



Kronandelsrelaskopering, en ny metod för att fastställa gallringsbehov?

*Relascope sampling for crown ratio estimation,
a new method for determining thinning needs?*

Jonas Wikman

**Arbetsrapport 351 2012
Examensarbete 30hp D
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Göran Ståhl**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
901 83 UMEÅ
www.slu.se/srh
Tfn: 090-786 81 00



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-351-SE

Kronandelsrelaskopering, en ny metod för att fastställa gallringsbehov?

*Relascope sampling for crown ratio estimation,
a new method for determining thinning needs?*

Jonas Wikman

Examensarbete i Skogshushållning vid institutionen för skoglig resurshushållning, 30 hp
Jägmästarprogrammet

EX0707

Handledare: Göran Ståhl, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, resursanalys

Examinator: Torgny Lind, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, resursanalys

Förord

Examensarbetet har utförts vid institutionen för skoglig resurshushållning, SLU i Umeå. Fältarbete har utförts på Sveaskogs marker strax norr om Vindeln.

Jag vill rikta ett stort tack mina två handledare på SLU, Sebastian Schnell och Göran Ståhl, som jag under arbetets gång bollat många idéer med och fått mycket bra återkoppling ifrån. Jag vill även tack Erik Wilhelmsson som bistått med Vertex IV och transponder, vilket har underlättat fältarbetet.

På Sveaskog vill jag tacka Tommy Karlsson, Anders Eriksson och Peter Gunnarsson som bistått med nödvändig fältutrustning, resonemang kring val av trakt samt snabb och smidig återkoppling i övriga frågor och funderingar som uppkommit under arbetets gång.

Sammanfattning

Gallringsbehov bedöms idag utifrån det indirekta måttet grundyta. Gallringsmallen baseras på en tänkt produktionsskog, vilket ibland leder till mindre lämpliga skötselåtgärder i bestånd som avviker från grundmodellen. Allt sedan Walter Bitterlich 1948 lanserade relaskopet har ett flertal modifieringar utvecklats för olika ändamål. Gemensamt är att alla grundar sig på en princip om vinkelmätning. Teoretiskt är det möjligt att tillämpa samma princip vid kronandelsrelaskopering, d.v.s. relaskopmätning för att fastställa andelen grönkrona hos träden i ett bestånd. Genom enkel räkning av träd, baserat på deras höjd och kronlängd, kan en skattning av beståndets genomsnittliga kronandel genomföras, varvid en snabb bedömning av gallringsbehov i ogallrade bestånd kan göras. Studiens syfte är således att finna ett alternativ till dagens metoder för att bestämma gallringsbehov genom bestämning av kronandel istället för grundyta. Inom ramen för arbetet har främst noggrannheten i metoden att bestämma kronandel genom relaskopering utvärderats.

Studien inleddes med en instrumentutvecklingsfas följt av en mätfelsstudie vars syfte var att identifiera samt kvantifiera mätfel orsakade av förbisedda eller felaktigt selekterade träd. Därefter utfördes en andra fältstudie med målet att fastställa stickprovsvil fel då instrumentet används vid praktisk beståndsinventering. För det senare syftet inventerades totalt 120 provtyper i fyra bestånd med två olika metoder.

Resultaten visar att kronandelsrelaskopering fungerar väl i teori som praktik. Mätfelsstudien visar på relativt låga mätfelsvärden på 10,6 % för trädlängd och 8,8 % för kronlängd vilket är klart jämförbart med det konventionella relaskopets mätfel på 5-15 %. Stickprovstudien visar att kronlängd och trädlängd kan skattas med en precision omkring 4-8 % respektive 4-9 % medelfel, vilket i sin tur möjliggör en kronandelsskattning med ett medelfel på 2,3 till 3 %, vilket är mycket hög precision.

NYCKELORD: Kronandel, relaskop, grönkrona, gallringsbehov

Abstract

In today's forestry, assessments of needs for thinning are based on basal area measurements. This is an indirect measurement. The approach and the developed assessment tables are based on an assumed production forest, which implies that management proposals in stands that deviate from the basic model may be misleading. Since Walter Bitterlich in 1948 launched the idea of the relascope, several modifications have been developed for different purposes. In common is that all are based on a certain angle measurement principle. Theoretically it is possible to apply the same principle for tree crowns as well. By simply counting trees based on their height and crown length average stand-wise crown ratios can be estimated for a rapid assessment of thinning needs in non-thinned stands. The objective of this study was to find an alternative to the current methods for determining thinning needs, where direct studies the green crown rather than of the basal area would be the core idea. The studies mainly have involved assessments of the accuracy of the proposed method for estimating crown ratio.

The study began with the development of an instrument followed by a phase of measurement error assessment; the purpose was to identify and quantify errors caused by missing or wrongly selecting trees. A second field study was carried out with the aim of determining the sampling error when using the instrument in stand surveys. For that purpose a total number of 120 sample plots was inventoried in four stands by two different plot layouts.

The results show that the crown relascope works in both theory and practice. The measurement error study presents a relatively low measurement error of 10,6 % for height and 8,8% for crown length, which is well comparable to the measurement error for the conventional relascope of 5-15 %. The sampling error study shows that crown length and tree height can be estimated with a precision of about 4-8 % and 4-9 % of the mean, respectively, which in turn allows crown ratio estimation with a standard error as low as 2,3 to 3 %.

KEY WORDS: Crown ratio, relascope, green crown, thinning needs

Innehållsförteckning

1	Introduktion	6
1.1	Syfte med studien.....	8
2	Material och metoder.....	8
2.1	Teori.....	8
2.1.1	Inventeringsmetoder	12
2.1.2	Instrumentutveckling	14
2.2	Mätfelsstudie.....	16
2.3	Stickprovsvfel	17
2.3.1	Beräkningar	18
3	Resultat	20
3.1	Mätfelsstudie.....	20
3.2	Stickprovsvfel	22
4	Diskussion	24
4.1	Urval	24
4.2	Mätproblematik.....	25
4.3	Gränshantering.....	25
4.4	Studiens omfattning	26
4.5	Mätfelsstudie.....	26
4.6	Stickprovsvfelsstudie	27
4.7	Jämförelse med annan studie	27
4.8	Resultaten i ett större sammanhang	28
4.9	Slutsats	28
5	Litteraturförteckning.....	29

1 Introduktion

I dagens traktthyggesbruk bedöms gallringsbehov utifrån generella gallringsmallar (Kunskapdirekt 2011), eller utifrån av organisationen egenhändigt utarbetade mallar. Gallringsmallen baseras på grundyta och övrehöjd, där grundyta ger en fingervisning om stamtätheten inom ett bestånd. Grundyta är ett indirekt mått på gallringsbehov till skillnad från kronandel. Övriga stöd till detta beslutsfattande kan vara årsringstäthet på borrvprov, krontakets slutenhet, samt kronlängd (Kunskapdirekt 2011). Gallringsmallarna är utformade utifrån enskiktade och trädslagsrena skogar, vilka har skötts med lämpliga åtgärder, med andra ord en ideal produktionsskog. I praktiken är variationen väsentligt större eftersom ambition och målsättning varierar skogsägare emellan; därtill varierar normalt en rad andra faktorer, t.ex. breddgrad, fysisk växtplats och de förutsättningar som betingas av dessa. Ett vanligt problem som konventionella relaskopsmätningar medför, är att låga värden på grundyta kan erhållas i bestånd med högt stamantal av relativt klena dimensioner och höga värden i bestånd med få stammar men grova dimensioner. Detta medför i förlängningen att gallringsmallen kommer att föreslå olämpliga åtgärder i dessa bestånd. Situationen är vanligast förekommande i de fall inventeringsarbete utförs i blandskogar, olikåldriga bestånd samt gruppställda bestånd; dessa tillstånd har ej beaktats vid skapandet av gallringsmallen (Kunskapdirekt 2011).

För att en inventeringsmetod ska kunna användas i praktiken krävs att den har acceptabel precision samt är kostnadseffektiv. Ett exempel på en sådan metod är den relaskoperingsmetod som ofta tillämpas inom skogsbruket idag för att fastställa grundyta. Metoden är dock inte ny, utan har länge varit känd, alltsedan österrikaren Walter Bitterlich 1948 utvecklade denna form av vinkelräkningsmetod Bitterlich (1948). Idén var att göra ett urval proportionellt mot storlek, vilket uppnåddes genom att tilldela de grövre träden en större sannolikhet att bli utvalda, då dessa grövre träd ofta är minst till antalet inom ett bestånd. Sedan dess har flera varianter på denna metod utvecklats och testats för olika syften med varierande resultat. Det handlar om att bedöma diverse parametrar som på varierande avstånd skall passa in i det specifika instrumentets givna öppningsvinkel, som ibland kallas instrumentets ”kritiska vinkel”, en vinkel som bestäms av instrumentets utformning.

