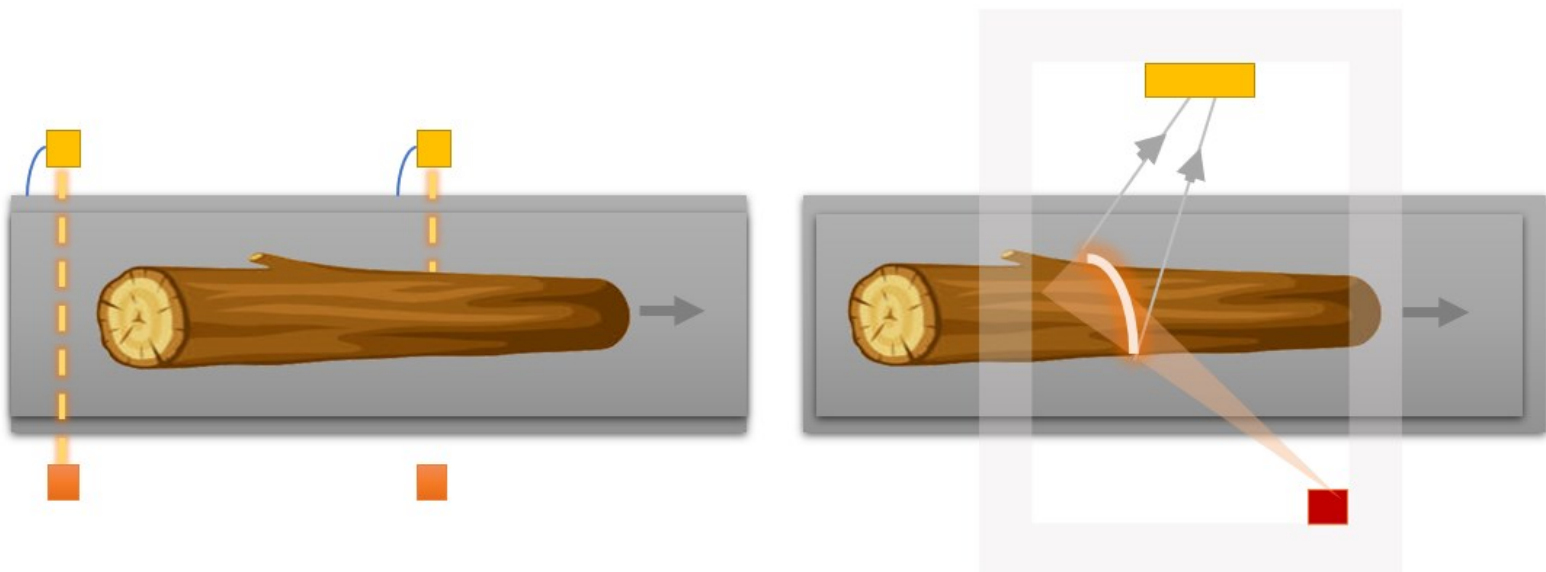


Kartläggning och utvärdering av mätramar och mätramsmiljöer i sågverk

Med fokus på ersättningsgrundande stockmätning

Kari Hyll, Maria Nordström



Principskiss över längdmätning med pulsgivare och diametermätning med laserlinje i mätram.

Innehåll

Förord	4
Summary	5
Sammanfattning.....	7
Bakgrund	8
Användning av mätramar	8
Tidigare studier	9
Automatisk och manuell mätning.....	9
Faktorer som påverkar mätningen	9
Typer av mätramar för stockmätning	11
Tillverkare och modeller på svenska marknaden	14
Typ- och installationsgodkännande och kontrollmätning	17
Mätning av längd och diameter med skördare.....	18
Material och metod.....	19
Förteckning över mätramar för sågverk i Sverige.....	19
Urval av mätramar till kvantitativa studien	19
Databearbetning	22
Jämförelse med mätprecisionen hos skördare	26
Beräkningar	27
Kontrollmätningen och dess mätosäkerhet.....	28
Enkätundersökning	28
Resultat av kartläggningen av mätramarnas tekniska status	29
Resultat av utvärderingen baserad på kontrollstockar	32
Toppdiameter	32
Längd.....	39
Bruttovolym	44
Kvalitetsparametrar	49
Jämförelse med spridningen i skördarmätningen	50
Resultat av enkätundersökningen	56
Anställda på sågverk och Biometria.....	56
Återförsäljare (av mekanisk utrustning och mätramar)	62
Kommentarer från tillverkarna	63
Kommentar från RemaSawco	63
Kommentarer från Microtec	63

