

Vindens inverkan på höjdtillväxten i ett tallbestånd (*Pinus sylvestris*) längs en sluttning

*The influence of the wind on the height in a pine (*Pinus sylvestris*) stand along a slope*

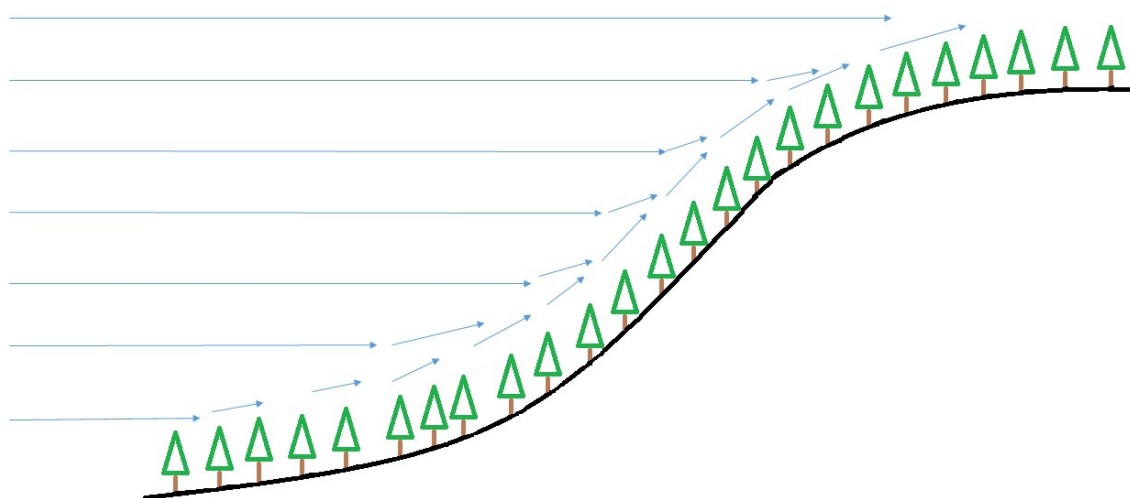


Bild: Rasmus Behrenfeldt

Rasmus Behrenfeldt



Examensarbeten

Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

2018:8

Vindens inverkan på höjdtillväxten i ett tallbestånd (*Pinus sylvestris*) längs en sluttning

*The influence of the wind on the height in a pine (*Pinus sylvestris*) stand along a slope*

Rasmus Behrenfeldt

Nyckelord / Keywords:

Höjdbonitering, tillväxt, lutning, diameter, vindbelastning /
Site index, growth, slope, diameter, wind load

ISSN 1654-1898

Umeå 2018

Sveriges Lantbruksuniversitet / *Swedish University of Agricultural Sciences*

Fakulteten för skogsvetenskap / *Faculty of Forest Sciences*

Jägmästarprogrammet / *Master of Science in Forestry*

Examensarbete i skogsvetenskap / *Master degree thesis in Forest Sciences*

EX0831, 30 hp, avancerad nivå A2E / *advanced level A2E*

Handledare / *Supervisor:* Lars Lundqvist

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

Examinator / *Examiner:* Mikael Ottosson Löfvenius

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

I denna rapport redovisas ett examensarbete utfört vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Skogsvetenskapliga fakulteten, SLU. Arbetet har handletts och granskats av handledaren, och godkänts av examinator. För rapportens slutliga innehåll är dock författaren ensam ansvarig.

This report presents an MSc/BSc thesis at the Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, SLU. The work has been supervised and reviewed by the supervisor, and been approved by the examiner. However, the author is the sole responsible for the content.

Sammanfattning

Höjdboniteringen är det vanligaste sättet att mäta ett bestånds bonitet i Sverige idag. Höjdbonitering baseras på beståndets ålder och dess höjd vid inmätning. För att kunna få en bra uppskattning krävs det därför att beståndet är homogent vad gäller ålder, trädslag och höjd. En variation i höjdtillväxt på grund av yttre påverkan ex vind kan inverka på höjdboniteringen.

I studien har utsattheten för vindpåverkan på tall (*Pinus. sylvestris L*) i ett bestånd beläget i en sluttning undersökts. Tidigare studier har visat att vinden har en påverkan på trädens höjdtillväxt. I denna studie undersöktes vindpåverkan längs en sluttning på ett tallbestånd i förstagallringsålder. Beståndet är beläget på Svartbergets försökspark utanför Vindeln i Västerbotten. Genom att jämföra insamlad data från tre olika provytor kunde skillnader i tillväxt på träden urskiljas. Höjd, grönkrongräns, diameter och kronradie samlades in för samtliga träd över 5 meter på provytorna. Med hjälp av insamlad data beräknades den teoretiska vindbelastningen för samtliga träd. Hypotesen för studien var att tillväxten av tall i sluttningen har en variation i höjd och diametertillväxt med vindstyrka samt att variationen i vindpåverkan uppstår genom att ytorna ligger på olika höjd i sluttningen med olika vindpåverkan.

Resultatet visar att den teoretiska vindstyrkan korrelerar med höjdtillväxten. Diametertillväxten korrelerar inte lika bra, mittenytans värden är mindre än för de två övriga provytorna. Ingen statistisk signifikans kan beräknas därför att träden inom provytorna inte kan anses som oberoende av varandra.

Nyckelord: höjdbonitering, tillväxt, lutning, diameter, vindbelastning

Abstract

Site index by height is the most common way of measuring a stand's site index in Sweden today. Site index by height is based on the age of the stock and its height at measurement. To get a good estimate, it is therefore necessary that the stock is homogeneous in terms of age, species of trees and height. A variation in height growth due to external impact such as wind can affect the site index.

In the study, the exposure to wind on Scots pine (*Pinus. Sylvestris L*) stock along a slope has been investigated. Previous studies shows that the wind has an impact on the tree's height growth. In this study, wind impact was investigated along a slope with a pine stand in first thinning age. The stand is located in Svartbergets experimental forest near Vindeln in Västerbotten. By comparing field measurements from three different test areas, differences in tree growth could be distinguished. Height, green crown boundary, diameter and crown radius were collected for all trees over 5 meters on the sample areas. Using collected data, the theoretical wind load was calculated for all trees. The hypothesis for the study was that the growth of Scots pine in the slope has a variation in height and diameter growth with wind force and variation in wind impact since the sample areas was on different heights in the slope.

The result shows that the theoretical wind force correlates with the height growth. The diameter growth does not correlate as well, the middle surface value is less than for the other two sample areas. No statistical significance can be calculated because the trees within the sample areas cannot be considered independent of each other.

