

ABSTRACT

Against the background of past, recent and future climate change, the present thesis addresses elevational shifts of alpine treelines in the Swedish Scandes. By definition, treeline refers to the elevation (m a.s.l.) at a specific site of the upper trees of a specific tree species, at least 2 m tall.

Based on historical records, the first part of the thesis reports and analyzes the magnitude of treeline displacements for the main trees species (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*, *Picea abies* and *Pinus sylvestris*) since the early 20th century. The study covered a large and heterogeneous region and more than 100 sites. Concurrent with temperature rise by c. 1.4 °C over the past century, maximum treeline advances of all species amount to about 200 m. That is virtually what should be predicted from the recorded temperature change over the same period of time. Thus, it appears that under ideal conditions, treelines respond in close equilibrium with air temperature evolution. However, over most parts of the landscape, conditions are not that ideal and treeline upshifts have therefore been much smaller. The main reason for that discrepancy was found to be topoclimatic constraints, i.e. the combined action of geomorphology, wind, snow distribution, soil depth, etc., which over large parts of the alpine landscape preclude treelines to reach their potential thermal limit.

Recorded treeline advance by maximum 200 m or so over the past century emerges as a truly anomalous event in late Holocene vegetation history.

The second part of the thesis is focused more on long-term changes of treelines and one specific and prevalent mechanism of treeline change. The first part of the thesis revealed that for *Picea* and *Betula*, treeline shift was accomplished largely by phenotypic transformation of old-established stunted and prostrate individuals (*krummholz*) growing high above the treeline. In obvious response to climate warming over the past century, such individuals have transformed into erect tree form, whereby the treeline (as defined here) has risen. As a means for deeper understanding of this mode of positional treeline change, extant clonal spruces, growing around the treeline, were radiocarbon dated from megafossil remains preserved in the soil underneath their canopies. It turned out that *Picea abies* in particular may attain almost eternal life due to its capability for vegetative reproduction and phenotypic plasticity. Some living clones were in fact inferred to have existed already 9500 years ago, and have thus persisted at the same spot throughout almost the entire Holocene. This contrasts with other tree species, which have left no living relicts from the early Holocene, when they actually grew equally high as the spruce. Thereafter they retracted by more than 300 m in elevation supporting that also on that temporal scale, treelines are highly responsive to climate change.

The early appearance of *Picea* in the Scandes, suggests that *Picea* “hibernated” the last glacial phase much closer to Scandinavia than earlier thought. It has also immigrated to northern Sweden much earlier than the old-established wisdom.

The experiences gained in this thesis should constitute essential components of any model striving to the project landscape ecological consequences of possible future climate shifts.

Keywords: *Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, climate change, monitoring, treeline advance, clones, megafossils, immigration, Holocene, cryptic refugia, Swedish Scandes

SAMMANDRAG

Mot bakgrund av historiska, nutida och framtida klimatförändringar, belyser avhandlingen förskjutningar av den alpina trädgränsens läge i de svenska Skanderna. Trädgränsen definieras som den högsta nivå (m ö.h.) vid vilken minst 2 m höga individer en viss art förekommer i en bestämd fjällsluttning.

Den första delen, som baseras på historiska data, beskriver och analyserar förändringar av trädgränserna för våra vanligaste trädarter (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*, *Picea abies* and *Pinus sylvestris*) sedan 1900-talets början. Studien omfattar ett stort, heterogent område med mer än 100 lokaler. De maximala trädgränsförändringarna för samtliga trädarter uppgår till omkring 200 m och stämmer därmed väl överens med det värde som teoretiskt kan förutsägas utifrån den temperaturhöjning med cirka 1,4 °C som skett under samma tidsperiod. Det förefaller alltså som om trädgränserna i det närmaste skulle kunna vara i jämvikt med klimatet, förutsatt ideala förhållanden. För större delen av området råder emellertid andra, icke-ideala förhållanden, varför trädgränsernas förändring där i allmänhet blivit avsevärt mindre. Den främsta anledningen till detta kan hänföras till topoklimatiska begränsningar, d.v.s. en kombinerad effekt av geomorfologi, vind, snöfördelning, jorddjup, etc., som i stora delar av fjällskapet hindrar träden från att nå sina potentiellt högst belägna växtplatser med avseende på temperaturen.

Den konstaterade maximala uppflyttningen av samtliga studerade arters trädgränser på omkring 200 m framstår som en mycket ovanlig typ av händelse i vegetationshistorien under senare delen av Holocen.

I avhandlingens andra del ligger fokus på trädgränsens dynamik över en längre tidsperiod och på en speciell, vanligt förekommande mekanism för förändring av trädgränsens läge. Den första studien avslöjar att trädgränsens uppflyttning för *Picea* och *Betula* till stora delar ägt rum genom fenotypiska anpassningar av äldre, mer eller mindre buskformiga individer (krummholz), som vuxit på nivåer långt ovanför trädgränsen. Som ett svar på de senaste hundra årens varmare klimat har nu dessa tidigare lågvuxna individer transformerats till trädform, varigenom trädgränsen stigit. För en fördjupad förståelse av den här mekanismen har megafossil, som extraherats ur marken under gamla grankloner i trädgränsekotonen, kol 14-daterats. Resultaten tyder på att *Picea abies* kan uppnå i det närmaste "evigt" liv genom sin förmåga till vegetativ förökning och fenotypisk flexibilitet. Vissa nu levande kloner existerade redan för 9500 år sedan och har alltså funnits på samma plats under så gott som hela Holocen. I detta avseende skiljer sig *Picea abies* markant från andra trädarter, vilka inte lämnat kvar levande relikter från tidig Holocen, när dessa arter faktiskt växte på samma höga nivåer som *Picea*. Därefter har samtliga arters trädgränser sänkts med drygt 300 m fram till början av 1900-talet, vilket tydligt visar trädgränsernas känslighet och respons för klimatförändringar även i ett längre tidsperspektiv.

Den tidiga förekomsten av *Picea* kan innebära att granen har "övervintrat" den senaste istiden närmare Skandinavien än man tidigare trott, och att den invandrat till norra Sverige långt tidigare än den länge rådande uppfattningen.

Resultaten från avhandlingens båda delar kan tjäna som viktiga komponenter i modeller som syftar till att projicera landskapsekologiska konsekvenser av framtida klimatändringar.

Nyckelord: *Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, klimatförändring, övervakning, trädgräns, kloner, megafossil, invandring, Holocen, kryptiska refugier, svenska fjällkedjan, Skanderna