Kommentarer från Finnos	64
Kommentarer från Andor	64
Diskussion	65
Kartläggningen	65
Utvärderingen baserat på kontrollstocksdata	65
Jämförelsen med skördare	68
Enkätundersökningen	68
Kommentarer från tillverkarna	69
Klaven som referens	69
Alternativ till stockmätning (som grund för ersättning)	70
Utveckling av den automatiska mätningen	70
Slutsatser	71
Referenser	73
Bibliografi	73
Personlig kommunikation	74
Appendix	75
Ytterligare uppgifter om mätarmarna i studien	75
Antal stockar i de olika grovleksklasserna	77



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 8 juli 2021 av Mia Iwarsson Wide, Programchef. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering den 15 juli 2021.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2021 ISSN 1404-305X

Förord

Vi vill börja med att tacka deltagarna i referensgruppen: Roger Andersson (Södra), Torbjörn Andersson (Södra), Fredrik Danielsson (Moelven), Jacob Edlund (Biometria), Lars Johansson (Stora Enso), Kjell Markusson (Vida), Tomas Nordfjell (SLU), Johan Olofsson (SCA), Pierre Qvist (Vida), Henrik Sjölander (SCA) och Monika Strömgren (Biometria). Vi vill även tacka de tillverkare, leverantörer, anställda på sågverk och Biometria samt alla andra som på olika sätt bidragit till projektet. Ett särskilt tack går till Jacob Edlund och Monika Strömgren på Biometria, som tagit ut kontrollstocksdata, bidragit med förteckningsdata över mätramar, metodmässigt kunnande samt erfarenheter från tidigare studier. Vi vill också tacka Södras Forskningsstiftelse för deras finansiella bidrag till studien.

Uppsala 2021-07-13

Kari Hyll & Maria Nordström

Summary

A large majority of saw logs processed at Swedish sawmills are measured with log scanners. A large number of models are available on the Swedish market, but it has been difficult to get an overall picture of the differences and similarities between the log scanners. It has also been some time since a survey was published of the log scanners that are currently installed at the sawmills. The ability of the installed log scanners to measure different properties can affect the framework for log scaling, as it has historically been the technical lowest level that has become the common denominator of the classification system. In addition to the performance of the log scanner itself, technical and environmental factors and the design of the measurement site will also affect the measurement result.

The aim of the project has therefore been to:

- Survey the technical status of the log scanners used for payment at Swedish sawmills
- Evaluate how accurately different log scanner models measure parameters used for payment
- Understand how technical and environmental factors affect the measurement
- Identify the log scanner-related development needs of industry actors (sawmills and manufacturers)

19 sawmills giving a total of 23 log scanners were selected to provide maximum variation in manufacturers and models. The study was conducted in a quantitative part and a survey study. In the quantitative part, one year of control log data from Biometria was extracted for the selected sawmills, and the variability (standard deviation) between the regular measurement of the log scanner and the control measurement with a caliper and measuring tape was investigated. The variability can result in both higher and lower metrics and is considered more closely linked to the characteristics of the log scanner than the mean deviation (the systematic deviation) that is more related to handling aspects like calibration. A comparison with harvester data was made through a sample of auditor-measured logs. In the survey, questions were sent out to sawmill and Biometria employees at a subset of sawmills.

One limitation of the study is that some log scanner models are only installed in one or two copies, which means that the variability within the model cannot be studied. Also, the study does not put the results in relation to the amount of measured volume or to the variation in cost between different log scanner models.

The survey highlighted shaky conveyor belt, season, snow, ice, and manual bark assessment as the main reasons for measurement uncertainty. Installation of X-ray scanner, upgraded mechanics, more comfortable working environment, local implementation of today's available automatic measurement, and development of automated measurement of new properties such as annual rings, top breakages and tree decay, were all considered factors that could improve measurement or motivate new investments.