Den relaskopmetod som idag används erbjuder en snabb och enkel skattning av grundyta per hektar, genom att registrera de träd som är lika med eller större än den öppningsvinkel, som instrumentets utformning ger. Metoden selekterar alltså ut träd proportionellt mot dess grundyta (d.v.s. genomskärningsyta i brösthöjd), vilket möjliggör precisa skattningar av skogliga parametrar relaterade till trädets dimension, som grundyta och volym. Teoretiskt är det möjligt att applicera samma princip även för relaskopering av kronlängd och trädlängd. Istället för att skatta grundyta per hektar skattas då summa av kronlängd per hektar samt summa av trädlängd per hektar. Tanken är att använda kvoten mellan kronlängd och trädlängd d.v.s. kronandel för att bedöma huruvida gallringsbehov föreligger eller ej. Metoden kan vara lämplig för att göra en snabb och enkel bedömning av unga ogallrade bestånds gallringsbehov. I studien har tallens gränsvärde för kronandel i förstagallring satts till halva trädlängden. Detta p.g.a. att tallen är ett ljuskrävande trädslag vilket leder till att gallringsbehov kommer att inträffa tidigare än hos exempelvis granen Hallsby (2007). En kronandel mindre än halva trädlängden tyder på gallringsbehov. Detta gränsvärde bör ej användas i senare gallringar (Kunskapdirekt 2011).

Initiativet till studien bottenar i att finna ett generellt alternativ till dagens metoder genom att studera grönkronandel som är ett mer direkt mått på gallringsbehov istället för det mer indirekta måttet grundyta. I Lappi et al. (1983) redovisas en likartad idé och ett instrument lanseras med vars hjälp karaktärsdragen i ett bestånd ett par år efter förnygringstillfället kan uppskattas. Principen är att registrera träd som når över en viss markering på en graderad sticka, på ett bestämt avstånd från ögat; en 360°-mätyta används. Liknande resonemang kring ungskogsinventering kan återfinnas i Bickerstaff (1961). I den studien genomförs istället registreringar utifrån en rak linje, en så kallad "baseline" med en fixerad vertikal vinkel på 45°. Provytan blir då kvadratisk och bör enligt studien vara proportionell mot höjden av de objekt som avses bli registrerade.

En metod för att skatta volym av nedfallen grov död ved behandlas i Ståhl et al. (2010). Principen är ett relaskop eller prisma, som tippats 90° till horisontalläge för att där mäta den kritiska längden av en stock, d.v.s. den del av stocken vars diameter fyller ut spalten i relaskopet. Volym dödved per hektar erhålls sedan genom att summera de kritiska längderna och, multiplicera med relaskopets räknefaktor.

I Stenberg et al. (2008) behandlas ett instrument vars syfte är att skatta ett bestånds krontäckning. Principen är att kronans maximala diameter skall täcka en viss bredd på den mätsticka som hålls på ett fast avstånd från ögat, vilket i detta fall utgör den kritiska vinkeln för detta instrument.

Mängden bladyta per arealenhet, *Leaf area index* (LAI), behandlas i Brèda (2003). LAI definieras som det genomsnittliga antal barr/blad en vertikal ljusstråle passerar på sin väg till marken i ett bestånd; LAI är en viktig faktor i bl.a. växtfysiologiska studier av ett bestånds produktivitet och det påverkar också mikroklimatet under krontaket. Denna parameter är dock svår att skatta, bl.a. på grund av stora variationer mellan olika delar av ett bestånd samt som en följd av säsonsrelaterade variationer. Bestämning av mängden grönkrona i ett bestånd, t.ex. genom kronandelsrelaskopering, skulle kunna ge ett mått som har god korrelation med LAI.

De systematiska fel som det konventionella relaskopet medför studerades i Danielsson & Larsson (1964) via en omfattande relaskoperingsstudie där 35 erfarna förrättningsmän relaskoperade 18 stycken i förväg kontrollmätta punkter. Studien visar att systematiska fel är relativt vanliga.

1.1 Syfte med studien

Syftet med den aktuella studien är att undersöka om kronandelsrelaskopering kan utgöra ett komplement till konventionell relaskopmätning och de gallringsmallar som idag tillämpas för att bedöma gallringsbehov i yngre gallringsskog. Studien genomfördes i fyra steg:

1. Ett teoriavsnitt som syftar till att öka förståelsen hos läsaren samt visa på principen för hur kronandelsrelaskopering fungerar.
2. Ett avsnitt om instrumentutveckling. Eftersom metoden inte tidigare tillämpats utgör detta en oumbärlig del för insamlingen av data.
3. En mätfelsstudie som syftar till att identifiera eventuella felkällor samt kvantifiera deras omfattning.
4. En studie av stickprovsvfel, som syftar till att fastställa storleksordningen av dessa vid praktisk tillämpning av metoden.

Det faktiska sambandet mellan kronandel och gallringsbehov har emellertid endast granskats översiktligt via litteraturstudier. Studien har istället inriktats på metodfrågor kring bestämning av kronandel genom relaskopmätning i yngre gallringsskog.

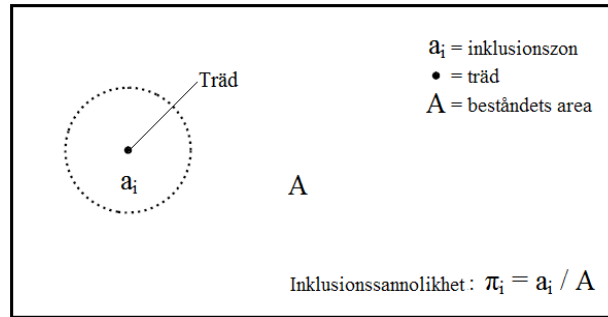
2 Material och metoder

2.1 Teori

Kronandelsrelaskopet bygger på ungefär samma princip som det konventionella relaskopet. De vertikalt orienterade spaltöppningarna utnyttjar emellertid trädlängd och kronlängd istället för trädets grundyta. Måtten summa kronlängd, summa trädlängd, summa kronlängdskvadrat samt summa trädlängdskvadrat kan erhållas genom enkel räkning av träd i samband med linje- respektive punktinventering i bestånd. Som angivits ovan är studiens syfte att bedöma hur väl dessa parametrar, samt kronandelar beräknade som kvoterna mellan de aktuella måtten kan fastställas genom relaskopmätning i yngre gallringsskog.

Dessa skattningar möjliggörs genom tillämpning av *Horvitz-Thompson* formeln (se formel 1). Med den kan en populationstotal skattas via det stickprov som samlas in för trädlängd respektive kronlängd. För att kunna tillämpa denna formel måste först inklusionssannolikheten, π_i för träd fastställas.

Vid provyteinventering kan inklusionssannolikhet relateras till s.k. inklusionszoner för olika objekt, i detta fall träd. För träd i ett bestånd kan en inklusionszon fastställas, som i sin tur beror på vilken stickprovsmetod som tillämpas. Den generella grundidén är emellertid att objektet räknas med i urvalet om provytecentrum hamnar någonstans inom inklusionszonen. Storlek och utformning på denna zon beror på vilken stickprovsmetod som används. Om inklusionszonens area a_i är känd, kan objekts inklusionssannolikhet beräknas genom att dela inklusionsarean med områdets totala area, A (se figur 1).



Figur 1. Illustration av ett trädets inklusionszon inom ett bestånd.

Figure 1. Illustration of a tree's inclusion zone in a particular area.

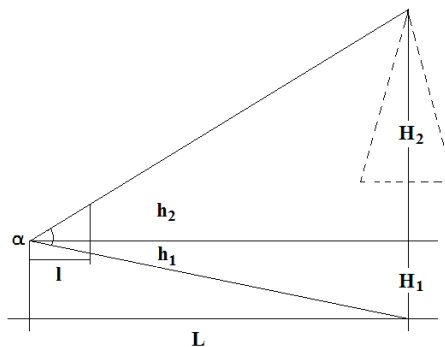
För att skatta en populations totalvärde för en specifik variabel från de selekterade träden, används *Horvitz-Thompson* formeln Horvitz & Thompson (1952):

$$(1) \quad \hat{Y}_s = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\pi_i}$$

Här är \hat{Y}_s en skattning av en populationstotal (i ett bestånd) som erhålls genom att summera kvoter mellan mätvärden och inklusionssannolikheter för de trädindivider som valts ut med relaskopet; $i = 1, 2, \dots, n$ står för antalet valda träd och y_i är det observerade värdet för träd i .

Vid kronandelsrelaskopering är ett trädets inklusionszon cirkulär då punktinventering tillämpas och rektangulär när linjeinventering tillämpas. Zonens storlek är, proportionell mot trädets höjd (vid punktinventering) och bestäms av de konstanta instrumentvariablerna l och h .

Figur 2 visar en principskiss som bakgrund till kronandelsrelaskopets teori. Instrumentet definieras av dess öppning $h = h_1 + h_2$ och avståndet från ögat l ; tillsammans specificerar dessa instrumentparametrar en viss öppningsvinkel α . För att ett träd, i , med höjden $H_i = H_{1i} + H_{2i}$ ska passa in precis i instrumentets öppningsvinkel måste det befinna sig inom ett visst avstånd, L_i .



Figur 2. Teoretiskt koncept som illustrerar sambandet mellan relaskopparametrarna (h), trädhöjd ($H_1 + H_2$) samt avstånd till trädet (L).

Figure 2. Theoretical concept that illustrates the relationship between the relascope parameters (h), tree height ($H_1 + H_2$) and the distance to the tree (L).

