

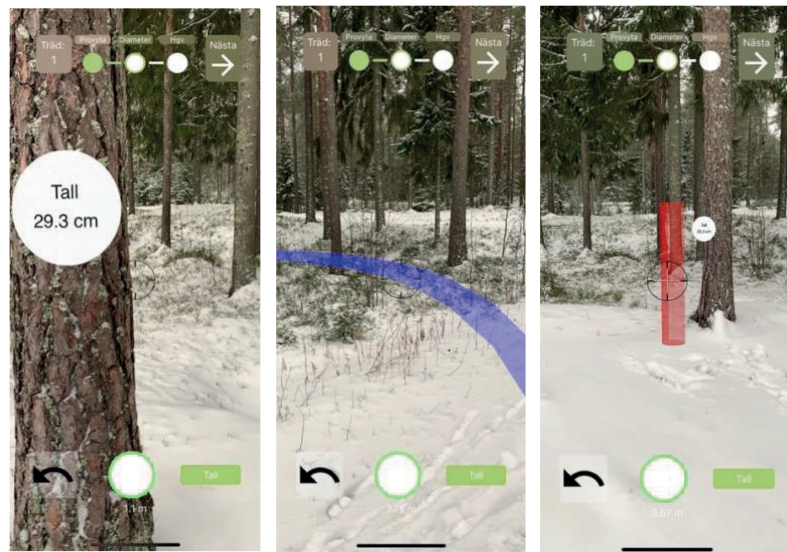
## Insamling av skogliga data med applikationen Arboreal Skog

– En studie om mätprecision, noggrannhet och effektivitet

*Forest data acquisition with the application Arboreal Forest*

– *A study about measurement precision, accuracy and efficiency*

Lisa Lindberg



Examensarbete • 30 hp

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2020:3

Umeå 2020

# Insamling av skogliga data med applikationen Arboreal Skog

## – En studie om mätprecision, noggrannhet och effektivitet

*Forest data acquisition with the application Arboreal Forest*  
*– A study about measurement precision, accuracy and efficiency*

Lisa Lindberg

**Handledare:** Dan Bergström, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

**Examinator:** Carola Häggström, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

**Omfattning:** 30 hp  
**Nivå och fördjupning:** Avancerad nivå, A2E  
**Kurstitel:** Masterarbete i skogsvetenskap  
**Kursansvarig inst.:** Institutionen för skogens biomaterial och teknologi  
**Kurskod:** EX0956  
**Program/utbildning:** Jägmästarprogrammet

**Utgivningsort:** Umeå  
**Utgivningsår:** 2020  
**Omslagsbild:** Lisa Lindberg  
**Serietitel:** Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi  
**Delnummer i serien:** 2020:3  
**Elektronisk publicering:** <https://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** Skogsinventering, förstärkt verklighet, skogsteknologi, mätfel, skogsuppskattning

**Sveriges lantbruksuniversitet**  
Fakulteten för skogsvetenskap  
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi  
2020



## Sammanfattning

Skogsinventering kräver en del utrustning i fält där klave, höjdmätare och måttband är vanligt förekommande instrument. Med applikationen Arboreal skog kan skogsuppskattning istället ske med mobiltelefonen som verktyg vid provyteinventering. Skogsägarföreningen Norra Skogsägarna ville undersöka om applikationens mätningar motsvarar konventionella instrument med avseende på noggrannhet och effektivitet.

Syftet med studien var att kvantifiera och undersöka Arboreal skogs mätfel i olika typer av bestånd, jämfört med konventionella instrument samt utvärdera tidseffektiviteten vid kontrolltaxering. Datamaterialet omfattades av 646 klavade träd, varav 81 höjdmätta provträd fördelat på fem bestånd och 42 provytor inventerade med både applikation och referensinstrumenten klave och Vertex höjdmätare. Mätfelet kvantifierades på träd- provyte- och beståndsnivå. Även en tidsstudie genomfördes som omfattade 10 provytor.

Relativt RMSE (root mean square error) vid diametermätning med Arboreal beräknades till 7,1 % (1,2 cm) med en systematisk underskattning på -2,3 % (-0,4 cm). Motsvarande RMSE vid höjdmätning var 3,0 % (0,5 m) med en systematisk underskattning på -1,4 % (-0,2 m). Relativt genomsnittligt RMSE baserat på samtliga provytor för beståndsvariablerna; grundyta, grundytavägd medeldiameter, grundytavägd medelhöjd, stamantal samt volym var 11%, 5%, 3%, 10% respektive 13%. Tidsmässigt var Arboreal i genomsnitt 15% långsammare än konventionella instrument vid kontrolltaxering, höjdmätning utfördes dock snabbare med Arboreal i samtliga fall.

Applikationen Arboreal Skog lämpar sig väl för insamling av skogliga data inom praktiskt skogsbruk med hög noggrannhet och precision. Likt andra instrument påverkas Arboreal av användarens subjektiva bedömning av rotens och toppens position vid höjdmätning. Vidare studier behövs för att undersöka hur applikationens mätnoggrannhet och effektivitet påverkas av olika användare.

*Nyckelord: Skogsinventering, förstärkt verklighet, skogsteknologi, mätfel, skogsuppskattning*

## Abstract

Forest inventory requires some equipment while out in the field where the caliper, clinometer and measurement tape are common devices. With the application Arboreal Forest, sample plot inventory can be performed by using the mobile phone as a tool. Norra Skogsägarna, a forest owner association wanted to examine if accuracy and efficiency of the application's measurements correspond to that of conventional instruments.

The aim of this study was to quantify and investigate Arboreal Forest's measurement errors in different type of stands compared to conventional instruments, but also evaluate the time efficiency during control assessment. The data material included 646 calipered trees, of which 81 were height measured sample trees distributed in five different stands and 42 sample plots that were inventoried with both application and reference tools; caliper and Vertex, a height measuring device. Measurement errors were quantified at tree-, plot- and stand level. A time study was conducted with ten sample plots.

Relative RMSE (root mean square error) during diameter measurements with Arboreal was calculated to 7,1% (1,2 cm) with a systematic underestimation of -2,3% (-0,4 cm). Corresponding RMSE value for height measurements were 3,0% (0,5 m) with a systematic underestimation of -1,4% (-0,2 m), respectively. Relative average RMSE based on all sample plots regarding the stand variables; basal area, mean basal area weighted diameter, mean basal area weighted height, number of stems and volume on bark was 11%, 5%, 3%, 10% and 13 %, respectively. Control assessment with Arboreal was on average 15% more time consuming compared to conventional instruments, however height measurements was performed faster with the application in all cases.

Arboreal Forest is a suitable tool for forest data acquisition in practical forestry with high accuracy and precision. Like other instruments, Arboreal is affected by the user's subjective estimation of the root and treetop position while measuring height. Further studies are required to investigate how the application's measurement accuracy and efficiency are affected by different users.

*Keywords: Forest inventory, augmented reality, forest technology, measurement error, forest estimation*

# Förord

Detta examensarbete på avancerad nivå inom huvudområdet skogsvetenskap omfattar 30 högskolepoäng. Arbetet har utförts på uppdrag av Norra Skogsägarna i samarbete med Arboreal vid Institutionen för Skogens biomaterial och Teknologi (SBT), Sveriges lantbruksuniversitet (SLU).

Först och främst vill jag tacka Sara Karlsson på Norra Skogsägarna för idén till detta examensarbete. Studien hade inte heller varit genomförbar utan Arboreals VD Johan Ekenstedts värdefulla tips samt tillhandahållande av tekniken. Avslutningsvis vill jag tacka min handledare Dan Bergström på SLU för viktiga synpunkter under arbetets gång.

Lisa Lindberg

Umeå, januari 2020

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>9</b>
1.1	Skogsägarplaner och kontrolltaxering	10
1.2	Mobila funktioner i skogen	11
1.2.1	Applikationerna Arboreal skog och trädhöjd	12
1.2.2	AR teknik	13
1.3	Framtidens datainsamling	14
1.3.1	Mål & syfte	15
<b>2</b>	<b>Metod och material</b>	<b>16</b>
2.1	Förberedande arbete och datainsamling	16
2.2	Beståndsvis datainsamling	17
2.2.1	Studieområde	17
2.2.2	Insamlingsmetodik	18
2.3	Kompletterande undersökning	20
2.3.1	Repeterbarhet	20
2.3.2	Ljuskänslighet	21
2.4	Tidsstudie	21
2.5	Databearbetning och analyser	22
<b>3</b>	<b>Resultat</b>	<b>26</b>
3.1	Diameter	26
3.2	Höjd	29
3.3	Bestandsvariabler	32
3.3.1	Grundyta	32
3.3.2	Grundtytvägd medeldiameter (Dgv)	33
3.3.3	Grundtytvägd medelhöjd (Hgv)	34
3.3.4	Stamantal	34
3.3.5	Volym	35
3.4	Kompletterande undersökning	36
3.4.1	Repeterbarhet	36
3.4.2	Ljuskänslighet	37
3.5	Tidsåtgång	38
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>39</b>
4.1	Styrkor och svagheter med studien	39
4.2	Resultat och jämförelser med andra studier	40

4.2.1	Diameter	40
4.2.2	Höjd	41
4.2.3	Beståndsvariabler	42
4.2.4	Kompletterande undersökning	43
4.2.5	Tidsåtgång	44
4.3	Praktisk tillämpning	45
4.4	Framtida utveckling och vidare studier	46
4.5	Slutsatser	47
	<b>Litteratur</b>	<b>48</b>
	<b>Bilaga 1 - Beståndstyper</b>	<b>52</b>
	<b>Bilaga 2 - Sammanställning mätfel</b>	<b>53</b>



# 1 Inledning

Skogliga ekosystem håller livsviktiga miljöer för växter och djur samtidigt som de producerar förnybara resurser och är en viktig del i den globala kol och- energibalansen (Kangas & Maltamo 2006). Uppdaterad information om skogens tillstånd är en nödvändighet vid såväl investeringar som vid policy och- skötselbeslut. Skogstillståndet beskrivs normalt sett mindre detaljerat på global nivå jämfört med nationella och regionala data (Macdicken 2015). Enskilda träd och provytor som representerar ett givet område via stickprov beskrivs med högre noggrannhet (Kangas & Maltamo 2006). Informationsinsamling är dock resurskrävande och medför kostnader, omfattning och noggrannhet bör därför baseras på en avvägning mellan kostnader för felaktiga beslut i förhållande till kostnaden för informationsinsamling (Holm 2012; Kangas & Maltamo 2006). Data om skogstillståndet kan inhämtas från flera källor, olika typer av fjärranalys i kombination med subjektiva skattningar i fält är vanligt förekommande. (Ståhl 1992; Kangas et al. 2004; Vastaranta et al. 2009). Tidsåtgången och därmed även kostnaden per ha vid inventering varierar beroende på utförare, beståndstyp och objektsstorlek (Vastaranta et al. 2009). Dessutom kan skattningarnas noggrannhet variera beroende på utförare och inventeringsmetod. Subjektiva inventeringsmetoder påverkas i hög grad av utförarens kunskap och rutin jämfört med objektiva inventeringsmetoder. Fullständig objektivitet är dock omöjlig att uppnå eftersom subjektiva moment alltid har viss påverkan på arbetet (Ståhl 1992). Subjektiva metoder är vanliga vid exempelvis skogsbruksplanläggning eller i samband med virkesköp där representativa ytor väljs ut för relaskopering (Holm 2012). I vetenskapliga studier används vanligtvis objektiva inventeringsmetoder (Ståhl 1992) i kombination med tillförlitliga verktyg så som klave och höjdmätare av typen clinometer (Luoma et al. 2017). Dessa kan användas vid insamling av referensvärden för att kvantifiera ett annat mätinstruments noggrannhet genom att beräkna det relativa mätfelet, summan av systematiska och- slumpmässiga fel. Systematiska fel (bias) beskriver instrumentets riktighet, dvs. skillnaden mellan mätningarnas medelvärde i förhållande till referens. Systematiska fel innebär en förskjutning av mätresultatet och kan korrigeras om bias är känt. Slumpmässiga fel beskriver

instrumentets precision och redovisas i talform genom mätvärdenas standardavvikelse. Slumpmässiga fel orsakade av exempelvis utföraren eller mätinstrumentet i sig är svårare att korrigera och begränsar instrumentets precision (Simonsen & Lindgren 2005).

Moderna instrument, till exempel ultraljudsmätare och lasermätare underlättar höjd och- avståndsmätningar eftersom fri sikt till trädstammen inte är ett krav. Det är dock av stor vikt att operatören har fri sikt till trädets topp vid höjdmätning, vilket kan vara problematiskt i stamtäta bestånd. Enligt en studie av Vasilescu (2013) kan dessutom operatörens subjektiva bedömning av toppens position resultera i felaktiga mätningar om 0,2–0,3 m med ultraljudsmätaren Vertex III (Haglöf Sweden 2007) beroende på trädets höjd. Även klaven som anses vara ett robust verktyg resulterar i olika mätvärden beroende på utförare. Luoma et al. (2017) redovisade en standardavvikelse på 0,3 cm i där oberoende diametermätningar utfördes av fyra olika operatörer på 319 stycken provträd. Motsvarande standardavvikelse vid höjdmätning var 0,5 m. Skillnaderna mellan användare var dock inte statistiskt signifikanta.

## 1.1 Skogsägarplaner och kontrolltaxering

Närmare hälften av Sveriges produktiva skogsmarksareal ägs av drygt 320 000 privata markägare och omfattar ungefär 11 miljoner ha (Christiansen 2018). Skogsägarföreningen Norra Skogsägarnas (Norras) medlemmar äger tillsammans drygt 11% av den privatägda arealen. Föreningens verksamhetsområde sträcker sig från Härnösand i söder till Tornedalen i norr. Verksamheten omfattar förmedling av medlemmarnas virke, tillhandahållande av rådgivning, utbildning och tjänster samt att bevaka medlemmarnas näringspolitiska intressen (Norra Skogsägarna 2019a). Skogsägarplaner är en av tjänsterna i Norras tjänsteportfölj och varje år planlägger föreningen stora arealer. Skogsägarplanen fungerar som ett planeringsunderlag och innehåller avdelningsvisa åtgärdsförslag anpassade till markägarens önskemål. Planen utgör även grunden vid fastighetsvärdering (Norra Skogsägarna 2019b) samt certifiering enligt *Programme for the Endorsement of Forest Certification* (PEFC), förutsatt att den utformas enligt svensk skogsstandard (PEFC 2017). Innan fastigheten besöks av Norras planläggare förtolkas den av anställda på Norras plansektion. Förtolkningen syftar till att göra en grov avdelningsindelning baserat på medelhöjd, virkesförråd och trädslagsblandning med hjälp av laserdata och flygbilder. Hänsyn tas även till registrerade naturvärden, exempelvis nyckelbiotoper eller naturvårdsavtal. Målet är att skapa enhetliga avdelningar med avseende på skogstillstånd samt ståndorts och- drivningsförhållanden. Vid fastighetsbesök av planläggare kontrolleras den preliminära avdelningsindelningen och korrigeras vid behov.

Planläggarna utför även subjektiva skattningar i fält av variablerna grundyta, trädhöjd, volym, trädslagsblandning och ålder (Norra Skogsägarna 2018a).