Keywords: site index, growth, slope, diameter, wind load

Innehåll

Sammanfattning	3
Abstract	3
Tabellförteckning.....	5
Figurförteckning	5
Inledning.....	6
Bakgrund	6
Mål.....	9
Material och metod.....	10
Datainsamling.....	10
Databearbetning	12
Resultat.....	15
Diskussion.....	17
Litteraturförteckning	19

Tabellförteckning

Tabell 1. Ståndortsindex för provytorna baserat på höjdbonitering och ståndortsegenskaper samt medelvärdet för h/d-kvoten.....	15
Tabell 2. Skillnad i beräknade värden mellan provytor.....	15

Figurförteckning

Figur 1. Vindens rörelse längs en sluttning medför en ökning av vindhastigheten mot toppen.	7
Figur 2. Karta över transekt samt provytornas position längs den undersökta sluttningen. GSD-Fastighetskartan ©Lantmäteriet.....	10
Figur 3. Trädfördelning /spridning av träden på respektive provyta	11
Figur 4. Översikt skillnad i max vindhastighet per dag under vinterhalvåret mellan mätstationer. Blå plottad linje representerar övre mätstationen, orange den nedre mätstationen.....	12
Figur 5. Förtydligande mått insamlade data.	13
Figur 6. Boxplot för höjd i meter (A) samt boxplot för DBH i cm (B). Blå box för Botten provytan, orangea box för Mitten och grå för Toppen provytan.	15
Figur 7. Plottning av insamlade höjddata samt beräknad vindbelastning från samtliga provytor inklusive standardavvikelsen för samtliga ytor. Blå representerar Botten, orange Mitten och grå Toppen.....	16
Figur 8. Plottning av vridmoment samt DBH för samtliga tallar på de tre provytorna. Blå representerar Botten, orange Mitten och grå Toppen.....	16

Inledning

Bakgrund

Inom skogsbruket vill man uppskatta olika beståndsparametrar så som exempelvis bonitet och ståndortsindex. Skogens tillväxt beror på många olika faktorer. Variationer uppkommer eftersom träden har förmågan att anpassa sig till påverkan av flertalet yttre faktorer så som vind, ljus och näring (Telewinski, 2006; Valinger, et al., 1994). Det har länge varit känt att vind har en inverkan på träden. Moore (1977) visade att vindfällning av träd uppstod framförallt hos träd som under en längre tid hade varit skyddade mot starkare vind och sedan blivit mer exponerade. Svajning av trädstammen som ett resultat av vindpåverkan anses vara den främsta mekaniska påverkan som skapar kompressions och spänningskrafter i trädet. Stammen och rötterna på trädet pekats anses vara mest utsatta delarna (Telewinski, 2006). Vindexponering som träd utsätts för är starkt korrelerat med variation i diameter och höjd på träden (Brüchert & Gardiner, 2006).

De boreala skogarnas klimat karakteriseras av långa och kalla vintrar med ett varierat snötäcke samt milda somrar (Chapin, et al., 2011). Under vinterhalvåret är marken frusen större delen av tiden och träden är då i dvala, perioden sträcker sig mellan 5–7 månader (Valinger et al. 1994). Under denna period är träden extra känsliga för vind då is och snö sätter sig i kronan och ökar dess tyngd. Utöver detta så är vindhastigheten generellt högre under vinterhalvåret vilket medför högre påfrestningar. (Valinger, et al., 1995)

Vindutsatta träd har en ökad avsmalning av stammen med höjden genom utökad tillväxt av stambasen. Detta medför att träden klarar av en högre vindbelastning (Petty & Swain, 1985). Valinger, et al., (1994) visade att en ökad svajning av stammen som ett resultat av vindpåverkan minskar höjdtillväxten samt ökar diametertillväxten på stamdelar som påverkas av mekanisk stress. Trädets anpassningsförmåga resulterar i att vinden påverkar tillväxten på de utsatta delarna (Valinger, et al., 1994). Enligt Lundqvist & Valinger (1996) registrerar träden svajningar även under vinterhalvåret som sedan påverkar tillväxten för kommande växtperiod.

Många olika boniteringssystem används för olika skogstyper. Av dessa är övrehöjdsbonitering den vanligaste och mest använda metoden för jämnåriga bestånd i Sverige (Skovsgaard & Vanclay, 2008). Enligt studien av Stadt et al., (2007) glöms ofta vikten av beståndskvalitén bort vid uppmätning av ståndortsindex genom höjdbonitering, parametrar som topografi och jordegenskaper tas inte med vilket skulle vara bra för att få bättre skattningar. Detta kan bero på att träden har en förmåga att förändra deras morfologi för att klara av förhållanden som de lever under (Valinger, et al., 1994).

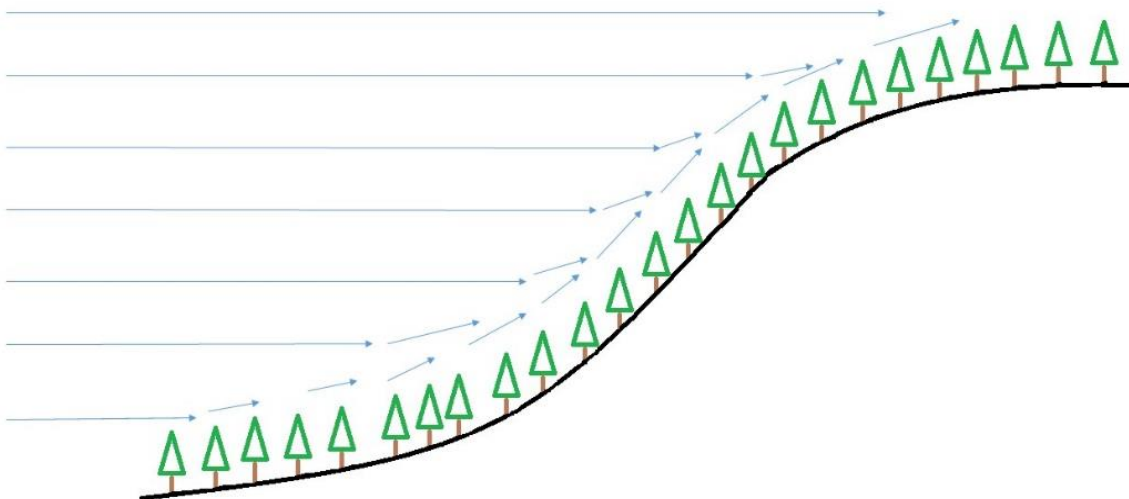
Den svenska höjdboniteringsmodellen bygger på de grövsta trädens höjdtutveckling med tiden. Detta innebär antagandet att ju större tillväxt träden har på höjden, desto bördigare mark (Albrektson, et al., 2012). Trädhöjden vid en given ålder ska dock vara en mindre bra indikator för markens bördighet enligt Chadwick & Larson (1990). Stamformen har inte något tydligt samband med boniteten och är bara delvis beroende av genetiska faktorer. Det är istället framförallt beståndsmiljön som är avgörande för trädens form. (Albrektson et al. 2012)

Valinger (1992) visade att gallring minskade höjdtillväxten i beståndet som ett resultat av att tillväxten omfördelades från övre till nedre delen av stammen. Larson (1963) och Jacobs (1954) menar att omfördelningen i tillväxt beror på en ökad påfrestning på stammen som uppstår när den blir utsatt för en större vindpåverkan. Brüchert & Gardiner (2006) visade i en studie att både höjd-/diameterkvoten (h/d-kvot) och höjden på träden ökade med avståndet från beståndskanten. Avståndet från beståndskanten minskade trädens exponering för vind. Att den större grundytan på träden högre upp i slutningen uppkommer på grund av en större vindpåverkan stöds också av Lundqvist & Elfving (2010) där man visar att diametern hos träd var större då de utsattes för en större potentiell böjningskraft.