Radien L , kan beskrivas med förhållandet som presenteras i figur 2 samt beräknas enligt följande formel:

$$L_i = H_i \times \frac{l}{h}$$

Från figur 2 kan följande ekvationer härledas:

$$\frac{H_1}{h_1} = \frac{L}{l} \text{ och } \frac{H_2}{h_2} = \frac{L}{l}$$

Trädlängden beräknas enligt följande formel:

$$H = h_1 \times \frac{L}{l} + h_2 \times \frac{L}{l} = \frac{L}{l} (h_1 + h_2) = \frac{L}{l} \times h$$

Vidare kan följande beräkningar göras för inklusionszonens area, a_i , -och därmed inklusionssannolikheten, π_i , för punkt- respektive linjeinventering. I nedanstående formler är D linjelängden vid linjeinventering:

$$\text{Punkter} \quad a_i = \pi \times L_i^2 = \pi \times H_i^2 \times \left(\frac{l}{h}\right)^2$$

$$\text{Linjer} \quad a_i = D \times L_i = D \times H_i \times \frac{l}{h}$$

$$(2a) \text{ Punkter} \quad \pi_i = \frac{\pi \times H_i^2 \times \left(\frac{l}{h}\right)^2}{A}$$

$$(2b) \text{ Linjer} \quad \pi_i = \frac{D \times H_i \times \frac{l}{h}}{A}$$

Nu, när inklusionssannolikheten för varje registrerat träd är känd, kan formel 2a sättas in i formel 1, och därmed erhålls följande skattningsformler:

$$(3a) \text{ Punkter} \quad \hat{Y}_s = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\pi_i} = \sum_{i=1}^n \frac{H_i^2}{\frac{\pi \times H_i^2 \times \left(\frac{l}{h}\right)^2}{A}} = \frac{A}{\pi} \times \left(\frac{h}{l}\right)^2 \times \sum_{i=1}^n \frac{H_i^2}{H_i^2} = R \times n$$

$$(3b) \text{ Linjer} \quad \hat{Y}_s = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\pi_i} = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{\frac{D \times H_i \times \left(\frac{l}{h}\right)}{A}} = \frac{A}{D} \times \frac{h}{l} \times \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{H_i} = R \times n$$

I formel 3a har y_i ersatts av H_i^2 och i och med detta kommer täljare och nämnare att ta ut varandra och träden behöver enbart räknas utan att ytterligare mätningar behövs, för att möjliggöra en skattning av $\sum H_i^2$, summan av beståndets trädlängd i kvadrat.

Alla träd som är större än den öppningsvinkel som instrumentet ger registreras. Dessa träd befinner sig då inom ett avstånd till observationspunkten som är mindre än radien för dess inklusionszon L_i . För att erhålla en skattning av summa trädlängd i kvadrat (punktinventering) eller summa trädlängd (linjeinventering) multipliceras antalet registrerade träd n med mätinstrumentets räknefaktor R (som skiljer sig åt mellan punkt- och linjeinventering). Räknefaktorn för respektive metod beräknas enligt:

$$(4a) \quad \text{Punkter} \quad R = \frac{A}{\pi} \times \left(\frac{h}{l}\right)^2$$

$$(4b) \quad \text{Linjer} \quad R = \frac{A}{D} \times \left(\frac{h}{l}\right)$$

Instrumentets öppningsvinkel definieras av h och l . A kan antingen ersättas av områdets totala areal eller med 10 000 m² för att erhålla värden per hektar.

Istället för att enbart mäta summan av höjd i kvadrat genom enkel räkning, skulle andra beståndsparametrar på motsvarande sätt kunna skattas, exempelvis beståndstäthet eller grundyta. Dock kommer höjdmätning bli nödvändigt för att kunna beräkna de olika objektens inklusionssannolikheter. Detta kan jämföras med det konventionella relaskopet, där alla variabler förutom grundyta kräver diametermätningar.

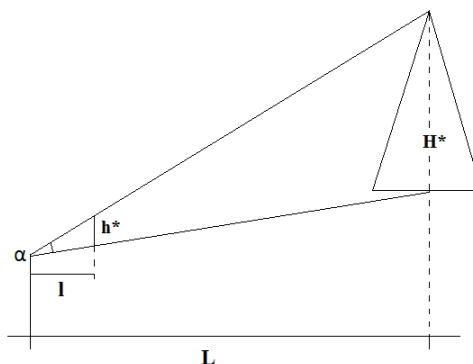
Samma principer som beskrivits ovan gäller även för kronlängdsmätning, se figur 3 nedan, där följande samband gäller:

$$\frac{H^*}{L} = \frac{h^*}{l}$$

Istället för att skatta summa trädlängd i kvadrat, skattas summa kronlängd i kvadrat på motsvarande vis, nu med den mindre spaltöppningen på instrumentet. I formel 4a för räknefaktor byts värdet för h ut för att motsvara den mindre spaltöppningen.

Kronandelsrelaskopet kan antingen registrera parametrarna *trädlängd*, *kronlängd* eller att båda dessa parametrar registreras för ett visst träd. Detta beroende på med vilken spaltöppning som registrering utförs med. Vid skattning av exempelvis summa kronlängdskvadrat, adderas antal registreringar för *krona*, samma princip gäller här som vid skattning av summa trädlängdskvadrat. Summan multipliceras sedan med räknefaktorn enligt formel 4a.

För varje provyta erhålls alltså en skattning av en populationstotal för såväl kronlängd som trädlängd. Om därefter summering av samtliga provytor görs, följt av dividering mellan summa kronlängdskvadrat och summa trädlängdskvadrat erhålls ett skattat värde för "kronandel" i kvadrat för träden i beståndet. Vid linjeinventering genomförs samma beräkningar, skillnaden är att ett direkt värde för kronandel erhålls vid dividering mellan summa kronlängd med summa trädlängd.



Figur 3. Principen för att bestämma kronlängd.

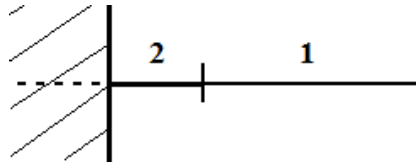
Figure 3. The principle for determining crown length.

2.1.1 Inventeringsmetoder

Vid linjeinventering fastställs först vilket väderstreck linjerna skall orienteras efter, samt hur eventuell gränsproblematik skall lösas. I studien var linjernas orientering nord-sydlig.

Förrättningsmannen markerar en startpunkt och orienterar sig med kompass och måttband till en markerad stoppunkt. Linjen var i detta fall 15 m. Förrättningsmannen kronandelsrelaskoperar vinkelrätt mot linjen åt öster, tillbaka till startpunkten. Med kronandelsrelaskopet registreras antingen kronlängd eller trädlängd eller båda för ett enskilt träd samt trädslag. Viktigt är att gå rakt längs den uppmätta linjen samtidigt som fokus hålls på träden. Vid linjeinventering erhålls kronandel genom att dividera summa kronlängd med summa trädlängd. Kronandelsrelaskopet används alltså för att uppskatta både summa höjd och summa kronlängd, vilket normalt sker med olika räknefaktorer för de båda variablerna. Räknefaktorn (R) vid linjeinventering beräknas enligt följande; dividera en hektar (i kvadratmeter), med linje längden, (i detta fall 15 m), följt av multiplicering med "gränsvot" för höjd (i detta fall 40/30) vilket ger $R_H = 888,88$ m/ha. För kronlängd görs motsvarande beräkning fast än med en annan "gränsvot" (i detta fall 20/30) vilket ger $R_K = 444,44$ m/ha (formel 4b).

Gränsproblematik, d.v.s. att inventeringslinjen skär beståndsgränsen, vid linjeinventering kan hanteras med "walkback-metoden" Kaiser (1983). Under fältstudien uppstod dock aldrig någon sådan situation. Metoden går ut på att den del av linjen som sträcker sig utanför beståndsgränsen reflekteras tillbaka in i beståndet längs samma ursprungslinje. Förrättningsmannen mäter längs den reflekterade sträckan när denne går tillbaka "walkback" vilket leder till att vissa träd registreras två gånger (figur 4).



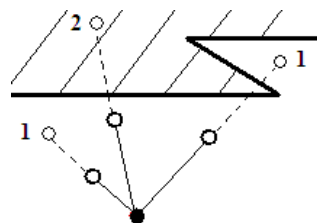
Figur 4. Figuren visar hur inventeringen görs om linjen korsar beståndsgränsen; den streckade linjen reflekteras då tillbaka in i beståndet och för den överlappande delen räknas träden två gånger.

Figure 4. The figure shows how boundary correction can be handled with the walk-back method; the dashed line is reflected back into the stand and for the overlapping section the trees are counted twice.

Vid punktinventering registreras träd genom att förrätningsmannen roterar instrumentet ett varv (360 grader) ovan ytcentrum. Kronandelsrelaskopet registrerar kronlängd eller trädlängd eller båda för ett enskilt träd samt trädslag. För att minimera mätfel kan ett startträd markeras, t.ex. genom att luta skrivbrickan mot dess stam. I och med att data registreras under ett varv så erhålls vid punktinventering istället värden för summa kronlängdskvadrat och summa trädlängdskvadrat. Det ger en annan typ av "kronandel" eftersom kvadratroten ur summa kronlängdskvadrat genom summa trädlängdskvadrat normalt inte överensstämmer med summa kronlängd dividerat med summa trädlängd. Avvikelserna är dock oftast relativt små.

Räknefaktorn (R) vid punktinventering beräknas enligt följande; dividera en hektar (i kvadratmeter) med pi (π), följt av multiplicering med "gränsvot" i kvadrat, för höjd (i detta fall $(40/30)^2$) vilket ger $R_H = 5\,658,84 \text{ m}^2/\text{ha}$. För kronlängd utförs motsvarande beräkning med en annan "gränsvot" (i detta fall $(20/30)^2$) vilket ger $R_K = 1\,414,71 \text{ m}^2/\text{ha}$ (formel 4a).

