är merparten studier över trädgränsen genomförda i väl avgränsade områden, vilket kan vara en försvårande faktor i försöket att förstå mer regionala trender och mekanismer.

De huvudsakliga trädarterna vid den svenska trädgränsen är fjällbjörk, gran och tall. Arterna är anpassade till något olika klimat, där fjällbjörken anses vara anpassad till ett snörikt, maritimt präglat klimat (Öberg, 2008). Granen föredrar ett fuktigt klimat. Snötäcket ska vara långvarigt, marken näringsrik och tjälen ytlig eller obefintlig (Öberg, 2008). Tallen trivs i kontrast till granen och fjällbjörken, i mer kontinentalt präglat klimat. Den växer i torrare och näringsfattigare områden, med ett tunnare snötäcke (Öberg, 2008).

4.1. Trädgränsens mekanismer

4.1.1. Temperatur

Temperaturen är en starkt begränsande faktor för vegetationens tillväxt i arktiska och subarktiska regioner. Betydelsen blir allt tydligare närmare arters utbredningsgränser efter både latitud och altitud (Körner, 1998). Trädgränsen är per definition ett tydligt exempel på en väl definierad utbredningsgräns för specifika arter (Kullman och Öberg, 2015). De maximala förändringar av trädgränsen som uppmätts i de svenska fjällen det senaste seklet, med en ungefärlig stigning om 200 meter, är överensstämmande med de temperaturförändringar som skett under samma tidsperiod (Kullman och Öberg, 2009; Kullman, 2010). Förändringarna stämmer överens med regeln att temperaturen

avtar 0,6° C per 100 m höjdmässigt. Kullman (2014) kartlade tallens trädgräns i Jämtland under en 40-årig period. De förhöjningar av trädgränsen som uppmättes, korrelerade med förändringar både i vinter- och sommartemperatur (Kullman, 2014). Samtidigt visade Kullman (2007) i studien att tallens tillväxt på högre altituder korrelerade med förändringar i vintertemperaturen.

Indirekt är temperaturen också en viktig begränsande faktor för fjällvegetationen, eftersom den även påverkar andra processer, såsom näringstillgång (Sundqvist et al, 2014). Med temperatur kan tolkas in både lufttemperatur och marktemperatur (Weih och Karlsson, 2001). Weih och Karlsson (2001), kunde visa att ökad lufttemperatur ökade vegetationens produktivitet ovan jord. Samtidigt ökade rotsystemets tillväxt vid ökad marktemperatur, vilket också stimulerade upptaget av kväve. Studien genomfördes i arktiskt klimat, varvid resultaten kan appliceras på områden av liknande klimat (Weih och Karlsson, 2001). Likt denna studie, undersökte Sundqvist et al (2014) relationen mellan temperatur och näringstillgång för kalvfjällsvegetation och lade fram att näringstillgångens begränsning kan komma att förändras i samband med stigande temperaturer, vilket påverkar vegetationens förutsättningar.

4.1.2. Vegetationsperiodens längd

Vegetationsperioden definieras vanligtvis som delen av året då dygnsmedeltemperaturen överstiger 3–5° C (Persson, 2015). Vegetationsperiodens start infaller då denna temperatur uppnås under minst fyra dagar i streck. I fjällkedjan skiftar längden på vegetationsperioden från upp till 130 dagar i de södra delarna, till endast 100 dagar i norr (Persson, 2015). Vegetationsperioden varierar mellan arter, men verkar begränsande för samtlig vegetation i fjällområden. Detta främst genom att en kort vegetationsperiod resulterar i låg tillväxt och produktivitet, vilket minskar vegetationens motståndskraft mot en lång vinter med låga temperaturer (Lundqvist och Sjörs, 1984).

4.1.3. Permafrost

I arktiska och alpina områden medför den låga årsmedeltemperaturen att en del av marklagret är permanent fruset. I detta marklager sägs därför permafrost råda. Ovan permafrostlagret, återfinns ett aktivt marklager, vilket varierar mellan fruset och upptinat i takt med de årstidsbundna temperaturförändringarna (Stiegler et al, 2016). Dessa cykler påverkar jordens egenskaper och inverkar på växtligheten och produktiviteten (Stiegler et al, 2016). Åkerman och Johansson (2008), undersökte permafrosten och det aktiva marklagrets tjocklek i området kring Torneträsk, i nordligaste Sverige, varigenom det aktiva marklagrets tjocklek kunde konstateras ha

ökat i takt med stigande temperaturer. Avsaknad av permafrost påverkar markens näringstillgång och hydrologi, samt utbytet av växthusgaser mellan marken och atmosfären. Dessa förändringar kan bland annat ses genom förändringar i fjällvegetationen (Åkerman och Johansson, 2008).

Under en nyligen publicerad studie, undersöktes fenologi, artsammansättning och tillväxt hos vegetationen vid den latitudinella buskgränsen i arktiska Kanada (Latitud: 69,6° N; jämför Treriksröset: 69,1° N) under 18 år (Meyers-Smith et al, 2019). Rent vegetationsbaserade indikatorer kompletterades med information om klimatrelaterade faktorer. Däribland visade studien, likt den vid Torneträsk, att det aktiva marklagrets djup hade ökat med 20 cm mellan åren 1985–2017. Också marktemperaturen steg under samma period (Meyers-Smith et al, 2019). Detta tyder alltså även här på att permafrosten tinar. Samtidigt kunde vegetationsförändringar observeras, likt ökat täcke av buskar och dessutom allt högre växtlighet (Meyers-Smith et al, 2019).

4.1.4. Vind

Vind är en begränsande faktor för trädgränsen och vegetationen på fjället, vars betydelse ökar med höjden på fjället. Fjällsidor som utsätts för lägre vindhastigheter, resulterar vanligen i en högre trädgräns än på de fjällsidor där starkare vindar råder (Kullman och Öberg, 2009). Vindens styrka och riktning styrs i bergsområden av topografiska variationer, men också av trädpopulationens utbredning och täthet (Holtmeyer och Broll, 2010). Generellt begränsar starka och ihållande vindar trädens tillväxt på höjden. Samtidigt kan vinden i sig orsaka asymmetri i själva populationens tillväxt (Holtmeyer och Broll, 2010). Vinden är starkare på vintern än övriga delar av året. Likt temperaturens påverkan på trädgränsen, är vindens effekt också i många fall indirekt, eftersom den exempelvis kan påverka snötäckets utbredning eller tjocklek (Holtmeyer och Broll, 2010).

4.1.5. Snötäcke

Snö är en central del i ekosystem vid höga latituder. Såväl vegetationens fenologi, artsammansättning och tillväxt påverkas av snöförhållandena. Fenologiska variationer innebär att växtens återkommande processer, såsom lövsprickning och blomning, förändras och påverkas av i det här fallet snöförhållandena (Wipf et al, 2009). Lokalt korrelerar en högre trädgräns med fjällsidor som utsätts för lägre vindstyrkor, vilket ger stora lokala variationer. Dessa platser kan generellt kopplas till en större ackumulation av snö under vinterhalvåret (Kullman och Öberg, 2009). Sammanställningen av Öberg (2008), visade att högre etablering av fjällbjörken gynnades i fuktiga och snörika områden. Även granen gynnades av ett bestående

snötäcke, medan tallen anses klara sig i områden med tunnare snötäcke (Öberg, 2008). Ett bestående snötäcke kan under vinterhalvåret verkade skyddande på vegetationen genom sin isolerande effekt (Öberg, 2008). Johansson et al (2013) visade att ett tjockare snötäcke resulterade i en högre marktemperatur än vid platser med tunnare snötäcke.