The log scanners at the sawmills participating in the study had a top diameter measurement variability between 2.4 and 9.6 mm and a variability in length measurements between 0.8 and 1.8 cm. Newer models had on average lower variability than older models. However, older optical 1D models can measure on a par with optical

3D models given the right conditions. The two models with the lowest variability in the top diameter measurement used under bark measurement with X-rays. The model with lowest variability in the length measurement used an X-ray based length measurement technique. The model using 3D X-rays had significantly lower variability than other models. The pine logs rated with semi-automatic classification had higher class hits in all of the four quality classes compared to the pine logs that were manually graded. The log scanner model using 3D X-ray technology again had slightly higher hit rates than other models. The impact of the season on the variability was low during the study period. The variability in the measurement of top diameter, length and volume decreased with increased volume on the log. The average conveyor belt speed did not have a significant impact on the variability; it is possible to run the conveyor fast and still have low variability in the measurement.

To put the measurement results of the log scanners in relation to how a harvester can measure, a comparison based on 31 harvesters operating in Southern Sweden was made. All harvesters were certified by Biometria. The comparison was made based on variation measured as standard deviation between the value registered by the harvester and the manually measured reference. The comparison was done for both top diameters and length measurements based on material from the field visits made by the harvester auditors from Biometria during 2020. The comparison showed that most harvesters in used in the study have a variability in the length and top diameter measurement well in line with, and sometimes even below, the level of most of the log scanners that were included in the study. No harvester in the data material could however measure top diameter as well as the most advanced (3D x-ray) log scanner that was included in the study.

A general conclusion is that the model of the log scanner is not decisive for the variability of the measurement, but that technical and environmental factors also play a major role. Such factors may be the mechanical status of the conveyor track (vibrations, jerks), whether the log scanner is in an environment with controlled temperature, or the nature of the timber (crookedness, ovality, buttress). The log scanner and the associated mechanics should be regarded as a whole in the planning of accurate measurement.

Sammanfattning

En stor majoritet av sågtimret som förädlas på svenska sågverk stockmäts med mätrammar. Mätramarna finns tillgängliga i ett stort antal modeller på den svenska marknaden, men det har varit svårt att få en samlad bild av deras skillnader och likheter. Det var också ett tag sedan en sammanställning gjordes av de mätrammar som idag är installerade ute på sågverken. De installerade mätramarnas förmåga att mäta olika egenskaper kan påverka regelverk för mätning av sågtimmer, då det historiskt varit den tekniska lägstanivån som blivit klassningssystemets gemensamma nämnare. Utöver själva mätarens prestanda kommer även miljöfaktorer och mätplatsens utformning att påverka mätresultatet.

Det här projektets mål har varit att:

- Kartlägga den tekniska statusen hos mätramarna som används för ersättningsgrundande mätning (vederlagsmätning) på svenska sågverk
- Undersöka hur noggrant olika mätrammodeller mäter parametrar som används som grund för ersättning
- Förstå vilka miljöfaktorer som påverkar mätningen
- Identifiera vilka mätramsrelaterade utvecklingsbehov som finns hos branschens aktörer (sågverk och tillverkare)

19 sågverk med totalt 23 mätrammar valdes ut för att ge maximal variation i mätramsfabrikat och modeller. Studien genomfördes i en kvantitativ del och en enkätstudie. I den kvantitativa delen plockades ett års kontrollstocksdata från Biometria ut för de utvalda sågverken, och spridningen (den slumpmässiga avvikelsen) mellan ordinarie mätning i mätram och kontrollmätningen med klave och måttband undersöktes. Spridningen kan resultera i både högre och lägre mätvärden och kan användas som ett mått för att beskriva mätramarnas egenskaper, medan medelavvikelsen (den systematiska avvikelsen) snarare speglar hur väl mätaren är kalibrerad. En jämförelse med skördardata gjordes genom ett urval av revisorsmätta stockar. I enkätstudien skickades frågor ut till sågverks- och Biometriaanställda hos en delmängd av sågverken.