Gränsproblematik vid punktinventering kan hanteras med "Walkthrough-metoden" Ducey et al. (2004). Under fältstudien uppstod dock aldrig någon sådan situation. För träd nära beståndsgränsen innebär detta följande procedur: Avståndet mellan ytcentrum och trädet mäts. Är den sträckan längre än sträckan mellan trädet och beståndsgränsen räknas objektet två gånger. Undantaget är då extremt böljande beståndsgränser kan göra att förrätningsmannen ändå hamnar inom beståndet på motsatt sida; objektet räknas i så fall fortfarande bara en gång (figur 5).



Figur 5. Figuren visar hur gränsträd hanteras under ett gränsförfarande med punktinventeringsmetodik. Om avståndet mellan ytcentrum och trädet är längre än avståndet mellan objektet och gränsen räknas trädet två gånger, såvida inte spegelpunkten faller inom beståndet p.g.a. krokig beståndsgräns.

Figure 5. The figure shows how the walk-through method for boundary correction with point sampling. If the distance between the plot centre and the tree is longer than the distance between the tree and the stand boundary, the tree is counted twice, unless the mirror point falls inside the stand due to a curved boundary.

2.1.2 Instrumentutveckling

I studien genomfördes mätningarna i skog i höjdintervallet ca 10 till 12 m. En prototyp som skulle fungera under dessa förhållanden utvecklades därför (figur 6).

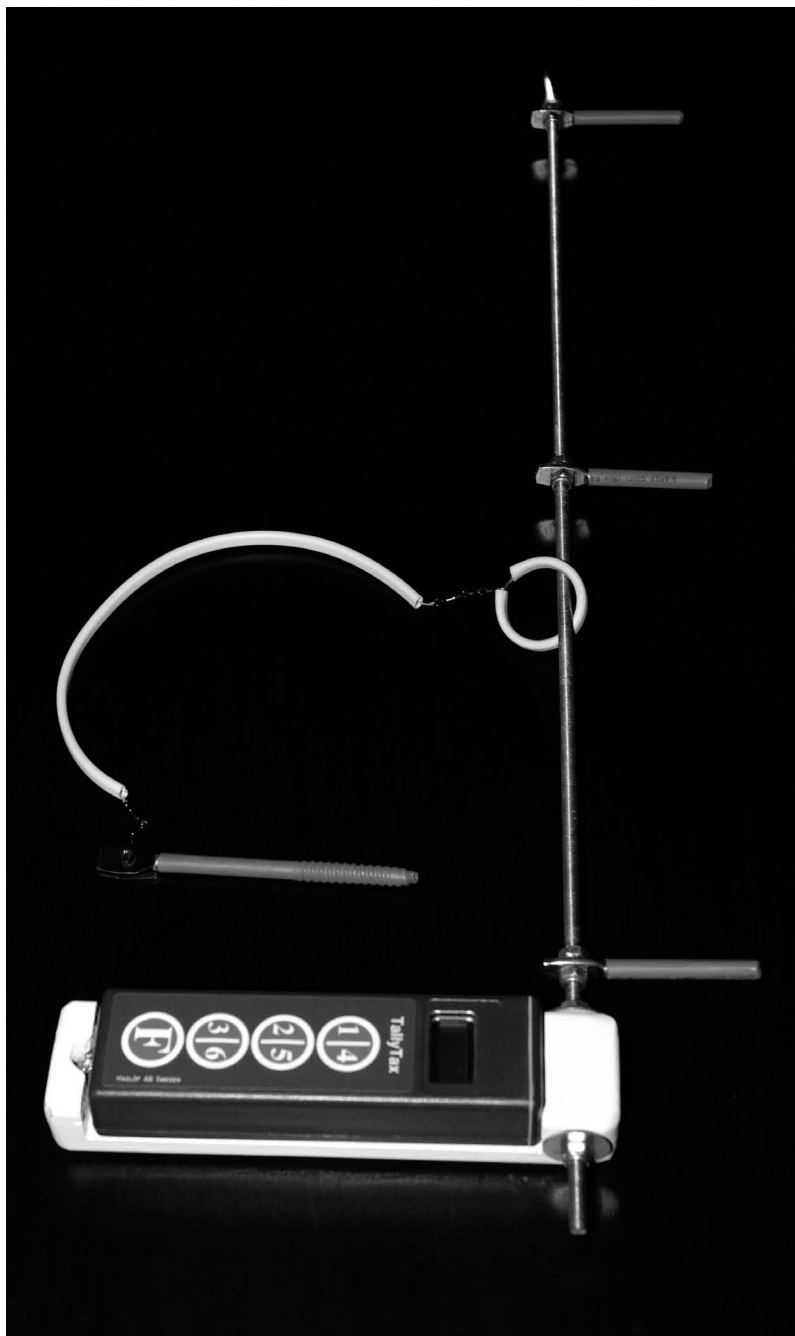
Instrumentet består av en vertikal gängstång i dimension M5 (5 mm), vars längd är 50 cm, och där tre bladskruvar utgör syftpinnar som täcks av rosa krympslang för att öka kontrasten mot skogen. Till detta fogades ett räkneverk från Haglöf AB, modell *tallytax* kapabel att hålla sex olika parametrar i minne. Räkneverket placerades utmed gängstången med justerbara låsmuttrar.

Mellan de två yttre syftpinnarna h , skall trädlängder registreras och mellan de två övre syftpinnarna, som i denna studie utgör *halva* h , registreras trädkronor (se figur 2). För att hålla denna prototyp på ett fixt avstånd från ögat, l , användes i detta fall en stum fiskelina med en längd av 30 cm. Linan fästes med ett beteslås i en ring som löper fritt längs gängstången för att möjliggöra en rät vinkel mellan linan och stången. I denna förstudie var instrumentet inställt på förhållandet 1:1, med andra ord 30 cm mellan de två yttre syftpinnarna på ett 30 cm avstånd från ögat. Detta medför att ett 10 m högt träd inkluderas på upp till 10 m avstånd. Val av lämpliga värden för h och l är nödvändiga för att minimera de svårigheter som uppkommer vid höga stamantal och reducerade siktförhållanden.

Justeringar av instrumentet bör göras för att anpassa till förhållanden i olika bestånd; ett urval omkring 20-25 träd per provyta bedöms vara lämpligt för att respektive inventeringsmetod skall kunna genomföras effektivt.

I samband med inledande tester konstaterades att instrumentet inkluderade för många träd för att vara optimalt. Inför metodtesterna justerades därför h till 40 cm med ett bibehållet avstånd, l , från ögat på 30 cm. Förhållandet ändrades därmed från 1:1 till 1:1.3333. Denna ökning av syftningsvinkeln innebar att antalet inkluderade träd vid punktinventering sjönk från dryga 35 till omkring 20-25, varvid mätningarna blev effektivare.

2.1.2.1 Instrumentprototyp



Figur 6. Bilden visar den prototyp för kronandelsrelaskopet som togs fram och användes under fältarbetet.
Figure 6. The picture shows the relascope prototype that was developed and used during the field work.

2.2 Mätfelsstudie

Syftet med mätfelsstudien var att identifiera och kvantifiera omfattningen av mätfel genom att analysera resultaten från relaskopering följt av noggrann kontrollmätning. För att erhålla ett tillräckligt stort urval, lades totalt 11 provvytor slumpmässigt ut i två bestånd (A och B). Bestånden inventerades med kronandelsrelaskopet enligt den punktinventeringsmetod som beskrivs i stycket *inventeringsmetoder* (se 2.1.1) och - samtliga punkter kontrollmättes. Arbetet utfördes av två förrättningsmän för att säkerställa god kvalitet i kontrollmätningarna.

Måttförhållandet mellan spalt och lina var 40cm/30cm. Registrerade träd numrerades vartefter parametrarna registrerades: *trädslag, avstånd, diameter, trädlängd* och *kronhöjd*.

Avstånd, trädlängd och kronhöjd mättes med en höjd- och avståndsmätare av typen, Vertex IV och en Transponder T3. Dessa har kalibrerats inför mätningar i varje bestånd. Ett okalibrerat instrument har ett mätfel på 2 cm / C° och kalibreringar kräver en anpassningstid på ca 10 min till rådande temperaturförhållande (HAGLÖF SWEDEN AB, 2007). Diameter mättes med talmeter på 1,3 m höjd och beståndets grundyta skattades med vanligt relaskop i varje punkt.

Vid mätfelsstudierna registrerades träden för antingen kronlängd eller trädlängd eller båda parametrarna. Totalt registrerades 246 träd i denna mätfelsstudie.

I tabell 1 presenteras de genomsnittliga värdena från mätfelsstudiens 11 punkter för bestånd A och B samt dess kronandelar i procent baserat på höjd- och kronlängdsdata från mätningarna med Vertex IV.

Tabell 1. Genomsnittligt tillstånd för de 11 punkter som ingick i mätfelsstudien
Table 1. Stand variable averages for the 11 points included in the study

	<i>Dbh</i> (cm)	<i>Höjd</i> (m)	<i>Kronlängd</i> (m)	<i>Grundyta</i> (m ² /ha)	<i>Kronandel</i> (%)
Medel	14,8	9,5	5,9	21,1	62,1
St.avv.	3,7	1,3	1,4	3,9	
Min	5,6	5,4	2,9	15	
Max	24,7	12,3	10,2	26	

I och med att instrumentets mått är konstanta (40 cm respektive 20 cm för trädlängd och kronlängd samt avstånd till ögat 30 cm), kan en gränsvot för trädlängd på $40/30 = 1,3333$ samt för kronlängd på $20/30 = 0,6667$ fastställas. Detta innebär att ett träd med korrekt utförd relaskopering för trädlängd med kronandelsrelaskopet måste ha en trädlängdskvot som är lika med eller större än 1,3333 för att det trädet skall registreras. Skulle förhållandet vara mindre än 1,3333 innebär detta ett felaktigt urval d.v.s. ett mätfel. Beräknas sedan höjd- och kronlängdskvot för alla relaskoperade träd kan jämförelser göras med instrumentets gränsvoter 1,3333 samt 0,6667 samt huruvida de registrerats av förrättningsmannen.

