



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Skogsmästarskolan



Differens i volym mellan skördardata och laserdata i slutavverkningsbestånd

*Difference in volume between harvester data and
laser data in final felling stands*

SARAH OLOFSSON

FELIX ÖSTLUND



Examensarbete i skogshushållning, 15 hp

Serienamn: Examensarbete /SLU, Skogsmästarprogrammet 2023:09

SLU-Skogsmästarskolan

Box 43

739 21 SKINNSKATTEBERG

Tel: 0222-349 50

Differens i volym mellan skördardata och laserdata i slutavverkningsbestånd

Difference in volume between harvester data and laser data in final felling stands

Sarah Olofsson

Felix Östlund

Handledare: Lars Norman, SLU Skogsmästarskolan

Examinator: Staffan Stenhag, SLU Skogsmästarskolan

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Självständigt arbete (examensarbete) med nivå och fördjupning G2E med möjlighet att erhålla kandidat- och yrkesexamen

Kurstitel: Kandidatarbete i Skogshushållning

Kursansvarig institution: Skogsmästarskolan

Kurskod: EX0938

Program/utbildning: Skogsmästarprogrammet

Utgivningsort: Skinnskatteberg

Utgivningsår: 2023

Omslagsbild: Fotot föreställer ett av de besökta objekten. Foto: Felix Östlund

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Serietitel: Examensarbete/SLU, Skogsmästarprogrammet

Delnummer i serien: 2023:09

Nyckelord: Flygburen laserskanning, fjärranalys, slutavverkningsbestånd, skördare



Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsvetenskapliga fakulteten
Skogsmästarskolan

Sammanfattning

Sedan den flygburna nationella laserskanningen påbörjades 2009 har Skogliga grunddata blivit ett viktigt verktyg för de verksamma i skogsbranschen både tidsmässigt, praktiskt och ekonomiskt. Lantmäteriet, Skogsstyrelsen och Sveriges lantbruksuniversitet påbörjade 2018 en andra nationell skanningsomgång.

Syftet med denna studie var att undersöka om det finns en skillnad i volym mellan laserdata och det verkliga utfallet från skördardata i slutavverkningsbestånd. Resultatet från arbetet kan ge en bra grund för berörda parter inom skogsbranschen gällande inhämtande av information.

De 25 slutavverkningsobjekt som besöktes i trakterna kring Sunne i Värmland skannades 2020. Den kvarvarande volymen i form av hänsynsytor, högstubbar, vindfällan och evighetsträd mättes och volymen adderades till datamaterialet från skördaren och kunde sedan jämföras med uppgifterna i Skogliga grunddata. Studiens resultat visar att metoden med laserskanning i genomsnitt överskattar volymen för de 25 trakterna med 0,46 m³fub/ha vilket motsvarar 0,2 procent. Metoden visade en viss tendens till överskattning om det dominerade trädslaget var tall. Även vid en lägre arealstorlek, medelstam och stamtäthet finns en tendens till överskattning. Volymen från laserskanningen är i samtliga 25 fall inom intervallet ± 16 procent av utfallet från vad skördardata och kvarlämnad volym visar.

Det finns ingen statistisk signifikant skillnad mellan de två mätmetoderna. Studien påvisar inte att laserskanningen är behäftad med något systematiskt fel. Slutsatsen är att laserskanningens volym i medeltal stämmer väl överens med utfallet från skördardata i slutavverkningsbestånd.

Nyckelord: Flygburen laserskanning, fjärranalys, slutavverkningsbestånd, skördare

Abstract

Since the start of the airborne national laser in 2009, basic data has become an important tool for those working in the forest industry in terms of time, practice and economy. In 2018, the National Land Survey, the Swedish Forest Agency and the Swedish University of Agricultural Sciences began a second national scanning round.

The purpose of this study was to investigate whether there is a difference in volume between laser data and the actual outcome from harvester data in final felling stands. The results of the work can provide a good basis for stakeholders in the forest industry regarding the collection of information.

The 25 final felling sites visited in the area around Sunne in Värmland were scanned 2020. The remaining volume in the form of consideration areas, high stumps, windfalls and perpetual trees was measured and the volume was added to the data material from the harvester and could then be compared with the data in Forest Basic Data. The results of the study show that the method with laser scanning on average overestimates the volume of the 25 sites by 0,46 m³fub/ha, which corresponds to 0,2 percent. The method showed a certain tendency to overestimate if the dominant tree species was pine. There is also a tendency for overestimation of a lower area size, average strain and trunk density. The volume from the laser scan is in all 25 cases within the range ± 16 percent of the outcome from what the harvester data and the volume left behind show.

There is no statistically significant difference between the two measurement methods. The study does not show that laser scanning is affected by any systematic error. The conclusion is that the average volume of laser scanning corresponds well with the outcome from harvester data in final felling stands.

Keywords: Airborne laser scanning, remote sensing, final felling stand, harvester

Förord

Sjätte och sista terminen på skogsmästarskolan i Skinnskatteberg börjar gå mot sitt slut. Det avslutas med en c-uppsats som omfattar 15 högskolepoäng och denna studie är resultatet av det.

Vi vill börja med ett stort tack till Daniel Forsberg på Stora Enso som varit behjälplig med idéer och tips samt litteratur. Vi vill också tacka vår handledare Lars Norman för allmänna synpunkter, anvisningar, granskning av studie och beräkningar under arbetets gång. Ett stort tack till Staffan Stenhag för snabba och behjälpliga statistiska utlåtanden.