Tillväxten av träd kan också vara korrelerad med effekten av sluttningar när det gäller tillgången på vatten (Oberhuber & Kofler, 2000). Vattnet används framförallt till att ombesörja transpirationen från

träden men också transport av näringsämnen fram till rötterna. Därför tros det finnas positiva effekter av ett rörligt markvatten. I inströmningsområdets lägre delar samt vid utströmningsområdet kan träden utnyttja grundvattnet som har tillförts högre upp i sluttningen kallat översilningsmarker. (Grip & Rodhe, 1985). Det rörliga markvattnet diskuteras ofta som en orsak till variation av bestånds tillväxt i sluttningar. Detta tas inte hänsyn till vid höjdbonitering, men vid bonitering efter ståndortsfaktorer (Hägglund et al., 2002). Idag är det fortfarande oklart hur och om rörligt markvatten ökar markens bördighet längs med en sluttning. Hägglund & Lundmark, (1977) bekräftar att det finns en variation i tillväxt där marken sluttar. Det finns däremot flera olika skäl till varför näringstillgången skulle kunna öka nedströms sluttningar (Högberg, et al., 2017)

Generellt ökar vindhastigheten logaritmiskt med höjden i sluttningen men är också beroende av friktionen mot mark och vegetationsytor. Luften koncentreras när den pressas uppåt vid sluttningens lovartsida (figur 1). Den koncentrerade luften måste ta vägen någonstans och detta uttrycker sig i en ökande vindhastighet. Ju högre upp i sluttningen vi kommer desto mer luft har tvingats uppåt och därmed skapas en ökning av vindhastighet med höjden. Vindhastigheten i terräng varierar en hel del beroende på olika friktion mot ytan. Beroende på hur topografin ser ut får man också områden med förstärkning (konvergens) eller försvagning (divergens) av vindhastigheten som i sin tur beror på vindriktningen. (Finnigan & Brunet, 1995)



Figur 1. Vindens rörelse längs en sluttning medför en ökning av vindhastigheten mot toppen.

Topografin skapar ett lokalt vindklimat genom variation av vindhastighet och riktning som skapar skillnad i påverkan på träden (Miller, 1985). Beroende på trädens placering i sluttningen uppkommer olika grad av vind påverkan (Coutts & Grace, 1995) då det lokala vindklimatet och topografin bestämmer utsattheten för träden på platsen (Peltola, 1996). Träden högre upp i en sluttning är mer utsatta för vindpåverkan. Detta borde enligt flera studier (Valinger, 1992; Valinger, et al., 1994; Valinger, et al., 1995; Karlsson, 2003; Brüchert & Gardiner, 2006; Telewinski, 2006; Meng, et al., 2008; Lundqvist & Elfving, 2010) medföra kortare och grövre träd med höjden på sluttningen i och med en ökad vindpåverkan.

Att vinden utöver rörligt markvatten har en påverkan för tillväxtmönstret är svårt att påvisa men Valinger et al (1994) visade att träden reagerar på stress på grund av vind även under vinterperioden när träden var i dvala. Eftersom det inte sker något näringsupptag som kan stimulera tillväxten ses detta som en indikation på att vinden har en direkt inverkan på hur trädens tillväxt ser ut (Hacke & Sauter, 1996).

En variation i ståndortsindex längs en sluttning skulle delvis kunna vara en effekt av skillnad i mekanisk belastning i form av vind.

Mål

Målet med studien är att se om höjden på enskilda träd i ett likåldrigt bestånd varierar med utsatthet av vind på grund av deras placering längs en sluttning, samt att se om denna skillnad bör vara en faktor att räkna med vid bonitering och till tillväxtmodeller. Data samlas in från tre stycken provytor i ett sluttande talldominerat bestånd i förstagallringsålder.

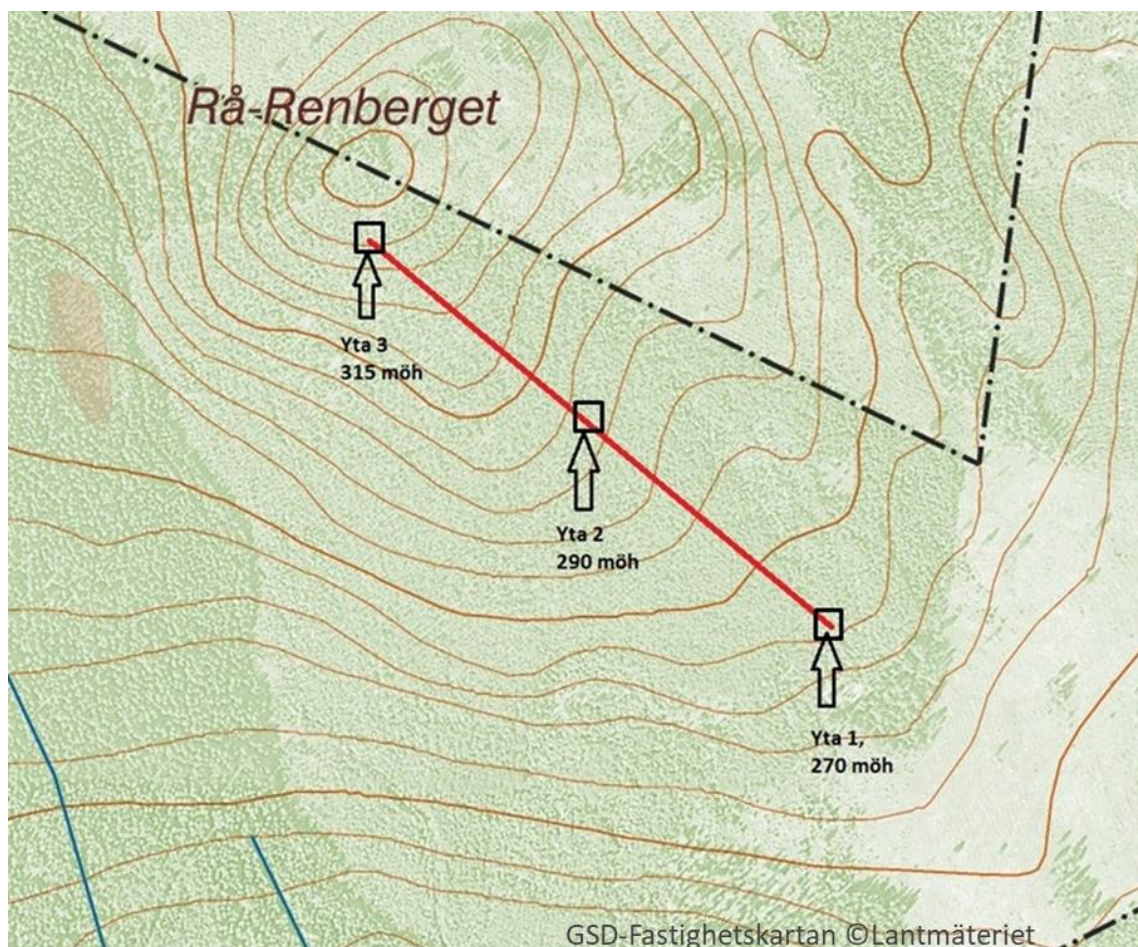
Genom att studera tillväxten av träden i sluttningen förväntas en korrelation mellan höjd och diametertillväxt med vindstyrka finnas. Variation i vindpåverkan bör uppstå då ytorna ligger på olika höjd i sluttningen.