Noggrannheten kan som tidigare nämnts variera beroende på utförare och inventeringsmetod. Kvalitén på insamlade data bör därför genom oberoende kontrollmätningar utvärderas, oavsett erfarenhetsnivå hos den ursprungliga inventeraren. Återkoppling av sådana kontroller kan bidra till en signifikant förbättring av datakvalitén (Kitahara et al. 2010). För att hålla en hög och jämn kvalitet på producerade planer inom Norras regi genomförs därför kontrolltaxering av utvalda kontrolltaxerare på cirka 2% av den totala planlagda arealen varje år. Syftet med kontrolltaxeringen är att ge planläggarna signaler om eventuella systematiska avvikelser av någon eller några av variablerna i avdelningar med huggningsklass G1, G2, S1 eller S2, dvs gallrings- eller slutavverkningsklassade bestånd. Norras kvalitetskrav på anställda planläggare är att ingen enskild variabel, exempelvis medelhöjd, grundyta eller virkesförråd får avvika mer än 15 % från kontrolltaxerat värde (Norra Skogsägarna 2018a).

Vid kontrolltaxering sker datainsamling av de kvantitativa variablerna volym på bark ( $m^3sk$ ), grundytavägd medeldiameter (Dgv), grundytavägd medelhöjd (Hgv), grundyta, trädslagsblandning, stamantal och ålder. Dessa samlas in med dataklave, tillväxtborr och höjdmätare via systematiskt utlagda cirkelprovytor i de avdelningar kontrolltaxeraren blivit tilldelad. Kontrolltaxeraren validerar även planläggarens subjektiva skattningar av åtgärdsförslag, angelägenhetsgrad, uttagsstyrka, ståndortsindex och huggningsklass samt noterar eventuella korrigeringar. Sammanställning av data sker på kontoret eller direkt i fält genom att antingen överföra data från klave till dator, eller genom att manuellt notera dataklavens värden i Excel-fil. Rapportering sker sedan via mail med bifogad Excel-fil till Norras plansektion som sedan jämför resultaten med planläggarens skattningar. Sektionen återkopplar sedan jämförelserna till planläggaren för att korrigera eventuella avvikelser av en eller flera variabler (Norra Skogsägarna 2018b).

## 1.2 Mobila funktioner i skogen

Till skillnad från sina föregångare har dagens smarta telefoner (smartphones) mer välutvecklade interna sensorer, kraftfullare datakapacitet och högre kameraupplösning (Al-hamad & El-Sheimy 2014). Redan idag finns produkter på marknaden som utnyttjar dessa funktioner vid insamling av skogliga data. Genom att filma beståndet bygger applikationen (appen) KATAM Forest upp en 3D-modell av skogen. Applikationen tillgänglig för Android-enheter erbjuder skattningar av grundyta,

stamtäthet, genomsnittlig diameter i brösthöjd och medelvolym per hektar. Sammanställningen på beståndsnivå innehåller även diameter och- trädslagsfördelning, däremot måste beståndets medelhöjd mätas och noteras manuellt. Applikationen är anpassad till produktionsbestånd och fungerar sämre i yngre, ogallrade eller icke underväxtröjda bestånd (Katam 2019; Gustavsson 2018). Enligt en studie av Andersson (2019) överskattades medeldiametern med 3,7 % och grundytan med 7 % vid användning av Katam i förhållande till skattningar insamlade med dataklave. Resultaten baserade på differensen mellan instrumenten i ett bestånd med medeldiameter 37,8 cm och provyteradien 5,64 m.

Trestima är ytterligare en applikation kompatibel med Android-enheter som utgår från relaskoperingsprincipen. Applikationen kan med hjälp av fotografier från aktuellt bestånd skatta grundyta per trädslag, trädhöjd, trädslagsblandning, brösthöjdsdiameter (dbh) samt diameterfördelning (Trestima 2019). I en studie genomförd av Vastaranta et al. (2015) jämfördes applikationens skattningar med traditionell datainsamling där klave och Vertex höjdmätare användes. Applikationens skattning av grundtytvägd medeldiameter och höjd resulterade i ett RMSE (root mean square error) på 5,2 – 11,6% respektive 10,0 – 13,6%. Grundyteskattningarnas RMSE varierade från 19,7 till 29,3% beroende på trädslag och antalet bilder. Mätfelen kan bero på att diametermätningen i appen inte utförts i brösthöjd, vilket i sin tur påverkar skattning av grundyta. En annan felkälla kan vara missade träd pga. felaktig fotovinkel vilket påverkar skattningen av antalet stammar per ha. Skogforsk (2017) har testat båda applikationerna Trestima och Katam där den sistnämnda hade ett lägre RMSE på 10,5 % vid grundyteskattning jämfört med Trestimas 12,8 %. Motsvarande siffror för grundtytvägd medeldiameter var 4,5 % vid användning av Katam respektive 15,5 % för Trestima. Studien redovisade ett RMSE omkring 15 % för båda applikationerna vid skattning av stamantalet per ha. Studien genomfördes dock med långa filmsekvenser och många bilder vilket är orealistiskt i praktisk tillämpning där större områden ska inventeras, vilket även konstaterades i studien av Andersson (2019). Vidare studier krävs för att utveckla tekniken (Skogforsk 2017).

### 1.2.1 Applikationerna Arboreal skog och trädhöjd

I början av 2019 lanserades applikationen Arboreal trädhöjd som möjliggör höjdmätning av enskilda träd. Trädhöjdsmätningen utförs genom att markera trädets stam, därefter förflyttar sig operatören ungefär en träd längd bort från stammen och markerar trädets rot respektive topp i applikationen för att erhålla höjden. Från och med hösten 2019 finns även appen Arboreal Skog som erbjuder provyteinventering med cirkulära provytor tillgänglig att köpa via månads- eller veckovisa

abonnemang. Användaren kan välja mellan fyra olika storlekar på provytan; 50, 100, 200 respektive 400 kvadratmeter (m<sup>2</sup>).

Provytan utplaceras med hjälp av mobilens kamera där provytecentrum illustreras med en virtuell pelare samtidigt som den yttre gränsen utgörs av en virtuell cirkel. Samtliga träd inom ytan klavas genom kameran där operatören markerar trädets yttre kanter (diameter på bark) och anger trädslag. Efter utförda diametermätningar markeras medelträdet med röd ikon i applikationen. Detta träd höjdmäts och används för att beräkna volym samt Hgv, vid förekomst av flera trädslag inom provytan höjdmäts ett träd för respektive trädslag. Höjdmätningen är integrerad i Arboreal skog vilket innebär att medelträdet eller medelträdens höjd kan samlas in i samma arbetsflöde. Sammanställningen innehåller information om volym, grundyta, Hgv, Dgv samt stamantal per ha, fördelat på trädslag. I applikationen kan sammanställningen göras på en eller flera provytor, vilket möjliggör skattningar på beståndsnivå. Tekniken fungerar sämre när det blir mörkt eller i miljöer som saknar strukturer, exempelvis snötäckt mark (Arboreal 2019a). Tillverkarna själva har testat applikationens mätfel (Tabell 1).

**Tabell 1.** Relativt RMSE vid skattning av variablerna stamantal/ha, grundytavägd medeldiameter, grundyta, diameter och höjd samt antalet mätningar (n) vid användning av applikationen Arboreal skog. Värden hämtade från tillverkarens hemsida (Arboreal 2019b)

*Table 1. Relative RMSE when estimating the variables number of stems/ha, basal area weighted mean diameter, basal area, diameter, height and the number of measurements (n) when using Arboreal Forest. Values obtained from the manufacturer's website (Arboreal 2019b)*

Variabel	RMSE (%)	Antal (n)
Stammar/ha	2,0 %	20
Medeldiameter (Dgv)	3,0 %	39
Grundyta	7,0 %	39
Diameter	7,5 %	686
Höjd	2,0 %	190

### 1.2.2 AR teknik

Applikationerna Arboreal skog och Arboreal trädhöjd använder sig av tekniken Augmented reality (AR), även kallat förstärkt verklighet. Azuma (1997) definierar begreppet AR som en kombination av verkliga och virtuella objekt integrerat i realtid i 3D format. Beroende på vilken typ av smartphone som används baseras tekniken på två olika ramverk; ARkit för iOS och ARCore för Android enheter (Apple 2019; Google 2019). Båda ramverken nyttjar enhetens kamera samt rörelsespårning för att uppskatta enhetens position och rörelse i förhållande till omvärlden. Enhetens

kamera identifierar intressanta punkter inom kamerans synfält och bildar punktmoln av dessa (exempelvis bord, stolar, träd etc.). Denna information kombinerat med telefonens interna rörelsesensorer (accelerometer, gyroskop och kompass) möjliggör integrering av virtuella objekt med verkligheten genom enhetens display i realtid (Apple 2019; Google 2019).

Google Tango är föregångaren till ARCore och har testats i samband med insamling av skogliga data. I en studie av Tomaščík et al. (2017) processades 3D punktmoln insamlade med hjälp av tekniken för att skatta diameter men även trädets position i förhållande till provytans centrum. Tekniken som användes av Tomaščík et al. (2017) resulterade i ett sammantaget RMSE inom 2 cm vid diameterskattning, positioneringen i sin tur varierade mellan 0,2 – 1 m beroende på vilket rörelsemönster operatören använde inom provytan. Enligt Tomaščík et al. (2017) är tekniken ett precisions och- kostnadsmässigt intressant alternativ vid insamling av skogliga data, förutsatt att tekniken förfinas. Liknande studie har även genomförts av Hyyppä et al. (2017) där ett RMSE på 1,89 % redovisades vid skattning av stammens diameter baserat på punktmoln skapade med Google Tango. Ytterligare en studie av Fan et al. (2018) testade tekniken vid såväl höjd som diametermätning med relativt RMSE på 7,43 respektive 6,39 %. Både höjd och dbh överskattades systematiskt med 1,08 respektive 1,78 %. Resultaten visade även att mätfelen ökade med ökad trädhöjd och traddiameter. Enligt Fan et al. (2018) bör ytterligare studier av tekniken utföras i mer komplexa bestånd med avseende på såväl ljusförhållanden som beståndsålder, markvegetation och trädslag.

### 1.3 Framtidens datainsamling

Idag krävs en hel del utrustning i fält för att genomföra arbetet med planläggning och kontrolltaxering. Dataklavar och höjdmätare behöver regelbundet bytas ut och används endast under fältsäsong, dvs. under en begränsad tid på året. Applikationen Arboreal Skog anses vara ett intressant alternativ till nuvarande verktyg förutsatt att kvalitén motsvarar alternativt överträffar existerande teknik med bibehållen eller förbättrad effektivitet. Norra ville därför undersöka möjligheterna till ett mer digitaliserat insamlingsförfarande genom minskat beroende av dataklave och istället ta hjälp av applikationen Arboreal Skog. Man ser även möjligheter att erbjuda verktyget till Norras skogsinspektorer och planläggare. Detta examensarbete genomfördes således med Norra Skogsägarna som uppdragsgivare i samarbete med Arboreal.

### 1.3.1 Mål & syfte

Målet med arbetet var att utvärdera applikationen Arboreal Skogs noggrannhet, precision och tidseffektivitet jämfört med nuvarande metoder för datainsamling vid kontrolltaxering samt identifiera alternativa användningsområden inom Norra Skogsägarnas verksamhet. Studien delas upp i följande fyra delsyften:

1. Kvantifiera applikationen Arboreal Skogs mätfel vid diameter och- höjdmätning i gallrings- och slutavverkningsklassade bestånd med varierande medelstam och stamtäthet jämfört med konventionella datainsamlingsmetoder.
2. Kvantifiera applikationen Arboreal Skogs mätfel vid skattning av beståndsvariablerna; grundyta, Dgv, Hgv, stamantal och volym på bark i gallrings- och slutavverkningsklassade bestånd med varierande medelstam och stamtäthet jämfört med konventionella datainsamlingsmetoder.
3. Undersöka om någon av faktorerna ljusstyrka, stamantal, trädslag eller användarens vana påverkar applikationens noggrannhet och precision.
4. Utvärdera tidsåtgången med Arboreal Skog i förhållande till nuvarande metoder för kontrolltaxering hos Norra Skogsägarna och diskutera applikationens effektivitet.

## 2 Metod och material

### 2.1 Förberedande arbete och datainsamling

Innan datainsamling påbörjades inventerades fem provytor av användaren för att bekanta sig med tekniken. Under studien användes en betaversion av applikationen som saknade en del av nuvarande funktioner. Dels var höjdmätningen inte inkluderad i Arboreal Skog och utfördes därför istället med Arboreal Trädhöjd. Dessutom saknades virtuell markering av medelträdet baserat på de klavade trädens dbh inom provytan. Hantering av detta beskrivs närmare under databearbetning och analyser. Telefonmodellen som användes under studiens samtliga delar var en iPhone av modell XS.

Studien genomfördes i tre delar; beståndsvis datainsamling, kompletterande undersökning samt tidsstudie. För att kvantifiera applikationens mätfel i olika typer av bestånd utfördes en beståndsvis datainsamling där både Arboreal och konventionella datainsamlingsmetoder användes. Totalt inventerades 42 provytor fördelade över fem olika typer av bestånd. I samband med detta noterades även information om stamantal, ljusstyrka, trädslag och användarens vana för att senare undersöka hur och om dessa faktorer påverkade applikationens mätfel. En kompletterande undersökning gällande mätfel och ljuskänslighet utfördes för att komplettera de resultat som erhöles vid beståndsvis datainsamling. Avslutningsvis genomfördes en tidsstudie för att utvärdera tidsåtgången vid användning av applikation i förhållande till nuvarande metoder vid kontrolltaxering.



## 2.2 Beståndsvis datainsamling

### 2.2.1 Studieområde

Beståndsvis datainsamling genomfördes under augusti månad 2019 på tre olika privatägda fastigheter inom Umeå kommun 64° N, Västerbottens län. Fem olika beståndstyper inventerades för att åstadkomma en variation i stamtäthet, ljusinsläpp, siktförhållanden, trädhöjd och grundyta (Bilaga 1). Dvs. faktorer som skulle kunna påverka applikationens mätprecision och noggrannhet. Bestånden valdes subjektivt genom att granska befintlig skogsägarplan och identifiera lämpliga avdelningar, för att sedan bekräfta dess lämplighet i fält med avseende på variation av tidigare nämnda faktorer. Sammanställning av beståndsegenskaperna huggningsklass och ålder baseras på befintlig skogsägarplan. Dgv, Hgv, grundyta, trädslagsblandning och stamantal baseras på datainsamling från studiens referensmetod. Trädslagsblandningen anges i antal tiondelar per trädslag; tall (T), gran (G) och löv (L) inom respektive bestånd (Tabell 2). Siktförhållande baseras på stamantalet där bestånd med mindre än 500 stammar per hektar bedömdes ha bra siktförhållanden samtidigt som sikten bedömdes som medel i bestånd med fler än 500 stammar per hektar. I bestånd med fler än 1000 stammar per hektar klassades siktförhållandet som låg. Datainsamling började i bestånd 2, därefter besöktes bestånden i turordningen; 3, 1, 4, 5 (Tabell 2).