Som tidigare nämnts registrerade kontrollmätningen 246 träd i denna mätfelsstudie utifrån instrumentets givna gränskvoter. Med kronandelsrelaskoperingen registrerades 233 träd av dessa d.v.s. en differens på 13 träd. Slutligen fastställdes omfattningen av olika typer av fel för höjd- och kronlängdsregistreringar samt deras procentuella fördelning; genom att jämföra dessa två data set med avseende på bedömd och faktiskt gränskvot.

2.3 Stickprovfel

I denna fältstudie jämfördes två olika inventeringsmetoder, punkt- och linjeinventering, efter ett mer omfattande fältarbete. Syftet var att beräkna precisionen av de skattningar som dessa två metoder ger för summa kronlängd (och summa kronlängdskvadrat) respektive summa trädlängd (och summa trädlängdskvadrat), vars kvoter ger det sökta måttet för kronandel.

Samtliga bestånd inventerades med 15 slumpmässigt utlagda provytor för respektive metod; för att undvika att delar av beståndet oavsiktligt föredrogs framför andra. I och med detta undviks också de systematiska fel som är förenat med att utlagda provytor är beroende av en viss startpunkt. Insamlade data användes främst till att beräkna varianser för skattningar vid olika stickprovsstorlekar. Provytorna för respektive metod lades ut oberoende av varandra. Totalt inventerades 120 provytor i fyra ogallrade bestånd (A - D).

Mättningsförfarandet liknar det som tidigare utförts i mätfelsstudien bortsett från att betydligt färre parametrar registrerades och att ingen noggrann kontroll genomfördes. Vid inventeringen uppskattades, utöver de parametrar som kronandelsrelaskopet registrerar, även beståndets grundytevägda medelhöjd och grundyta. Arbetet utfördes i samma takt som en praktiskt tänkt tillämpning av denna inventeringsmetod med avseende på noggrannhet och utfördes denna gång av en förrättningsman. Kalibrering av mätinstrument samt GPS-navigering tillämpades även i detta fall. Tidsstudier gjordes i det fjärde och sista beståndet för att fastställa ungefärlig tidsåtgång, efter att förrättningsmannen funnit goda rutiner för arbetets genomförande.

Inventeringsarbetet utfördes i mitten av oktober vilket försvårade bedömningen av nedre krongräns i vissa fall i den täta skogen p.g.a. ljusförhållandena. I tabell 2 beskrivs ett antal beståndsvariabler för att åskådliggöra vilken typ av bestånd som studierna genomfördes inom. Stamantalet är framräknat genom division mellan summan av det skattade höjdvärdet (formel 3b) och grundtyevägd medelhöjd från linjeinventering för respektive bestånd A-D. Samtliga bestånd är ogallrade yngre tallskogar. Underväxten inom bestånden varierade mellan låg och måttlig. Träden i bestånden hade i stor utsträckning ej nedfallna döda grenar, vilket tillsammans med det relativt höga stamantalet i vissa fall gav upphov till svåra siktförhållanden. Fläckvis fanns inom bestånden mindre partier med gran eller björk. De fyra bestånden växte mestadels på plan mark. I medeltal hade de fyra bestånden en grundyta på 19,5m²/ha, med 18,4 m²/ha och 21,9 m²/ha som lägsta respektive högsta värden samt en grundtyevägd medelhöjd på 9,8 m, med 9,5 m och 10,1 m som lägsta respektive högsta värden (tabell 2).

Tabell 2. Grundläggande beskrivningar av de fyra bestånden; SI är fastställt genom ståndortsbonitering (S); Trbl står för trädslagsblandning

Table 2. Summary description of the four stands; SI is determined by site factors (S); Trbl stand for tree species composition

	<i>Bestånd A</i>	<i>Bestånd B</i>	<i>Bestånd C</i>	<i>Bestånd D</i>
SI (S)	T20	T21	T20	T20
Total ålder (år)	33	34	30	35
Areal (ha)	35,7	34,9	33,9	16,7
Stam (st/ha)	1842	1315	1105	1325
Grundyta (m ² /ha)	21,9	19,1	18,4	18,7
Tall	91,8	88,2	83,3	85,4
Trbl (%)				
Gran	4,0	4,2	8,3	6,8
Björk	4,3	7,7	8,3	7,9

2.3.1 Beräkningar

Syftet är dels att omsätta önskad precisionsnivå i antal provytor samt utifrån aktuell budget för skoglig inventering beräkna lämplig arbetsinsats. Kronandel \hat{p} för respektive inventeringsmetod skattas enligt följande formel, där skattade värden för K respektive H härleds till formel 3a och 3b:

$$(5) \quad \hat{p} = \frac{\hat{Y}_K}{\hat{Y}_H}$$

Observera att värdet \hat{p} från punkt- respektive linjeinventering ej är detsamma. Vid tillämpning av linjeinventering erhålls beståndets kronandel direkt, från punktinventering erhålls en relation mellan två kvadratsummor. Under vissa förhållanden kan dessa båda mått approximativt sammanfalla; genom att ta roten ur punktinventeringens värden för "kronandel"; skillnaderna befanns dock oftast vara relativt små i de undersökta bestånden.

Stickprovfel har beräknats för trädlängd, kronlängd samt kronandel genom att först skatta ett stickprovsmedeltal \hat{Y} enligt följande, där m står för antalet provytor eller inventeringslinjer.

$$(6) \quad \hat{Y} = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m \hat{Y}_s$$

När stickprovsmedeltalet är känt kan en skattning av stickprovsvariansen för summa höjd och – kronlängd (samt dess kvadrater) beräknas enligt följande:

$$(7) \quad \hat{v}(\hat{Y}) = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{s=1}^m (\hat{Y}_s - \hat{Y})^2$$

Medelfelet fås slutligen genom att ta roten ur stickprovsvariansen (formel 7). För att bestämma ett relativt medelfel divideras det medelfelet med stickprovsmedeltalet från formel 6.

Formel 7 kan även användas som utgångspunkt för att bestämma varians, medelfel och relativt medelfel för ett godtyckligt antal provytor (eller inventeringslinjer). Detta kan åstadkommas om man först fastställer populationsvariansen mellan provytor (linjer), vilket sker med formel 7 exklusive division med m . Därefter kan aktuell varians skattas för godtyckliga värden på m . Grafiskt leder detta till en dalande kurva för sambandet mellan medelfel och stickprovstorlek.

Samma principer gäller vid skattning av stickprovsvariansen för kronandel som beräknas enligt följande formel, där \hat{Y}_{Ks} och \hat{Y}_{Hs} är skattade värden från stickprovet $s=1,2,3\dots m$ för kronlängd respektive höjd:

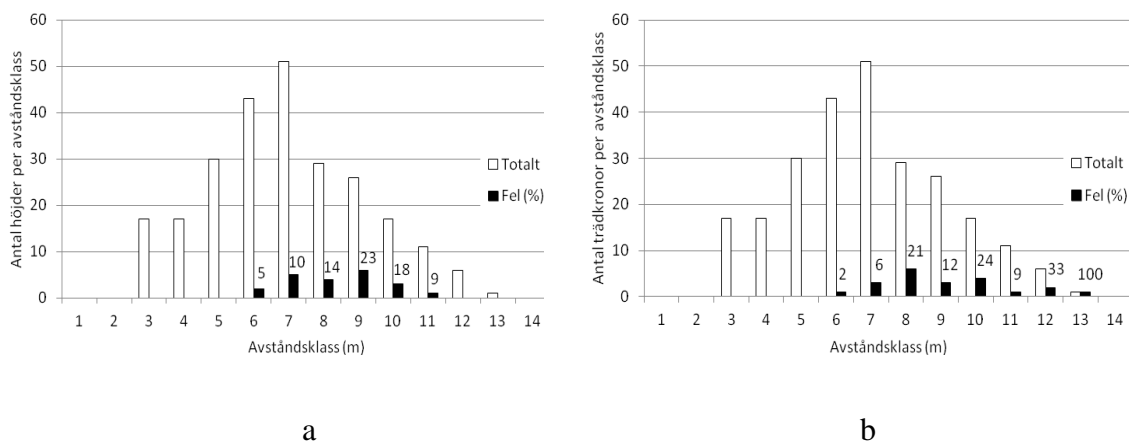
$$(8) \quad \hat{v}(\hat{p}) = \frac{1}{m(m-1)} \times \frac{1}{\hat{Y}_H^2} \times \sum_{s=1}^m (\hat{Y}_{Ks} - \hat{p}\hat{Y}_{Hs})^2$$

Genom att variera det första m :et från termen $m(m-1)$ och hålla resten konstant, görs ett antagande om att den skattade populationsvariansen utifrån stickproven är sann. För att erhålla värden i procent delas medelfel med medeltalet av höjd- respektive kronskattningarna (formel 6) för de $m=15$ punkter som inventerats. Stickprovsmedelfel för kronandelsskattningarna beräknas på liknande sätt med den skillnaden att formel 8 används istället för formel 7 och formel 5 istället för formel 6.