Material och metod

Datinsamling

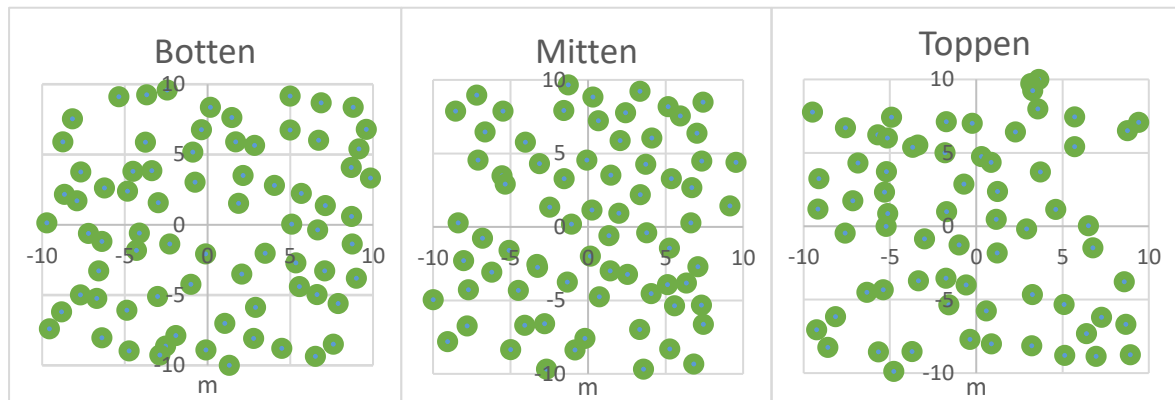
Insamlingen av materialet till arbetet gjordes i månadsskiftet september/oktober 2017 på SLU:s försökspark Svartberget avdelning 35, 7 km NÖ om Vindeln. Avdelningen var belägen på en sydsluttning på Rå-Renberget belägen 280 möh och omfattade 31,5ha. Jordarten var en sandig moig morän och mestadels frisk mark. Avdelningen hade en lutning på mellan 5-15grader. Bottenskiktet bestod av friskmossor och markvegetationen var av blåbärstyp (*Vaccinium myrtillus L.*). Avdelningen blev avverkad 1980. Efter avverkning utfördes markberedning genom fläckberedning med maskin. Hygget planterades i olika omgångar mellan 1981–84 med tall (*Pinus sylvestris L.*) samt ett mindre bestånd med Contorta (*Pinus contorta*). Hjälpplantering har sedan skett i mindre omfattning inom avdelningen. Inom avdelningen finns det inväxt av både gran (*Picea abies*) och björk (*Betula pubescens*).

Vid datinsamlingen lades en 500 meter lång transekt igenom avdelningen. Transekten placerades så att den fick en så jämn sluttning som möjligt och träden så likvärdiga förutsättningar som möjligt i form av jordart och markvegetation. Starten och slutet av transekten sattes så att kanteffekter skulle minimeras från ungskogen som gränsade till avdelningen. Tre stycken provytor lades utefter transekten med 250 meter mellanrum. Transekten lades ut med hjälp av Avenza maps där Lantmäteriets georefererade fastighetskarta användes (figur 2). Provytorna var kvadratiska med en storlek på 20x20 meter (0,04ha). Provytorna mättes ut med hjälp av måttband kompass samt korsmätning. Den totala höjdskillnaden från högsta till lägsta punkten på transekten är 45 meter.



Figur 2. Karta över transekt samt provytornas position längs den undersökta sluttningen.
GSD-Fastighetskartan ©Lantmäteriet

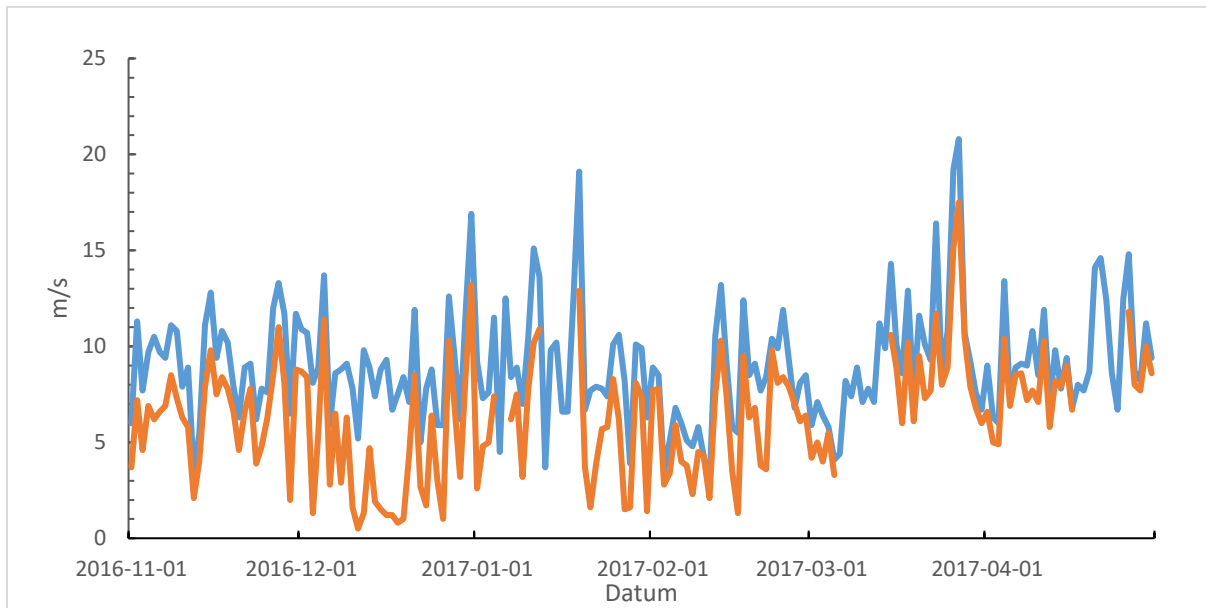
Samtliga träd inom varje provyta kordinatsattes för att kunna se den rumsliga spridningen på träden (figur 3). Detta utfördes genom att använda Haglöf Pos Tex 1.0. För varje träd högre än 5 meter inom provytan mättes DBH (diameter i brösthöjd) med Haglöf dataklave, PosTax DP 1.0. Höjd (h) och grönkrongräns (h_g) mättes med hjälp av Haglöf höjdmätare, Pos Tex. Största kronradie (r_k) mättes med hjälp av tumstock. Kronradien mättes som avståndet från stammen till yttersta delen av trädets grönkrona (figur 5). Dessutom antecknades eventuella skador eller defekter på träden.