Flor, Sunne
Juni 2023

Sarah Olofsson & Felix Östlund

Innehåll

1. INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.1.1 VARFÖR VALDES ÄMNET.....	1
1.1.2 SKOGLIGA GRUNDDATA.....	1
1.1.3 SKÖRDARDA... ..	1
1.1.4 TIDIGARE STUDIER.....	2
1.2 SYFTE OCH MÅL	3
1.3 AVGRÄNSNINGAR	3
2. MATERIAL OCH METODER	4
2.1 LITTERATURSTUDIE	4
2.2 MATERIAL	4
2.3 METOD	4
3. RESULTAT	7
3.1 SKILJER SIG UTFALLET MELLAN SKÖRDARDA... OCH LASERDA... MED STIGANDE HOMOGENITET I BESTÅNDET?	7
3.2 SKILJER SIG UTFALLET MELLAN SKÖRDARDA... OCH LASERDA... MED AREALENS STORLEK	8
3.3 PÅVERKAR BESTÅNDETS MEDELSTAM UTFALLET I LASERDA...	9
3.4 PÅVERKAR BESTÅNDETS STAMTÄTHET UTFALLET I LASERDA?	10
3.5 VOLYMSKILLNAD	10
3.5.1 HYPOTESPRÖVNING	10
4. DISKUSSION	12
4.1 RESULTATDISKUSSION	12
4.2 METODDISKUSSION	13
4.2 FORTSATT FORSKNING	13
REFERENSER	14
BILAGOR	16
BILAGA 1	16

1. Inledning

Laserskanning har underlättat och delvis förenklat planeringen inom skogsbruket. För de som är verksamma i skogsbranschen som till exempel skogsbolag men även andra utövare kan fjärranalys som den flygburna laserskanningen vara behjälplig (Persson et al. 2022).

1.1 Bakgrund

Skogforsk har sett att olika praktiska nyttor som till exempel trakt- och drivningsplanering, vägprojektering, taktisk planering, kund- och leveranssäkerhet kan bli effektivare med hjälp av att skogen är laserskannad och att informationen är lätt att inhämta. De kommande skanningarna kommer ha en viktig roll inom skogsbruket i stort för till exempel planering och automation (Skogforsk 2021).

1.1.1 Varför valdes ämnet

Efter att ett nytt taxeringsvärde för en skogsfastighet dök upp hos en av författarna där underlaget för värdering av fastigheten var grundat på volym taget från Skogliga grunddata och laserskanning (Skatteverket 2022), ifrågasatte författaren om det stämde med verkligheten. Var precisionen och nyttan med automation verkligen så ansenlig? Det fanns vid tillfället en ny skogsbruksplan som inte överensstämde med volymen från Skogliga grunddata. Detta skapade en tankeprocess och diskussion hos författarna om noggrannheten hos laserdata i slutavverkningsbestånd.

1.1.2 Skogliga grunddata

Skogliga grunddata är en karttjänst baserad på laserskanningsdata där digitala rasterkartor återger tillståndet av skogen det år trakten skannades. Det är tillgängligt för all skogsmark i Sverige (Söderberg et al. 2021). Skogsägare, myndigheter, tjänstemän med flera använder tjänsten där parametrar som till exempel volym, höjd, grundyta och markegenskaper finns tillgängliga gratis och online för allmänt bruk (Söderberg et al. 2021; Skogsstyrelsen 2023).

Den första laserskanningen påbörjades 2009 och från 2018 fortgår den för uppdatering och utveckling (Skogsstyrelsen 2022). Pixelstorleken hos rasterkällorna från laserskanningen är $12,5 \times 12,5$ meter (SLU 2022). Bearbetningen av Riksskogstaxeringens årliga provyteinventeringar och lantmäteriets laserskanning genererar den färdiga produkten (Fridman et al. 2014), som kommer hjälpa författarna av denna rapport att besvara sina frågeställningar. Nilsson et al. (2017) skriver i sin rapport att noggrannheten för den här typen av produkter är tillräckligt tillförlitligt för användning vid exempelvis skogsbruksplanläggning för nästan all mark i Sverige men parametrar som lövsåsong och olika skanningstillfällen kan påverka utfallet.

1.1.3 Skördardata

Kortvirkesmetoden dominerar i det svenska skogsbruket. Det är en avverkningsmetod där träden apteras i sortiment redan i skogen. Skördare samlar information för varje stock som går genom skördaraggregatet. Den kapar och

mäter stammarna och delar in det i olika virkessortiment. För att maximera intäkterna har de separata sortimenten optimerats enligt virkesindustrins behov (Söderberg et al. 2021). För att standardisera insamling, behandling och informationsöverföring från datorer i skogsmaskiner har Skogforsk arbetat fram en standard tillsammans med skogsbruket, StanForD (Standard for forestry data and communication). I skördarens apteringsdator kan detaljerad information lagras om de avverkade stammarna som koordinater för enskilda träd, längd, dimensioner, stamform, kvalitet och skador (Larsson 2009). Skördardata lagras senare av Biometria och av skogsbolagen. Oftast används underlaget för att granska och verifiera virkesflödet, men också för att beräkna avkastning (Söderberg et al. 2021).

Vid en fullständig inventering bör användningen av data från skördare nyttjas med försiktighet. För närvarande är inte datamaterialet från skördare tillräckligt noggranna. De täcker inte för variationen i skogen och värdena är baserade på mogna skogar. I kombination med andra metoder, som till exempel laserskanning, bildar den dock ett bra verktyg för inventeringar, kortsiktiga planeringar och prognostisering av virkesutfall i områden där skördaren har varit (Noordermeer et al. 2022).

1.1.4 Tidigare studier

Laserskanningen har visat sig ge förutsättningar att rationalisera och förbättra planering för avverkning och för att kunna prognosticera virkesflöde och utbytesberäkningar. Skogforsk har tagit fram ett system tillsammans med Sveaskog, Södra och SCA för att göra utbytesprognoser. Genom att använda sig av skogliga data som grundyta, höjd och brösthöjdsdiameter som ingångsvärden kan man med hjälp av så kallad imputering kunna se framtida utfall. Imputering innebär att man med olika metoder som till exempel skördardata eller laserdata fyller i data som saknas. Höjdutveckling förenklas och kan därmed ge en träffande skildring och träffsäkerhet på bland annat stamantal, diameterspridning, ojämnheter och kronslutenhet.