En begränsning i studien är att vissa mätramsmodeller endast finns installerade i ett eller två exemplar, vilket gör att spridningen inom modellen inte kan studeras. Studien sätter heller inte resultaten i relation till mängden inmätt volym eller till variationen i kostnad för olika mätramsmodeller.

I enkätstudien framhölls skakig kerattbana, årstid, snö, is och manuell barkbedömning som de främsta orsakerna till mätosäkerhet. Installation av röntgenram, uppgraderad mekanik, bekvämare arbetsmiljö, lokal implementering av idag tillgänglig automatisk mätning och utveckling av automatiserad mätning av nya egenskaper som årsringar, toppbrott och röta, ansågs alla vara faktorer som kunde förbättra mätningen eller motivera nyinvesteringar.

Mätramarna hos de sågverk som deltog i studien hade en spridning i mätningen av toppdiameter under bark på mellan 2,4 och 9,6 mm och en spridning i längdmätningen på mellan 0,8 och 1,8 cm. Nyare mätramsmodeller hade i snitt mindre spridning än äldre modeller. Materialet visar dock att optiska 1D-ramar av äldre modell kan mäta i nivå med optiska 3D-ramar givet rätt förutsättningar. De två modellerna med minst spridning i mätningen av toppdiameter använde sig av underbarksmätning med röntgen. Mätaren med minst spridning i längdmätningen använde en röntgenbaserad

längdmättningsprincip. Modellen som använde sig av 3D-röntgen hade signifikant mindre spridning än andra modeller. De tallstockar som klassats med semiautomatisk klassning överensstämde i högre grad med den manuella kontrollen i alla fyra kvalitetsklasser jämfört med de tallstockar som klassades manuellt. Även här hade modellen som använde sig av 3D-röntgen något högre träffprocent än övriga modeller. Inverkan av årstid på spridningen var liten under studieperioden. Spridningen i mätningen av toppdiameter, längd och volym minskade med ökad volym på stocken. Den genomsnittliga kerattbanehastigheten hade inte någon signifikant inverkan på spridningen; det går att köra kerattbanan snabbt och fortfarande ha liten spridning i mätningen.

För att sätta mätramarnas mätresultat i relation till vad en skördare kan prestera gjordes en jämförelse med 31 skördare i södra Sverige. Samtliga skördare var kvalitetssäkrade genom Biometria. Jämförelsen baserades på spridningen mätt som standardavvikelse mellan skördarens registrerade mätvärde och den manuella kontrollmätningen av skördarens diameter- och längdmätning inom ramarna för ordinarie fältkontroller av Biometrias kvalitetstekniker under 2020. Jämförelsen visade att de flesta skördare i studien mäter längd och diameter med en spridning i nivå med, och ibland väsentligt mindre än, huvuddelen av de mätramar som undersökts i studien. Ingen skördare i materialet kunde dock matcha diametermätningen hos den allra mest avancerade mätramen (3D-röntgen) som ingick i studien.

En generell slutsats är att mätramens modell inte är avgörande för spridningen i mätningen, utan att tekniska faktorer och miljöfaktorer också spelar stor roll. Sådana faktorer kan vara kerattbanans mekaniska status (vibrationer och ryck), om mätramen står temperaturkontrollerat eller beskaffenheten hos virket (krokighet, ovalitet och rotben). Mätramen och den tillhörande mekaniken bör ses som en helhet i planering av noggrann mätning.

Bakgrund

Användning av mätramar

Den här rapporten fokuserar på mätramar som används för ersättningsgrundande mätning när virket ankommer till industrin. I sammanhanget är mätramar enheter som mäter timmerstockar som matas genom ramen på en kerattbana. Ett sågverk kan antingen använda samma mätram för den ersättningsgrundande mätningen som för sin interna sortering av virket, eller en separat mätram för de två användningsområdena. Manuell ersättningsgrundande mätning eller sortering av timmer är idag ovanligt; år 2015 mättes en procent av all sågad volym manuellt (Strömgren 2015).