**Tabell 2.** Beståndsegenskaper enligt referensmetod och befintlig skogsägarplan för studiens ingående bestånd 1 - 5 samt medelvärdet av dessa

*Table 2. Stand characteristics based on reference method and existing forest management plan for the stands 1-5 included in the study and the average of those*

Bestånd	Huggningsklass	Totalålder (år)	Dgv <sup>1</sup> (cm)	Hgv <sup>2</sup> (m)	Grundyta (m <sup>2</sup> /ha)	Siktförhållande	Trädslagsblandning (T,G,L) <sup>3</sup>	Stammar/ha (n)
1	G1	49	16,8	14,4	18,7	Låg	7,2,1	1200
2	G2	69	22,7	19,6	22,0	Medel	9,1,0	660
3	S1	92	24,9	20,0	21,5	Medel	4,4,2	530
4	S1	112	23,3	15,0	11,6	Bra	10,0,0	340
5	G1	39	13,9	13,9	22,7	Låg	9,1,0	1870
Medel	-	72	20,3	16,6	19,3	-	-	920

1. Dgv = Grundytevägd medeldiameter

2. Hgv = Grundytevägd medelhöjd

3. Trädslagsblandning (T,G,L) = Antal tiondelar per trädslag; tall (T), gran (G), löv (L)

### 2.2.2 Insamlingsmetodik

Inom varje bestånd inventerades 10 provytor bortsett från bestånd ett och fem (Tabell 2) där endast sju respektive fem ytor inventerades på grund av tidsåtgången i stamtäta bestånd. I enlighet med Karlsson & Westman (1991) användes provyteradien 7,98 m vilket motsvarar arealen 200 m<sup>2</sup> (0,02 ha). Samma radie används av Norra i samband med kontrolltaxering i bestånd som håller 700–1500 stammar per hektar (Norra Skogsägarna 2018b). Systematiskt utlägg av provytor användes enligt beskrivning av Holm (2012). Samtliga provytor inventerades först med analog klave och höjdmätaren Vertex VI (hädanefter referensmetod), därefter med Arboreal Skog. Likt tidigare studier (Tomaščík et al. 2017; Vastaranta et al. 2015; Hyypä et al. 2017) kvantifierades applikationens mätfel i förhållande till referensinstrumentens skattningar vid analys. Avståndskalibrering i den temperaturkänsliga enheten Vertex VI genomfördes enligt tillverkarens rekommendationer (Haglöf Sweden 2007) innan användning.

#### *Referensmetod*

Provytecentrum markerades genom utplacering av Haglöf transponder T3 och cent-rumpinne. Trädet närmast en tänkt norrlinje identifierad med kompass utgjorde startträd (Figur 1). Provytans storlek uppmättes med hjälp av transponder samt avståndsmätaren Vertex VI. I samband med detta nummerades samtliga levande träd förutsatt att stamcentrum var inom provytan (Figur 1). Därefter klavades de numrerade träden med den analoga klavens linjal riktad mot provytecentrum i brösthöjd som uppmättes med pinne. Träd mindre än 6 cm dbh dokumenterades ej. I samband med klavning färgmarkerades klavningspunkten på trädets stam med krita.

I enlighet med Norra Skogsägarnas instruktion för kontrolltaxering (Norra Skogsägarna, 2018b) valdes de två sista träden på provytan ut som provträd förutsatt att de uppfyllde kraven för detta. Giltiga provträd representerar beståndet och är friska, träd som drabbats av toppbrott eller är undertryckta valdes ej ut som provträd. Vid förekomst av träd som inte uppfyllde provträdskraven valdes alternativa provträd ut subjektivt. I heterogena bestånd valdes tre provträd ut för att åstadkomma en mer representativ skattning av beståndet, i förekommande fall utgjorde de sista tre träden provträd. Höjdmätning utfördes med hjälp av Vertex VI och transponder på samtliga provträd. Samma instrument har använts som referens i andra studier (Luoma et al. 2017; Vastaranta et al. 2015) och används även inom Norras verksamhet. Normalt sett åldersbestäms även provträden inom Norras verksamhet, detta moment exkluderades eftersom variabeln inte kan inhämtas av varken referensinstrumenten eller applikationen Arboreal Skog.

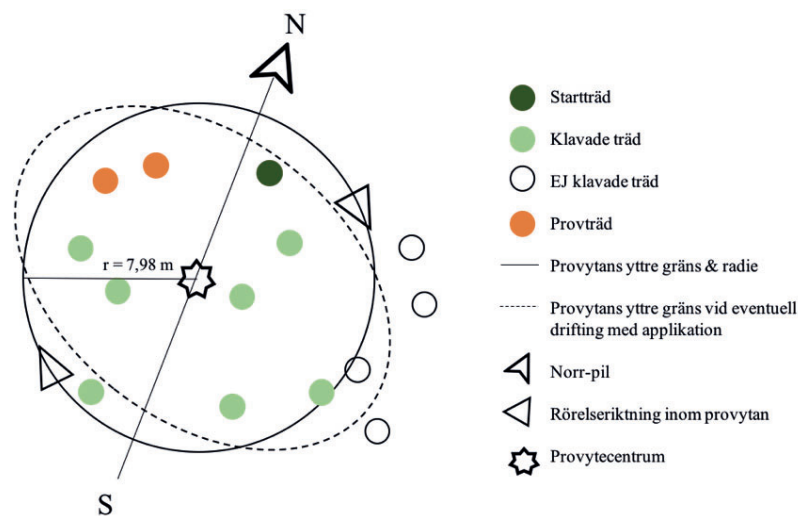
### *Arboreal Skog metod*

Ljusstyrkan noterades vid provytans centrum innan datainsamling med applikation påbörjades. Detta för att senare analysera om variabeln kunde förklara eventuella mätfel. Mätinstrumentet som användes var en luxmätare av märke och modell Elma 1335 (Elma instruments 2019). Därefter klavades och trädslagsbestämdes samtliga träd med hjälp av applikationen i nummerordning i riktning mot provytans centrum och i höjd med tidigare utförd markering på stammen. Samtliga resultat noterades manuellt i fältprotokoll för att minimera risken för förlorat data. I samråd med applikationsutvecklaren hölls ett konstant avstånd om 50 cm mellan telefon och träd vid klavning eftersom avstånd mindre än 20 cm eller större än 90 cm visat sig ge otydliga strukturskillnader<sup>1</sup>. Telefonens kamera hölls riktad mot träden istället för marken vid förflyttning för att åstadkomma så korrekta mätningar som möjligt. Höjdmätning genomfördes med Arboreal Trädhöjd på samma provträd som höjdmätts med referensmetod. Avståndet till trädet vid höjdmätning var ungefär samma som trädets höjd och bedömdes subjektivt.

Den virtuella provytan tenderade ibland att ”drifta” och få en oval form, vilket innebär att fler alternativt färre träd klavades in med applikationen jämfört med referensmetod (Figur 1). Detta hanterades under studien genom att identifiera dessa tillkommande alternativt utgående träd och ta bort respektive lägga till vid beräkning av beståndsvariabler. M.a.o. resultaten på beståndsnivå utgår från de resultat som erhållits vid användning av enbart applikation jämfört med referens. För att analysera mätfel vid dbh och höjdmätning av enskilda träd inkluderades endast träden som mätts med båda metoder där parvisa jämförelser var möjliga.

---

1. Johan Ekenstedt, VD Arboreal, personlig kommunikation maj 2019



**Figur 1.** Visuell beskrivning av provytan där heldragen linje representerar referensprovytans yttre gräns samt radie. Applikationens provyta tenderade ibland att förflytta sig (drifta) vilket påverkade antalet träd som mättes med applikation i förhållande till referensmetod och illustreras med streckad linje.

**Figure 1.** Visual description of the sample plot. Solid line describes the reference sample plot radius and outer border. The application's sample plot sometimes tended to move (drift) which affected the number of measured trees with the application compared to the reference method and is illustrated with a dotted line.

## 2.3 Kompletterande undersökning

### 2.3.1 Repeterbarhet

Vid beståndsvis datainsamling varierade förutsättningarna mellan mätningarna vilket kan ha påverkat applikationens precision. För att beskriva ett mätinstruments precision bör även repeterbarheten undersökas genom upprepade mätningar under kort tid där påverkan från yttre faktorer minimeras (Simonsen & Lindegren 2005). Därför utfördes höjd- och diametermätning på ett och samma träd med 30 upprepningar med fri sikt till hela trädet som en kompletterande undersökning. Diametermätning med klave utfördes en gång för att erhålla referensvärde, denna klavningspunkt markerades på stammen. Höjdmätningarna utfördes med både Arboreal och Vertex höjdmätare med syfte att utvärdera de båda instrumentens mätfel eftersom Vertex använts som referens vid höjdmätning inom bestånd. Trädet fälldes efter utförda mätningar och trädlängden mättes därefter med måttband från två olika sidor av stammen där medelvärdet av dessa betraktades som den sanna höjden.

### 2.3.2 Ljuskänslighet

Även ljusets påverkan på mätprecisionen undersöktes med hjälp av samma luxmätare som använts tidigare. Diametermätning utfördes med applikationen på samma träd varje kvart från dagsljus till mörker för att undersöka ifall mätningarna varierade beroende på ljusstyrkan. Vid skymning ökades frekvensen på mätningarna till en mätning var femte minut. Två upprepningar genomfördes vid varje mätning, dvs. två mätningar varje kvart vid dagsljus och två mätningar var femte minut vid skymning. Anledningen till att mätfrekvensen ökade vid skymning var att ljusstyrkan (antalet lux) minskade i snabbare takt jämfört med dagsljus där ljusstyrkan var relativt stabil. Totalt noterades 42 mätningar, varav 18 i dagsljus och 24 stycken under skymning. Luxmätarens position hölls konstant under försöket.

## 2.4 Tidsstudie

Genom en enklare tidsstudie utförd i september 2019 jämfördes applikationens effektivitet med Norras nuvarande verktyg vid kontrolltaxering, dvs. dataklave och Vertex höjdmätare (hädanefter vanlig kontrolltaxering). Tidsstudien baserades på en uppdaterad version av applikationen där höjdmätning fanns inkluderad i samma arbetsflöde, till skillnad från tidigare datainsamling där höjdmätning istället utfördes separat med Arboreal Trädhöjd. Studien omfattades endast av de arbetsmoment som kan utföras av applikationen; klava träd, höjdmätning samt eventuell störning. Subjektiva bedömningar av åtgärdsförslag, huggningsklass, ståndortsindex, uttagsstyrka och angelägenhetsgrad inkluderades alltså inte i tidsstudien eftersom tidsåtgången för dessa uppskattas vara densamma oavsett vilket verktyg som används för datainsamling. Även förflyttning mellan provytor samt skattning av beståndsålder exkluderades eftersom dessa moment varierar mellan utförare och påverkar inte tidsåtgången vid användning av applikationen. Rapportering av resultat sker på olika sätt med de olika metoderna och ingick därför inte i tidsstudien men tas upp i kommande diskussion.

Tidsstudien genomfördes av student (tidtagare) tillsammans med annan student (operatör) som är van vid planläggning och hantering av dataklave. Fyra provytor inventerades med applikationen innan tidsstudien påbörjades för att operatören skulle bekanta sig med tekniken. Totalt tidsstuderades 10 subjektivt utlagda provytor som inventerades med båda metoder – vanlig kontrolltaxering samt Arboreal. Upprepning på samma provyta gjorde tidsåtgången rättvis mellan metoderna samtidigt som det fanns risk för att ytan inventerades snabbare andra varvet. Detta hantearades genom att variera mellan vilken metod som användes först, dvs. varannan

provyta startade med inventering med app och varannan startades med dataklave. Tidtagaren noterade tiden som angavs med sekundangivelse med hjälp av tidtagarur.

Tidsstudien bestod av tre olika arbetsmoment; klava träd, störning samt höjdmätning (Tabell 3). Störning avser problem som kunde uppstå i form av att applikationen slutade fungera, exempelvis att operatören ”kastades” ut ur applikationen, felregistrering eller andra oförutsedda händelser. När arbetet med klavning eller höjdmätning avbröts pga. störning räknades tiden som arbetsmomentet störning och kunde således förekomma när som helst under tidtagningen på provytan. När störningen avslutats fortsatte tidtagning på det moment som utfördes när störning uppstod och tidtagning skedde därefter som vanligt. Orsaken till störningen noterades.

**Tabell 3.** Indelning av arbetsmoment och momentgränser vid tidsstudie

*Table 3. Classification of the different work steps and the time division of those during time study*

Arbetsmoment	Momentgränser
Klava träd	Började när provytecentrum markerats med centrumstav eller applikation och avslutades när diametern för sista provträdet registrerats.
Höjdmätning	Började när diametern på sista provträdet registrerats och slutade när höjden registrerats på sista provträdet.
Störning	Började när störning avbröt arbetet med antingen klava träd eller höjdmätning och slutade när arbetet kunde återupptas.

## 2.5 Databearbetning och analyser

Insamlat data sammanställdes och bearbetades, oavsett metod i Excel innan analyser påbörjades. För samtliga variabler (diameter, höjd, grundyta, stamantal, Dgv, Hgv och volym) beräknades avvikelserna, dvs. differensen mellan mätvärden insamlade med Arboreal i förhållande till mätvärden insamlade med referensmetod. Avvikelsernas standardavvikelse (stdavv) samt avvikelsernas maximum och minimumvärdet beräknades därefter för samtliga variabler. RMSE och systematiskt fel (bias) beräknades för variablerna dbh och höjd genom ekvation (1) respektive (2). RMSE beräknades även för samtliga provytor av beståndsvariablerna; grundyta, Hgv, Dgv, volym och stamantal per ha. Relativt RMSE och bias beräknades med ekvation (3) samt (4).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y_{arboreal} - y_{referens})^2}{n}} \quad (1)$$

$$BIAS = \frac{\sum y_{arboreal} - y_{referens}}{n} \quad (2)$$

$$RMSE (\%) = \frac{RMSE}{\bar{y}} * 100 \quad (3)$$

$$BIAS (\%) = \frac{BIAS}{\bar{y}} * 100 \quad (4)$$

där ( $y_{arboreal} - y_{referens}$ ) är differensen mellan Arboreal och referensmetod för beräknad variabel,  $n$  är antalet observationer och  $\bar{y}$  är observationernas medelvärde av aktuell variabel baserat på referensmetod.

Betaversionen som användes saknade den nuvarande funktionen att markera medelträdet. Volymskattning var därför inte möjlig att utföra på samma sätt som applikationen fungerar idag där medelträdets stamvolym används för att beskriva beståndets volym per ha. För att möjliggöra volymberäkning på klavade träd där höjdmätning inte genomfördes skapades istället höjdkurvor med hjälp av regressionsanalys. Dessa baserades på den funktionstyp som bäst beskrev förhållandet mellan provträdens höjd och dbh. Två uppsättningar höjdkurvor skapades baserat på värden insamlade med referensmetod respektive Arboreal. Höjdkurvor för tall konstruerades för varje bestånd enligt ekvation (5). Antalet provträd av gran och björk var färre och därför baserades höjdkurvan för dessa trädslag på hela datasetet med provträd av respektive trädslag. Höjdkurvan för björk beskrivs med ekvation (5) och gran med ekvation (6).

$$h = a + b * dbh \quad (5)$$

$$h = a + b * dbh - c * dbh^2 \quad (6)$$

där:  $h$  är trädets höjd,  $a$ ,  $b$  och  $c$  är de skattade koefficienterna och  $dbh$  är trädets diameter i brösthöjd.

Volymen beräknades för samtliga träd med Brandels mindre volymfunktioner på bark för norra Sverige enligt ekvation (7) (Brandel, 1990). Volymen omvandlades från  $dm^3sk$  till  $m^3sk$  och därefter summerades volymen per provyta och omräknades till  $m^3sk$  per ha baserat på provytans areal  $200 m^2$ . Virkesförrådet per bestånd erhöles sedan genom att beräkna volymmedelvärdet för samtliga provytor inom respektive bestånd.

$$V = 10^a + D^b * (D + 20)^c * H^d * (H - 1,3)^e \quad (7)$$

där:  $V$  är volymen ( $\text{dm}^3\text{sk}$ ),  $a, b, c, d, e$  är ingående koefficienter som varierar beroende på trädslag.  $D$  och  $H$  är trädets diameter (cm) respektive höjd (m) som skattats med höjdkurvor baserat på respektive metod, bestånd och trädslag.