Figur 3. Trädfördelning /spridning av träden på respektive provyta

Boniteten och ståndortsindex togs fram via insamlade data från provytorna. Ståndortsindex beräknades både från höjdbonitering (SIH) samt via ståndortsegenskaper (SIS). SIH räknades fram via (Skogskunskap, 2017). SIS räknades fram utifrån (Hägglund & Lundmark, 1987).

En mätserie som visar skillnaden i vindhastighet mellan två mätstationer vid Svartberget (figur 4). Mätserien sträcker sig ifrån 1 november till 30 april 2017. Den övre stationen är 38 meter upp i en mast 230 meter över havet (16 meter ovan skog) i en sluttning totalt 268 meter över havet. Den nedre stationen är belägen i botten av samma sluttning 10 meter upp i en mast som är belägen 175 meter över havet, totalt 185 meter över havet. Den nedre masten är belägen på en öppen yta med omgivande träd som är cirka 17 m höga. Mätserien ger en bild av hur vindskillnaden ser ut och ett exempel på hur vindhastigheten ökar med höjden i den undersökta sluttningen.



Figur 4. Översikt skillnad i max vindhastighet per dag under vinterhalvåret mellan mätstationer. Blå plottad linje representerar övre mätstationen, orange den nedre mätstationen.

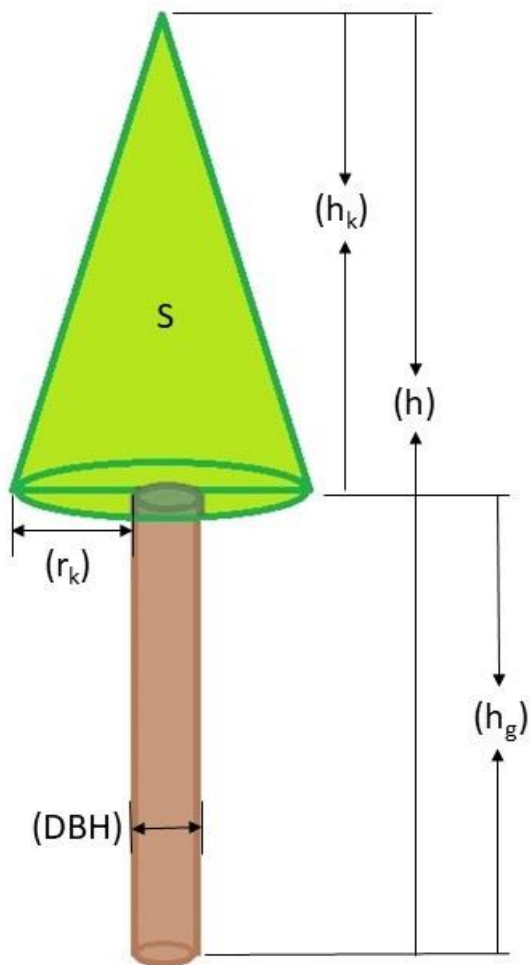
Databearbetning

Döda träd som hade tappat sin grönmassa ansåg inte påverka resultatet och togs därför inte med i beräkningarna.

De biomekaniska funktionerna som används uppskattar vridmoment och vindbelastning utifrån hävstångens längd (l), storleken på trädets krona (S) samt diametern på trädet i bröst höjd (d). Formlerna utgår från Lundqvist & Elfving (2010) samt Dean & Long (1986):

$$d \propto (SlF_w)^k$$

Träd kronans storlek (S) antogs ha formen av en kon för att underlätta beräkningarna (figur 5). F_w är den vindstyrka som verkar på trädet och k är en konstant på $1/3$ (Niklas, 1992).



Figur 5. Förtydligande mått insamlade data.

Kronlängden (h_k) för träden beräknades med hjälp av höjden (h) samt grönkrongränsen (h_g):

$$h_k = h - h_g$$

Trädens kronor antogs ha formen av en kon. På så sätt kunde kronvolymen (S) räknas ut genom att använda kronradie (r_k) och kronlängden (h_k) enligt formeln:

$$S = \left(\frac{\pi * h_k * r_k^2}{3} \right)$$

Hävstångens längd (l) är avståndet från kronans tyngdpunkt till höjden där trädstammens diameter mättes in (1,3 meter). Kronans tyngdpunkt ligger i toppen av den nedre tredjedelen av kronan. Hävstången räknas ut med följande formel:

$$l = \left(\frac{h_k}{3} \right) + h_g - 1,3$$

Det teoretiska vridmomentet (V_m) på stammen i brösthöjd (1,3 meter) beräknades:

$$V_m = (S * l)^{\frac{1}{3}}$$

Den teoretiska vindbelastningen (F_w) som uppstår per träd beräknas enligt formeln:

$$F_w = \frac{d}{V_m}$$

För att få ut medelvinkeln på slutningen där provytorna är tagna användes avstånd från första till sista provytan (L_s) samt höjdskillnaden mellan dessa (h_s) i formeln:

$$v = \arcsin\left(\frac{h_s}{L_s}\right)$$

Resultat

Höjdboniteringen (SIH) visar på stor variation i ståndortsindex med flera meter mellan provytorna. Trenden är inte lika tydlig för boniteringen med ståndortsegenskaper (SIS). h/d-kvoten visar på att de slankaste träden finns på mittenytan (tabell 1).

Tabell 1. Ståndortsindex för provytorna baserat på höjdbonitering och ståndortsegenskaper samt medelvärdet för h/d-kvoten.