Tidigare studier visar att inventeringar som är baserade på flygburen laserskanning kan vara mer precisa än den data som går att erhålla genom schablonmässiga fältbaserade metoder. Problemet med detta kan vara att det insamlade datamaterialet i fält troligtvis är baserat på modeller med en begränsad mängd indata. Till exempel filer från skördare som har varit begränsade till ett aggregerat filformat och då svåråtkomliga. Mätssystemet för längd och diameter bör vara noga kalibrerat (Möller et al. 2017). Volymen för virkessortimenten grundas på koniska modeller med förutbestämda kvalitetsavdrag och dessa jämförs på olika sätt (Vähä-Konka et al. 2020).

Det behöver inte i alla fall vara felaktig information om träden som gör att prognostiseringen kan bli missvisande. Faktorer som maskinresurser, tjällossning, väder, insektsskador eller prisförändringar kan göra prognoserna bristfälliga. Regionala skillnader kan förekomma och för att få bra prognostisering kan man utöver likartade beståndsegenskaper söka liknande objekt i närheten (Möller et al. 2017). Enligt Söderberg et al. (2017) kan man med hjälp av imputering sänka

riskerna för systematiska fel och prognoserna förbättras om dessa kompletteras med skördardata och fjärranalys från likvärdiga objekt i samma geografi.

En studie som gjordes i Finland jämför landets motsvarighet till Skogliga grunddata, Metsään.fi och skördardata. Egenskaper som total volym och trädslagsspecifik volym jämfördes i slutavverkningsbestånd. Bestånden som jämfördes var i de flesta fall grandominerade. I jämförelsen av spridningen hos det totala uttaget från skördarens data och från Metsään.fi kunde forskarna se ett linjärt samband. Metsään.fi överskattade vid fler tillfällen än vad den underskattade. Om avverkningen hade större uttag än 450 m³/ha underskattade Metsään.fi (Vähä-Konka et al. 2020).

Remsö (2020) har i sitt examensarbete bedömt slumpmässigt uttagna provytor med laserskanning och fältmätta beståndsvariabler. I sin studie kom han fram till att det lasermätta datamaterialet överskattade medelvärde av volymen med 26 procent. Studien visar också att det förekommer systematisk skillnad bland laserskattningen av grundytan och medeldiameter. Grundytan överskattades i studien med 23,3 procent. Medeldiametern underskattades med 9,7 procent. I medeltal överskattade laserskanningen volymen med 65 skogskubik per hektar. Det var störst skillnad när volymen mätt i fält var låg och om volymen ökade såg Remsö att skillnaden mellan uppskattningarna minskade.

1.2 Syfte och mål

Syftet med denna studie är att undersöka om det finns en eventuell skillnad mellan laserdata och det verkliga utfallet från skördardata i slutavverkningsbestånd. Resultatet från arbetet kan ge en bra grund för berörda parter inom skogsbranschen gällande inhämtande av information.

Rapporten ämnar svara på nedanstående frågeställningar:

- Skiljer sig utfallet mellan skördardata och laserdata med stigande homogenitet i beståndet?
- Skiljer sig utfallet mellan skördardata och laserdata med arealens storlek?
- Påverkar beståndets medelstam utfallet i laserdata?
- Påverkar beståndets stamtäthet utfallet i laserdata?

1.3 Avgränsningar

Studien är avgränsad till 30 objekt och samtliga objekt ligger inom radien ca 8 mil kring Sunne i Värmland. Objekten tillhör Stora Ensos egna innehav och är mindre än 13 hektar. Objekten ska ha slutavverkats inom sex månader efter att laserskanningen gjordes. Genom att använda slutavverkningsbestånd till studien, kunde hela beståndets volym användas i undersökningen. Att använda sig av slutavverkningsbestånd i stället för gallringsbestånd gjorde att fler bestånd kunde besökas, genom att det är en mindre volym lämnad efter avverkningen.

2. Material och metoder

Idé, datainsamling och den färdiga rapporten verkställdes av författarna tillsammans. Kontakten skedde till största del via Zoom och telefonsamtal men även vid fysiska träffar för datainsamling.

2.1 Litteraturstudie

Under rubriken inledning redovisas den litteraturstudie som gjordes för att få bakgrund och mer information om undersökningens/rapportens ämne, laserdata och skördardata och skillnader där emellan.

Den litteratur som använts har dels hittats med sökningar på *Google Scholar* och *web of science*. Delar av litteraturen har författarna införskaffat med hjälp av Stora Enso. Skogsstyrelsens och Riksskogstaxeringens hemsidor har varit till hjälp för att få fram bakgrundsliggande information.

De sökord som användes var: *Scandi, forest, laser, harvester data*

2.2 Material

Det material som behövs för att genomföra denna studie är klave, höjdmätare och tillgång till skördardata som tillhandahölls av Stora Enso. Objekten hade avverkats under 2020 efter att laserskanningen gjordes. Skogliga grunddatas laserskanning har hämtats från VSOP. Laserskanningen gjordes under intervallet januari till mars under år 2020. Det molnbaserade kommunikationstjänsten Zoom användes för kontakt mellan författarna. Trakterna hämtades från VSOP, genom en utsökning av avverkningsdatum inom intervallet 2020-03-01 till 2020-12-31 och arealsstorleken mindre än 14 hektar på Stora Ensos egen skog.