3 Resultat

3.1 Mätfelsstudie

I figur 7a presenteras resultaten av de jämförelser som utfördes i mätfelsstudien mellan trädlängdsrelaterade mätfel och totala antalet registreringar ($n=246$), för träd på olika avstånd från observationspunkten. I figur 7b presenteras liknande jämförelser, denna gång mellan kronlängdsrelaterade mätfel och totala antalet registreringar vid ett visst avstånd från observationspunkten. Den asymmetriska fördelningen av mätfel (svarta staplar) och antal registreringar (vita staplar) tyder på att mätfelen tenderar att öka med avståndet, både för trädlängd och kronlängd. Det fanns ingen tydlig korrelation mellan registrerade mätfel i jämförelse med diameter och höjd.



Figur 7. Fördelning av registrerade träd i absoluta värden (vita staplar), indelat i avståndsklasser. Felandel i procent visas med svarta staplar. Det totala antalet träd är $n=246$. A = höjd- och B = kronlängdsrelaterade mätfel.

Figure 7. The total number of registered trees in absolute numbers (white bars), separated into distance classes. The proportion of measurement errors trees is represented by black bars. The total number of registered trees are $n=246$. A = height- and B = crown length related measurement errors.

I tabell 3 presenteras de olika typer av mätfel som erhöles efter jämförelser mellan kronandelsrelaskoperingsdatat och kontrolldatat med avseende på bedömd och faktiskt gränsvot. Därefter har de felaktigtvalda (*Fv*) dividerats med antalet selekterade med relaskopet, för höjd ger detta exempelvis en felprocent på 3,6 %. Träd som å andra sidan har förbisetts (*Fs*) med relaskopet, divideras nu med antalet kontrollmätta träd, vilket exempelvis ger en felprocent på 7,0 % för höjd.

Varför felaktigt valda träd delas med relaskopdata beror på att (*Fv*) är registrerade med just relaskopet och utgör därmed en viss andel av dessa träd. Förbisedda träd finns däremot inte med i relaskopering men har fångats upp av kontrollmätningen. Förbisedda träd (*Fs*) torde således utgöra en del av denna grupp.

Tabell 3. Träd selekterade med relaskop respektive kontrollmätning, samt antal fel och felprocent. Felprocent för respektive kategori Höjd och Krona ges genom division mellan felaktigt valda (*Fv*) och relaskop samt förbisedda (*Fs*) och kontroll

Table 3. The number of trees selected by relascope respective control measurements and number of errors and error rates. Error rates for each category is obtained by dividing the wrongfully selected trees (*Fv*) with the relascope data, and overlooked trees (*Fs*) with the control data

	Selektion baserat på		Antal mätfel		Felprocent	
	Relaskop (st)	Kontroll (st)	Fv (st)	Fs (st)	Fv (%)	Fs (%)
Trädlängd	193	200	7	14	3,6	7,0
Kronlängd	225	242	2	19	0,9	7,9

3.2 Stickprovsvfel

Av tabell 4 framgår skattad kronandel för respektive bestånd och inventeringsmetod. Skattade värden för kronandel kan jämföras med de värden som framräknats i mätfelsstudiens 11 slumpmässigt utlagda punkter (se tabell 1). Den genomsnittliga tidsåtgången per yta för punkter var 5 min och 43 sek och för linjer 5 min.

Tabell 4. Kronandel i procent för respektive bestånd och metod inom ett medelfelsintervall vid $n = 15$
Table 4. Crown cover percentage of each specific area and method and an error range of $n = 15$

<i>Bestånd</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Linjer (%)	65,8	65,0	65,8	66,9
SE (%)	3,0	2,3	2,3	3,0
Punkter (%)	62,3	65,9	63,5	66,5
SE (%)	3,8	3,6	4,5	5,4

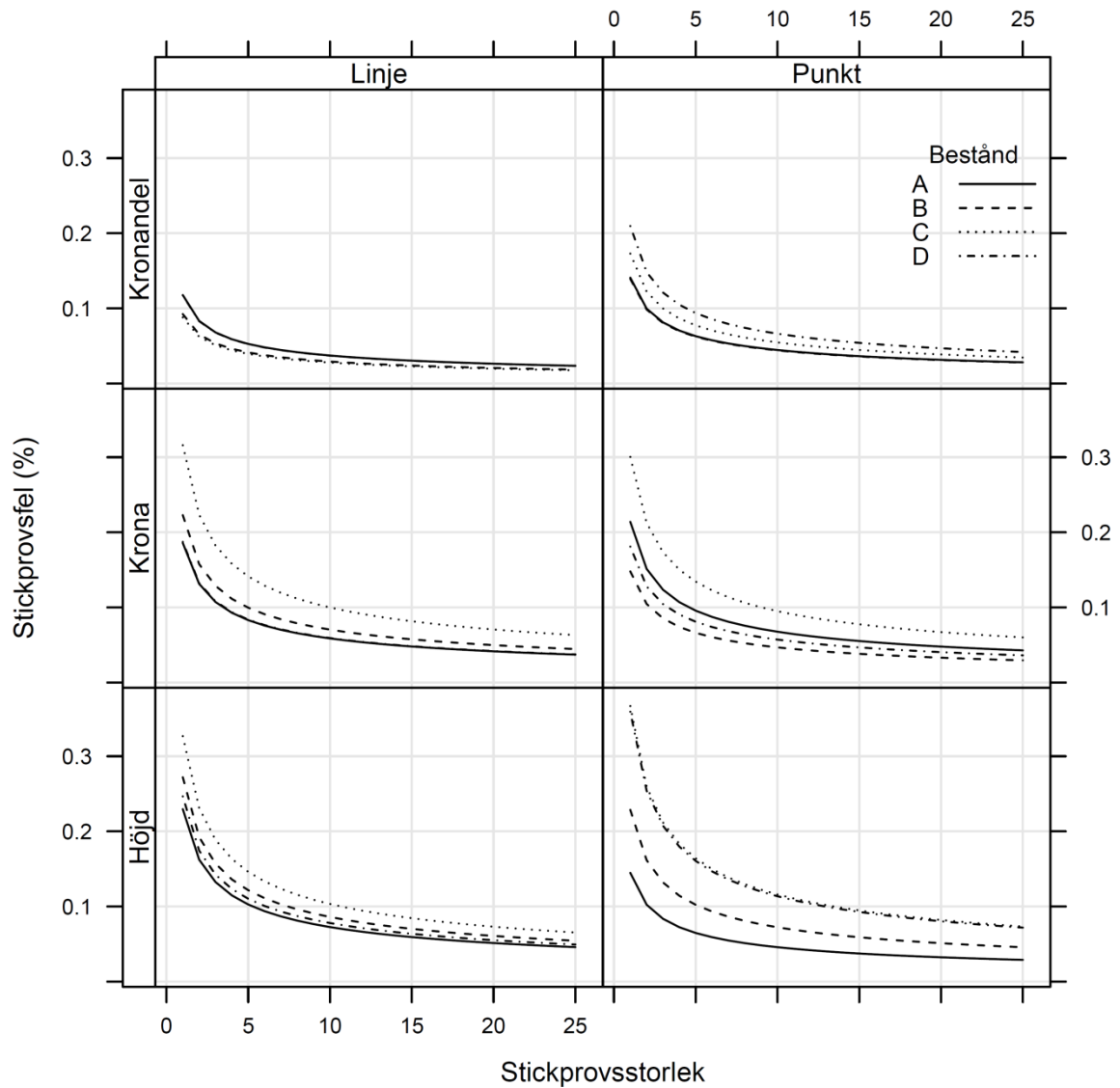
I genomsnitt registrerades fler kronlängder än trädlängder med kronandelsrelaskopet oavsett inventerings metod i tabell 5 presenteras dessa genomsnittliga höjd- och kronlängds registreringar per bestånd och metod från de 120 provytor som inventerats.

Tabell 5. Genomsnittligt antal registrerade träd med de båda jämförda inventeringsmetoderna (L=linje, P=punkt) för höjd respektive krona

Table 5. A average number of registered trees per inventory method (L=line, P=point) and for height respectively crown

<i>Bestånd</i>	<i>Inventeringsmetod</i>	<i>Antal höjder (st)</i>	<i>Antal kronor (st)</i>	<i>Diff. (st)</i>
A	L	20,3	26,7	4,9
B	L	14,9	19,4	
C	L	12,3	16,1	
D	L	14,8	19,8	
A	P	27,9	43,3	15,5
B	P	21,9	37,9	
C	P	20,6	33,2	
D	P	23,4	41,4	
<i>Diff.(st)</i>		7,8	18,5	

I figur 8 redovisas stickprovfel i procent för kronlängds-, trädlängds- och kronandelsskattningarna för respektive metod uppdelat i sex diagram. Varje kurva motsvarar ett bestånd. Gemensamt för stickprovfelens storlek är att de uppvisar en fortsatt dalande kurva bortom $n = 15$, som var det stickprov som tillämpades i denna studie för respektive inventeringsmetod och bestånd. Vad dessa utplanande kurvor indikerar är att marginalnyttan av varje ny provyta minskar.



Figur 8. Stickprovfelets storlek beror av antalet inventeringspunkter.