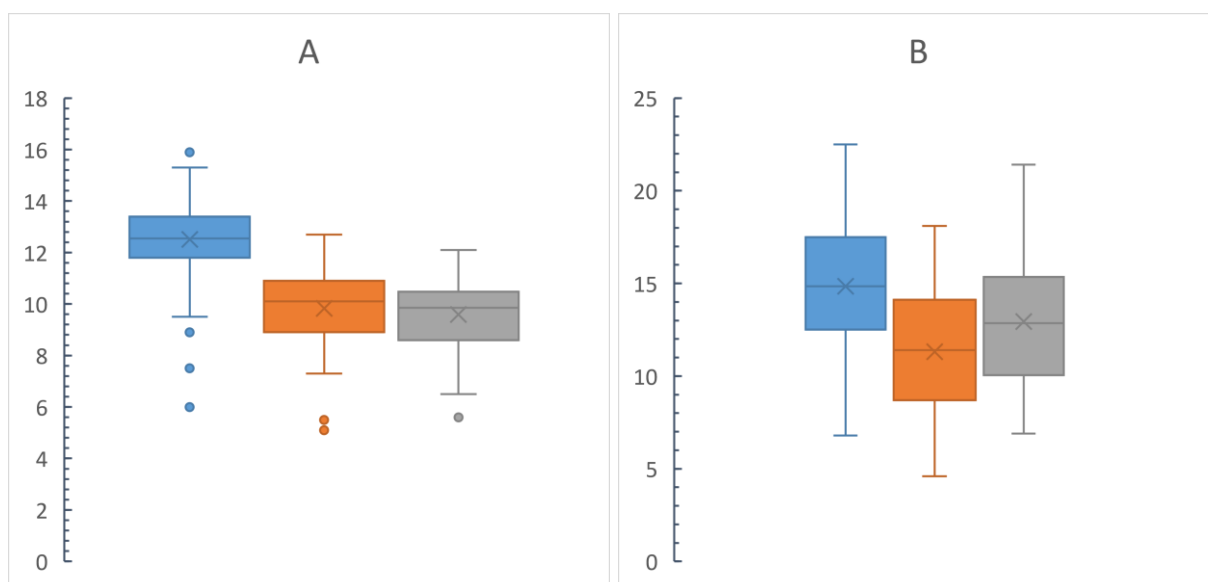
Yta	SIH	SIS	h/d- kvot
Botten (1)	T 28	T 20	0,87
Mitten (2)	T 24	T 20	0,92
Toppen (3)	T 23	T 18	0,77

Medel av teoretisk vindbelastning per träd inom provytorna har en tydlig ökning med höjden i slutningen. På yta toppen är det lägst stamantal och lägst h/d-kvot. Kronvolymen i medeltal är störst på träden längst ned i slutningen (tabell 2).

Tabell 2. Skillnad i beräknade värden mellan provytor

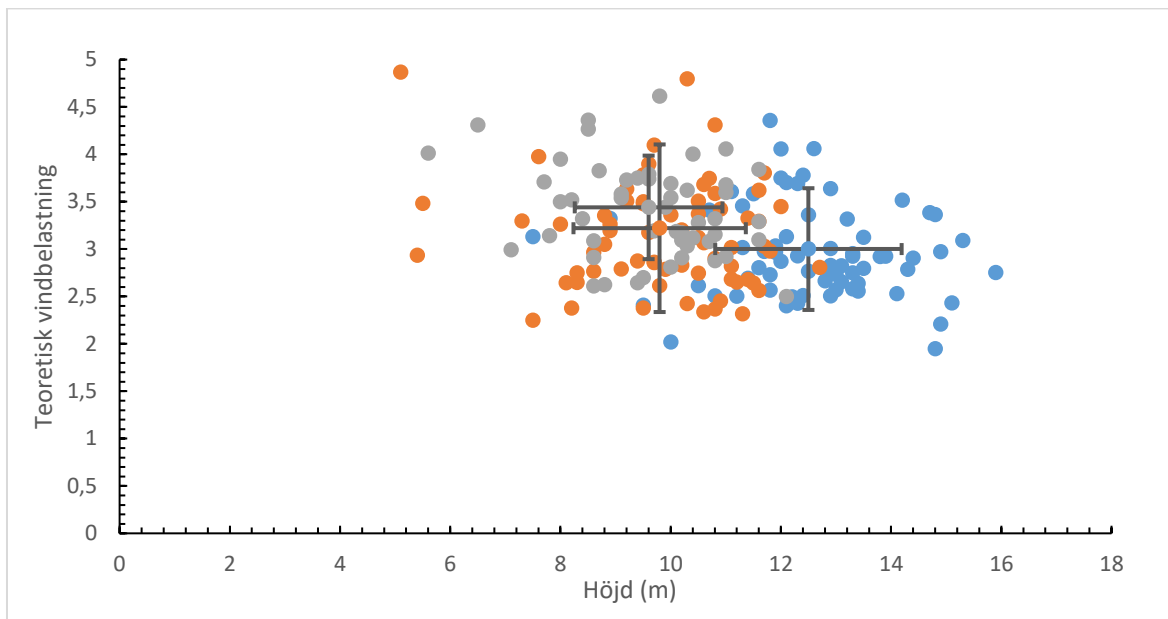
Yta	Kronvolym (m ³)	stammar/ha	Teoretisk vindbelastning
Botten (1)	22,4	1875	3,0
Mitten (2)	12,3	1850	3,2
Toppen (3)	15,6	1625	3,4

Höjden (A), har en trend som följer hypotesen att minskning med höjden på slutningen. DBH (B) för yta Mitten följer dock inte förväntat mönster. (figur 6).



Figur 6. Boxplot för höjd i meter (A) samt boxplot för DBH i cm (B). Blå box för Botten provytan, orange box för Mitten och grå för Toppen provytan.

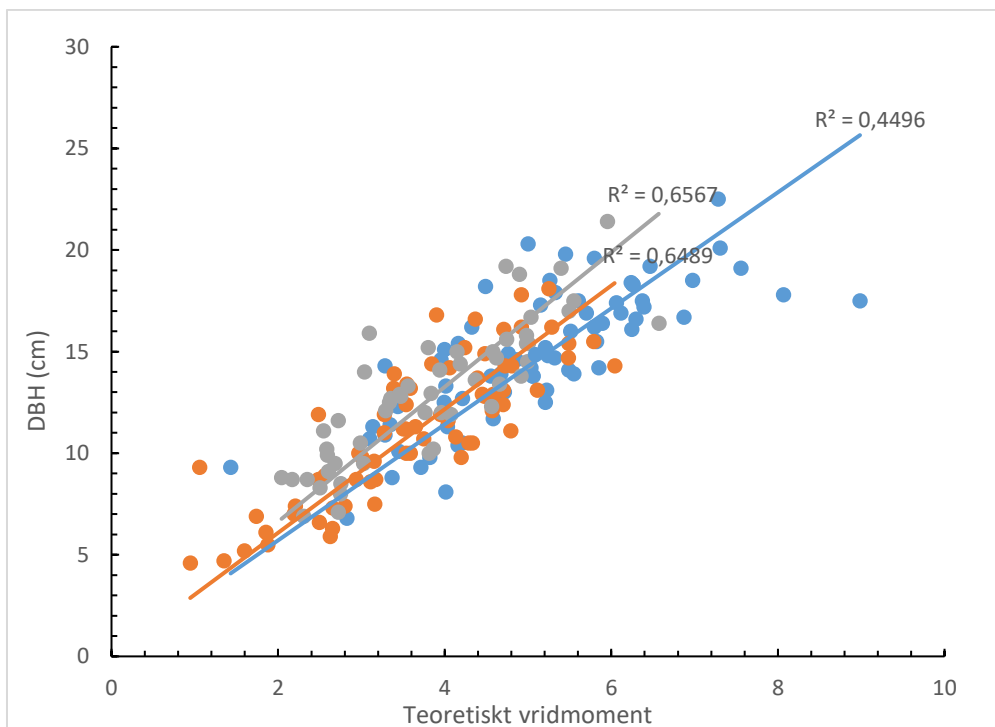
En stor variation i trädhöjd inom och mellan provytorna samt även för den teoretiska vindbelastningen. Den genomsnittliga vindbelastningen var lägst på yta botten och högst på yta toppen (figur 7).