Vanligen ägs mätramen och kerattbanan av sågverket, medan Biometria bemannar den när den används som grund för ersättning. En mätram kan också användas för postning av virket inför sågningen, alltså att positionera och rotera virket optimalt för sågning enligt ett visst mönster. Slutligen finns det olika typer av skannrar som används för att övervaka och klassificera sågat virke (till exempel bräder). På engelska ökar risken för förvirring, då namnet scanner både används för mätare av rundved och mätare av sågat virke. Generellt sett är en *log scanner* en mätram för rundved och en *board scanner* en mätare av sågat virke.

Tidigare studier

TVå tekniska kartläggningar av mätramstyper på svenska sågverk har publicerats av Biometria (Edlund 2009; Strömgren 2015). Dessa studier har bland annat tittat på fördelningen av optiska mätrar och röntgenmätrar i relation till den volym som mäts på det aktuella sågverket. Studierna har visat att andelen volym som mäts med optiska 3D-mätrar och röntgenmätrar ökar, medan andelen som mäts med optiska 1D/2D-ramar minskar. Det har också släppts en kommersiell, global marknadsrapport om mätrar som bland annat går igenom olika tillverkare (Absolute Reports 2021).

När det gäller studier av sågtimmermätningens osäkerhet lyfte studien ”Effektivare längdmätning” (Strömgren 2017) fram flera faktorer som påverkar längdmätningen. Biometria genomförde även en kontrollstocksbasead utvärdering år 2016 kring mätosäkerheten i sågtimmermätningen och vilka faktorer som påverkar den, som nyligen gjorts publik (Strömgren 2016). Utvärderingen gick igenom systematisk och slumpmässig avvikelse och inkluderade både stockar som mätts in manuellt med bänkmätning och mätarmsmätta stockar. Den utvärderingsdel som redovisas i denna rapport fungerar som en uppdatering och fördjupning av delar av materialet i Biometrias rapport.

Automatisk och manuell mätning

Mätning med mätarm kallas ofta för automatisk mätning. I realiteten är den ersättningsgrundande mätningen snarare semiautomatisk, eftersom det finns moment som kräver mänsklig bedömning för att beräkna både kvantitet (diameter, längd och volym) och kvalitet. Automatisk mätning brukar ses dels som en väg mot minskad mätosäkerhet, då en automatisk mätning bör vara mindre subjektiv än en mänsklig mätare och därmed ge en mer likartad mätning, dels som ett sätt att öka produktiviteten, då en mätarm kan bedöma stockar snabbare än en människa.

Mätningen av kvantitet är den mest automatiserade delen av vederlagsmätningen, men mätningen av diameter under bark kräver antingen att barktyp anges manuellt eller att mätarmen har någon form av teknisk lösning för automatisk bedömning av barktjockleken. Beroende av barktyp används olika funktionsuttryck för att beräkna den dubbla barktjockleken och dra ifrån den från diametermättet på bark (SDC 2017). Barktypen kan antingen skattas manuellt eller mätas automatiskt (”autobark”). Den automatiska barkmätningen använder sig av en barkfunktion som är beroende av trädslag. Trädslag är en egenskap som inte mäts automatiskt idag utan som bedöms av en människa, och för sågverk som blandar trädslag finns det därför ett manuellt element i mätningen av kvantitet även om de använder automatisk underbarksmätning.

Faktorer som påverkar mätningen

Ett stort antal faktorer bidrar till medelavvikelsen och spridningen i mätresultatet). Många av dessa faktorer samvarierar och kan vara svåra att studera oberoende.

Tabell 1. Urval av potentiella påverkande faktorer på mätningen. Källor: Strömgren (2017), Strömgren (2015) samt svar från enkätdelen av denna studie.