På mer regional skala, faller en större andel av årsnederbörden som snö i de norra delarna av fjällkedjan än i de södra (Persson, 2015). Dock kan variationerna vara stora lokalt på grund av den varierande topografin. I Lapplandsfjällen ligger snötäcket i genomsnitt under 225 av årets 365 dagar, medan de mellersta och södra delarna av fjällen snarare är snötäckta mellan 175–200 dagar per år (Persson, 2015). Chapin et al (2005), nämner att anledning till uppvärmning av arktiska områden är den förlängda snöfria säsongen. Dock beräknas effekten av kortare snöperiod minska i takt med att vegetationen utökas (Chapin et al, 2005).

4.1.6. Topografi och väderstreck

Trädgränsen når generellt högre altituder på fjällsluttningar i sydlig och västlig riktning. Vidare kunde trädgränsen konstateras vara etablerad vid högre altituder på starkt sluttande fjällsidor (Kjällgren och Kullman, 1998). Detta beror på att dessa förutsättningar resulterar i förhållanden med högst solinstrålning och temperatur. Trädgränsens position kan inom en kilometers avstånd variera med ± 50 meter, trots likvärdig lutning på fjällsidorna (Kjällgren och Kullman, 1998). Den varierande topografin i fjällområdena ger vidare lokalt upphov till att mer eller mindre vindutsatta platser uppkommer. Träd etablerar sig i dessa fall enklare på de platser där svagare vindar påverkar vegetationen (Kjällgren och Kullman, 1998).

Vid en kartläggning av trädgränsen, som genomfördes på åtta lokaler kring Abisko i nordvästliga Sverige mellan år 1912–2009, kunde stora lokala variationer av trädgränsens dynamik uppmätas (Van Bogaert et al, 2011). I motsats till vad som observerades av Kjällgren och Kullman (1998), hade de östligt liggande sluttningarnas trädgräns stigit med 60 meter mellan 1912–2009, medan de söderliggande fjällsidornas trädgräns inte hade förändrats (Van Bogaert et al, 2011). Sammantaget, har alltså både väderstreck och topografi i form av sluttningsgrad betydelse för trädgränsens position.

4.2. Klimatet påverkar styrande mekanismer

Trädgränsen styrs regionalt av huruvida området domineras av kontinentalt eller maritimt klimat, medan lokala variationer snarare huvudsakligen styrs av fluktuationer i mikroklimatet (Kjällgren och Kullman, 1998). Olika delar av fjällkedjan domineras av maritimt respektive kontinentalt klimat, varigenom de styrande mekanismerna för trädgränsens position varierar (Grace, 1977). I områden med kontinentalt klimat styrs trädgränsen huvudsakligen av temperatur och froststress (Grace, 1977). I områden med maritimt klimat, är däremot vindstyrka en viktig begränsande faktor (Körner, 2012). Under en studie i Jämtland-Härjedalen, undersökte Kullman och Öberg (2012), korrelationen mellan fjällbjörkens trädgräns mot en gradient över klimatet. Denna visade att ökad influens från kontinentalt klimat, resulterade i ett bredare subalpint fjällbjörksbälte. Det innebar också en ökad distans mellan trädarternas individuella trädgränser (Kullman och Öberg, 2012).

Tätare vegetation kan generellt växa vid högre altituder på platser med ökad inverkan från kontinentalt klimat, vilket tros bero på att dessa områden oftast når högre temperaturer under sommaren (Kjällgren och Kullman, 1998). Det bidrar till högre tillväxt för vegetationen, i jämförelse med mer maritimt präglade områden, även om dessa generellt har av ett mildare klimat sett över hela året (Kjällgren och Kullman, 1998). Även här, där trädgränsen i den södra fjällkedjan undersöktes mellan åren 1915–1975, fanns en korrelation mellan trädgränsens position och närheten till havet och således ett samband mellan trädgränsens position och typ av klimat (Kjällgren och Kullman, 1998).

4.3. Observerade förändringar i fjällkedjans klimat det senaste seklet

Globala mätningar av temperaturen mellan åren 1901–2012, visar att norra hemisfärens högre latituder uppvisar en större temperaturökning än det globala medelvärdet. Liknande observationer av nederbörd mellan åren 1951–2010, visar att samma områden generellt fått ökad nederbörd (IPCC, 2014). I den svenska fjällkedjan, har förändringar i både temperatur och nederbörd kunnat uppmätas under de senaste decennierna. Temperaturen i Sverige stiger och gör detta mest i de norra delarna av landet. I de södra delarna av fjällkedjan, ökade den årliga medeltemperaturen med 0,8° C mellan åren 1926–2004 i jämförelse med perioden 1860–1925 (Kullman, 2007). Nederbörden i samma region har ökat sett över hela året, dock mest under vintern (Kullman, 2007). Enligt mätningar från Abisko, har temperaturen i området stigit med 2,5° C mellan åren 1913–2006 (Callaghan et al, 2010). Kullman (2007) fastställer också

att vindflödet i väst-östlig riktning samt förekomsten av stormigt väder har ökat sedan 1960-talet i den södra fjällkedjan.

4.4. Konstaterade förändringar av trädgränsens position

Under en studie över trädgränsens förändring i Jämtlands- och Härjedalsfjällen, kunde förändringar av dess position konstateras vid 95 % av lokalerna mellan åren 1915–2007. Likartade förändringar kunde ses för såväl fjällbjörken, som tall och gran, vilkas trädgränser alla stigit (Kullman och Öberg, 2009). Fjällbjörken etablerade sig snabbare på högre altituder än tall och gran, vars etablering skedde senare under den studerade tidsperioden. I medel steg trädgränserna med 70–90 meter, med en maximal stigning om 200 meter. Vid en lokal hade fjällbjörken dock vandrat 15 meter nedåt (Kullman och Öberg, 2009).

Van Bogaert et al (2011), undersökte klimatets påverkan på trädgränsen i området kring Torneträsk i nordligaste Sverige. Under studien konstaterades att trädgränsen förändrats vid fyra av åtta lokaler sedan år 1912. Den medelmässiga förändringen var en stigning med 24 meter, medan trädgränsen maximalt hade stigit 145 meter (Van Bogaert et al, 2011). Den främsta etablering på högre altituder skedde under 60- och 70-talet. Etableringen korrelerade dock också starkt med perioder av lägre renpopulationer i området (Van Bogaert et al, 2011).