Grundytan för enskilda träd, grundtytvägd medelhöjd (Hgv) och grundtytvägd medeldiameter (Dgv) beräknades genom ekvation (8), (9) och (10) enligt Wilhelmsson & Nyström (2013). Hgv baserades endast på provträdens grundyta och höjd, för att reducera den osäkerhet som höjdkurvorna medför vid jämförelse av instrumenten. Grundytan per ha beräknades genom att summera samtliga trädets grundyta inom provytan och sedan dividera den summan med provvytans areal (0,02 ha). Volym per ha beräknades på samma sätt, men där trädets volym summerades istället. Stamantalet per ha beräknades genom att summera antalet stammar som klavats inom provytan, antalet dividerades sedan med 0,02.

$$g_i = \frac{\pi * d_i^2}{4} \quad (8)$$

$$HGV = \frac{\sum_{i=1}^n g_i * h_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad (9)$$

$$DGV = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^3}{\sum_{i=1}^n d_i^2} \quad (10)$$

där:  $g_i$  är grundytan för träd  $i$ ,  $d_i$  är diametern för träd  $i$ ,  $h_i$  är höjden för träd  $i$  och  $n$  betecknar antalet träd.

För att undersöka om någon av de oberoende variablerna; dbh, höjd, stamantal, eller ljusstyrka kunde förklara höjd och- diameteravvikelsevariation användes regressionsanalys. Signifikansnivån sattes till 0,05 vilket innebär att vid analyser med p-värden mindre än 0,05 anses ett signifikant samband mellan den beroende och oberoende variabeln finnas. Regressionsanalysen genererar även ett  $r^2$  värde, så kallad förklaringsgrad och beskriver hur stor andel av den beroende variabelns variation som förklaras med funktionen. Förklaringsgraden kan anta värden mellan 0 och 1 där värden nära 1 indikerar ett starkt samband som minskar med värden närmare 0. Kvadratroten av  $r^2$  är korrelationskoefficienten ( $r$ ) mellan variablerna och kan anta värden mellan -1 till 1, där positiva värden anger en positiv korrelation och negativa värden indikerar att korrelationen är negativ, dvs. linjens lutning på den funktion som erhålls vid regressionsanalys (Samuels et al. 2014). Regressionsanalyserna utfördes i programmet Minitab 18.



Samband mellan dbh eller höjdvikelse och de kategoriska variablerna; trädslag, siktförhållanden och operatörens rutin undersöktes visuellt genom låddiagram. Träd med dbh mellan 10 – 25 cm fanns representerade i samtliga bestånd och användes för att undersöka om mätfelen minskade med ökad rutin hos operatören. Motsvarande intervall för trädhöjder var 14 – 18 m.

Efter genomförd och sammanställd tidsstudie utfördes ett parat t-test för att undersöka om det var en signifikant skillnad mellan metoderna med avseende på tidsåtgång. Signifikansnivån sattes till 0,05 och analysen utfördes i Minitab 18.

## 3 Resultat

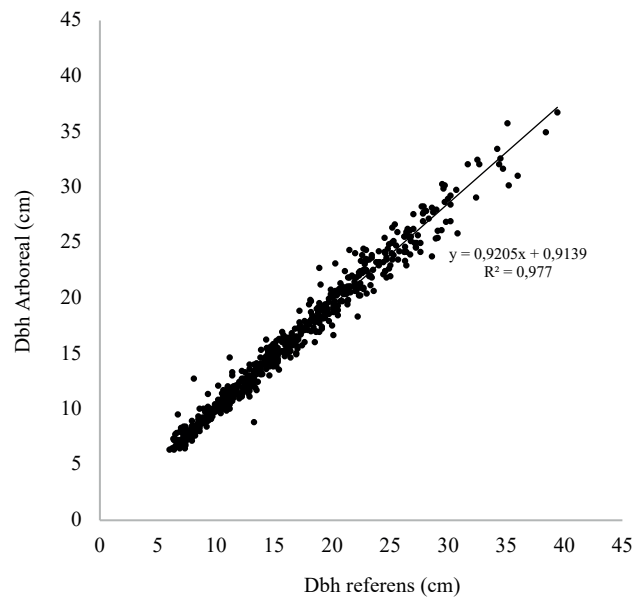
### 3.1 Diameter

För hela datasetet erhöjls ett RMSE vid dbh mätning med Arboreal på 7,1 %, vilket i denna studie motsvarar 1,2 cm. Bestånd tre och fyra hade högst respektive lägst relativt RMSE. Arboreals systematiska fel för samtliga träd som klavats beräknades till -0,4 cm (-2,3 %) och var som störst i bestånd tre (-5,2 %) och som lägst i bestånd fem (-0,4 %). Avvikelseernas standardavvikelse varierar beroende på bestånd (Tabell 4). Det linjära sambandet mellan metoderna redovisas i figur 2.

**Tabell 4.** Medeldiameter samt avvikelseernas standardavvikelse (stdavv), avvikelseernas max och- minvärden inom parentes samt RMSE, relativt RMSE, bias, relativt bias samt antalet klavade träd inom respektive bestånd och totalt för hela datasetet vid dbh mätning med Arboreal vs. klave

*Table 4. Mean diameter and the errors standard deviation, error max and min values within parenthesis and RMSE, relative RMSE, bias, relative bias and the number of calipered trees within each stand and for the whole dataset during dbh measurements with Arboreal vs. caliper*

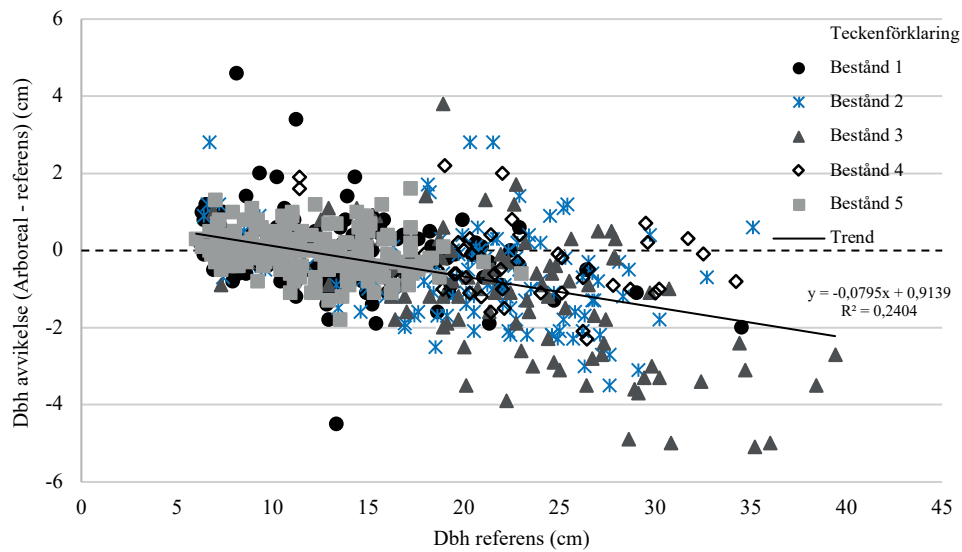
Bestånd	Medeldiameter (cm)	Stdavv (min, max)	RMSE (cm)	RMSE (%)	Bias (cm)	Bias (%)	Antal (n)
1	16,8	0,9 (-4,5, 4,6)	0,9	7,0	-0,1	-0,9	158
2	22,7	1,2 (-3,5, 2,8)	1,3	6,7	-0,6	-3,1	130
3	24,9	1,6 (-5,1, 3,8)	2,0	9,0	-1,1	-5,2	105
4	23,3	0,8 (-2,3, 2,2)	0,9	4,4	-0,2	-1,2	66
5	13,9	0,5 (-1,8, 1,6)	0,5	4,5	0,0	-0,4	187
Totalt	20,3	1,1 (-5,1, 4,6)	1,2	7,1	-0,4	-2,3	646



**Figur 2.** Sambandet mellan Arboreal och referens vid dbh mätning (cm) av 646 klavade träd.  
**Figure 2.** Relationship between Arboreal and reference dbh measurements (cm) of 646 calipered trees.

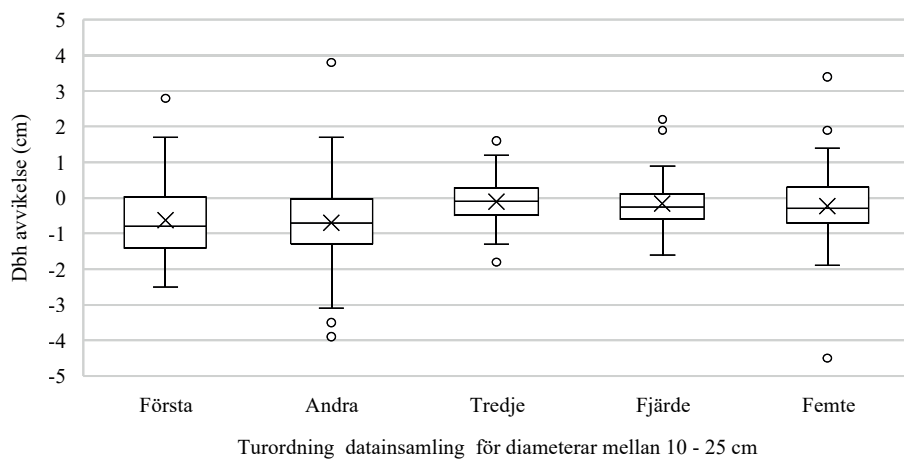
Avvikelseernas variation vid dbh mätning, dvs. differensen mellan metoderna kunde inte förklaras av skillnader i ljusstyrka ( $p = 0,212$  och  $r^2 = 0,24\%$ ). Däremot fanns ett signifikant samband mellan dbh och dbh avvikelse ( $p < 0,0001$ ) med korrelationskoefficienten  $-0,49$  och förklaringsgraden  $24\%$ . Signifikant samband fanns även ( $p < 0,001$ ) mellan stamantal och avvikelser ( $r = 0,25$ ). Eftersom stamantalet även var relativt starkt korrelerat med dbh ( $r = -0,56$ ) plockades denna variabel bort för vidare analys av sambandet mellan dbh och dbh avvikelser. Resultatet visar att applikationen tenderar att underskatta grövre diametrar samtidigt som diametrar under 10 cm överskattades något, avvikelserna var som störst i bestånd tre (Figur 3).

Precision och noggrannhet ökar något med ökad rutin vid skattning av diametrar mellan 10 – 25 cm (Figur 4). Liknande samband kunde inte identifieras för träslag eller siktförhållanden.



**Figur 3.** Dbh avvikelse i förhållande till traddediametrar för bestånden 1 – 5. Helt dragen trendlinje indikerar att grövre diametrar underskattas samtidigt som diametrar <10 cm överskattas något med en förklaringsgrad om 24 % och  $p = 0,001$ .

*Figure 3.* Relationship between dbh deviation and tree diameter for the stands 1-5. Solid trendline indicates that large diameters are underestimated while diameters <10 cm tend to be slightly overestimated with an explanation grade of 24 % and  $p = 0,001$ .



**Figur 4.** Avvikelsevariation och bias (kryss) var större vid första och andra datainsamlingen jämfört med tredje, fjärde och femte tillfället för träd med dbh 10 – 25 cm.

*Figure 4.* The deviation variation and bias (cross) were larger during the first and second data collection compared to the third, fourth and fifth time for trees with dbh between 10–25 cm.

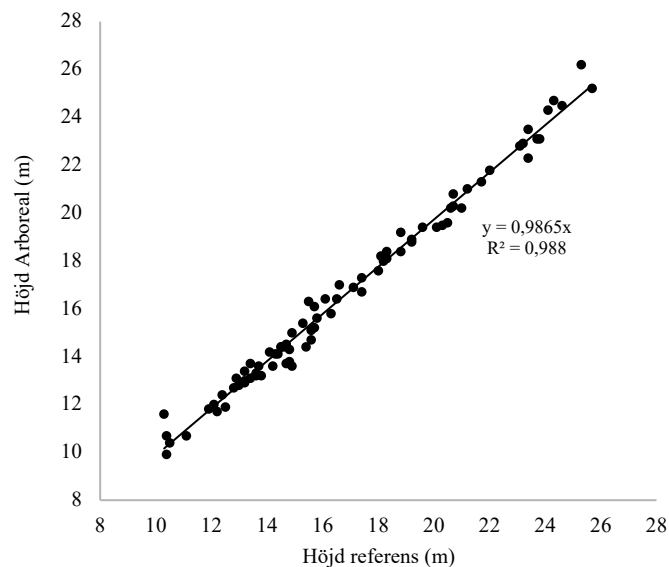
### 3.2 Höjd

RMSE beräknades till 0,5 m (3,0 %) för de 81 höjdmätta provträden. Bestånd fyra och ett hade lägst respektive högst RMSE. Det systematiska felet för hela datasetet var -0,2 m vilket motsvarar -1,4 % (Tabell 5). Sambandet mellan Arboreal och referens redovisas i figur 5.

**Tabell 5.** Medelhöjd samt avvikelsernas standardavvikelse (stdavv), avvikelsernas max och- minvärden inom parantes, RMSE, relativt RMSE, bias, relativt bias och antalet höjdmätta träd inom respektive bestånd och totalt för hela datasetet vid höjdmätning med Arboreal vs. referens

*Table 5. Mean height and the errors standard deviation, error max and min values within parenthesis, RMSE, relative RMSE, bias, relative bias and the number of height measured trees within each stand and in total for the whole dataset during height measurements using Arboreal vs. reference*

Bestånd	Medelhöjd (m)	Stdavv (min, max)	RMSE (m)	RMSE (%)	Bias (m)	Bias (%)	Antal (n)
1	14,4	0,6 (-1,0, 1,3)	0,6	4,0	-0,1	-0,4	12
2	19,6	0,4 (-1,1, 0,1)	0,6	3,1	-0,5	-2,6	20
3	20,0	0,5 (-0,8, 0,9)	0,5	2,7	-0,2	-0,9	20
4	15,0	0,2 (-0,4, 0,4)	0,2	1,5	0,0	-0,2	19
5	13,9	0,4 (-1,3, 0,1)	0,5	3,8	-0,4	-2,7	10
<i>Totalt</i>	<i>16,6</i>	<i>0,5 (-1,3, 1,3)</i>	<i>0,5</i>	<i>3,0</i>	<i>-0,2</i>	<i>-1,4</i>	<i>81</i>

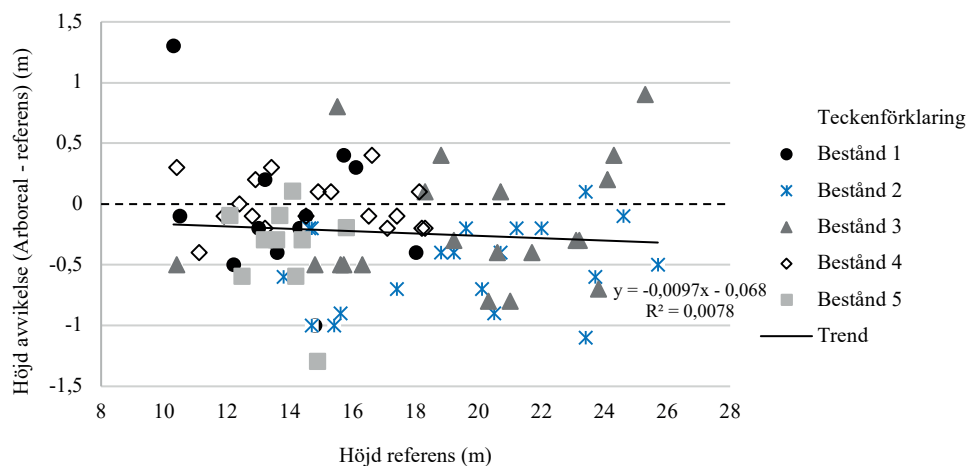


**Figur 5.** Sambandet mellan Arboreal och referens vid höjdmätning av 81 provträd.

*Figure 5. Relationship between Arboreal and reference during tree height measurements of 81 sample trees.*

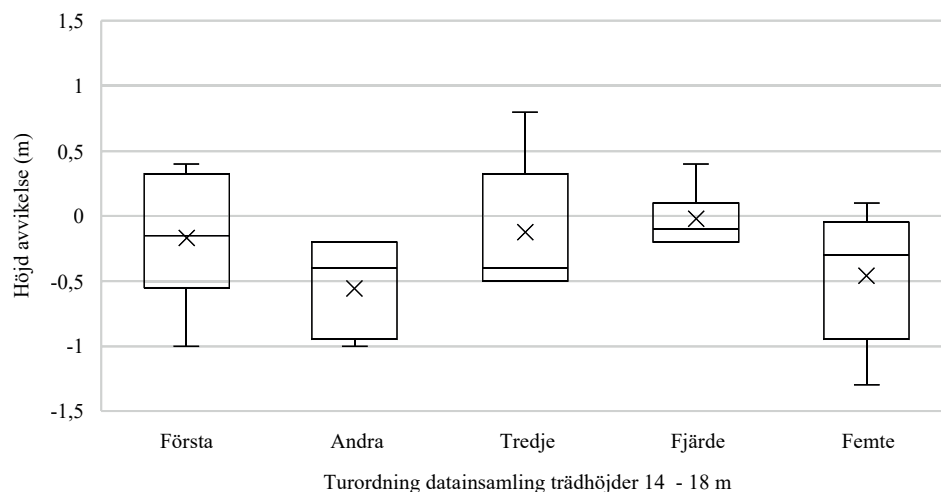
Inget signifikant samband ( $r = -0,09$ ) mellan höjdavvikelse och trädhöjd kunde identifieras vid regressionsanalys (Figur 6). Inte heller variablerna stamantal ( $p = 0,94$ ) eller ljusstyrka ( $p = 0,11$ ) kunde förklara höjdavvikelsernas variation.