2.3 Metod

För att besvara frågeställningarna har de 25 slutavverkningsobjekt som besökts i fält (i trakterna kring Sunne, Värmland) slutavverkats i närtid efter att laserskanningen gjorts i geografin. Det enskilda objektens areal understiger i samtliga fall fjorton hektar. Den lämnade volymen efter slutavverkningarna som hänsynsytor, högstubbar, kulturstubbar, vindfällerna och evighetsträd mättes på varje enskild trakt. Efter klavning av de kvarlämnade trädens brösthöjdsdiameter och uppmätt höjd beräknades volymen genom Näslunds mindre volymsformel. Träden klavades åt det håll som trädet möttes. Träden markerades efter mätning för att undvika upprepande mätning av samma träd. Vid mätningen av volymen hos högstubbar och kulturstubbar mättes brösthöjdsdiametern med klave och höjden med höjdmätare, volymen beräknades genom formeln $\frac{d^2}{4} \times \pi \times h$ där d är diametern i meter och h är höjden i meter. Vid beräkningen av volymen hos ett vindfälle mättes trädets diameter vid 130 cm från rotändan och trädets längd. Näslunds volymsformel användes för beräkning av volym hos stående träd och vindfällerna,

- Tall $V = 0,1072d^2 + 0,02427hd^2 + 0,007315dh^2$
- Gran $V = 0,01104d^2 + 0,01925hd^2 + 0,018158dh^2 - 0,04936h^2$

- Löv $V = 0,1432d^2 + 0,008561hd^2 + 0,2180dh^2$

Antalet kvarvarande träd och vindfällen noterades. Vid mätningen av varje enskilt träd eller stubbe noterades det om trädet var gran, tall eller lövträd. För varje enskild trakt adderades volymerna hos varje trädslag.

Volym och stamantal från skördardata hämtades från Stora Ensos dataserver för varje enskilt objekt. Via VSOP hämtades volymen från laserdata för varje objekt genom att en polygon ritades över det område som hade avverkats, polygonens areal säkerställdes genom maskinfiler och ortofoto. Polygonen visade även objektets areal. Volymerna från skördaren var i enheten m^3_{fub} . Volymen från laserskanningen och fältmätningarna var i m^3_{sk} och omvandlades till m^3_{fub} genom att dividera med omföringstalet 1,2 (Södra 2017).

Fältmätningarna gjordes under perioden 25/2 till 12/3, datainsamling tog totalt 40 timmar. Den kvarvarande trädslagsfördelade volymen från objekten adderades till den trädslagsfördelade volym som skördardata visade i m^3_{sk} . Antalet stammar från skördardata adderades till antalet kvarvarande stammar på objekten.

Vid beräkningen av stamantal/ha dividerades antalet stammar på objekten med objektets areal. Vid beräkningen av beståndets homogenitet användes volymen hos varje trädslag och dividerades med den totala volymen, det dominerande trädslaget motsvarar beståndets homogenitet i procent. Medelstammen beräknades genom att den totala volymen från objektet i m^3_{fub} dividerades med antalet stammar på objektet.

I Excel sammanställdes data från skördarfilerna, fältinsamlingen och laserdata. Volymen från laserdata dividerades med den sammanslagna volymen från fältinsamlingen och skördarfilerna för varje enskilt objekt genom formeln

$$\frac{\text{Volym laser} - (\text{Volym skördare} + \text{Volym Hänsyn})}{(\text{Volym skördare} + \text{Volym Hänsyn})}$$

Homogeniteten, medelstammen, stamantalet och arealstorleken jämförs med den procentuella eventuella skillnaden i volym.

Punktdiagram skapades för de olika frågeställningarna. På dessa figurer var differensen av volymerna i procent på y -axlarna, på x -axeln var det andelen av de dominerade trädslaget i procent. På resterande figurer bestod x -axlarna av arealstorlek, medelstam och stammar/hektar. Ett diagram skapades med volym från laserdata på y -axeln och den sammanslagna volymen från fältinsamlingen och skördardata på x -axeln. På figurerna gjordes det regressionsanalys.

En hypotesprövning för parvisa observationer gjordes på skillnaden i volym mellan laserdata och skördardata. Vid hypotesprövningen användes formeln och hypotesen:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

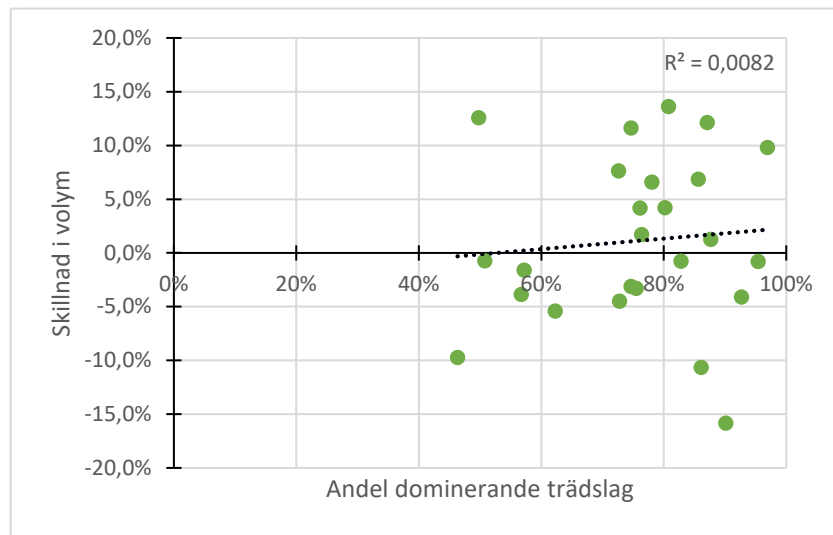
$$\begin{cases} H_0: \mu_D = 0 \\ H_1: \mu_D \neq 0 \end{cases}$$

3. Resultat

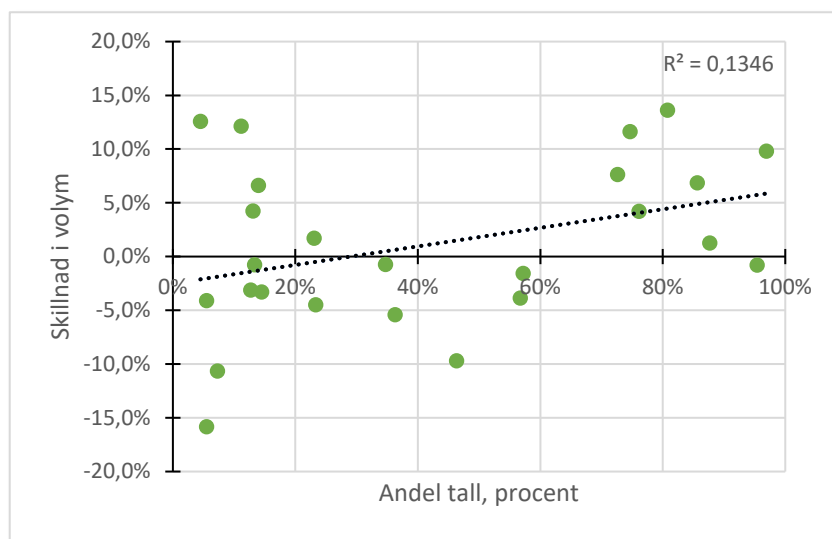
Data från mätmetoderna visar att det finns en skillnad i volym mellan metoderna. Det visar att det finns trender på hur volymen skiljer sig mellan mätmetoderna, men även att spridningen är stor på skillnad i volym.