Kullman (2014), undersökte hur tallen och dess trädgräns förändrats i Jämtlandsfjällen mellan åren 1973–2012 och fann att populationen vid alla studerade lokaler hade uppnått en genomsnittlig ökning med 28,9 %. Tillväxten var som högst mellan åren 1988–2005, varefter tillväxten var avtagande. Förändringarna korrelerade med uppmätta förändringar av både vintertemperaturer och sommartemperaturer under studiens pågående (Kullman, 2014).

Kullman (2007), undersökte trädgränsens förändring, också det i Jämtlandsfjällen, med hjälp av 12 transekter. Mellan åren 1915–2004, kunde en stigande trädgräns för fjällbjörken konstateras vid samtliga lokaler. Förändringen var mellan 75–130 meter. Majoriteten av dessa träd hade utvecklats från buskvegetation. Detta tyder på att trädgränsen förändrats genom en fenotypisk process, alltså att förändringen skett genom att redan existerande individer vuxit sig högre än 2 meter (Kullman, 2007).

4.5. Förtätning och förändrad artsammansättning nära trädgränsen

Förändringar fjällvegetationen kan inte enbart ses genom trädetablering i tidigare kalfjällsområden, utan också genom successiv förtätning (Van Bogaert et al, 2011). Rundqvist et al (2011), genomförde en 34 år lång studie över förändringar i täckningen av träd- och buskarter i Abisko. I testrutor placerade kring trädgränsen, mättes Vegetationstäckningen under åren 2009–2010 och jämfördes med åren 1976–1977. Fjällbjörken uppvisade en signifikant ökning i täckningsgraden, i tre av fyra testrutor var ökningen närmare 500 % (Rundqvist et al, 2011). Samtidigt påvisades ingen signifikant ökning i antalet trädstammar. Detta tyder alltså på att redan existerande individer vuxit sig större, utan att någon nyetablering av nya träd skett (Rundqvist et al, 2011). Molau et al (2010), beskriver också vegetations-förändringar, där områden som tidigare karaktäriserades som gräsbevuxen tundra nu omvandlats till buskbevuxen tundra. Detta tyder, även om de studerade områdena kring Latnjajaure i norra Sverige fortfarande klassas som tundra, på att omfattande vegetationsförändringar sker också kring trädgränsen (Molau et al, 2010). Samtliga av fjällens vegetationszoner tycks alltså, likt trädgränsen, stiga till allt högre altituder i takt med att klimatet i fjällen förändras (Molau et al, 2010).

4.6. Globala klimatscenarier år 2100

Atmosfärens medeltemperatur beräknas stiga. I jämförelse med jordens medeltemperatur mellan åren 1996–2005, beräknas temperaturen öka med 0,3–0,7° C mellan åren 2016–2035 (IPCC, 2014). Denna beräkning tar dock ej hänsyn till förändringar i gaser som metan eller till eventuella vulkanutbrott. IPCC har konstruerat fyra klimatscenarier, vilka ses i tabell 3 (IPCC, 2014). Vidare fastställs med hög säkerhet att arktiska områden fortsatt kommer påverkas snabbare än andra områden och alltså uppleva en ännu snabbare temperaturökning (IPCC, 2014).

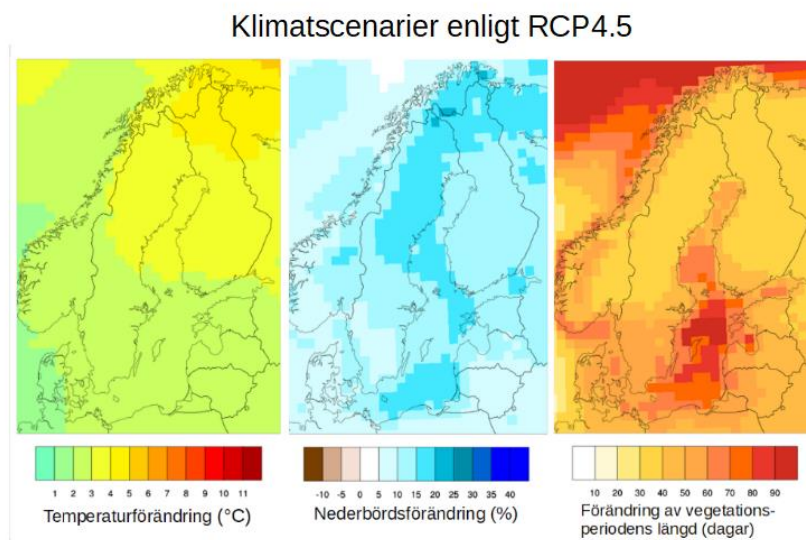
Tabell 3: Klimatscenarier och troliga förändringar av medeltemperatur år 2100. Källa information i tabell (IPCC, 2014).

IPCC klimatscenario	Förändring i temperatur
RCP2.6	0,3–1,7°C
RCP4.5	1,1–2,6°C
RCP6.0	1,4–3,1°C
RCP8.5	2,6–4,8°C

4.7. Scenarier över Sveriges och fjällkedjans klimat år till 2100

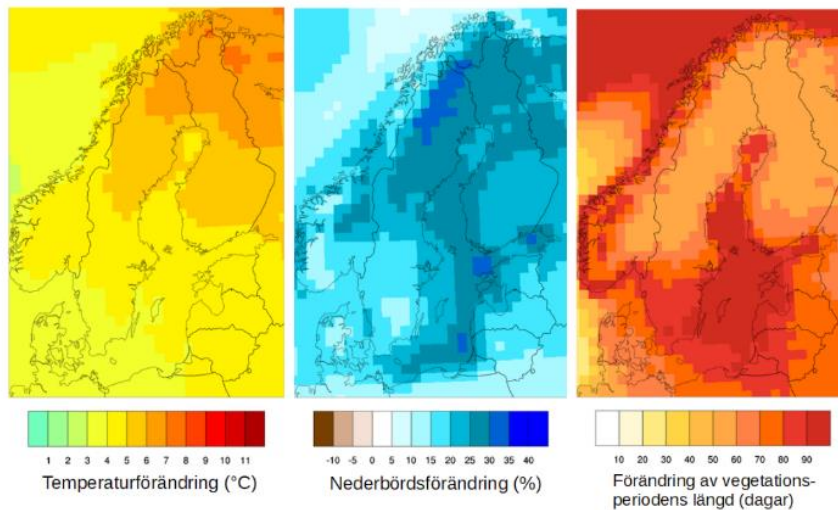
Temperaturen väntas stiga i hela fjällregionen mot detta sekels slut (SMHI, 2012). I Norrbottensregionen tros temperaturen öka med 4–6° C (Gustavsson et al, 2011). Åren 1961–1990 användes som referensperiod och ökningen beräknas påverka alla årstider, om än mest vintertid (Gustavsson et al, 2011). Vegetationsperiodens start inföll för referensperioden under senare delen av maj och avslutades i september månad i fjällkedjan. Vegetationsperioden väntas förlängas med 25–75 dagar mot seklets slut, i jämförelse med åren 1961–1990, där den största ökningen väntas i slutet av vegetationsperioden (SMHI, 2012). Nederbörden väntas öka med 10–40 % vid slutet av detta sekel, i jämförelse med åren 1961–1990, med högst ökning vintertid (SMHI, 2012).