Figur 7. Plottning av insamlade höjddata samt beräknad vindbelastning från samtliga provytor inklusive standardavvikelsen för samtliga ytor. Blå representerar Botten, orange Mitten och grå Toppen.

Den uträknade medelslutningen för transekten har en lutning på 5 grader, vilket ger en medellutning på cirka 9 procent.

Diagrammet i (figur 8) visar en tydlig korrelation mellan ökad DBH med ökat vridmoment, (högt r^2). Trendlinjerna har olika lutning vilket visar på att den teoretiska vindkraften är högst för yta toppen (grå linje) och lägst för yta botten (blå linje).



Figur 8. Plottning av vridmoment samt DBH för samtliga tallar på de tre provytorna. Blå representerar Botten, orange Mitten och grå Toppen.

Diskussion

Datainsamlingen skedde på hösten och många av björkarna hade tappat huvuddelen av sina löv. Detta gjorde det svårare att mäta upp grönkrongräns samt kronradie för de få björkarna som fanns på ytorna. Kronradien mättes som den längst utstickande levande grenen från stammen detta medför att kronstorleken generellt överskattats. Svårbedömda träd nära provytegränsen togs bort när data från avståndsmätningen analyserades.

Antagandet för studien var att det skulle finnas en mätbar skillnad i trädens utseende mellan de olika provytorna längs med sluttningen. Förhoppningarna var att detta skulle visa sig som en tydlig trend mellan ytorna. Resultaten hade dock inte det tydliga mönster som väntats. Detta utesluter dock inte att vissa slutsatser kan dras från resultaten.

Vindpåverkan används inte som en faktor vid bonitering idag även fast det är många studier som visar på skillnad i tillväxt på grund av vindpåverkan. Enligt Albrektson, et al., (2012) är höjden hos de dominerande träden i beståndet ett bättre sätt att mäta växtplatsens bördighet på än exempelvis diameter eller stamvolym. Dominerande träd i ett bestånd har nämligen en någorlunda lagbunden tillväxt på höjden som inte påverkas av varken gallring eller beståndstäthet. I denna studie fans de högsta överhöjdsträden på den nedersta ytan och de lägsta högst upp. Rörligt markvatten kan vara en bidragande orsak till variationen i trädstorlek men inte den enda. Om endast närings och vattentillgång påverkade tillväxten skulle troligen inte h/d-kvoten för träden varierat lika mycket mellan provytorna.

Inventering med hjälp av höjdbonitering i ett sluttande bestånd skulle kunna ge ett felaktigt resultat. Detta visas i resultatet från boniteringen av provytorna där variationen är ganska stor mellan topp och bottenytan. För boniteringen med ståndortsegenskaper så varierar inte resultatet lika mycket på grund av att parametrarna för ståndortsboniteringen inte påverkas av höjdskillnaden i sluttningen. Att yta Toppens index är något lägre beror på att ytan faller i en annan klass vad gäller rörligt markvatten. Höjdboniteringen är däremot beroende av storleken på träden, en stor variation i indexet tyder därför på en stor variation i trädstorleken mellan provytorna vilket också visas i mätdata.

Meng, et al., (2006) visade att träd som stabiliserats med vajrar fick en ökad krontillväxt. Bottenytans träd hade inte stabiliserats men den teoretiskt mindre vindpåverkan har troligen en liknande effekt på träden vilket också stämmer överens med den större kronvolymen för ytan. Teorin stöds också av Valinger (1992) där förändringen i tillväxtmönster antogs uppstå från omfördelning av tillväxt hos trädet som ett resultat av vindpåverkan.

Hypotesen var att mittenytans uppmätta värden skulle ligga tydligt emellan Toppen och Bottenytans värden men det gjorde den inte. Detta kan ha berott på flera orsaker. Mittenytan hade en hög h/d-kvot likt ett tätt bestånd med hög konkurrens om tillgängligt ljus (Oliver & Larson, 1996). Detta stöds inte av mängden träd på ytan då yta Botten har fler träd och högre medelhöjd men lägre h/d- kvot. Placeringen av träden inom provytorna antyder att träden på yta Mitten stod mer koncentrerat. Koncentrationen bidrar troligen till att träden stabiliserar varandra och inte påverkats av vinden i samma utsträckning som övriga träd. Av provytorna ligger Mitten längst ifrån beståndskanten och påverkas minst av kanteffekten (Peltola, 1996). Kronkollision med intilliggande träd som en effekt av vindpåverkan spelar en stor roll i att minska kronutvecklingen (Meng, et al., 2006) och kan vara en anledning till de mindre trädkronorna. Men enligt Lundqvist & Elfving (2010) så är varken storleken eller formen på trädkronan korrelerad med avståndet till närmaste grann träd. Från det insamlade data är det svårt att dra någon konkret slutsats. Med ett större försök med flera provytor skulle troligen frågetecknet försvinna.

Trädens storlek minskar med höjden på sluttningen där även den teoretiska vindbelastningen ökar. Detta kan tolkas som ett resultat av den högre vindpåverkan då variation i diameter och höjd på träden är starkt korrelerat med deras vindexponering (Brüchert & Gardiner, 2006). Tillsammans med det teoretiska vridmomentet som har en stark korrelation med trädens DBH skapas ett tydligare resultat. De olika

lutningarna på trendlinjerna tyder på att vindstyrkan har olika påverkan. En brantare linje antyder högre vindbelastning. Även fast denna studie endast täcker tre provytor längs med en sluttning så går det att se en tydlig skillnad i vindpåverkan från insamlad data. Slutsatser som kan dras är att vindpåverkan för träden inte är konstant över sluttningen. Inte heller är trädens storlek lika, då träden sannolikt anpassar sig efter vinden som i hypotesen.