Mätfelet minskade inte med ökad rutin hos användaren vid höjdmätning (Figur 7). Däremot minskade mätfelet när siktförhållandena var bra (Figur 8). Liknande samband kunde inte identifieras för trädslag.



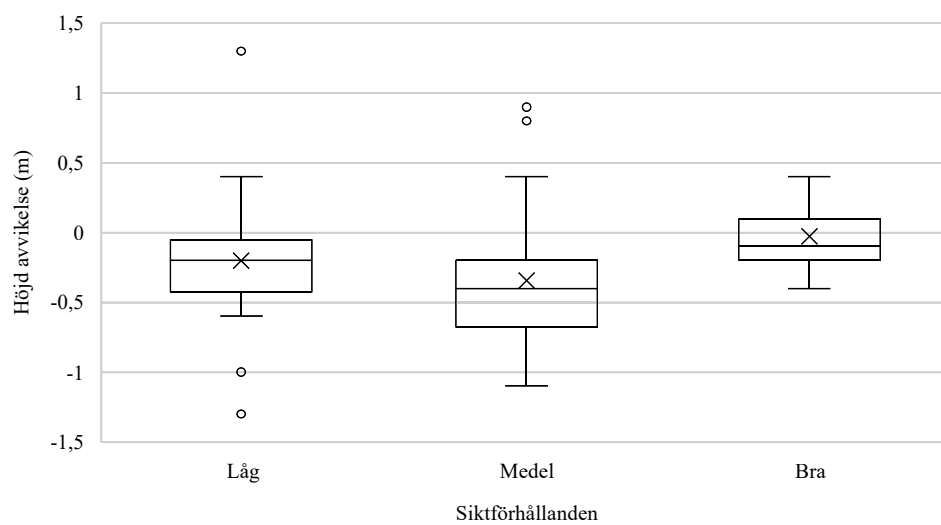
**Figur 6.** Sambandet mellan höjdavvikelse i förhållande till trädhöjd för bestånden 1 – 5 samt heldragen trendlinje med förklaringsgraden 0,8 % och  $p = 0,4338$ .

**Figure 6.** Relationship between height deviation and tree height for the stands 1 - 5 and solid trend-line explaining 0,8 % of the variation with  $p = 0,4338$ .



**Figur 7.** Höjdavvikelsernas bias (kryss) och variation i förhållande till tidpunkt för datainsamling.

**Figure 7.** Height deviation bias (cross) and variation compared to the order of data collection.



**Figur 8.** Höjdavvikelsearnas variation och bias (kryss) i förhållande till siktförhållande vid datainsamling. Mätfelet minskade när siktförhållandet klassades som bra.

**Figure 8.** Height deviation variation and bias (cross) compared to sight conditions during data collection. Measurement error decreased when sight conditions were classified as good (bra).

### 3.3 Beståndsvariabler

Datamaterialet på beståndsnivå var inte exakt detsamma med de olika insamlingsmetoderna. Arboreals mätningar innehöll totalt 27 tillkommande respektive 13 utgående träd i förhållande till referensmetodens mätningar. Detta på grund av att applikationens provyta ibland tenderade att ”drifta”. Majoriteten återfanns i bestånd ett och fem (Tabell 6). Vid skattning av beståndsvariablerna; Grundyta, Dgv, Hgv, stamantal och volym per ha inkluderades dessa, vilket innebär att de beståndsvisa skattningarna motsvarar de resultat som skulle ha erhållits vid användning av enbart applikation respektive referensmetod. Trädslagsfördelningen varierade inte mellan de olika metoderna på grund av dessa tillkommande eller utgående träd och analyserades därför inte vidare. Redovisat RMSE för respektive variabel baseras på samtliga 42 provytor, men beräknades även för varje bestånd (Bilaga 2).

**Tabell 6.** Antalet stammar per ha samt antalet tillkommande respektive utgående träd pga applikationens driftning vid datainsamling med Arboreal i förhållande till referensmetod i bestånden 1 - 5 samt totalt antal för hela datasetet

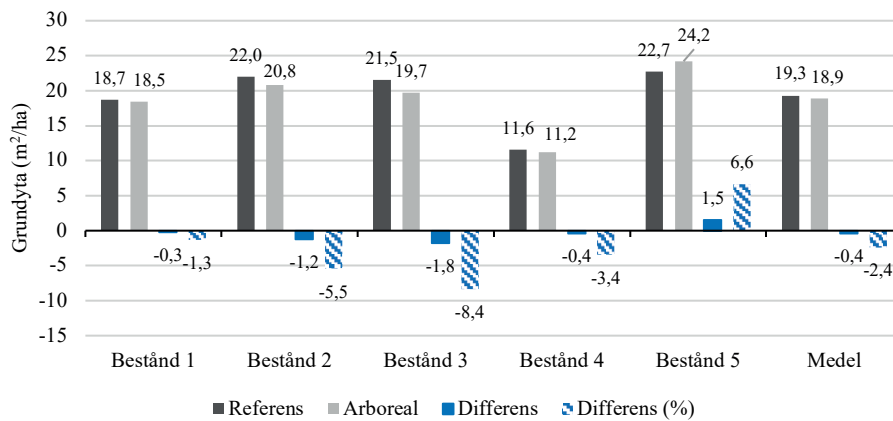
*Table 6. Number of stems per ha and the number of added and subtracted trees during data collection due to application drift when using Arboreal Forest compared to reference method in the stands 1-5 and in total for the whole dataset*

	Bestånd					Totalt
	1	2	3	4	5	
Tillkommande träd	10	2	2	2	11	27
Utgående träd	9	1	1	2	0	13
Totalt	19	3	3	4	11	40
Stamantal/ha	1200	660	530	340	1870	-

#### 3.3.1 Grundyta

Grundytan underskattades med Arboreal i samtliga fall förutom i bestånd fem. Medeldifferensen för alla bestånd var  $-0,4 \text{ m}^2/\text{ha}$  ( $-2,4 \%$ ). Den procentuella differensen mellan metoderna var som störst i bestånd tre ( $-8,4 \%$ ) och som minst i bestånd ett ( $-1,3 \%$ ) (Figur 9). Sammantaget erhöles ett RMSE på  $2,1 \text{ m}^2/\text{ha}$  ( $11 \%$ ) för alla provytor (Bilaga 2).



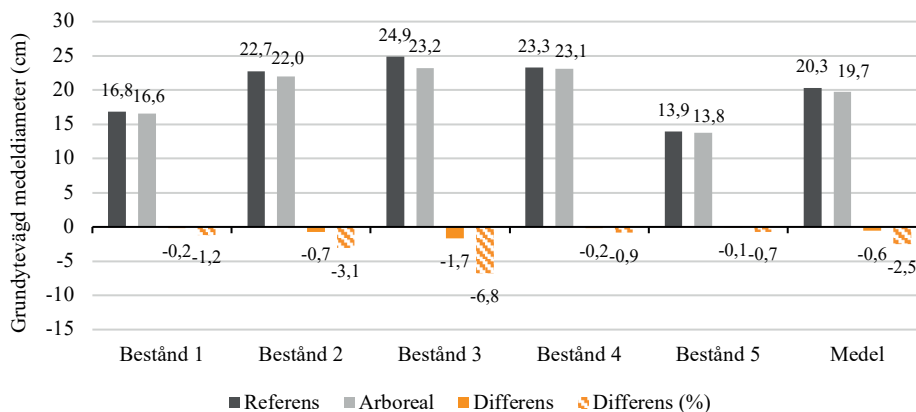


**Figur 9.** Beståndvis skattning av grunddyta per ha vid referensmätning jämfört med Arboreal Skog. Differensen mellan metoderna uttryckt i absoluta tal (blå stapel) och procentuellt (streckad stapel). Medel visar medelvärde av samtliga bestånd.

*Figure 9.* Stand-wise estimation of basal area per ha when using reference method compared to Arboreal Forest. Difference between the methods presented in absolute values (blue staple) and in percent (dashed staple). Medel (mean) shows the average of all stands.

### 3.3.2 Grundtyvägd medeldiameter (Dgv)

Medeldifferensen var 0,6 cm (-2,5 %) för samtliga bestånd vid skattning av Dgv. Störst procentuell differens mellan metoderna noterades i bestånd två med 6,8 %, differensen var minst i bestånd fyra med 0,7 % (Figur 10). För samtliga provytor erhöles ett RMSE på 1,0 cm (5 %) (Bilaga 2).

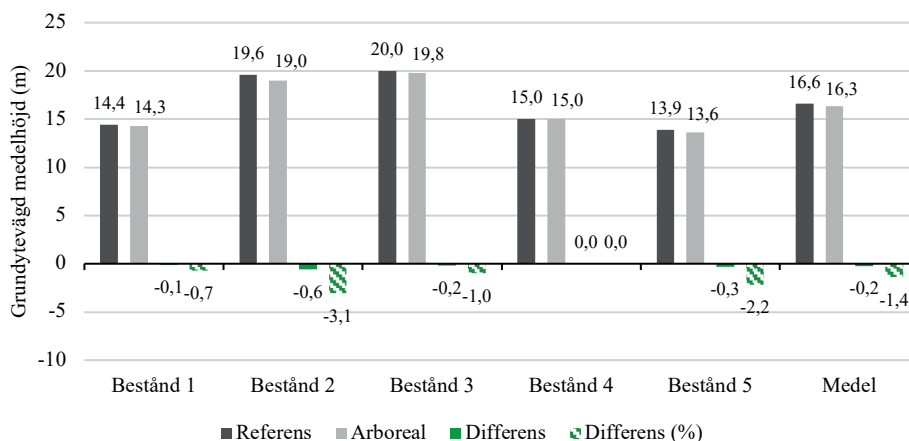


**Figur 10.** Beståndvis skattning av Dgv vid referensmätning jämfört med Arboreal Skog. Differensen mellan metoderna uttryckt i absoluta tal (gul stapel) och procentuellt (streckad stapel). Medel visar medelvärde av samtliga bestånd.

*Figure 10.* Stand-wise estimation of basal area weighted mean diameter when using reference method compared to Arboreal Forest. Difference between the methods presented in absolute values (yellow staple) and in percent (dashed staple). Medel (mean) shows the average of all stands.

### 3.3.3 Grundtyevägd medelhöjd (Hgv)

Differensen mellan metoderna baserat på 81 provträd varierade från 0 till -0,6 m mellan bestånd och i medeltal underskattades Hgv med - 0,2 m (-1,4 %). Störst var differensen i bestånd två (-3,1 %) och minst i bestånd fyra där samma värde erhöles för båda metoder (Figur 11). RMSE för samtliga provtytor var 0,5 m (3 %) (Bilaga 2).

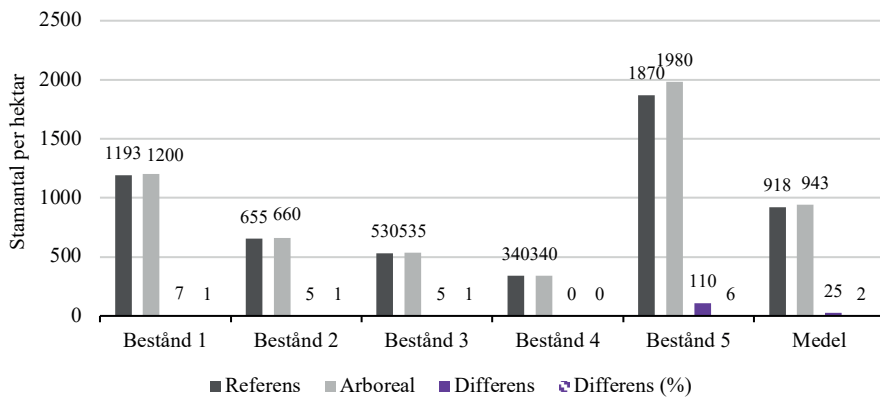


**Figur 11.** Beståndsvis skattning av Hgv vid referensmätning jämfört med Arboreal Skog. Differensen mellan metoderna uttryckt i absoluta tal (grön stapel) och procentuellt (streckad stapel). Medel visar medelvärdet av samtliga bestånd.

**Figure 11.** Stand-wise estimation of basal area weighted mean height when using reference method compared to Arboreal Forest. Difference between the methods presented in absolute values (green staple) and in percent (dashed staple). Medel (mean) shows the average of all stands.

### 3.3.4 Stamantal

Stamantalet per hektar skiljer sig med mindre än sju stammar/ha i samtliga bestånd förutom i bestånd fem där antalet istället överskattas med 110 stammar/ha. Medeldifferensen för samtliga bestånd var 25 stammar/ha (3 %) (Figur 12). RMSE beräknades till 78 stammar per ha (10 %) (Bilaga 2).

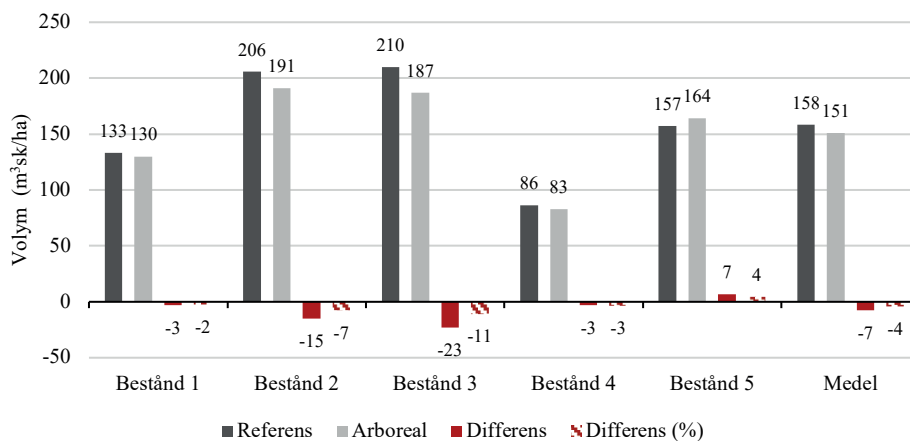


**Figur 12.** Beståndsvis skattning av stamantalet per ha vid referensmätning jämfört med Arboreal Skog. Differensen mellan metoderna uttryckt i absoluta tal (lila stapel) och procentuellt (streckad stapel). Medel visar medelvärde av samtliga bestånd.