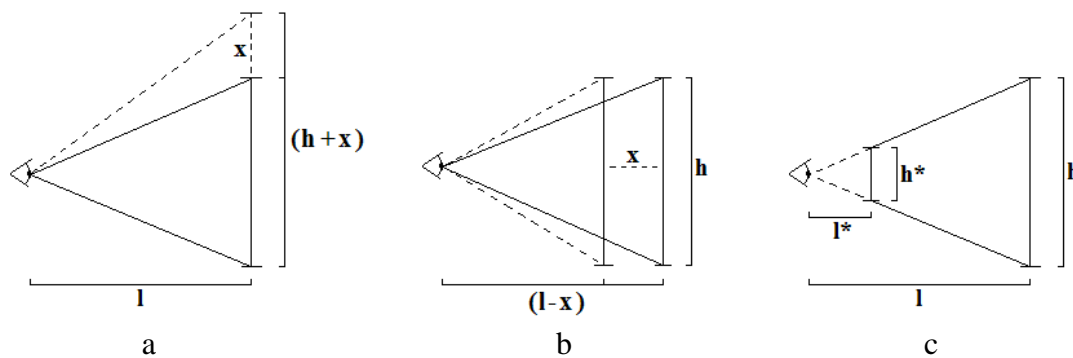
Figure 8. The size of the sampling error depends on the number of sample plots.

4 Diskussion

Studien visar att kronandelsrelaskopet fungerar både i teorin och vid praktiska tillämpningar i fält. Mätfelen är relativt små och klart jämförbara med vad som fås med användning av det konventionella relaskopet. Stickprovsvfelen har också visat sig vara mycket små.

4.1 Urval

Resultaten visar att antalet registreringar per provpunkt för punktinventeringen bör reduceras. I studien registrerades i snitt 7,8 fler höjder per provyta vid punkterinventering än vid linjeinventering samt 18,5 fler kronlängder per provyta vid punktinventering än vid linjeinventering. Ett reducerat antal registreringar skulle sannolikt ha positiva effekt ur mätfelssynpunkt i och med att sikten är bättre på kortare avstånd samt att andelen gränsträd och skynda träd reduceras. Detta kan uppnås på olika sätt: Antingen ökas h vilket leder till att färre höjd- respektive kron- parametrar registreras (figur 9a) eller så minskas l vilket ger samma effekt (figur 9b).



Figur 9. (a) Visar hur en addering av x -antal cm till h leder till en ökning av den kritiska vinkeln α och därmed ett reducerat antal träd selekterade. (b) Visar ett annat sätt att åstadkomma samma resultat, här minskas istället $l =$ avståndet till ögat. (c) Visar hur komprimering av instrumentet utförs med bibehållen gränsvot, här spelar ögats egna begränsningar en avgörande faktor.

Figure 9. (a) Shows how the addition of x -number of centimeters to h leads to an increase of the critical angle and thereby a reduced number of trees. (b) Shows another way to accomplish the same result, in this case $l =$ distance to the eye, has been reduced. (c) Shows how the compression of the instrument is made while maintaining the desired ratio. In this context the eye's own limitations represent a critical factor.

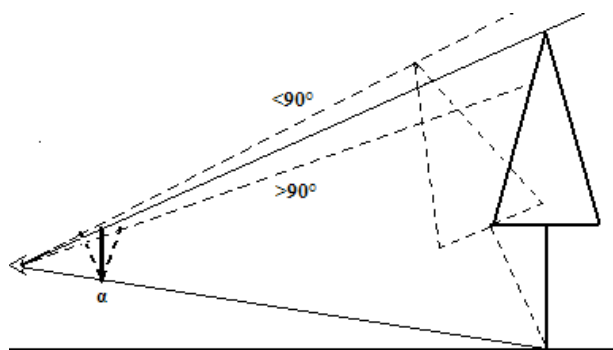
Vad som är ett lämpligt förhållande kan det enbart spekuleras i. För denna kronandelsrelaskoperingsstudie användes en öppningsvinkel på $53,1^\circ$, vilket betyder att höjden H_i är 1,3 gånger större än det kritiska avståndet L_i . Exempelvis så använde Bickerstaff (1961) och Hitchcock (1979) i deras studier en öppningsvinkel på 45° , vilket till en början också testades i kronandelsrelaskoperingsstudien med den slutsatsen att alltför många träd inkluderades, omkring 40 träd per provyta. Andra författare som exempelvis Brown & Mugasha (1988) och Mugasha (1989) använde sig av en öppningsvinkel på $63,4^\circ$ vilket innebär att höjden då är två gånger det kritiska avståndet. Slutligen kan sägas att den öppningsvinkel på $53,1^\circ$ som används i denna kronandelsrelaskoperingsstudie ibland gav känslan av det kunde var svårt att fokusera på båda syftpinnarna samtidigt. Noterbart är att öppningsvinkeln för

kronandelsrelaskoperingsstudien ligger mellan dessa två andra som beskrivits i litteraturen. När en ny öppningsvinkel väl är funnen som erhåller ett lämpligt antal registreringar per provyta, rekommenderas en komprimering av instrumentet (figur 9c) för att underlätta den praktiska tillämpningen.

Inventeringslinjens längd borde antingen varit längre eller kortare. Om linjen kortas kan registreringar genomföras på båda sidor för att uppnå samma areal som med en punktelaskopering vid given medelhöjd eller medeldiameter. Även om antalet registrerade träd för linjeinventering i studien var lämplig, så är detta bara ett exempel på hur en sådan insamling av data kan genomföras. Fördelarna med linjeinventeringen är att det är lätt att anpassa urvalet genom att ändra längd på linjen. Öppningsvinkeln behöver i första hand inte ändras och begränsas därmed ej heller av ögats vidvinkelseende. Linjeinventering ger också det mest logiska måttet för kronandel. Sidoförflyttning kan i viss mån accepteras vid linjeinventering och därmed utgör sikten ett mindre problem.

4.2 Mätproblematik

Genom att montera någon form av lod på instrumentet, eller på annat sätt lösa dilemmat med att hålla instrumentet vertikalt, skulle en del mätfel kunna undvikas. Om instrumentet tiltas framåt eller bakåt så dess vertikala förlängning divergerar eller konvergerar med trädets förlängning finns risk för att ett träd bedöms felaktigt. Tiltas instrumentet framåt uppstår risk för att träd registreras felaktigt (F_v), tiltas det bakåt riskeras att träd ej registreras, förbises (F_s)-mätfel. Om trädets lutar är det helt korrekt att luta instrumentet så länge det är parallellt med trädets förlängning (figur 10).



Figur 10. Visar hur tiltning av instrumentet kan ge upphov till felbedömningar, ($>90^\circ = F_v$, $<90^\circ = F_s$). Förrättningsmannen bör eftersträva att hålla instrumentet parallellt med det objekt som avses mätas.
Figure 10. Showing how the tilt of the instrument can lead to miscalculations, ($>90^\circ = F_v$, $<90^\circ = F_s$), executor man should endeavor to keep the instrument parallel with the object intended to be measured.

4.3 Gränshantering

I studien behövde gränshanteringsmetoder för linje- respektive punktinventering inte tillämpas. Inför fortsatt fördjupning inom området framhåller jag *walkthrough* för punktinventering samt *walkback* för -linjeinventering som lämpliga metoder. Dels ger de en acceptabel noggrannhet, dels är arbetsgången för respektive metod okomplicerad. Metoderna tillåter i princip att allt arbete sker inifrån beståndet, vilket gör dem

tidseffektiva. För den som ytterligare vill fördjupa sig inom området återfinns andra beprövade metoder, se t.ex. Masuyama (1954), Schmid-Haas (1969), Iles (2000, 2001) och (Ducey et al. 2004).

4.4 Studiens omfattning

I framtida studier är det viktigt att ett större antal bestånd väljs ut för inventering, med högre inbördes variation. Därmed skulle data från mera varierande förhållanden jämfört med den aktuella studien erhållas. Utifrån givna tidsramar för studien begränsades urvalet till att innefatta fyra ogallrade tallbestånd, i närheten av varandra. Bestånden var relativt likartade, om än inte för inventeringens skull enkla. Tvärtom har kronandelsrelaskopet visat sig kunna prestera bra resultat i bestånd med hög grundyta och stammantal och begränsad sikt. Vid ett mer omfattande fältarbete hade tidtagning mellan och vid provytorna kunna genomföras mer noggrant för mer precisa resultat. På grund av att förrättningsmannen i studien hade ett begränsat antal bestånd att besöka, genomfördes enbart tidtagning i det fjärde och sista beståndet. Detta för att undvika insamling av missvisande tidsangivelser då en effektiv arbetsmetod inte var framarbetad.

4.5 Mätfelsstudie

Jämförelser mellan mätfel och registrerade parametrar, exempelvis, avstånd, diameter, trädlängd och kronlängd visade på ett tydligt samband mellan *mätfel* och *avstånd*.

Jämförelser mellan mätfel och övriga parametrar uppvisade dock ingen korrelation. Vid en uppdelning av denna felkälla bekräftas en klar dominans av typen *förbisedda* trädlängder och kronlängder, (se tabell 3). Mätfel uppkomna i studien kan sannolikt till stor del förklaras med långa avstånd i kombination med rådande siktförhållanden samt övriga personliga systematiska fel vilka kan relateras till avsnittet för *mätproblematik*. Effekten är tilltagande med avståndet L , vilket utgör motiv till varför den tidigare nämnda öppningsvinkeln bör ses över.