En statistisk analys av data i studien för beräkning av signifikansen mellan provytorna är inte utförd. Signifikansen för variationen mellan provytorna kan inte fastställas då observationerna inte kan sägas vara oberoende av varandra. För att kunna få ett säkrare resultat om vindpåverkan där flera slutsatser kan dras krävs vidare studier. Den ringa storleken på denna studie medför att den endast kan ses som en förstudie till fortsatt forskning. Sluttningar i olika väderstreck skulle kunna undersökas för att testa om detta har påverkan på resultatet. Att använda sig av vindmätare på provytorna längs sluttningar som undersöks skulle tydliggöra variationen av vind längs sluttningen.

Idag är hela Sverige laserscannat av Lantmäteriet (Lantmäteriet, 2016). Lantmäteriets markdata skulle kunna användas i modeller för att simulera vindrörelsen över ett landskap. Med en sådan modell skulle det vara möjligt att beräkna vindbelastningen för riksskogstaxeringens permanenta ytor och jämföra med provträden från dessa.

Litteraturförteckning

Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L. & Valinger, E., 2012. *Skogsskötselns grunder och samband*. 2nd red. u.o.:Skogsstyrelsen.

Brüchert, F. & Gardiner, B., 2006. The effect of wind exposure on the tree aerial architecture and biomechanics of Sitka spruce. *American Journal of Botany*, 10(93), pp. 1512-1521.

Chadwick, O. D. & Larson, B. C., 1990. *Forest Stand Dynamics*. New York: McGraw-Hill, Inc..

Chapin, F. S., Matson, P. A. & Vitousek, P. M., 2011. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. 2nd red. New York: Springer New York.

Coutts, M. P. & Grace, J., 1995. *Wind and Trees*. New York: Press Syndicate of the University of Cambridge.

Dean, T. J. & Long, J. N., 1986. Validity of Constant-stress and Elastic-instability Principles of Stem Formation in *Pinus contorta* and *Trifolium pratense*. *Annals of Botany*, 58(6), pp. 833-840.

Finnigan, J. J. & Brunet, Y., 1995. Turbulent airflow in forest on flat and hilly terrain. i: *Wind and Trees*. Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge, pp. 3-40.

Grip, H. & Rodhe, A., 1985. *Vattnets väg från regn till bäck*. Umeå och Uppsala: Forskningsrådets Förlagstjänst.

Hacke, U. & Sauter, J. J., 1996. Xylem dysfunction during winter and recovery of hydraulic conductivity in diffuse-porous and ring trees. *Oecologia*, 105(4), pp. 435-439.

Hägglund, B. & Lundmark, J.-E., 1987. *Bonitering Diagram och Tabeller*. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Hägglund, B. & Lundmark, J.-E., 1977. Site index estimations by means of site properties. Scots pine and Norway spruce in Sweden. *Studia Forestalia Suecica*, Issue 138, pp. 2-38.

Hägglund, B. & Lundmark, J.-E., 2002. *Bonitering*. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Högberg, P., Näsholm, T., Franklin, O. & Högberg, M. N., 2017. Tamm Review: On the nature of the nitrogen limitation to plant growth in Fennoscandian boreal forests. *Forest Ecology and Management*, Volym 403, pp. 161-185.

Jacobs, M., 1954. The Effect of Wind Sway on the Form and Development of *Pinus radiata* D. Don. *Australian Journal of Botany*, 2(1), pp. 35-51.

Karlsson, J., 2003. *Modellering av diametern hos tall (Pinus sylvestris) som en effekt av beståndstäthet och biomekanik*, SLU, Institutionen för skoglig ekologi och skötsel : Jägmästarprogrammet (2013:10).

Lantmäteriet, 2016. *Produktbeskrivning, Laserdata*. [Online]
Available at: <https://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/hojddata/produktbeskrivningar/laserdat.pdf>
[Använd 20 01 2018].

Larson, P. R., 1963. Stem Form Development of Forest trees. *Society of American Foresters*, 9(4), pp. 1-31.

Lundqvist, L. & Elfving, B., 2010. Influence of biomechanics and growing space on tree growth in young *Pinus sylvestris* stands. *Forest Ecology and Management*, 260(12), pp. 2143-2147.

- Lundqvist, L. & Valinger, E., 1996. Stem Diameter Growth of Scots Pine Trees after Increased Mechanical Load in the Crown during Dormancy and (or) Growth. *Annals of Botany*, Issue 77, pp. 59-62.
- Meng, S. X. o.a., 2008. Wind speed and crown class influence the height–diameter relationship of lodgepole pine: Nonlinear mixed effects modeling. *Forest Ecology and Management* 256, 256(4), pp. 570-577.
- Meng, S. X., Rudnicki, M., Lieffers, V. J. & Reid, D. E. B., 2006. Preventing crown collision increases the crown cover and leaf area of maturing lodgepole pine. *Journal of Ecology*, 94(3), pp. 681-686.
- Miller, K. F., 1985. *Windthrow hazard classification*. London: Forestry Commission leaflet.
- Moore, M., 1977. Factors Contributing to Blowdown in Streamside leave strips on Vancouver Island. *Land Management Report British Columbia Forest Service (Canada)*, Volym no. 3.
- Niklas, K. J., 1992. *Plant Biomechanics An Engineering Approach to Plant Form and Function*. Chicago & London: The University of Chicago Press.
- Oberhuber, W. & Kofler, W., 2000. Topographic influences on radial growth of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at small spatial scales. *Plant Ecology* 146, 146(2), pp. 231-240.
- Oliver, C. D. & Larson, B. C., 1996. *Forest Stand Dynamics*. New York: John Wiley and Sons.
- Peltola, H., 1996. Swaying of trees in resonance to wind and thinning in a stand of Scots pine. *Boundary-Layer Meteorology* 77, 77(3-4), pp. 285-304.
- Petty, J. & Swain, C., 1985. Factors influencing stem breakage of conifers in high wind. *Forestry*, Volym 58, pp. 75-84.
- Skogskunskap, 2017. *Skogskunskap*. [Online]
Available at: <https://www.skogskunskap.se/rakna-med-verktyg/mata-skogen/standortsindex/>
[Använd 29 01 2018].
- Skovsgaard, J. & Vanclay, J. K., 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry*, 81(1), pp. 13-31.
- Stadt, K. J. o.a., 2007. Evaluation of competition and light estimation indices for predicting diameter growth in mature boreal mixed forests. *Annals of forest science*, Issue 64, pp. 477-409.
- Telewinski, F. W., 2006. A unified hypothesis of mechanoperception in plants. *American Journal of Botany*, 93(10), pp. 1466-1476.
- Valinger, E., 1992. Effects of Thinning and Nitrogen Fertilization on Stem Growth and Stem Form of *Pinus sylvestris* Trees. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 7(1-4), pp. 219-228.
- Valinger, E., Lundqvist, L. & Sundberg, B., 1994. Mechanical stress during dormancy stimulates stem growth of Scots pin seedling. *Forest Ecology and Management* 67, pp. 299-303.
- Valinger, E., Lundqvist, L. & Sundberg, B., 1995. Mechanical bending stress applied during dormancy and (or) growth stimulates stem diameter growth of Scots pine seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, pp. 886-890.