*Figure 12.* Stand-wise estimation of the number of stems per ha when using reference method compared to Arboreal Forest. Difference between the methods presented in absolute values (purple staple) and in percent (dashed staple). Medel (mean) shows the average of all stands.

### 3.3.5 Volym

Volymen underskattas i samtliga fall förutom i bestånd nummer fem. Medeldifferensen var  $-7 \text{ m}^3\text{sk/ha}$  ( $-5 \%$ ) för samtliga bestånd med störst respektive minst procentuell differens i bestånd tre ( $-11 \%$ ) och ett ( $-2 \%$ ) (Figur 13). RMSE beräknades till  $20 \text{ m}^3\text{sk/ha}$  ( $13 \%$ ) (Bilaga 2).



**Figur 13.** Beståndsvis skattning av volymen ( $\text{m}^3\text{sk}$ ) per ha vid referensmätning jämfört med Arboreal Skog. Differensen mellan metoderna uttryckt i absoluta tal (röd stapel) och procentuellt (streckad stapel). Medel visar medelvärde av samtliga bestånd.

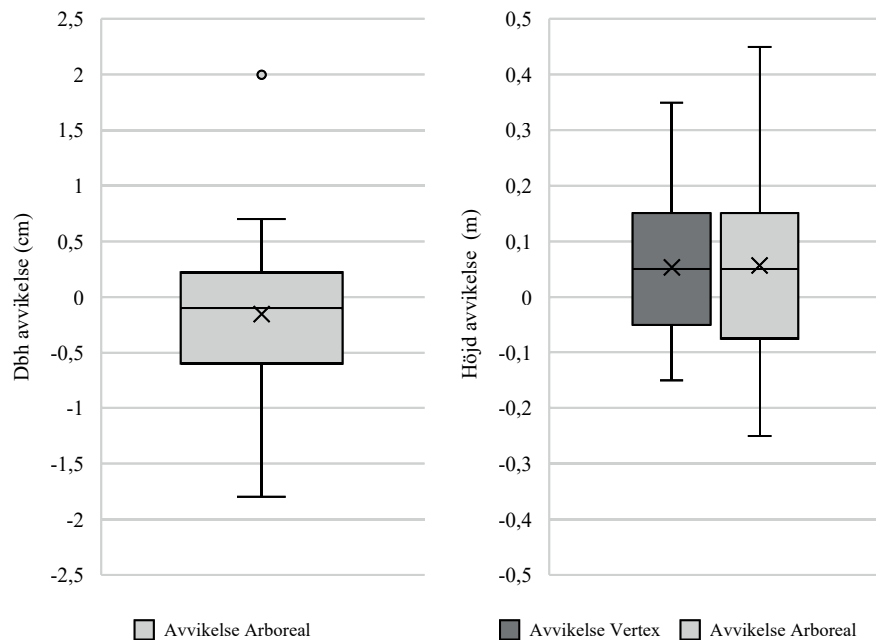
*Figure 13.* Stand-wise estimation of the volume ( $\text{m}^3\text{sk}$ ) per ha when using reference method compared to Arboreal Forest. Difference between the methods presented in absolute values (red staple) and in percent (dashed staple). Medel (mean) shows the average of all stands.

## 3.4 Kompletterande undersökning

### 3.4.1 Repeterbarhet

Vid 30 upprepade diametermätningar på samma träd underskattade Arboreal dbh systematisk med 0,2 cm. Samtliga mätvärden var inom 2 cm från referens med standardavvikelsen 0,7 cm. RMSE vid diametermätning med Arboreal beräknades till 3 % i förhållande till referens (Figur 14).

Både Vertex och Arboreal överskattade systematiskt höjden (Figur 14). Spridningen var något högre vid användning av applikation med en standardavvikelse om 0,2 m jämfört med motsvarande värde 0,1 m för Vertex. Relativt RMSE vid höjdmätning beräknades till 1,1 % med Arboreal och 0,7 % med Vertex i förhållande till trädets sanna höjd som erhöles efter att trädet fällt och höjdmäts.

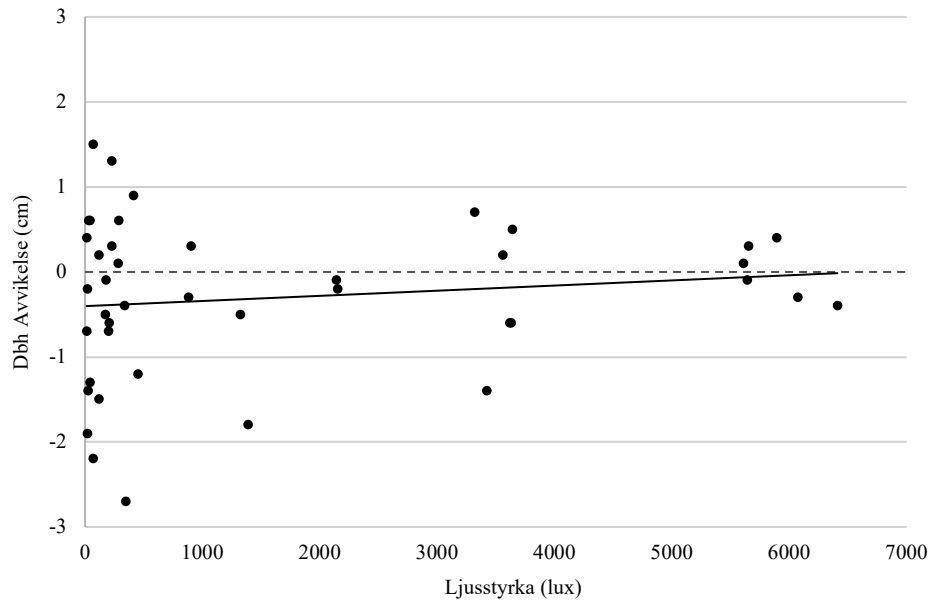


**Figur 14.** Avvikelser vid upprepade mätningar på samma träd vid dbh mätning med Arboreal (vänster) och vid höjdmätning med Vertex och Arboreal (höger).

**Figure 14.** Deviations during repeated measurements on the same tree when measuring dbh using Arboreal (left) and height measurements using Vertex and Arboreal (right).

### 3.4.2 Ljuskänslighet

Det fanns inget signifikant samband mellan dbh avvikelse och ljusstyrka (Figur 15). Mätningar var möjliga ned till 10 lux då det inte längre gick att utplacera provytecentrum.



**Figur 15.** Samband mellan dbh avvikelse (cm) och ljusstyrka (lux),  $p = 0,3794$ ,  $r^2 = 1,94$  %.  
**Figure 15.** Relationship between dbh deviation (cm) and light conditions (lux),  $p = 0,3794$ ,  $r^2 = 1,94$  %.

### 3.5 Tidsåtgång

Resultaten omfattar endast arbetet inom provytan, transporttiden mellan provytor är därmed inte inkluderad. Den totala tidsåtgången för kontrolltaxering av 10 provytor var 3248 s (ca. 54 min) vid vanlig kontrolltaxering respektive 3732 s (ca. 62 min) med Arboreal skog, dvs. skillnaden mellan metoderna var ungefär 8 min. I medeltal tog det 15 % längre tid att inventera med applikationen där större variation mellan provytor förkom (Tabell 9). Fördelning av arbetstid mellan momenten varierade beroende på metod. Vid användning av applikationen används ungefär en tredjedel av den totala arbetstiden till höjdmätning jämfört med vanlig kontrolltaxering där momentet stod för ungefär halva tidsåtgången. För samtliga provytor tog det längre tid att klava med Arboreal samtidigt som höjdmätningen utfördes snabbare med applikation i samtliga fall. Endast en störning rapporterades i form av problem med att placera provytecentrum i appen, störningen varade i 11 s inom provyta sju. Det parade t-testet visade att det fanns en signifikant skillnad mellan metoderna med avseende på tidsåtgång ( $p = 0,002$ ).

**Tabell 7.** Tidsåtgång för kontrolltaxering av 10 provytor inventerade med vanlig kontrolltaxering vs. Arboreal Skog och differensen mellan dem

**Table 7.** Time consumption during control assessment inventory of 10 sample plots with regular control assessment vs. Arboreal Forest and the difference between them

Provyta	Tidsåtgång (s)		Differens (Arboreal – Vanlig kontrolltaxering)	
	Vanlig kontrolltaxering	Arboreal skog	(s)	(%)
1	401	452	51	13
2	322	415	93	29
3	296	316	20	7
4	344	398	54	16
5	334	390	56	17
6	348	426	78	22
7	304	372	68	22
8	280	349	69	25
9	324	289	-35	-11
10	295	325	30	10
<i>Stdavv</i>	35	53	-	-
<i>Min</i>	280	289	-35	-11
<i>Max</i>	401	452	93	29
<i>Medel</i>	325	373	48	15
<i>Totalt</i>	3248	3732	484	15
<i>p-värde</i>		0,002		

## 4 Diskussion

### 4.1 Styrkor och svagheter med studien

Studien är den första som objektivt granskat applikationen Arboreal Skogs mätfel. Liknande studier av andra applikationer på marknaden finns, men dom är få. Datainsamling har skett i olika typer av bestånd med många observationer och motsvarar de förutsättningar som råder inom Norras verksamhet där olika beståndstyper inventeras. Studien har kvantifierat mätfelet för enskilda träd, provvytor och bestånd, dessutom har flertalet variabler använts för att förklara instrumentets mätfel. Samtidigt kan det inte uteslutas att andra, för denna studie utforskade variabler kan ha haft ett signifikant samband med dokumenterade avvikelser. Studiens resultat baseras på en persons mätningar och arbetstakt, vilket bör tas i beaktning vid granskning av resultatet eftersom noggrannhet och tidsåtgång kan variera beroende på operatör (Ståhl 1992; Vastaranta et al. 2009). Samtliga resultat baseras på mätvärden insamlade med en iPhone XS. Mätfelet vid användning av andra iOS eller Android telefoner har inte studerats.

Referensinstrumentens noggrannhet kan ifrågasättas och bidrar därför till viss osäkerhet. Höjdmätaren som användes i denna studie kan på grund av operatörens subjektiva bedömning av toppens position leda till mätfel om 0,2 – 0,3 m beroende på trädets höjd (Vasilescu 2013). Därför utfördes en kompletterande studie där även referenshöjdmätarens mätfel kunde kvantifieras genom upprepade höjdmätningar på ett och samma träd där den sanna höjden kunde erhållas efter trädfällning. Även klavens noggrannhet kan diskuteras, om än inte i samma utsträckning. I studien av Luoma et al. (2017) rapporterades en standardavvikelse om 0,3 cm vid diametermätning. Det är rimligt att anta att denna studie påverkas av mätfel i liknande storleksordning eftersom liknande klave användes, vilket kan ha påverkat studiens resultat. Exempel på operatörsberoende fel vid klavning kan vara att klaven pressats

mer eller mindre hårt mot stammen beroende på barkens struktur eller att den inte riktats mot provytans centrum (Luoma et al. 2017). Avläsningsfel eller felregistrering är ytterligare exempel på detta. En felkälla som har uppmärksammats i andra studier är att diametermätning inte skett i brösthöjd (Luoma et al. 2017; Vastaranta et al. 2015). Detta hanterades i denna studie genom att uppmäta brösthöjden på varje träd samt markera klavningspunkten på trädets stam, vilket säkerställde att dbh-mätningar utfördes på samma punkt med båda metoder.

Metoden som använts blir något missvisande vid skattning av beståndsvariabler pga. applikationens drifting. Det innebär att resultaten på beståndsnivå inte baseras på samma underlag som vid kvantifiering av mätfelet vid dbh- och höjdmätningar där endast parvisa observationer inkluderades i analysen. Samtidigt resulterar denna metod i en jämförelse av mätinstrumenten vid praktisk användning, dvs. den beståndsskattning som skulle ha erhållits vid användning av endast det ena eller andra instrumentet. För att endast kvantifiera mätfelet skulle studien istället ha utgått från applikationens provyta och inte referensytan, detta hade dock inte uppfyllt syftet med att jämföra Arboreals skattning av beståndsvariabler med konventionella instrument. Volym per ha för respektive bestånd baserades på höjdkurvor vilket i sig bidrar till viss osäkerhet och skiljer sig dessutom från applikationens volymfunktioner idag. De beståndsvisa skattningarna av Hgv bör beaktas med försiktighet då de endast baseras på provträdens grundyta och höjd. Studiens resultat bör därför betraktas som en jämförelse mellan instrumenten och inte som en skattning av de faktiska bestånden.

## 4.2 Resultat och jämförelser med andra studier

### 4.2.1 Diameter

Diametermätning med Arboreal resulterade i ett sammantaget RMSE om 7,1 % vilket är något lägre än tillverkarnas egna siffror om 7,5 % (Arboreal 2019b), men något högre än det relativa RMSE om 6,39 % som rapporterades av Fan et al. (2018) där liknande teknik användes. Likt Tomaščík et al. (2017) återfanns majoriteten av mätvärdena inom 2 cm från referens. Hyypä et al. (2017) redovisade ett relativt RMSE om 1,83 % baserat på punktmoln insamlade med Google Tango i förhållande till referens, vilket är något lägre än i denna studie. Noterbart är dock att förklaringsgraden mellan Arboreal och referens var 97,7 % i denna studie och därmed högre än motsvarande siffra 95,7 % rapporterad av Hyypä et al. (2017). Arboreal underskattade systematiskt diametern med -2,3 % (-0,4 cm), vilket är lågt men



samtidigt något högre än i studien av Fan et al. (2018) där dbh istället systematiskt överskattades med 1,78 %.

Likt Fan et al. (2018) ökade mätfelet med ökad tr addediameter, variationen kunde dock bara förklaras till 24 % vid regressionsanalys. Detta samband skulle kunna ha en trigonometrisk förklaring då avståndet mellan telefon och trädstam hölls konstant vid klavning i denna studie, vilket begränsar kamerans synfält vid grova diametrar om operatören inte förflyttar kameran tillräckligt i sidled. Den teorin styrks också av att mätfelet var lägre i de klena bestånden ett och fem. Teorin motsägs dock något av resultaten i bestånd fyra med medeldiameter 23,3 cm och ett lågt RMSE och bias om 4,4 % respektive -1,2 %. Det kan i sin tur förklaras av operatörens rutin då bestånden som uppvisade störst mätfel även var de två bestånden som besöktes först och bestånd fyra besöktes näst sist. Eftersom mätningar med applikationen baseras på att kameran letar strukturer skulle en del mätfel också kunna bero på att stammens yttre gräns placerats felaktigt, exempelvis på kvist eller liknande utan att det uppmärksammats av operatör. Omfattningen av detta har dock inte studerats.

Arboreal ger en god diameterskattning med låga mätfel och är i nivå med vad som redovisats i tidigare studier där AR-teknik använts för att mäta dbh. Studiens resultat tyder på att mätfelet beror på en kombination av telefonens begränsade synfält samt operatörens rutin och handhavande av tekniken. Tomaščík et al. (2017) konstaterade att tekniken som användes i deras studie behövde förfinas för att vara praktiskt tillämpbar, den tekniken finns nu genom Arboreal Skog.