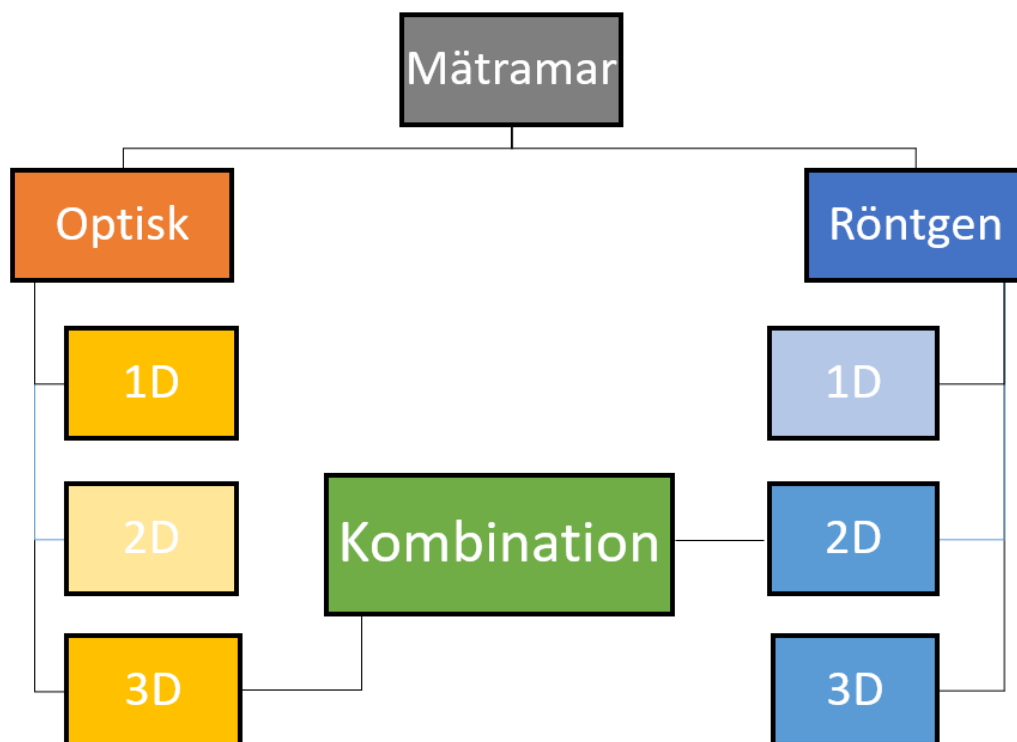
FAKTOR	TYP	FÖRKLARING
Skannings-/mätfrekvens	Mätram	Högre frekvens ger fler mätvärden och bättre statistik
Antal mätriktningar (1D/2D/3D)	Mätram	Ger ökad noggrannhet och möjlighet till formmätning (2D/3D)
Antal kameror	Mätram	Ger mer komplett vy av stocken och bättre statistisk säkerhet
Kerattbanehastighet	Mekanik	Påverkar stockens stabilitet och eventuellt den manuella bedömningens noggrannhet
Kerattkedjans status	Mekanik	Kan ge vibrationer eller stopp som leder till instabil mätning av diameter/längd/krök
Mätrams- och kerattbaneålder	Mekanik	Kan samvariera med ovanstående
Anläggningens design	Mekanik	Avstånd från mätram till mätbanedelning, stegmatore eller annan mekanik kan skapa rörelse hos stock.
Stockens orientering vid manuell bedömning (längs/tvårs)	Mekanik	Mätaren ser stocken olika väl, vilket kan påverka exempelvis trädslagsklassningen
Barkdetektion/ barkbedömning	Mätram/ Manuell	Påverkar diametervärdet
Barkfunktion	Mjukvara	Påverkar diametervärdet
Måttenhet i datalagring (mm/cm/dm)	Mjukvara	Finare måttenhet ger mer precision
Filtrering och signalbehandling	Mjukvara	Avsmalningsfunktion, utjämning av bulor, kompensation för stockrörelser
Matrisomvandling från m^3 to till m^3 fub	Mjukvara	Ökar osäkerheten i volymmätningen, på väg att fasas ut
Kalibrering	Handhavande	Påverkar medelavvikelsen och, i mindre grad, spridningen
Mänskliga mätarens erfarenhet och fokus	Handhavande	Påverkar klassningen
Fuktighet	Mätmiljö	Påverkar barktjocklek samt laser-/röntgenmätning
Omgivningens temperatur	Mätmiljö	Påverkar bland annat lasermätning
Årstid	Mätmiljö/ råvara	Svällning av stocken och barksläpp samvarierar med snö/is, temperatur och luftfuktighet
Snö/is	Råvara	Kan få stocken att se tjockare eller längre ut
Krök/ovalitet	Råvara	Kan påverka diametermätning
Stockkvalitetsklass	Råvara	Övriga defekter, till exempel bulor och krök
Trädslag	Råvara	Tall ofta krokigare än gran, löv ofta svårare än barr
Stockens vikt/grovlek	Råvara	Kan göra att stocken ligger stabilare, men större stockar har oftare försvårande formfaktorer som rotben