3.1 Skiljer sig utfallet mellan skördardata och laserdata med stigande homogenitet i beståndet?

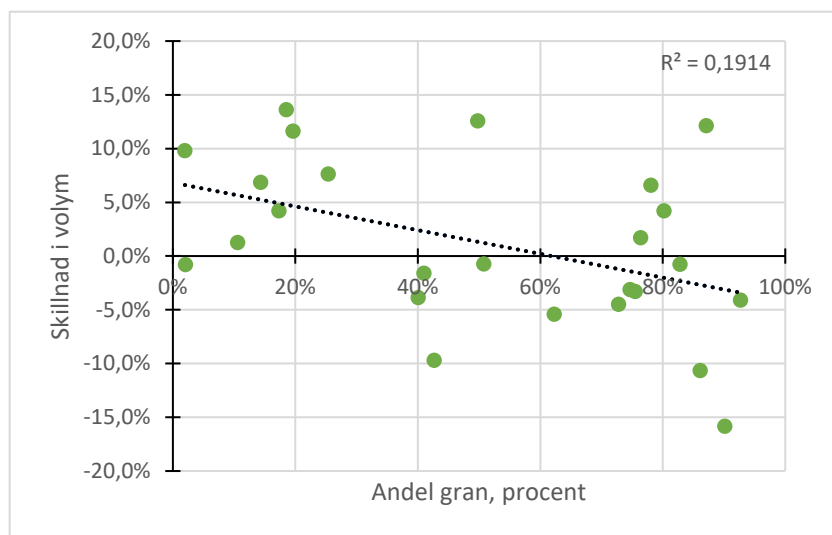
Av Figur 1 framgår att vid ökande andel av det dominerande trädslaget i beståndet överskattar laserdata volymen. Volymen från laserdata är inom intervallet ± 16 procent av utfallet från skördardatan och den kvarlämnade volymen. Vid en ökande andel tall visar Figur 2 att laserdata överskattar volymen. Av Figur 3 kan det utläsas att vid en ökande andel gran underskattar laserdata volymen. Det är en större spridning av volymsskillnaden vid hög granandel än vid hög tallandel.



Figur 1. Figuren visar andelen dominerande trädslag på x-axeln och skillnaden i volym mellan laserdata och skördardata på y-axeln. R-värdet är 0,0082.



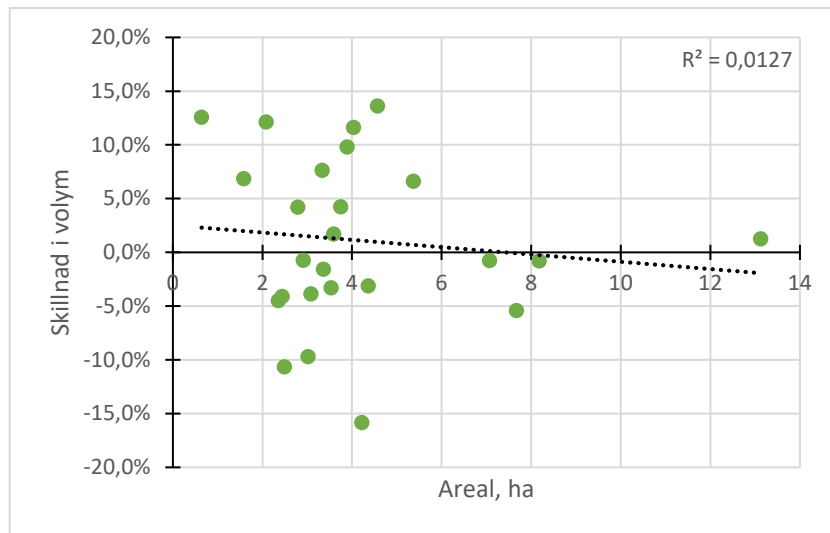
Figur 2. Figuren visar andelen tall i beståndet på varje objekt på x-axeln och skillnaden i volym mellan laserdata och skördardata på y-axeln. R-värdet är 0,1346.



Figur 3. Figuren visar andelen gran i beståndet på varje objekt på x-axeln och skillnaden i volym mellan laserdata och skördardata på y-axeln. R-värdet är 0,1914.

3.2 Skiljer sig utfallet mellan skördardata och laserdata med arealens storlek

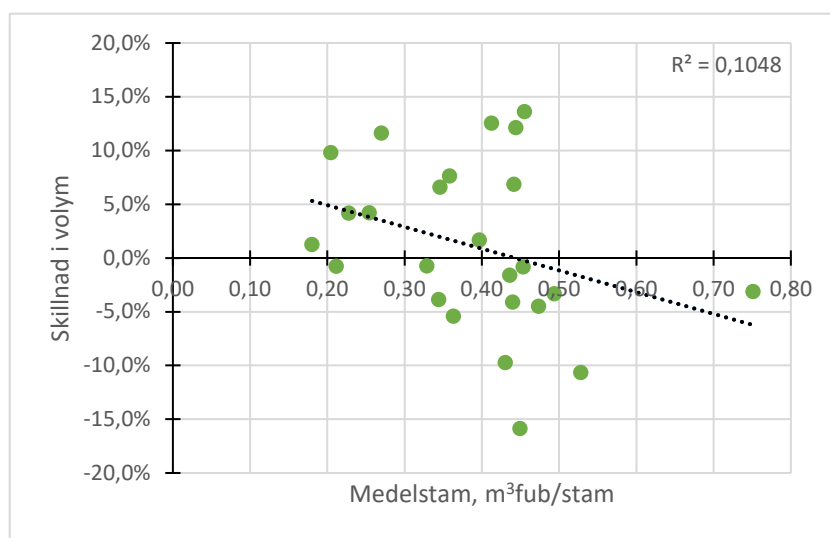
Enligt Figur 4 är det en större spridning vid lägre arealsstorlek än vid större arealsstorlek. En ökad arealstorlek ger en uppskattad volym från laserdata som stämmer bättre med utfallet från skördardata. En mindre areal ger en mer osäker volym från laserdatas uppskattning. En mindre areal ger även en överskattning i volym.