#### 4.2.2 Höjd

Studien redovisar ett relativt RMSE på 3 % (0,5 m) vid höjdmätning, vilket är lägre än vad som rapporterades av Fan et al. (2018) där en totalstation användes för att erhålla referenshöjd, vilket gör att resultaten inte är helt jämförbara. Detta då ultraljudsmätaren som användes i denna studie kan resultera i felaktiga mätningar på grund av användaren enligt Luoma et al. (2017) och Vasilescu (2013). Utförda analyser kunde inte med signifikant säkerhet förklara höjdmätarens avvikelse jämfört med referens vid höjdmätningar inom bestånd, förutom det faktum att mätfelet minskade när siktförhållandena var bra (Figur 8). Den logiska förklaringen till detta är markvegetationens utseende som påverkar operatörens subjektiva bedömning av trädets rot respektive topp. Vid användning av Arboreal så markeras både trädets topp och rot av operatören, till skillnad för referenshöjdmätaren där operatören endast ansvarar för att markera trädets topp. Detta innebär att i bestånd med markvegetation, exempelvis i form av olika ristyper försvåras höjdmätning med Arboreal. När siktförhållandena var bra, vilket var fallet i bestånd fyra, där markvegetationen

bestod av lavar (Bilaga 1) var markering och identifiering av trädets rot enklare och mätfelet minskade. Markvegetationen kan även förklara varför bestånd klassade med siktförhållande medel uppvisade större mätfel än bestånd klassade med siktförhållande låg sett till antalet stammar (Figur 8,12). I bestånden klassade som medel utgjordes markvegetationen av mer ris än i bestånden som klassades med siktförhållande låg (Bilaga 1). Markvegetationens utseende som förklaring till mätfel vid höjdmätning styrks även av den kompletterade studien med upprepade mätningar på samma träd med fri sikt till hela stammen. Med minskad variation mellan mätningarna är Arboreals trädhöjdsjäkmätare likvärdig referensjäkmätaren med ett RMSE på 1 % respektive 0,7 %, men med en något högre standardavvikelse på 0,2 jämfört med 0,1 m. Tillverkarens redovisade RMSE på 2 % är således rimliga (Arboreal 2019b).

#### 4.2.3 Beståndsvariabler

Relativt RMSE vid skattning av grundyta med användning av Arboreal beräknades till 11 %, vilket är i linje med vad som rapporterats av Skogforsk (2017) vid användning av andra applikationer på marknaden. Differensen mellan metoderna var bortsett från bestånd tre (Figur 9) lägre än vad Andersson (2019) presenterade vid användning av Katam där den relativa differensen var 7 % vid skattning av grundyta. I studierna av Andersson (2019) och Skogforsk (2017) inventerades endast homogena granbestånd vilket skiljer sig från denna studie där högre variation både inom och mellan provytor förekom. Studiens resultat är därför mer jämförbara med Vastaranta et al. (2015) med liknande variation och medeldiameter för studerade provytor och bestånd. De rapporterade ett betydligt högre RMSE på 19,7 – 29,3 % vid grundyteskattning med Trestima jämfört med resultatet vid användning av Arboreal i denna studie.

Arboreals skattning av Dgv resulterade i ett sammantaget relativt RMSE om 5 % (1 cm), samtidigt som bias var lågt bortsett från bestånd tre (Bilaga 2). Det systematiska felet i bestånd tre kan förklaras med användarfelet vid dbh mätning, som tidigare diskuterats. Resultaten liknar de resultat som framkom vid en utvärdering av Katam utförd av Skogforsk (2017) med RMSE på 4,5 % vilket är betydligt bättre än motsvarande siffror vid användning av Trestima (15,5 %) i samma studie. Vastaranta et al. (2015) redovisade ett RMSE mellan 5,2 – 11,6 % vid användning av Trestima beroende på trädslag, vilket är sämre än resultatet från denna studie. Redovisat relativt RMSE per bestånd varierar mellan 2 - 7 % (Bilaga 2) och är bortsett från bestånd tre i linje med de 3 % som rapporterats av tillverkarna själva (Arboreal 2019b). Det finns få kommersiella applikationer och studier av dessa som behandlar och skattar grundytevägd medelhöjd. Vastaranta et al. (2015) erhöi ett

relativt RMSE på 10,0 – 13,6 % vid höjdmätning med Trestima, vilket är betydligt sämre än resultaten presenterade i denna studie med motsvarande siffra 3% vid Hgv skattning med Arboreal.

Resultaten visar att stamtäta bestånd påverkas i större utsträckning av applikationens driftning med avseende på antalet tillkommande respektive utgående träd (Tabell 6). Inom bestånd där fler träd tillkom än antalet som utgick överskattades antalet stammar per ha och resulterade i en överskattning av grundyta och volym, vilket var fallet i bestånd fem (Figur 9,12,13). I bestånd ett var antalet tillkommande och utgående träd ungefär samma (Tabell 6), vilket gör att effekten inte blir lika stor vid skattning av beståndsvariabler som påverkas av antalet stammar (Figur 9,12,13). Detta är även anledningen till att Dgv skattningen resulterade i ett lägre RMSE än grundyteskattningen eftersom Dgv inte påverkas av antalet stammar. Jämfört med andra applikationer erhöles ett lägre RMSE på 10 % med Arboreal vid skattning av stamantalet jämfört med 15 % i studien av Skogforsk (2017) där Katam och Trestima användes. Tillverkarna redovisar ett RMSE på 2 %, vilket är betydligt lägre än motsvarande 10 % inom denna studie. De systematiska felen är dock låga (Bilaga 2) vilket innebär att ju fler provytor som inventeras, desto bättre resultat erhålls. Bestånden som uppvisar störst avvikelser hade även lägst antal provytor.

Volymen underskattades i samtliga bestånd bortsett från nummer fem vilket beror på en överskattning av just stamantalet per ha (Figur 13). Förutsatt att användaren kalibrerat sig, vilket i denna studie var efter 25 provytor erhålls riktigt bra volym-skattningar med relativa differenser mellan -7 till 4 % för bestånden ett, fyra och fem.

Arboreals mätfel vid skattning av beståndsvariabler var i linje med resultaten från de få studier som kvantifierat Katams mätprecision gällande grundyta och medeldiameter. Studiens resultat är sett till samtliga beståndsvariabler bättre än tidigare studier där applikationen Trestima undersökts (Skogforsk 2017; Vastaranta et al. 2015). Centralt i sammanhanget är att Arboreal kan mäta alla redovisade variabler utan extra utrustning i form av referensskyltar eller stickor och är användbar i olika typer av bestånd till skillnad från andra applikationer på marknaden (Gustavsson 2018; Katam 2019; Vastaranta et al. 2015).

#### 4.2.4 Kompletterande undersökning

Resultaten från denna kompletterande undersökning har delvis redan diskuterats. När dbh mätningar utfördes på samma träd med kort tid mellan varje mätning så beräknades RMSE till 3 %. Detta kan sättas i relation till dbh mätningarna som

utfördes inom bestånd där RMSE beräknades till 7,1%. Applikationen påverkas således av yttre faktorer och när dessa hålls konstanta ökar applikationens precision.

Resultatet visar även att liknande mätvärden erhålls med instrumenten Vertex och Arboreal vid höjdmätning när siktförhållandena är optimala, men med något lägre precision vid användning av Arboreal. Standardavvikelsen på 0,1 m gällande referenshöjdmätaren Vertex var betydligt lägre än de 0,5 m som Luoma et al. (2017) rapporterade. Detta beror mest troligt på att i studien av Luoma et al. (2017) utfördes mätningarna av flera personer och i denna studie utfördes höjdmätningarna av samma person, vilket resulterade i lägre variation mellan mätningarna.

Studien fastställde att mätningar var möjliga ned till ljusstyrkan 10 lux. Det innebär att mörkret inte är en begränsande faktor vid praktisk användning av applikationen eftersom arbetet sällan utförs under så mörka förhållanden. Figur 15 tycks indikera att precisionen minskar med minskad ljusstyrka. Den slutsatsen går dock inte att dra baserat på denna studie eftersom liknande spridning erhöles vid repeterbarhetstest av dbh (Figur 14) och behöver således inte bero på ljusstyrkan, vilket även bekräftas av regressionsanalysens låga p-värde och förklaringsgrad (Figur 15). Dessutom var antalet mätningar fler vid skymning jämfört med antalet vid dagsljus.

#### 4.2.5 Tidsåtgång

Normalt inventeras 10 provytor per bestånd inom Norra Skogsägarnas regi och en kontrolltaxerare hinner ungefär två till tre bestånd per arbetsdag<sup>2</sup>. Resultatet från tidsstudien visar att det tar ungefär 8 minuter längre tid per bestånd (15%) med Arboreal jämfört med vanlig metod. Detta skulle med normal arbetstakt innebära en total tidsökning om 16 – 24 minuter per arbetsdag, dvs. 3 – 5 % längre baserat på att arbetsdagen uppgår till åtta timmar. Endast en provyta inventerades snabbare med applikationen (Tabell 7). Noterbart är dock att höjdmätningen utfördes snabbare med Arboreal Skog inom samtliga provytor. Det skulle därför vara mer tidseffektivt att använda applikationen vid höjdmätning istället för referensmätaren. Det bör dock poängteras att studien endast har undersökt tidsåtgången vid insamling av kvantitativa variabler och inte hela kontrolltaxeringsprocessen som även innehåller subjektiva bedömningar av andra variabler. Som tidigare nämnts har endast en persons arbetstempo studerats. Resultaten bör därför ses som en indikation på tidsåtgången, särskilt eftersom operatörens vana av att hantera en dataklave var betydligt större jämfört med användning av applikation.

---

2. Ulrica Wide, specialist skoglig planering hos Norra Skogsägarna, personlig kommunikation december 2019

Rapportering av resultat vid kontrolltaxering skiljer sig mellan metoderna. Vid användning av Arboreal är resultaten tillgängliga för export direkt efter datainsamling, vilket innebär en viss tidsvinst eftersom överföring till Excel inte är nödvändig. De subjektivt skattade variablerna, exempelvis ålder och huggningsklass skulle fortsättningsvis behöva förmedlas via Excel vilket gör att tidsvinsten av att direkt kunna rapportera objektivt insamlade variabler kan ifrågasättas. Arboreal har dock ett kommentarsfält vid beståndssammanställning och skulle kunna användas för att rapportera dessa subjektivt skattade variabler. På så sätt kan alla resultat förmedlas via ett och samma flöde.

### 4.3 Praktisk tillämpning

I en digitaliserad värld är det en lockande tanke att använda telefonen vid insamling av skogliga data. Tankar om att använda AR teknik vid insamling av skogliga data har funnits i olika delar av världen med studier från Slovakien, Finland och Kina (Tomaščík et al. 2017; Hyyppä et al. 2017; Fan et al. 2018). För att använda Arboreal Skog i andra länder än Sverige krävs det dock att adekvata volymfunktioner för respektive land och trädslag finns tillgängliga i applikationen. Arboreal Trädhöjd kräver inga sådana ingående funktioner och är således användbar jorden runt redan idag. Arboreals trädhöjdsjäkmätare är ett intressant alternativ till konventionella höjdmätare eftersom telefonen oftast följer med ut i skogen, dessutom är den tidsmässigt effektivare än referensjäkmätaren som användes i denna studie. Efter genomförd studie har applikationen även uppdaterats med en zoomfunktion vid höjdmätning, vilket underlättar för operatören vid markering av rot och topp och skulle eventuellt kunna minska mätfelet ytterligare.

Arboreal Skog är ett användarvänligt verktyg för de flesta som önskar samla in data om skogstillståndet inom ett givet område. Med Arboreal finns både klave och höjdmätare i ett och samma instrument och applikationen köps via månads- eller veckovisa abonnemang (Arboreal 2019b). För Sveriges drygt 320 000 privata markägare (Christiansen 2018) är den ett bra alternativ ifall man önskar taxera sin egen fastighet till en låg kostnad utan att behöva köpa utrustning i form av höjdmätare och klave. Resultaten finns dessutom kvar i applikationen efter att abonnemangstiden löpt ut. Tekniken kräver dock att man kan hantera en smartphone och är beroende av operatörens handhavande. Studiens resultat visar att mätningar med Arboreal ger noggrannare skattningar än andra applikationer på marknaden, sett till samtliga beståndsvariabler. Förutsatt att användaren kalibrerat sig erhålls noggranna mätningar, se exempelvis bestånd ett, fyra och fem (Figur 9–13). I denna studie inventerades

totalt 25 provytor av användaren innan noggrannare skattningar erhöles. Enligt Kitahara et al. (2010) bör nya inventerare genomgå en dags utbildning med påföljande återkoppling från kontrollmätningar för att signifikant förbättra mätningarnas noggrannhet vid insamling av skogliga data. Med avseende på detta samt studiens resultat bör nya användare av applikationen inledningsvis kontrollera sina mätningar för att kalibrera sig. Hur lång denna kalibreringstid är kan studien dock inte besvara eftersom det mest troligt varierar mellan olika operatörer.

Förutom ovan nämnda begränsningar bör även faktorer av mer praktisk karaktär diskuteras. Dataklavar kräver en hel del utrustning som måste bäras med i fält (klave, höjdmätare, centrumpinne, transponder), vilket är betydligt tyngre än en smartphone. Samtidigt är inte alla mobiltelefoner vattentäta och dessutom kan batteritiden försämrats vid kalla temperaturer. Datainsamling sker inom Norras verksamhet även när det regnar och är kallt, vilket begränsar applikationens användbarhet i praktiken. Skogforsk (2017) och Andersson (2019) konstaterade att applikationerna som undersöktes i deras studie inte lämpade sig för inventering av större områden pga. långa filmsekvenser eller många bilder. Sådan problematik finns inte vid användning av Arboreal då databearbetning bara är ett knapptryck bort. Inom Norras verksamhet skulle applikationen Arboreal Trädhöjd kunna användas av skogsinspektorer såväl som planläggare vid höjdmätning med noggrannhet likt konventionella höjdmätare, förutsatt att sikten är god till både topp och rot. Tidsmässigt är applikationen Arboreal Skog inte snabbare än Norras nuvarande verktyg vid klavning. Hur vida den bör användas vid kontrolltaxering eller inte är en bedömningsfråga gällande kostnad för dataklavar med tillbehör kontra kostnaden för Arboreal. Applikationen skulle med fördel kunna användas som ett kalibreringsverktyg för Norras oerfarna planläggare.

#### 4.4 Framtida utveckling och vidare studier

Arboreal skog finns i dagsläget endast tillgänglig för iOS enheter vilket begränsar antalet användare. För att öka konkurrensmöjligheterna på marknaden bör en Android version skapas. Jämfört med konventionella verktyg som klave och relaskop, bör dessutom effektiviteten öka. Automatisk identifiering av stammens yttergränser skulle kunna öka effektiviteten väsentligt. Applikationen har stor utvecklingspotential och skulle med vissa mindre tillägg kunna användas vid såväl återväxtkontroller som gallringsuppföljningar. Mer omfattande utveckling skulle vara att förse applikationen med en apteringsfunktion, dvs. varje träd som höjdmäts och klavas även kan apteras virtuellt. Detta i kombination med en integrerad och uppdaterad prislista skulle ge både köpare och säljare uppdaterad information om

skogens monetära värde i samband med virkesaffärer. Hur vida sådan teknik bör finnas tillgänglig på den fria marknaden kan diskuteras. Det finns en risk för att tvister uppstår mellan säljare och köpare om utfallet efter avverkning inte blir samma som applikationen uppskattat.