SMHI tillhandahåller klimatscenariodata genom forskningen som bedrivs vid klimatmodelleringsenheten Rossby Centre (SMHI, 2019a) Scenarierna är baserade på nio olika klimatscenarier, och följer därefter IPCC:s scenarier för år 2100, se Tabell 3 (SMHI, 2019a). Nedan ses scenarierna för förväntad förändring för temperatur, nederbörd och vegetationsperiodens längd. I Figur 3, är scenarierna anpassade efter RCP4.5. Figur 4, visar istället en anpassning av scenarierna till RCP8.5.



Figur 3: Figuren visar scenarier för förändringen av a) temperatur, b) nederbörd och c) vegetationsperiodens längd vid år 2100 (SMHI, 2019a). Scenarierna baseras på den temperaturökning som antas ske enligt IPCC RCP4.5.

Klimatscenarier enligt RCP8.5



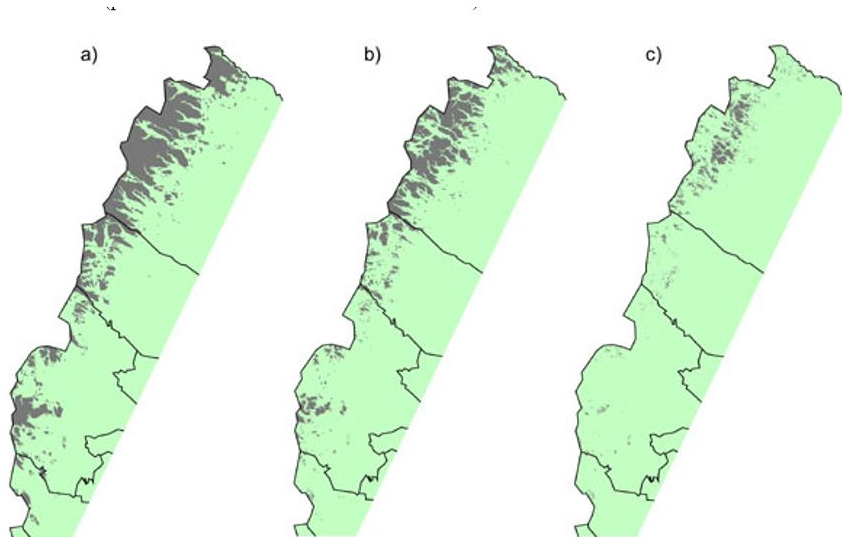
Figur 4: Figuren visar scenarier för förändringen av a) temperatur, b) nederbörd och c) vegetationperiodens längd vid år 2100 (SMHI, 2019a). Scenarierna baseras på den temperaturökning som antas ske enligt IPCC RCP8.5.

4.8. Scenarier för trädgränsen år 2100

Moen et al (2004), har simulerat framtidens trädgräns i de svenska fjällen. Studien undersökte uteslutande fjällbjörkens trädgräns, då denna tenderar att vara den högst belägna. För att kunna jämföra med förändringar i klimatet, användes sommarmedeltemperaturen som den avgörande faktorn (Moen et al 2004). I simuleringarna omvandlades temperaturförändringar till förändringar av trädgränsens position genom regeln att temperaturen avtar med $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ i altitud (Moen et al, 2004; Lundqvist och Sjörs, 1984). Scenarierna baserades på klimatmodeller från Max-Planck Institutet (MPI) och Hadley Centre (HC), för vidare information om modeller se (Räisänen et al, 2001; Rummukainen et al, 2001). Båda modellerna utgår från förväntad temperaturökning år 2100. HC förutspår en ökning av den globala medeltemperaturen på $1,4\text{--}2,4^{\circ}\text{C}$ och MPI en ökning på $2,6\text{--}4,0^{\circ}\text{C}$ (Moen et al, 2004). Både HC och MPI ingår i ensemblen klimatmodeller som scenarierna i Figur 3 och 4 har baserats på (SMHI, 2019a).

Studien förutspår en stigande trädgräns, mellan 233–667 m beroende på använt klimatscenario (Moen et al, 2004). Enligt MPI skulle endast ett fåtal områden alpint

kalfjäll finns kvar i Sverige, varav en majoritet skulle finnas i de nordligaste delarna av fjällkedjan eftersom fjällen här är brantare och högre (Moen et al, 2004). I Figur 5 ses simulerad kalfjällsutbredning i fjällkedjan enligt två olika scenarier för trädgränsens höjning.



Figur 5: Modeller för kalfjällets utbredning (gråa fält) år 2100: a) Nuvarande kalfjällsutbredning, b) utbredning vid en 100 m höjning av trädgränsen, c) utbredning enligt MPI klimatscenario (trädgränsstigning mellan 433-667m). Figuren skapades av och hämtad från (Moen et al, 2004).

4.9. Den historiska trädgränsen: Förändringar av trädgränsen och klimatet under Holocen

För att på ett bättre sätt förstå dagens förändringar av trädgränsen och hur dessa relaterar till klimatförändringar, har trädgränsen och klimatet kartlagts historiskt. Detta har främst gjorts för perioden holocen, som påbörjades för 11 700 år sedan, och kännetecknas av ett stabilt, interglacialt klimat (McManus et al, 1999).

Historiska variationer i klimatet kan exempelvis rekonstrueras genom analys av syreisotoper i iskärnor från glaciärer på norra halvklotet (Ruddiman, 2014). Ett annat tillvägagångssätt, använt exempelvis av Seppä och Birks (2001), är att analysera lämningar av pollen. Denna studie undersökte variationer i temperatur och nederbörd

under juli månad i norra Fennoskandia. Under holocens tidigaste del var medeltemperaturen 11° C och medelnederbörden 600–800 mm i juli (Seppä och Birks, 2001). För 8200–6700 år sedan, rådde de varmaste åren under holocen. Medeltemperaturen hade då stigit till 12.5–13° C, samtidigt som nederbörden minskade. Detta är cirka 1,5°C varmare än idag (Seppä och Birks, 2001). Under den senare delen av holocen, sjönk temperaturen återigen.

Trädgränsens position kan analyseras historiskt utifrån analys av pollen (Barnekow, 1999) eller genom C14-datering av fossila material härstammande från träd (Kullman, 1995; Kullman, 2013). Generellt tycks förändringarna av norra hemisfärens vegetation under holocen vara relaterade till förändringar av temperatur och nederbörd (Barnekow, 1999). Kullman (2013), visade utifrån fossila trädlämningar att trädgränsen dominerades av tall fram tills för 10 000 år sedan. Trädgränsen för både fjällbjörk och tall nådde högst altituder, omkring 600 meter högre än dagens, för 9600 till 9000 år sedan (Kullman, 2013). Detta skulle innebära att temperaturen under denna period var 2,3° C högre än idag (Kullman, 2013). För 8200 år sedan och framåt, kom trädgränsen att domineras av björk snarare än tall (Kullman, 2013). Speciellt tall minskade på höga altituder under holocens senare del, troligen på grund av minskad insolation under sommarmånaderna (Barnekow, 1999).