Som tidigare nämnts kan inklusionssannolikheten sänkas genom justering av instrumentets öppningsvinkel till att innefatta färre träd på långt avstånd, alltså en större öppningsvinkel. Beakta dock, att alltför stor öppningsvinkel kan leda till att för få träd registreras och därmed kräva fler ytor. I denna studie är dock en justering av öppningsvinkel till att omfatta träd inom åtta till tio meter inget problem, där är mätfelsprocenten fortfarande relativt låg (figur 7). Detta gäller främst punktinventering eftersom linjeinventering i viss mån tillåter sidoförflyttning och därmed undvika mätfel uppkomna på grund av skymd sikt. En sådan justering sänker troligtvis de systematiska mätfelen än mer, i och med att de avstånd där felbedömningar är som störst ej tas med. Sannolikt skulle en väl igenomtänkt arbetsrutin för hur en förrättningsman bör hantera gränsträd minska systematiska mätfel ytterligare.

4.6 *Stickprovsfelsstudie*

Genomgående registreras fler kronlängder oavsett inventeringsmetod (tabell 5). Gränsvärdet för kronlängdskvoten utgjordes i denna studie av halv trädlängden. En förklaring kan vara att kronorna till stor del faktiskt var längre än så. En annan förklaring kan vara att sikten försämras avsevärt med ökat avstånd. Avståndets inverkan styrs av skogstillståndet varför det kan bli problematiskt att exakt bedöma var grönkronan har sin nedre gräns mot likartad bakgrund.

Jämförelser mellan värden i tabell 4 och i tabell 1, visar att de skattade värden för kronandel från stickprovsinventeringen, inom givna intervall, endast avviker en aning från de värden erhållna under tidigare mätfelstudie där alla träd kontrollmättes. Detta är en indikation på en metod med god potential. Denna potential framträder tydligt vid närmare studier av samband för stickprovsmedelfelen i Figur 8. Skattningarna är beräknade med fler provytor än vad som tillämpades i studien för att visa på sjunkande medelfel med fler provytor. Resultaten visar att trädlängd och kronlängd kan skattas med hög precision med relativt få provytor. Skattning av kronandel kan göras med än högre precision (figur 8), vilket kan förklaras med en korrelation mellan trädlängd och kronhöjd. De resultat för kronandel som studien presenterar för respektive metod visar enbart på små skillnader (formel 5a och 5b). För det enskilda fallet kan resultaten generellt beskrivas enligt följande:

$$p_{linjer} \approx \sqrt{p_{punkter}}$$

Detta ska ses som en approximation där större avvikelser ibland kan uppträda till följd av stora variationer mellan träden i ett bestånd.

4.7 *Jämförelse med annan studie*

Den tidigare nämnda studien Danielsson & Larsson (1964) utfördes i syfte att utvärdera det konventionella relaskopets mätfel. De systematiska felen beroende på förättningsman hade en signifikant avvikelse på 5 % -nivån, värdena har i medeltal legat på mellan 5-15% ifrån det kontrollmätta värdet. Dessa värden är klart jämföras med kronandelsrelaskopets systematiska mätfel på 10,6 % för trädlängd och 8,8 % för kronlängd. Noterbart är att dessa värden enbart representeras av en förättningsman i motsats till Danielsson & Larssons studie där resultatet utgörs av ett snitt bland 35 stycken förättningsmän. Noterbart är att kronandelsrelaskopet har potentialen att med små medel sänka denna mätfelsprocent ytterligare genom att justera den tidigare nämnda öppningsvinkeln.

4.8 Resultaten i ett större sammanhang

Vid fortsatta fördjupningar inom området vore en mätfelstudie för linjeinventering intressant. Troligtvis är mätfelen inte desamma som vid punktinventering. Även ett större antal bestånd samt fler deltagare i dessa fältstudier skulle öka relevansen. Utifrån dessa data skulle en uppfattning ges av hur instrumentet fungerar i olika beståndstyper, men även hur variationen ser ut mellan olika förrättningsmän. Ytterligare studier kring kopplingar mellan resultat från kronandelsrelaskopering och den konventionella gallringsmallens riktlinjer är nödvändiga. Anledningen till att krongränsen sattes till halva trädlängden syftade till att beskriva ett träd som ännu har en god produktionsförmåga, i detta fall tallen, *Pinus sylvestris* (Kunskapsdirekt 2011). Rent teoretiskt spelar det ingen roll vad gränsvärdet var satt till i studien, utan syftet var istället att testa om teorin som sådan fungerade i praktiken. Resultaten från studien antyder, med en kronandel på mellan 62,3 till 66,9 % för bestånd A-D, att träden generellt ej har upphissade kronor. Gallringsmallen pekar dock på att ett gallringsbehov föreligger. Vad som är *rätt* eller *fel* är svårt att uttala sig om.

Faktorer som inverkar på ett sådant beslut är bl.a. syftet med innehavets olika delar samt dess storlek, är det mot timmerproduktion, massaved, biobränsle eller energived. Här spelar skogstyp in, ståndort, geografisk placering i landet men även var skogen befinner sig i förhållande till industri samt rådande prisbild på marknaden. Utöver dessa punkter tillkommer bolagets eller den enskilda markägarens förhållningssätt till risker exempelvis, snöbrott, stormskador o.s.v.

Kronandelsrelaskopering innebär, i motsats till dagens grundyttebegrepp, ett mera direkt mått på gallringsbehov. Ett alternativ i de studerade områdena vore att vänta med gallring några år i och med att skogens produktionsförmåga, fortfarande kan anses vara god och dessutom torde nettot från en senarelagd förstagallring bli högre.

4.9 Slutsats

Sammanfattningsvis visar studien att kronandelsrelaskopering ur teoretisk och praktisk synpunkt är fullt tillämpbar i praktiken med avseende på precision och tidsåtgång. Viss modifiering av instrumentets inställningar samt reflektion kring inventeringsmetodiken som sådan är dock nödvändig. Studien bör utökas både vad det gäller inventeringsobjekt som förrättningsmän. Detta arbete kan ses som ett första steg i en utveckling av ett nytt instrument med god potential. För en praktisk tillämpning behövs sannolikt mer forskning inom området.

5 Litteraturförteckning

Tryckta referenser

Brown, K.M. & Mugasha, A.G., (1988). A two-stage method for horizontal point sampling in young forest stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 18(10), pp.1340–1343.

Bickerstaff, A., 1961. A variable quadrat regeneration survey method. *The Forestry Chronicle*, 37(1), pp.39–54.

Bitterlich, W., (1948). Die Winkelzählprobe. *Allgemeine Forst- und Holzwirtschaftliche Zeitung*, 59(1/2), pp.4–5.

Brèda, J.J. N., (2003). Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of experimental Botany*, Vol. 54, (No. 392)

Danielsson, I. & Larsson, U., (1964). De personliga mätfelen vid relaskopmätning. *Skogen*, 51(3), s.90-95

Ducey, M.J., Gove, J.H. & Valentine, H.T., (2004). A Walkthrough Solution to the Boundary Overlap Problem. *Forest Science*, 50(4), pp. 427-435.

Gove, J.H., Ringvall, A., Ståhl, G. & Ducey, M.J., (1999). Point relascope sampling of coarse woody debris. *Canadian Journal of Forest Research*, 29:1718–1726.

HAGLÖF SWEDEN AB, (2007). Instruktionsbok Vertex IV och Transponder T3. Januari 2007, v.1.0 sve.

Hallsby, G. (2007). *Nya Tidens Skog*. Stockholm: LRF Skogsägarna

Hitchcock, H.C., (1979). Biomass of Southern Hardwood Regeneration Estimated by Vertical Line Sampling. *Journal of Forestry*, 77(8), pp.474–477.

Horvitz, D.G. & Thompson, D.J., (1952). A Generalisation of Sampling Without Replacement From a Finite Universe. *American Statistical Association*, Vol. 47, No. 260, pp. 663-685.

Iles, K., (2000). Edge effect in forest sampling, (part I)

Kaiser, L., (1983), Unbiased Estimation in Line-Intercept Sampling, *Biometrics*, 39, 965-976

Lappi, J., Smolander, H., & Kotisaari, A., (1983). Height relascope for regeneration surveys. *Silva fennica*, vol. 17 no: 1:77-82

Masuyama, M., (1954). On the error in crop cutting experiment due to the bias on the border of the grid. *Sankhya* 14:181–186

Mugasha, A.G., (1989). Evaluation of simple competition indices for the prediction of volume increment of young jack pine and trembling aspen trees. *Forest Ecology and Management*, 26(3), pp.227–235.

Schmid-Haas, P., (1969). Stichproben am waldrand. *Mitt. Schweiz Anst. Forstl. Versuchswes.* 45:234–303

Stenberg, P., Korhonen, L. and Rautiainen, M., (2008). A relascope for measuring canopy cover. *Canadian Journal of Forest Research*, 38: 2545-2550

Ståhl, S., Gove, J.H., Williams, M.S., Ducey, M.J., (2010). Critical length sampling: a method to estimate the volume of downed coarse woody debris. *European Journal of Forest Research*, vol. 129 no6: 993-1000

Elektroniska referenser

Kunskapdirekt (2011). Är det dags att gallra. [Online] Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Gallra/Planering/Ar-det-dags-att-gallra/> [2011-09-12]

Kunskapdirekt (2011). Gallringsmall. [Online] Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/KunskapDirekt/Templates/popupexternalpagefs.aspx?id=11790&epslanguage=sv&parentid=11729> [2011-09-26]

Kunskapdirekt (2011). Gallringstermer. [Online] Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Gallra/Grunder/Gallringstermer/> [2011-09-26]