Ytterligare studier behövs för att undersöka hur applikationens noggrannhet och effektivitet varierar mellan olika operatörer då sådana variationer har uppmärksammats vid användning av andra typer av mätinstrument (Vasilescu 2013; Luoma et al. 2017). Studien kvantifierade mätfelet vid användning av en telefonmodell, vidare studier bör inkludera flera olika modeller. Eftersom det finns en viss inlärningsperiod vid användning av applikationen vid klavning (Figur 4) bör även detta undersökas för att kunna ge rekommendationer till nya användare. Det hade även varit intressant att jämföra Arboreals mätfel och effektivitet med andra applikationer på marknaden inom samma bestånd. Vidare studier bör designas så volym och grundtyevägd medelhöjd kan beräknas med samma funktioner som finns i applikationen idag.

## 4.5 Slutsatser

- Arboreal Skog genererar mätvärden med låga mätfel i förhållande till konventionella verktyg och lämpar sig väl för insamling av skogliga data inom praktiskt skogsbruk.
- Arboreal Trädhöjd är ett bra alternativ till konventionella höjdmätare med avseende på såväl noggrannhet som tidseffektivitet, men påverkas likt andra instrument av användarens subjektiva bedömning av toppens och rotens position.
- Det finns en viss inlärningsperiod vid klavning med applikationen, hur lång den inlärningsperioden är kan studien inte besvara. Nya användare bör inledningsvis kalibrera sig.
- Klavning av träd tar något längre tid med Arboreal Skog jämfört med dataklave.
- Användaren måste vara observant vid klavning med avseende på kvistar, fotovinkel och barkstrukturer som kan påverka markering av trädstammens yttre gräns.

## Litteratur

- Al-Hamad, A & El-Sheimy, N (2014). Smartphones Based Mobile Mapping Systems. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XL-5 (5), ss. 29–34 Gottingen: Copernicus GmbH. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-29-2014>
- Andersson, E. (2019). *Noggrannhet och precision vid beståndsuppskattning av mobilapplikationen KATAM*. Linnéuniversitetet, institutionen för skog och träteknik. Kandidatuppsats. Tillgänglig: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1334551/FULLTEXT01.pdf> [2019-10-08]
- Apple. (2019). *Understanding world tracking*. Tillgänglig: [https://developer.apple.com/documentation/arkit/understanding\\_world\\_tracking](https://developer.apple.com/documentation/arkit/understanding_world_tracking) [2019-10-09]
- Arboreal. (2019a). *Frågor och svar*. Tillgänglig: <https://www.arboreal.se/fragor-svar-2/> [2019-05-16]
- Arboreal. (2019b). *Arboreal skog*. Tillgänglig: <https://www.arboreal.se/arboreal-skog/> [2019-12-06]
- Azuma, R. (1997). A survey of augmented reality. *Presence*, vol. 6(4), ss. 355–385. DOI: <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Brandel, G. (1990). *Volymfunktioner för enskilda träd. Tall, gran och björk*. Garpenberg: Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för skogsproduktion. Rapport 26.
- Christiansen, L. (2018). *Strukturstatistik – statistik om skogsägande 2017*. Jönköping: Skogsstyrelsen. Rapport 2018/12. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/publikationer/2018/rapport-2018-12-strukturstatistik-statistik-om-skogsagande-2017.pdf> [2019-05-08]
- Elma instruments. (2019). *Elma 1335 Digital ljusmätare*. Tillgänglig: <https://elma-instruments.se/produkter/ljud--ljus-vibration/ljus/elma-1335-luxmeter-1.aspx> [2019-10-15].



- Fan, Y., Feng, Z., Mannan, A., Khan, T., Shen, C., & Saeed, S. (2018). Estimating Tree Position, Diameter at Breast Height, and Tree Height in Real-Time Using a Mobile Phone with RGB-D SLAM. *Remote Sensing*, vol. 10(11), ss.1845. MDPI AG. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10111845>
- Google. (2019). *Fundamental concepts*. <https://developers.google.com/ar/discover/concepts> [2019-10-09]
- Gustavsson, K. (2018). *KATAM & Växjö stift: Rapport från testmätning augusti 2018*. Växjö: Växjö stift. Tillgänglig: <http://www.katam.se/wp-content/uploads/2018/09/KATAM-o-V%C3%A4xj%C3%B6-stift-Slutrapport-rev0.2.pdf> [2019-10-15]
- Haglöf Sweden. (2007). *Instruktionsbok Vertex VI och transponder T3*. [Broschyr]. Långsele: Haglöf Sweden. Tillgänglig: [https://skogma.se/media/pdf/b8/6c/dc/ba\\_se\\_100160.pdf](https://skogma.se/media/pdf/b8/6c/dc/ba_se_100160.pdf) [2019-10-08]
- Holm, S. (2012). *Inventeringsteori*. Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för skoglig resurshushållning. Kurslitteratur. Tillgänglig: <http://slunik.slu.se/kursfiler/SG0204/20058.1819/KompendiumInventeringsteori.pdf> [2019-05-08]
- Hyypä, J., Virtanen, J-P., Jaakkola, A., Yu, X., Hyypä, H., & Liang, X. (2017). Feasibility of Google Tango and Kinect for Crowdsourcing Forestry Information. *Forests*, vol. 9(1), ss. 6. MDPI AG. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9010006>
- Karlsson, C., & Westman, S-E. (1991). *Skogsuppskattning, skogsinventering*. 2. uppl. Sollefteå: KW.
- Kangas, A., Heikkinen, E., & Maltamo, M. (2004). Accuracy of partially visually assessed stand characteristics: a case study of Finnish forest inventory by compartments. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 34(4), ss. 916–930. DOI: <https://doi.org/10.1139/x03-266>
- Kangas, A., & Maltamo, M. (2006). *Forest Inventory Methodology and Applications*. 1st ed. Dordrecht: Springer.
- Katam. (2019). *FAQ*. Tillgänglig: <https://www.katam.se/sv/faq/> [2019-05-08]
- Kitahara, F., Mizoue, N., & Yoshida, S. (2010). Effects of training for inexperienced surveyors on data quality of tree diameter and height measurements. *Silva Fennica*, vol. 44(4), ss. 657–667. ISSN: 0037-5330. Tillgänglig: <https://silvafennica.fi/pdf/article133.pdf> [2019-09-08]
- Luoma, V., Saarinen, N., Wulder, M.A., White, J.C., Vastaranta, M., Holopainen, M., & Hyypä, J. (2017). Assessing Precision in Conventional Field Measurements of Individual Tree Attributes. *Forests*, vol. 8(2), ss. 38. DOI: <https://doi.org/10.3390/f8020038>
- Macdicken, K. (2015). Global Forest Resources Assessment 2015: What, why and how? *Forest Ecology and Management*, vol. 352, ss. 3–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.02.006>
- Norra Skogsägarna. (2019a). *Årsberättelse 2018*. Umeå: Norra skogsägarna. Tillgänglig: <http://viewer.zmags.com/publication/2f3dbaac#/2f3dbaac/1> [2019-05-08]

- Norra Skogsägarna. (2019b). *Skogsägarplan – En lönsam investering*. [Broschyr]. Umeå: Norra Skogsägarna. Tillgänglig: [https://www.norraskogvirke.se/-/media/norra/files/produktblad-skog-o-virke/skogsagarplan\\_a4\\_2018\\_www.pdf](https://www.norraskogvirke.se/-/media/norra/files/produktblad-skog-o-virke/skogsagarplan_a4_2018_www.pdf) [2019-10-01]
- PEFC. (2017). *PEFC SWE 002:4 Svenska PEFC:s Skogsstandard*. Tillgänglig: [https://pefc.se/wp-content/uploads/2019/09/PEFC-SWE-002-Skogsstandard-2017-12-15\\_MED-KOMMENTAR-KEMISKA-SKYDD.pdf](https://pefc.se/wp-content/uploads/2019/09/PEFC-SWE-002-Skogsstandard-2017-12-15_MED-KOMMENTAR-KEMISKA-SKYDD.pdf) [2019-10-02]
- Samuels, M., Witmer, J., Schaffner, A. (2014). *Statistics for the life sciences*. 4. uppl. Edinburgh: Pearson education.
- Simonsen, F. & Lindegren, R. (2005). *Analysteknik: instrument och metoder*. Lund: Studentlitteratur.
- Skogforsk. (2017). *Mobilappar ger bra skogsuppskattning*. Tillgänglig: <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2017/mobilappar-ger-bra-skogsuppskattning/> [2019-05-14]
- Ståhl, G. (1992). *En studie av kvalitet i skogliga avdelningsdata som insamlats med subjektiva inventeringsmetoder*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning. Rapport 24.
- Tomaščík, J., Saloň, Š., Tunák, D., Chudý, F., & Kardoš, M. (2017). Tango in forests – An initial experience of the use of the new Google technology in connection with forest inventory tasks. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 141, ss. 109–117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.015>
- Trestima. (2019). *Trestima skogsmätningssystem*. [Broschyr]. Trestima. Tillgänglig: [https://www.trestima.com/w/wp-content/uploads/2018/06/TRESTIMA\\_datashet\\_en.pdf](https://www.trestima.com/w/wp-content/uploads/2018/06/TRESTIMA_datashet_en.pdf) [2019-05-16]
- Vasilescu, M.M. (2013). Standard error of tree height using vertex III. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, vol. 6(2), ss. 75–80. Tillgänglig: [https://www.researchgate.net/publication/289270150\\_Standard\\_error\\_of\\_tree\\_height\\_using\\_vertex\\_III](https://www.researchgate.net/publication/289270150_Standard_error_of_tree_height_using_vertex_III) [2019-05-16].
- Vastaranta, M.; Melkas, T.; Holopainen, M.; Kaartinen, H.; Hyypä, J.; Hyypä, H. (2009). Laser-based field measurements in tree-level forest data acquisition. *Photogrammetric Journal of Finland*, vol. 21(2), ss. 51–61. Tillgänglig: [https://www.researchgate.net/publication/258708281\\_Laser-based\\_field\\_measurements\\_in\\_tree-level\\_forest\\_data\\_acquisition](https://www.researchgate.net/publication/258708281_Laser-based_field_measurements_in_tree-level_forest_data_acquisition) [2019-05-21].
- Vastaranta, M., Latorre, E., Luoma, V., Saarinen, N., Holopainen, M., & Hyypä, J. (2015). Evaluation of a Smartphone App for Forest Sample Plot Measurements. *Forests*, vol. 6(4), ss. 1179–1194. DOI: <https://doi.org/10.3390/f6041179>
- Wilhelmsson, E. & Nyström, K. (2013). *Introduktion till mätning av träd och bestånd*. Kurslitteratur. Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för skoglig resurshushållning.

*Interna dokument*

Norra Skogsägarna. (2018a). *Fältinstruktion 2019*. Umeå: Norra Skogsägarna.

Norra Skogsägarna. (2018b). *Instruktion kontrolltaxering 2018*. Umeå: Norra Skogsägarna.

## Bilaga 1 - Beståndstyper



**Figur 16.** Bestånd nr. 1  
*Figure 16. Stand nr. 1*



**Figur 17.** Bestånd nr. 2  
*Figure 17. Stand nr. 2*



**Figur 18.** Bestånd nr. 3  
*Figure 18. Stand nr. 3*



**Figur 19.** Bestånd nr. 4  
*Figure 19. Stand nr. 4*



**Figur 20.** Bestånd nr. 5  
*Figure 20. Stand nr. 5*

## Bilaga 2 - Sammanställning mätfel

**Tabell 8.** Sammanställning av mätfel för respektive variabel vid skattning av beståndsvariabler med Arboreal vs. referens.

**Table 8.** Compilation of measurement error for each variable during measurements using Arboreal vs. reference.

	Medel referens	Stdavv (min, max)	RMSE	RMSE (%)	Bias	Bias (%)	Antal provvytor (n)
<b>Grundyta (m<sup>2</sup>/ha)</b>							
Bestånd 1	18,7	2,8 (-4,9 , 4,3)	2,6	14	-0,2	-1	7
Bestånd 2	22,0	1,1 (-2,6 , 0,9)	1,7	7	-1,3	-6	10
Bestånd 3	21,5	1,4 (-3,7 , 1,2)	2,3	11	-1,8	-8	10
Bestånd 4	11,6	1,5 (-4,0 , 1,6)	1,4	12	-0,4	-3	10
Bestånd 5	22,7	2,8 (-0,5 , 6,3)	2,9	13	1,5	7	5
<b>Totalt</b>	<b>19,3</b>	<b>2 (-4,9 , 6,3)</b>	<b>2,1</b>	<b>11</b>	<b>-0,7</b>	<b>-4</b>	<b>42</b>
<b>DGV (cm)</b>							
Bestånd 1	16,8	0,4 (-1,0 , 0,4)	0,4	3	-0,2	-1	7
Bestånd 2	22,7	0,5 (-1,4 , 0,3)	0,9	4	-0,7	-3	10
Bestånd 3	24,9	0,7 (-2,7 , -0,7)	1,8	7	-1,7	-7	10
Bestånd 4	23,3	0,6 (-1,3 , 0,9)	0,7	3	-0,3	-1	10
Bestånd 5	13,9	0,3 (-0,3 , 0,5)	0,3	2	-0,1	-1	5
<b>Totalt</b>	<b>20,3</b>	<b>0,8 (-2,7 , 0,9)</b>	<b>1,0</b>	<b>5</b>	<b>-0,7</b>	<b>-3</b>	<b>42</b>
<b>HGV (m)</b>							
Bestånd 1	14,4	0,4 (-0,6 , 0,5)	0,4	3	-0,1	-1	7
Bestånd 2	19,6	0,2 (-1,0 , -0,3)	0,6	3	-0,5	-3	10
Bestånd 3	20,0	0,5 (-0,8 , 0,7)	0,5	3	-0,2	-1	10
Bestånd 4	15,0	0,1 (-0,2 , 0,1)	0,1	1	0,0	0	10
Bestånd 5	13,9	0,3 (-0,8 , -0,1)	0,5	3	-0,4	-3	5
<b>Totalt</b>	<b>16,6</b>	<b>0,4 (-1,0 , 0,7)</b>	<b>0,5</b>	<b>3</b>	<b>-0,3</b>	<b>-2</b>	<b>42</b>
<b>Stammar/ha (n)</b>							
Bestånd 1	1200	121 (-200 , 150)	112	9	7	1	7
Bestånd 2	660	28 (-50 , 50)	27	4	5	1	10
Bestånd 3	530	37 (-50 , 100)	35	7	5	1	10
Bestånd 4	340	33 (-50 , 50)	32	9	0	0	10
Bestånd 5	1870	139 (0 , 350)	166	9	110	6	5
<b>Totalt</b>	<b>920</b>	<b>77 (-200 , 350)</b>	<b>78</b>	<b>10</b>	<b>17</b>	<b>2</b>	<b>42</b>
<b>Volym (m<sup>3</sup>sk/ha)</b>							
Bestånd 1	133	21 (-39 , 34)	20	15	-3	-2	7
Bestånd 2	206	11 (-32 , -1)	19	9	-16	-8	10
Bestånd 3	210	13 (-46 , -6)	26	12	-23	-11	10
Bestånd 4	86	13 (-37 , 13)	13	15	-4	-4	10
Bestånd 5	157	20 (-6 , 42)	14	9	7	-4	5
<b>Totalt</b>	<b>158</b>	<b>18 (-46 , 42)</b>	<b>20</b>	<b>13</b>	<b>-10</b>	<b>-6</b>	<b>42</b>