De variationer av trädgränsen som skedde under Holocen, överensstämmer med rekonstruerade klimatförändringar från samma period (Kullman, 1995). Samtidigt uppvisar rekonstruktioner av trädgränsen viss variation mellan olika delar av fjällkedjan.

5. Diskussion

5.1. Studier av trädgränsens position i den svenska fjällkedjan

Utifrån klimatdata och observationer av trädgränsens förändring det senaste seklet, är beläggen goda för att klimatet påverkar trädgränsens position. Detta har setts genom förändringar av trädgränsen i Sverige (Kullman, 2007; Kullman, 2014; Van Bogaert et al, 2012). Dessa observationer överensstämmer dessutom med de trender för tundrans utbredning som setts globalt, som minskade med motsvarande 20% mellan åren 1980–2000 (Wang och Overland, 2004). Förändringarna har i de flesta fall inneburit att flera trädarter etablerats på högre altitud i fjällvärlden. Av de studier som för denna uppsats studerats kan samtliga konstatera att trädgränsen stigit. Kullman och Öberg (2009) och Kullman (2007) påvisade båda en stigning av trädgränsen i Jämtland-Härjedalen med i medel minst 70 m. Kullman (2007) visade också att processen var fenotypisk, vilket betyder att nya träd hade etablerats på tidigare kalfjällsområden (Kullman, 2007). Van Bogaert et al (2012), visade genom en studie i Abisko, att trädgränsen stigit också i fjällkedjans norra delar.

I den mittersta delen av fjällkedjan, området mellan Jämtland-Härjedalen och fjällkedjans allra nordligaste del, verkar antalet studier över trädgränsen vara mer begränsat. En anledning till detta skulle kunna vara att dessa områden inte är lika lättillgängliga. Samtidigt finns det, både kring Abisko och i Jämtland-Härjedalen, en lång historia av trädgränsobservationer, vilket underlättar för vidare studier här. Dock är en större geografisk spridning av trädgränsstudierna i Sverige önskvärt. För att vidare studera trädgränsens förändring, och ge ytterligare tyngd till de observationer som redan gjorts, skulle den här uppsatsens metodik med fördel kunna kompletteras med praktiska studier. Förslagsvis, hade genomförda observationer kunnat kompletteras med fjärranalysbaserade studier utifrån serier av satellitbilder.

En annan viktig aspekt att ta i beaktande vid tolkningen av trädgränsstudier, är att trädgränsen per definition motsvarar den altitud varvid träd över 2 meter finns etablerade. Detta kan dock motsvara ett enskilda träd eller en mer etablerad population av träd. En stigande trädgräns behöver alltså inte betyda att den täta skogen stigit till

högre altituder, utan kan innebära att enbart ett enstaka träd etablerat sig högre upp på fjällsluttningen.

5.2. Temperatur och vindklimat

Gemensamt för de förändringar av trädgränsens position som kunnat konstateras, är kopplingen till den stigande temperaturen. Detta verkar vara den mest styrande och begränsande faktorn för trädgränsens position i fjällkedjan (Körner, 1998). Samtidigt råder ingen enighet kring huruvida vinter- eller sommartemperaturen är viktigast i detta avseende. Därför krävs fler studier för att undersöka detta. Vidare medför stigande temperaturer inte enbart direkt påverkan på trädgränsen och övrig vegetation i fjällkedjan, utan verkar också indirekt genom sin påverkan på andra klimatologiska faktorer och processer (Sundqvist et al, 2014). Detta gör temperaturen till en ur flera perspektiv avgörande faktor i sammanhanget.

Vinden kan lokalt ha stor påverkan på trädgränsens utbredning, med en ökande betydelse vid högre altituder (Kullman och Öberg, 2009). Holtmeyer och Broll (2010) menar också att trädpopulationens täthet och utbredning i sig kan påverka vindflödet i fjällen. I jämförelse med temperaturen, tycks dock vinden inte vara riktigt lika tydligt kopplad till klimatförändringarna. Dock menar Kullman (2007) att det väst-östliga vindflödet kommer öka i takt med klimatförändringarna. Om så är fallet, skulle vindens begränsande inverkan på vegetationen hypotetiskt sätt kunna få ökad betydelse i framtiden. Det är möjligt att ökade vindstyrkor kan hämma en stigande trädgräns som effekt av stigande temperaturer. Därmed är temperatur och vind två faktorer som är intressanta att undersöka vidare, för att se om dessa på något sätt kan komma att verka emot varandra. En annan möjlig effekt av förändrade vindförhållanden, kan vara ändrad ackumulation av snö, vilket också kan tänkas påverka trädgränsen lokalt. Dock kräver detta område mer forskning för att öka förståelsen för vindens verkliga effekt. Topografin är en annan faktor som resulterar i stor lokal variation av trädgränsens position. Samtidigt verkar resultaten över väderstreckens påverkan på dess position inte vara lika entydig.

5.3. Längre vegetationsperiod och kortare snösäsong

Vegetationsperioden är betydande för trädgränsens utbredning, eftersom en förlängd vegetationsperiod ger ökad tillväxtpotential (Lundqvist och Sjörs, 1984). I praktiken borde trädgränsen kunna etablera sig på högre altituder både fenotypiskt och genotypiskt vid förlängd vegetationsperiod, eftersom bättre förutsättningar torde

skapas både vad gäller etablering av nya individer och tillväxt av existerande träd. Likt vegetationsperioden, påverkas också snöförhållandena av stigande temperaturer. Parallellt med att stigande temperaturer ger en längre vegetationsperiod, tros den snöbetäckta perioden förkortas (SMHI, 2012). Samtidigt finns indikationer för att de ökande nederbörds mängderna faktiskt resulterar i ett tjockare snötäcke (Johansson et al, 2013). Detta skulle med andra ord kunna tyda på att fjällområdena i framtiden kan väntas få lokalt mer snö, men under en kortare period. Trädgränsen kan påverkas negativt av detta, eftersom den går miste om snötäckets isolerande och skyddande egenskaper (Johansson et al, 2013). Det är därmed möjligt att mildare temperaturer under vegetationsperioden ger ökad tillväxt, samtidigt som de mildare vintrarna istället skadar vegetationen eftersom de fortsatt kalla temperaturerna utsätter vegetationen för stress när snötäcket minskar. Detta skulle också kunna möjliggöra att vintertemperaturen blir en mer betydande begränsade faktor för trädgränsens utbredning.

5.4. Är en stigande trädgräns endast av ondo?

Stigande temperatur resulterar i tinande permafrost och ett tjockare vilket aktivt marklager (Åkerman och Johansson, 2008). Eftersom kalfjällsområdena i Sverige är starkt betingade av att där råder permafrost, skulle en upptining av denna påverka vegetationen, likt det som observerades av Meyrs-Smith et al (2019). Gällande trädgränsen, torde ett tjockare aktivt marklager kunna resultera i ökade möjligheter för högre vegetation att etablera sig i tidigare kalfjällsområden.