Figur 4. Visar objektens areal i hektar på x-axeln och skillnaden i volym mellan laserdata och skördardata på y-axeln. R-värdet är 0,0127.

3.3 Påverkar beståndets medelstam utfallet i laserdata

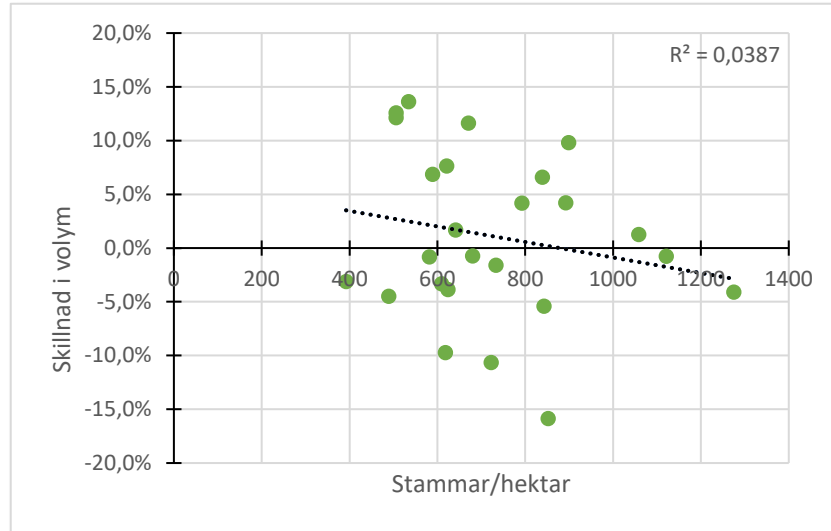
Vid en lägre medelstam överskattar laserdata volymen. När medelstammen är i intervallet mellan 0,4 m³fub/stam och 0,5 m³fub/stam är spridningen av laserdatas uppskattning som störst, då skiljer volymen inom ett intervall på ± 16 procent. Trendkurvan i Figur 5 visar att laserdata överskattar vid en låg medelstam. Förhållandet mellan laserdata och skördardata är som bäst vid en medelstam på 0,45 m³fub/stam trots att spridningen är som störst. Laserdata verkar tendera att överskatta volymen när bestånden har en medelstam i intervallet 0,15 m³fub/stam till 0,30 m³fub/stam. Samtidigt bör påpekas att antalet observationer är ganska få om materialet delas upp i olika intervall avseende medelstammens storlek.



Figur 5. Visar objektens medelstam på x-axeln och skillnaden i volym mellan laserdata och skördardata på y-axeln. R-värdet är 0,1048.

3.4 Påverkar beståndets stamtäthet utfallet i laserdata?

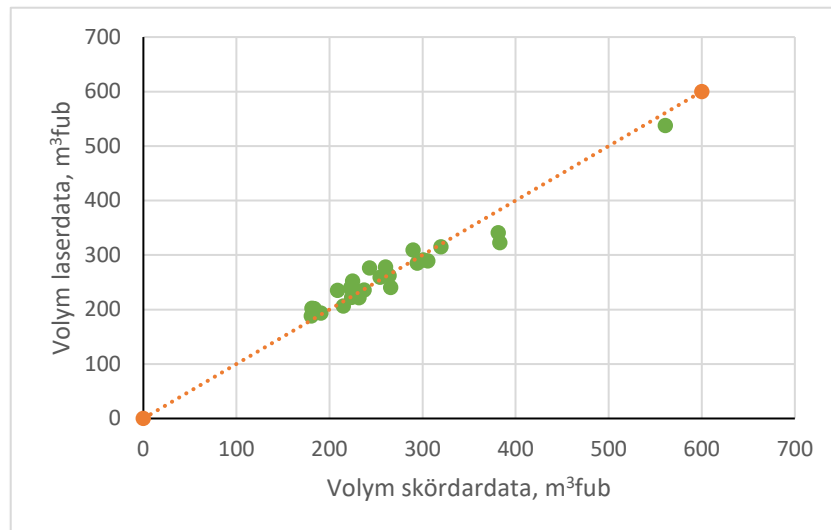
I Figur 6 utläses att vid en lägre stamtäthet överskattar laserdata beståndets volym. Vid en högre stamtäthet underskattar laserdata beståndets volym. Spridningen är högre vid en lägre stamtäthet än vid en högre stamtäthet.



Figur 6. Visar objektens stamtäthet i stam/ha på x-axeln och skillnaden i volym mellan laserdata och skördardata på y-axeln. R-värdet är 0,0387.

3.5 Volymskillnad

Enligt Figur 7 stämmer laserdatas uppskattade volym överens med den uppmätta volymen. Vid beståndens uppskattade och uppmätta volym, överskattar laserdatan volymen med 0,46 m³fub/ha vilket motsvarar 0,2 procent.



Figur 7. Visar objektens volym från skördardatan i m³fub/ha på x-axeln och objektens volym från laserdatan i m³fub/ha på y-axeln. Linjen visar funktionen $y=x$.