Typer av mätramar för stockmätning

Detta avsnitt är till stor del hämtat från rapporten ”Kartläggning av teknik, metoder och informationsflöde för mätning av skogens produkter” (Hyll & Nordström 2020).

Mätramar kan använda sig av olika sorters elektromagnetisk strålning (optiskt ljus eller röntgen) och ha olika mätriktningar. Generellt gäller att ju fler mätriktningar desto fler egenskaper kan mätas och desto högre är noggrannheten.

Det finns två huvudsakliga kategorier av mätramar, optiska och röntgen, som båda har flera varianter (*Figur 1*). Optiska ramar mäter bara stockens yttre egenskaper, eftersom optiskt ljus inte tränger genom ytan. De olika modellerna skiljer sig i hur de mäter diametern, och om de kan mäta under bark eller inte. Röntgenramar kan mäta många inre egenskaper eftersom röntgenstrålarna kan tränga igenom stocken.



Figur 1. Schema över typer av mätramar för mätning av timmer i sågverk. De med ljusast bakgrund förekommer sällan inom mätningen för betalningsgrund.

Skuggramar

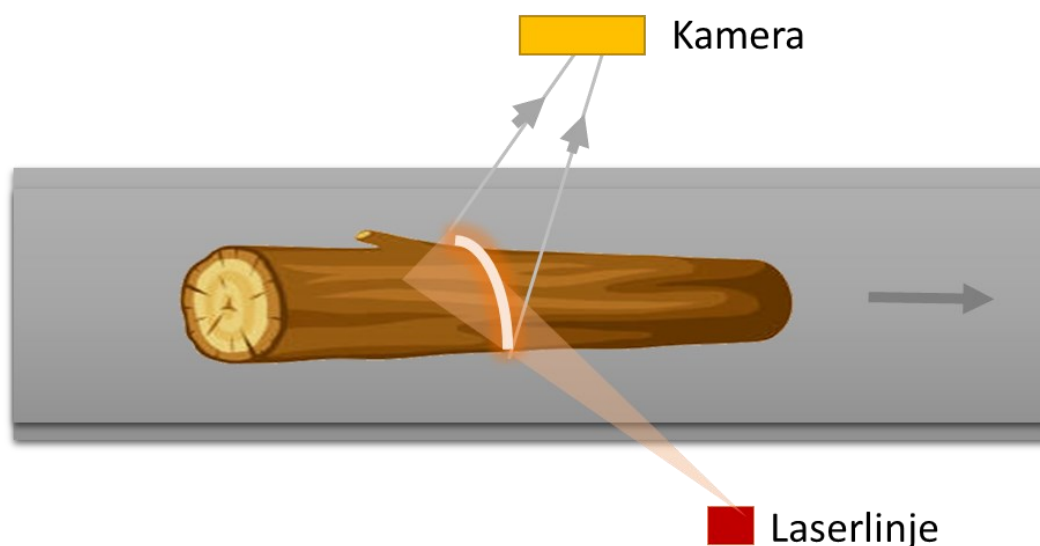
Skuggramar (engelska: differential shadow scanning) är en tidig variant av optisk mätram. De delas upp i envägsramar (1D) som bestämmer stockens diameter i en mätriktning, och tvåvägsramar (2D och X-Y), som bestämmer diametern i två mätriktningar. Även om det finns två mätriktningar är det inte säkert att båda alltid används, då det kan ramla ner skräp på en vågrät mätbalk och hindra mätningen (Jacob Edlund, Biometria, personlig kommunikation 2020a). Ett exempel på tekniskt utförande av en skuggram är att stocken belyses med ett ljusfält och en linjekamera avbildar stockens skugga. Genom bildanalys fås stockens diameter. I stället för en linjekamera kan en fotocell (ensam ”pixel”) med ett roterande prisma användas (Dan Trygg, Andor,

personlig kommunikation 2020a). En envägsram ger diameter, längd, volym och avsmalning, medan en tvåvägsram också ger krök och ovalitet (Inx 2012, Henriksson 2014). Skuggramar anses vara mer okänsliga för miljöfaktorer än laserramar (Björn Hansson, RemaSawco, personlig kommunikation 2020a).