Minskad permafrost, också i kombination med förlängd vegetationsperiod och kortare snötäckt, är vidare intressant för vegetationen i fråga om förändrat albedo. Chapin et al (2005) nämner att kopplingen mellan vegetationsförändringar och albedo i arktiska områden är vital för förståelsen av jordens framtida klimat. Detta eftersom ökad vegetation minskar albedot, vilket i sin tur initierar ytterligare absorption av värme, och därmed ytterligare kan påskynda upptiningen av permafrosten. Denna process kan vara oförutsägbar men kommer sannolikt bidra ytterligare till ett varmare Arktis (Chapin et al, 2005). Detta borde i sin tur då kunna bidra till ytterligare höjning av trädgränsen.

När permafrosten tinar, förändras utbytet av växthusgaser mellan marken och atmosfären, eftersom stora mängder metan riskerar att frigöras (Åkerman och Johansson, 2008). Detta kan påskynda uppvärmningen, eftersom metan är en kraftfull växthusgas (IPCC, 2014). Ur detta avseende kan en stigande trädgräns snarare ses som något positivt, då ökad etablering av högre vegetation skulle inkapla stora mängder kol. På ett sätt är den tinande permafrosten och etableringen av en högre trädgräns därmed sammanlänkade genom det förändrade flödet av kol i fjällområdena.

5.5. Biotiska faktorerers samspel med abiotiska faktorer

Viktigt att nämna är att det inte enbart är abiotiska faktorer som påverkar trädgränsens position. Van Bogaert et al (2011) menar att förändringar i vegetationen i arktiska och alpina områden snarare kan kopplas till exempelvis herbivori (Van Bogaert et al, 2011). Te Beest et al (2016), diskuterar att renbetet i stora delar av Fennoskandia är en begränsande faktor för klimatinducerad vegetationsutbredning. Studien, genomförd i norra Norge, visade att kraftigt betade områden generellt uppvisade ett högre albedo, än mindre betade områden (Te Beest et al, 2016). Vidare, var vegetationen tätare i de lägre betade områdena, vilket föreslår att renbetet påverkar vegetationens utbredning och därigenom påverkar albedot. Även marktemperaturen var något högre i de kraftigt betade områdena (Te Beest et al, 2016). Som tidigare nämnts, är renbetets förutsättningar ur ett etiskt perspektiv också viktigt i fråga om en förändrad fjällvegetation. Den svenska fjällkedjan är ett kulturlandskap, starkt präglad av renbete (Naturvårdsverket, 2019). Det är därmed av vikt att goda förutsättningar för renbete bevaras.

5.6. Den framtida trädgränsen

Moen et al (2004) genomförde simuleringar av kalfjällets utbredning i Sverige år 2100. För scenariot som förutspår allra störst förändring, skulle enbart små områden av kalfjäll finnas kvar i den norra delen av fjällkedjan. Rent utbredningsmässigt skulle alltså störst kalfjällsarealer försvinna i norra fjällkedjan. Samtidigt skulle dock konsekvenserna bli omfattande också i de södra delarna, eftersom kalfjällen där helt skulle försvinna.

Scenariot för en 100 m höjning av trädgränsen, visar på en ungefärlig halvering av kalfjällsarealerna (Moen et al, 2004). Utifrån de observationer som gjorts under föregående sekel, där den maximala stigningen på flera håll varit omkring 200 m (Kullman och Öberg, 2009). Ett sådant scenario ter sig alltså inte alls omöjligt. Dock baseras dessa scenarier över trädgränsens förändring enbart på temperaturen som faktor. Verklighetens mer komplexa förhållanden kan därför inte sägas avspeglas i simuleringarna. De ger dock en indikation över framtida förändringar.

Utifrån de rekonstruktion som genomförts för holocen, vet vi att trädgränsen under perioder varit flera hundra meter högre än idag (Kullman, 2013). Detta kan

därmed också ge en indikation för hur trädgränsen kan komma att förändras det närmaste seklet. Tilläggsvis, kan dessa relateras till klimatscenarier från exempelvis IPCC (2014). Enligt scenarierna över Sveriges klimat år 2100, skulle den svenska fjällkedjan få betydligt varmare och mer nederbördsrikt klimat (SMHI, 2019a). Vegetationsperioden skulle samtidigt förlängas betydligt (SMHI, 2019a). Intressant i sammanhanget är också att de klimatmodeller som användes, HC och MPI, närmast korrelerar med de tre mest progressiva av IPCC:s fyra klimatscenarier fram till år 2100. Påpekas bör dock att denna typ av scenarier är komplexa. Det är svårt att med noggrannhet förutse framtida förändringar i arktiska och alpina ekosystem kommer te sig.

5.7. Ändrade styrande mekanismer och artskillnader

Grace (1977) och Körner (2012) diskuterar att de styrande klimatrelaterade mekanismerna varierar beroende på om klimatet är kontinentalt eller maritimt. Även om här krävs ytterligare studier, är skillnader i styrande mekanismer intressant i förhållande till ändrade temperatur- och nederbördsmonster till följd av klimatförändringarna. Klimatet i Sverige väntas bli betydligt blötare det kommande seklet (SMHI, 2019a). Eftersom maritimt klimat delvis karakteriseras av höga nederbörds mängder, är det av intresse att undersöka huruvida Sveriges framtida klimat kommer innebära att vegetationen i fjällvärlden kommer påverkas mer av maritimt betingade mekanismer. Kjällgren och Kullman (1998) menar att tätare vegetation generellt växer på högre altituder i områden av kontinentalt klimat. Frågan är därför om ett mer maritimt präglat klimat skulle hämma trädetableringen på högre altituder?

Fjällbjörken, granen och tallen skiljer sig något i fråga om optimala förhållanden. Fjällbjörken och granen tycks trivas bättre i mer maritima områden, med fuktigare förhållanden (Öberg, 2008). Tallen, å andra sidan, trivs bäst i näringsfattigare och torrare miljöer. Det är därmed troligt att dessa olika arter kommer reagera olika på klimatförändringarna (Öberg, 2008). Det är möjligt att främst fjällbjörken och granen, kan komma att missgynnas i det framtida klimatet. Trots att dessa arter trivs i fuktigt klimat, vilket förväntas i framtiden, kan ett minskat snötäcke komma att missgynna dessa arter. Dessutom förväntas också temperaturen öka, vilket möjligen kan öka sommaravdunstningen och på så sätt även ändra förhållandena. Rekonstruktioner av tallens trädgräns under holocen, visar att den gynnades under varma perioder (Barnekow, 1999). Detta skulle också kunna vara en indikation för att framtidens klimat snarare kommer gynna högre etablering av tall, medan fjällbjörk och gran ej gynnas på samma sätt.

6. Slutsats

Trädgränsen i de svenska fjällen styrs av ett komplext samspel mellan flertalet klimatrelaterade mekanismer, där temperatur är den viktigaste begränsande faktorn. Förändringar av trädgränsen kan ses genom förändrad position, men också genom ändrad artsammansättning och täthet. Förändringar kan ske genom fenotypisk eller genotypisk process.