3.5.1 Hypotesprövning

Medelvärdet på differensen i volym mellan de olika mätmetoderna gav medelvärdet -0,46 m³fub, standardavvikelsen mellan de olika metoderna gav värdet 22,01 m³fub. Hypotesprövningen gav ett t- värde på -0,10, med 24 i

frihetsgrader ett värde på 1,1711. H_0 accepteras på 5 procent, det går inte att statistiskt bevisa att utfallet skiljer sig mellan de olika mätmetoderna. Se Bilaga 1.

4. Diskussion

Vi hade planerat att genomföra mätningar på 30 objekt men vi fick göra en avgränsning till 25 objekt då fem av de tänkta objekten efter besök i fält inte var lämpliga att inkluderas i undersökningen. Dessa fem objekt var olämpliga genom att de inte uppfyllde våra kriterier. Tre av objekten hade för mycket volym lämnad efter avverkningen som skulle påverkat undersökningens noggrannhet genom att flera tillväxtsåsonger hade påverkat resultatet. De andra två objekten som uteslöts hade tillfartsvägar som vid datainsamlingen inte var farbara.

4.1 Resultatdiskussion

Ett bestånd med en trädslagfördelning kring 50 procent ger ett bättre utfall med laserdatans uppskattning, dels har utfallet från objekten en lägre spridning och trendkurvan från Figur 1 i skär x -axeln kring 50 procent. Spridningen ökar både för gran- och talldominerade bestånd. Vid Figur 2 och Figur 3 är tall och gran motsatser gällande över- och underskattning detta genom att när tallandelen är hög är granandelen låg. Det finns en tendens till trenden att när beståndet med hög tallandel har en överskattning, kommer samma bestånd ha en överskattning vid låg granandel. Vid en hög granandel har laserdata en större spridning än vid hög tallandel. Vi tror att detta beror på att tallbestånd hade ett jämnare krontak och en jämnare diameterspridning än vad ett granbestånd har. Detta gör att varje 12,5 m × 12,5 m yta från skanningen är mer homogen i jämförelse med intilliggande ruta, detta gör att beståndet är mer likartat, vilket gör det lättare att uppskatta volymen via laserdata.

Beståndens areal påverkar utfallet från laserdata. Bestånd med en mindre areal har en tendens till att överskatta volymen medan bestånd med en större areal har en tendens till att underskatta. Hos våra objekt hade de mindre objekten en större spridning än de större objekten. Detta kan bero på att vi hade många fler objekt som var mindre än 5 ha än objekt som var större än 5 ha. Objekten som var större än 5 ha hade en mycket liten spridning i utfallet från laserdatan. Den större spridningen hos de mindre objekten kan dels bero på känsligheten vid inritandet av polygonen i VSOP, om linjen hamnar någon meter fel kommer det att ha större procentuell påverkan av utfallet än vad det kommer att ha av ett större bestånd. Detta har att göra med pixelstorleken från rastret som volymen från laserdatan hämtas från.

Vid mätning av beståndets medelstam var det få av objekten som hade en medelstam över 0,5 m³fub/stam. Det hade varit intressant om fler av objekten hade haft högre medelstam. I de objekten som slumpvis valdes ut hamnade beståndets medelstam i intervallet 0,18 – 0,75 m³fub/stam där majoriteten av bestånden var i intervallet 0,3 – 0,45 m³fub/stam. Objekten som hade en lägre medelstam överskattade laserdata volymen för de bestånden. Volymen från laserdata hade största spridningen för objekt som hade en medelstam i intervallet 0,3 – 0,45 m³fub/stam, i detta intervall fanns även majoriteten av objekten. Trendkurvan från Figur 5 tyder på att laserdata kommer underskatta volymen för bestånd med hög medelstam.

I ett bestånd med färre stammar kommer volymen från laserdata sannolikt att överskatta beståndets volym. Träffsäkerheten hos laserdata förbättras med stigande stamtäthet hos bestånden. Detta kan bero på att ett bestånd med färre stammar kan vara mera ojämnt gällande stammarnas avstånd till varandra, medan ett bestånd som har en hög stamtäthet kommer att ha ett jämnare förband mellan träden och färre luckor. Vi har vidare funderingar kring hur luckor i ett bestånd påverkar utfallet i volym från laserdata. Vi tror att laserdata kommer att ge en missvisande uppskattning med ett bestånd med mycket luckor och ett ojämnt förband.

Att utifrån laserdata bedöma beståndens volym stämmer mycket bra i vår undersökning. Vid ett medelvärde för alla bestånd har laserdata en tendens till att överskatta beståndets volym med 0,2 procent eller 0,46 m³fub/ha för slutavverkningsbestånd. Andra studier tyder också på att laserdata överskattar volymen, dock inte lika lite som vid denna undersökning. Vid de tidigare studierna har andra metoder använts. Vid hypotesprövningen var medelvärdet på skillnaden i volym nästan obefintlig, vilket skapade ett lågt t-värde i formeln. I medeltal har vi kommit fram till att det inte finns en statistisk signifikant skillnad mellan de två mätmetoderna. Vi kan inte påvisa att laserskanningen är behäftat med ett systematiskt fel.

4.2 Metoddiskussion

Vårt metodval har inte tillväxten hos den kvarvarande volymen inräknad, dock har tillväxten på den kvarvarande volymen liten påverkan på utfallet. Då det var små volymer kvarlämnat och tillväxten på de kvarvarande träden förväntas vara låg i m³fub/ha/år. Vi har inte haft med i beräkningen skördarens noggrannhet vid mätande av volymen. Skördardata är det närmaste vi kan komma sanningen utan att totalklava hela bestånd.

Vid liknande framtida studier hade det förenklat datainsamlingen om beståndet besöktes under barmarkssäsongen, dels för framkomligheten på och till objekten. Det skulle ha varit bra om vi fått en jämnare fördelning med bestånd gällande stam/ha, volym, trädslagsfördelning och arealsstorlek. Detta skulle kunna lösas genom att använda sig av en större geografi eller nyttja sig av ett större spann gällande när bestånden avverkats efter laserskanningen. Det hade då funnits en möjlighet till att göra en sortering av bestånd för att få det jämnare fördelat storleksmässigt.

4.2 Fortsatt forskning

Vidare studier som hade varit av intresse inom samma område hade varit att undersöka laserdatas träffsäkerhet hos gallringsbestånd. Det hade även varit intressant att undersöka laserdatas träffsäkerhet hos lövdominerade bestånd. Genomförande av samma studie fast spritt över en större geografi som regionala skillnader hade varit av intresse.

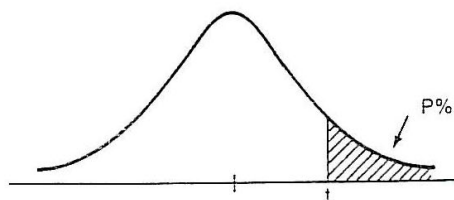
Referenser

- Fridman, J., Holm, S., Nilsson, M., Nilsson, P., Ringvall, A.H. & Ståhl, G. (2014). Adapting National Forest Inventories to changing requirements – the case of the Swedish National Forest Inventory at the turn of the 20th century. *Silva Fennica*, 48 (3). <https://www.silvafennica.fi/article/1095> [2023-02-18]
- Larsson, H. (2009). *Flygburen laserskanning kopplat till skördarmätning för datainsamling till operativ planering*. (260 2009). Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. [2023-03-04]
- Möller, J.J., Arlinger, J., Bhuiyan, N., Eriksson, I. & Söderberg, J. (2017). *Utbytesprognoser baserade på skogs- och skördardata*. (Arbetsrapport, 961–2017). Uppsala: Skogforsk. <https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunskapsbanken/2017/utbytesprognoser-baserade-pa-skogs--och-skordardata/> [2023-04-25]
- Nilsson, M., Nordkvist, K., Jonzén, J., Lindgren, N., Axensten, P., Wallerman, J., Egberth, M., Larsson, S., Nilsson, L., Eriksson, J. & Olsson, H. (2017). A nationwide forest attribute map of Sweden predicted using airborne laser scanning data and field data from the National Forest Inventory. *Remote Sensing of Environment*, 194, 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.10.022>
- Noordermeer, L., Næsset, E. & Gobakken, T. (2022). Effects of harvester positioning errors on merchantable timber volume predicted and estimated from airborne laser scanner data in mature Norway spruce forests. *Silva Fennica*, 56 (1). <https://www.silvafennica.fi/article/10608> [2023-03-04]
- Persson, H.J., Olofsson, K. & Holmgren, J. (2022). Two-phase forest inventory using very-high-resolution laser scanning. *Remote Sensing of Environment*, 271, 112909. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112909>
- Remsö, M. (2020). *Jämförelse mellan Skogliga grunddata 2.0 och fältmätta beståndsvariabler i bestånd med huggningsklass S1 och S2*. (2020:18). Skinnskatteberg: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Skatteverket (2022). *Ny metod för att beräkna virkesförråd*. [text]. <https://www.skatteverket.se/foretag/skatterochavdrag/fastighet/fastighetstaxering/deklareralantbruk/nymetodforattberaknavirkesforrad.4.6e8a1495181dad5408472c.html> [2023-03-04]
- Skogforsk (2021). *Vad ger en tätare laserskanning skogsbruket?* <https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunskapsbanken/2021/vad-ger-en-tatare-laserskanning-skogsbruket/> [2023-02-18]
- Skogsstyrelsen (2022). *Viktigt att tänka på när du ska använda skogliga grunddata*. <https://www.skogsstyrelsen.se/sjalvservice/karttjanster/skogliga-grunddata/viktigt-nar-du-ska-anvanda-skogliga-grunddata/> [2023-02-18]
- Skogsstyrelsen (2023). *Skogliga grunddata*. <https://www.skogsstyrelsen.se/sjalvservice/karttjanster/skogliga-grunddata/> [2023-02-18]
- SLU (2022). Produktbeskrivning: Skogliga grunddata
- Söderberg, J., Wallerman, J., Almäng, A., Möller, J.J. & Willén, E. (2021). Operational prediction of forest attributes using standardised harvester data and airborne laser scanning data in Sweden. *Scandinavian Journal of*

- Forest Research*, 36 (4), 306–314.
<https://doi.org/10.1080/02827581.2021.1919751>
- Söderberg, J., Willén, E., Möller, J.J., Arlinger, J. & Bhuiyan, N. (2017).
Utbytesberäkningar med stöd av skogliga laserskattningar.
(Arbetsrapport, 937–2017). Uppsala: Skogforsk. [2023-04-25]
- Södra (2017). *Lär dig jämföra priserna när du gör virkesaffärer*.
<https://www.sodra.com/sv/se/skog-medlem/aktuellt/sodrakontakt/nyhetsartiklar/2017/nummer-2/lar-dig-jamfora-priserna-nar-du-gor-virkesaffarer/> [2023-06-19]
- Vähä-Konka, V., Maltamo, M., Pukkala, T. & Kärhä, K. (2020). Evaluating the accuracy of ALS-based removal estimates against actual logging data. *Annals of Forest Science*, 77 (3), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00985-7>

Bilagor

Bilaga 1



Frihets- grader	Sannolikhet P%					
	5%	2,5%	1%	0,5%	0,1%	0,05%
1	6,314	12,706	31,821	63,657	318,310	636,620
2	2,920	4,303	6,965	9,925	22,326	31,598
3	2,353	3,182	4,541	5,841	10,213	12,924
4	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610
5	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893	6,869
6	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959
7	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785	5,408
8	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041
9	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781
10	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,587
11	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437
12	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318
13	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221
14	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140
15	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073
16	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015
17	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965
18	1,734	2,101	2,552	2,878	3,610	3,922
19	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,883
20	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850
22	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792
24	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745
26	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435	3,707
28	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408	3,674
30	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385	3,646
40	1,684	2,021	2,423	2,704	3,307	3,551
60	1,671	2,000	2,390	2,660	3,232	3,460
120	1,658	1,980	2,358	2,617	3,160	3,373
∞	1,645	1,960	2,326	2,576	3,090	3,291

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

<https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.