Observationer från det senaste seklet har påvisat relativt omfattande förändringar av trädgränsens position, vilka ses i hela fjällkedjan. Den maximala förhöjningen på 200 m som observerats är i linje med temperaturökningen som skett under samma period. Påpekas bör dock att antalet studier av detta slag är begränsat för främst den mellersta delen av fjällkedjan, varpå ytterligare studier är behövligt.

Fjällkedjans klimat förväntas genomgå omfattande förändringar det kommande seklet. Dessa förändringar har sin grund i de pågående klimatförändringarna. Temperaturen och nederbörden tros öka, samtidigt som vegetationsperioden förlängs. Samtliga förändringar tros kunna ses tydligast i de norra delarna av fjällkedjan. En annan tydlig effekt av klimatförändringarna i arktiska och alpina områden, är den tinande permafrosten.

Trädgränsen förväntas stiga fram mot slutet av detta sekel i takt med klimatförändringarna, i vissa fall med flera hundra meter. Detta kommer leda till omfattande förändringar av ekosystemen i fjällkedjan och att kalvfjällsarealerna kraftigt begränsas till höga fjäll i norra fjällkedjan. Dock påverkas trädgränsen lokalt av variationer i mikroklimatet, vilket ger stora lokala variationer i trädgränsens position. Även om generella scenarier över trädgränsen kan göras, styrs den alltså av komplexa mekanismer, vilket gör det svårt att göra exakta förutsäganden om fjällkedjans framtida vegetationsförändringar.

7. Referenser

- Barnekow, L. (1999). Holocene tree-line dynamics and inferred climatic changes in the Abisko area, northern Sweden, based on macrofossil and pollen records. *The Holocene*, 9(3), ss. 253–265
- Bognounou, F., Hulme, P. E., Oksanen, L., Suominen, O. & Olofsson, J. (2018). Role of climate and herbivory on native and alien conifer seedling recruitment at and above the Fennoscandian tree line. *Journal of Vegetation Science*, 29(4), ss. 573–584
- Callaghan, T. V., Bergholm, F., Christensen, T. R., Jonasson, C., Kokfelt, U. & Johansson, M. (2010). A new climate era in the sub-Arctic: Accelerating climate changes and multiple impacts. *Geophysical Research Letters*, 37, doi:10.1029/2009GL042064
- Callaway, R. M., Brooker, R. W., Choler, P., Kikvidze, Z., Lortie, C. J., Michalet, R. & Cook, B. J. (2002). Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature*, 417(1691), ss. 844–848
- Chapin, F. S., Sturm, M., Serreze, M. C., McFadden, J. P., Key, J. R., Lloyd, A. H. & Welker, J. M. (2005). Role of land-surface changes in Arctic summer warming. *Science*, 310, ss. 657–660
- Gustavsson, H., Stensen, B. & Wern, L. (2011). *Regional Klimatsammanställning – Norrbottens Län*. Norrbottens Länsstyrelse & SMHI. (2011:20). Tillgänglig: [<https://www.lansstyrelsen.se/download/18.840e7ca163033c061f5e779/1526067935716/Regional%20klimatsammanst%C3%A4llning%20-%20Norrbottens%20%C3%A4n.pdf>] [2019-04-24]
- Grace, J. (1977). Plant response to wind. London: Academic press
- Holtmeyer, F-K. & Broll, G. (2010). Wind as an Ecological Agent at Treelines in North America, the Alps, and the European Subarctic. *Physical Geography*, 31(3), ss. 203–233
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. (Genève: 151) ss. 40–44, 58–60 [2019-04-23]
- Johansson, M., Callaghan, T. V., Bosio, J., Åkerman, J., Jackowicz-Korczynski, M. & Christensen, T. R. (2013). Rapid responses of permafrost and vegetation to

- experimentally increased snow cover in sub-arctic Sweden. *Environmental Research Letters*, 8(3), doi: 10.1088/1748-9326/8/3/035025
- Kjällgren, L. & Kullman, L. (1998). Spatial patterns and structure of the mountain birch tree-limit in the southern Swedish Scandes – a regional perspective. *Physical Geography*, 80(1), ss. 1-16
- Kullman, L. (1979). Change and stability in the altitude of the birch tree-limit in the Southern Swedish Scandes 1915–1975. *Acta Phytogeographica Suecica*, 65, ss. 1–121
- Kullman, L. (1995). Holocene Tree-Limit and Climate History from the Scandes Mountains, Sweden. *Ecology*, 76(8), ss. 2490-2502
- Kullman, L. (2007). Long-term geobotanical observations of climate change impacts in the Scandes of West-Central Sweden. *Nordic Journal of Botany*, 24, ss. 445–467
- Kullman, L. (2010). One Century of Treeline Change and Stability - Experiences from the Swedish Scandes. *Landscape Online*. 17, ss. 1–31
- Kullman, L. (2013). Ecological tree line history and paleoclimate – review of megafossil evidence from the Swedish Scandes. *Boreas*, 42, ss. 555–567
- Kullman, L. (2014). Treeline (*Pinus sylvestris*) landscape evolution in the Swedish Scandes – a 40-year demographic effort viewed in a broader temporal context. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 68(3), ss. 155–167
- 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, ss. 415-429
- Kullman, L. & Öberg, L. (2012). Contrasting short-term performance of mountain birch (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*) treeline along a latitudinal continentality-maritimity gradient in the southern Swedish Scandes. *Fennia*, 190(1), ss. 19-40
- Kullman L. & Öberg, L. (2015). *Trädgräns i fjällen – Sammanställning och utvärdering av en metodstudie för klimatrelaterad miljöövervakning*. Länsstyrelsen i Jämtlands län. (2015:4). Tillgänglig:
[<https://www.lansstyrelsen.se/jamtland/tjanster/publikationer/2015/tradgrans-i-fjallen.html>] [2019-05-26]
- Körner, C. (1998). A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. *Oecologia*, 115(4), ss. 445–459
- Körner, C. (2012). Treelines will be understood once the functional difference between a tree and a shrub is. *Ambio*, 41, ss. 197–206
- Lundqvist, J. & Sjörs, H. (1984). Kapitel 6: Fjäll och andra höga berg. *Vår vilda flora – I Norden och västra Europa*. Höganäs: Wiken, ss. 77–91

- Lunds universitet. (2019). *Biologi och miljövetenskap: Litteraturoversikt: Guide*. Lunds universitet. [https://libguides.lub.lu.se/litteraturoversikt]. Hämtad: 2019-05-26
- McManus, F. J., Oppo, W. D. & Cullen, L. J. (1999). A 0.5-Million-Year Record of Millennial-Scale Climate Variability in the North Atlantic. *Science*, 283(5404), ss. 971–975
- 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), ss. 16-16
- Molau, U. (2010) Long-term impacts of observed and induced climate change on tussock tundra near its southern limit in northern Sweden. *Plant Ecology & Diversity*, 3(1), ss. 29–34
- Myers-Smith, I.H., & Hik, D. (2018). Climate warming as a driver of tundra shrubline advance. *Journal of Ecology*, 106, ss. 547–560
- Myers-Smith, I. H., Grabowski, M. M., Thomas, H. J. D. , Angers-Blondin, S., Daskalova, G. N. , Bjorkman, A. D. , Cunliffe, A. M., Assmann, J. J., Boyle, J., McLeod, E., McLeod, S., Joe, R., Lennie, P., Arey, D., Gordon, R. & Eckert, C. (2019). Eighteen years of ecological monitoring reveals multiple lines of evidence for tundra vegetation change. *Ecological Monographs*, 89(2), doi: https://doi.org/10.1002/ecm.1351
- Naturvårdsverket. (2019). *Storslagen Fjällmiljö – Underlag till fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019*. Naturvårdsverket. (2019:6872). Tillgänglig: [<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6872-1.pdf?pid=24089>] [2019-05-18]
- Persson, G. (2015). *Sveriges klimat 1860–2014 – Underlag för dricksvattenutredning*. SMHI. (Klimatologi: 13) Tillgänglig: [<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:948139/FULLTEXT01.pdf>] [2019-05-25]
- Rafstedt, T. (1984). *Fjällens vegetation: Jämtlands län*. Naturvårdsverket & Jämtlands län. Tillgänglig: [<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1172413/FULLTEXT01.pdf>] [2019-05-16]
- Ruddiman, F. W. (2014). *Earth's Climate: Past and Future*, 3rd ed. New York: W. H Freeman and Company
- Rummukainen, M., Räisänen, J., Bringfelt, B., Ullerstig, A., Omstedt, A., Willén, U., Hansson, U. & Jones, C. (2001). A regional climate model for northern Europe: model description and results from the downscaling of the GCM control simulations. *Climate Dynamics*, 17, ss. 339–359

- Rundqvist, S., Hedenås, H., Sandström, A., Emanuelsson, U., Eriksson, U., Jonasson, C. & Callaghan, T. V. (2011). Tree and Shrub Expansion over the past 34 years at the tree-line near Abisko, Sweden. *Ambio*, 40(6), ss. 683–692
- Räisänen, J., Rummukainen, M. & Ullerstig, A. (2001). Downscaling of greenhouse gas induced climate change in the GCMs with the Rossby Centre regional climate model for northern Europe. *Tellus A*, 53, ss. 168–191
- Scheffers, R. B., De Meester, L., Bridge, T. C. L., Hoffman, J. M., Pandolfi, J. M., Corlett, R. T., Butchart, S. H. M., Kovacs, K. M., Dudgeon, D., Pacifici, M., Rondinini, C., Foden, W. B., Martin, T. G., Mora, C., Bickford, D., & Watson, J. E. M. (2016). The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science*, 354 (6313), doi: 10.1126/science.aaf7671
- Seppä, H. & Birks, H. J. B. (2001). July mean temperature and annual precipitation trends during the Holocene in the Fennoscandian tree-line area: pollen-based climate reconstructions. *The Holocene*, 11(5), ss. 527–539
- SFS 1974:152. Regeringsformen
- SFS 1971:437. Rennäringslagen
- SMHI, avdelning Miljö & Säkerhet. (2012). *Klimatsammanställning — Fjällkedjan*. Länsstyrelsen i Norrbottens län. (2012:13). Tillgänglig: [\[https://www.lansstyrelsen.se/download/18.840e7ca163033c061f5e075/1526067937302/Klimatsammanst%C3%A4llning%20f%C3%A4llkedjan.pdf\]](https://www.lansstyrelsen.se/download/18.840e7ca163033c061f5e075/1526067937302/Klimatsammanst%C3%A4llning%20f%C3%A4llkedjan.pdf) [2019-05-26]
- SMHI. (2019a). Klimatscenarier. SMHI. [\[https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier?area=swe&var=veglen&sc=rcp85&seas=ar&dnr=99&sp=sv&sx=0&sy=564.6666870117188\]](https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier?area=swe&var=veglen&sc=rcp85&seas=ar&dnr=99&sp=sv&sx=0&sy=564.6666870117188) [Hämtad: 2019-05-18]
- SMHI. (2019b). *Sveriges klimat*. SMHI. [\[https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat-1.6867\]](https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat-1.6867) [Hämtad: 2019-04-24]
- Stiegler, C., Johansson, M., Christensen, T. R., Mastepanov, M. & Lindroth, A. (2016). Tundra permafrost thaw causes significant shifts in energy partitioning. *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 68(1), <https://doi.org/10.3402/tellusb.v68.30467>
- Sundqvist, M. K., Liu, Z., Giesler, R., Wardle, D. A. (2014). Plant and microbial responses to nitrogen and phosphorus addition across an elevation gradient in subarctic tundra. *Ecology*, 96(7), ss. 1819–1835
- Te Beest, M., Sitters, J., Ménard, C. B. & Olofsson, J. (2016). Reindeer grazing increases summer albedo by reducing shrub abundance in Arctic tundra. *Environmental Research Letters*, 11(12), doi:10.1088/1748-9326/aa5128

- Van Bogaert, R., Haneca, K., Hoogesteger, J., Jonasson, C., De Dapper, M. & Callaghan, T. V. (2011). A century of tree line changes in sub-Arctic Sweden shows local and regional variability and only a minor influence of 20th century climate warming. *Journal of Biogeography*, 38(5), ss. 907–921
- Virtanen, R., Oksanen, L., Oksanen, T., Cohen, J., Forbes, B. C., Johansen, B. & Tommervik, H. (2016). Where do the treeless tundra areas of northern highlands fit in the global biome system: Toward an ecologically natural subdivision of the tundra biome. *Ecology and Evolution*, 6, ss. 143–158
- Virtanen, T., Mikkola, K., Nikula, A., Christensen, H. J., Mazhitova, G. G., Oberman, G. N. & Kuhry, P. (2004). Modeling the location of the Forest line in Northeast European Russia with remotely sensed vegetation and GIS-based Climate and Terrain data. *Arctic, Antarctic and Alpine research*, 36(3), ss. 314–322
- Wang, M. Y. & Overland, J. E. (2004). Detecting arctic climate change using Koppen climate classification. *Climatic Change*, 67(1), ss. 43–62
- Weih, M. & Karlsson, S. P. (2001). Growth response of Mountain birch to air and soil temperature: is increasing leaf-nitrogen content an acclimation to lower air temperature? *New Phytologist*, 150, ss. 147–155
- Wipf, S., Stoeckli, V. & Bebi, P. (2009). Winter climate change in alpine tundra: plant responses to changes in snow depth and snowmelt timing. *Climate Change*, 94, ss. 105–121
- Åkerman, J. & Johansson, M. (2008). Thawing permafrost and thicker active layers in sub-arctic Sweden. *Permafrost and Periglacial Processes*, 19, ss. 279–292
- Öberg, L. (2008). *Trädgränsen som indikator för ekologiska klimatteffekter i fjällen*. Naturvårdsverket. (Miljö/Fiske, Miljöövervakning: 2008:01). Tillgänglig: [<http://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A864001&dswid=4998>] [2019-05-26]