Laserramar

Laserramar (engelska: laser triangulation, laser scattering) är en optisk mätramstyp som kombinerar kameror och laserljus, huvudsakligen i 3D. 3D-ramar ger stockens fulla form. Laserljus kan vara mindre känsligt för ljusföroreningar från omgivningen jämfört med den belysning som används i skuggramar (LMI Technologies 2016). Det finns olika utföranden av laserramar. Lasertrianguleringsramar projicerar en eller flera laserlinjer på stocken, som avbildas av en eller flera kameror (*Figur 2*). Laserlinjens deformation på stocken kan användas för att bestämma avståndet från kameran till varje punkt på linjen, och därmed stockens diameter och form. Om flera laserlinjer används finns möjlighet att beräkna och kompensera för stockens rörelser (Johan Oja, Norra Skog, personlig kommunikation 2021a). En annan variant använder sig av laserpunkter i stället för en laserlinje. Time-of-flight-mätramar mäter den tid som det tar för laserljuset att studsas från stocken till kameran. Från tidsmättet kan avståndet till punkten där laserlinjen träffade stocken bestämmas (Siekański m.fl. 2019). Ingen av mätramsmodellerna på den svenska marknaden använder time-of-flight-principen. Den används dock i vissa laserbaserade travmätningssystem (Lars Björklund, Biometria, personlig kommunikation 2021).

Laserramar har en högre mätnoggrannhet än optiska 1D-ramar (skuggramar). Vissa modeller kan dock vara känsligare för störningar från solljus (Henriksson 2014).



Figur 2. Enkel principskiss för linjelasermätning av diameter med kamera. Kamerorna och lasrarna sitter monterade i en ramliknande konstruktion.

Optiska mätramar mäter i grunden diameter på bark, och barktjockleken hos varje stock har därför behövt skattas eller mätas på annat sätt för att få ett ersättningsgrundande mått under bark. Idag använder en del laserramar sig av den så kallade trakeideffekten.

Trakeideffekten baserar sig på att områden utan bark reflekterar laserljus annorlunda än områden med bark, vilket hänger samman med orienteringen hos den exponerade vedens fibrer (trakeider) (Nyström & Hagman 2007). Dessa mätramar kan därmed automatiskt mäta volym under bark (SDC 2017). Trakeideffekten fungerar dock inte om stockens yta är frusen, och används därför mindre i norra Sverige än i södra Sverige (Nyström & Hagman 2007). Även bildanalys används för att åstadkomma underbarksmätning (Weidenhiller m.fl. 2015). Baserat på färgbilds- och 3D-laserdata bedöms om varje pixel har bark eller ej, samt om den har snö eller is. Därefter används en linjär modell för att beräkna barktjockleken för de pixlar som bedömts ha bark (Francesco Fontanini, Microtec, personlig kommunikation 2021a).

1D/2D-röntgenramar

Även röntgenramar finns som envägs- eller tvåvägsramar (Skog 2013), men för vederlag används idag främst tvåvägsramar. Röntgenramarnas mätvärde är relaterat till materialets densitet, vilket gör det möjligt att dels mäta densitet, dels särskilja komponenter i virket som har olika densitet. Exempel på sådana komponenter är bark, kvistar, kärnved och splintved, vårved och sommarved (årsringar) samt främmande material som metallspikar (VMR 2000; Microtec 2019). Genom barkens annorlunda densitet kan röntgenramar kalibreras till att ignorera den, och därmed mäta volym under bark (Skog m.fl. 2010).

Envägs- och tvåvägsröntgenramar säljs oftast i kombination med en optisk 3D-mätram, där mätramarna sitter efter varandra i en linje; antingen integrerat i samma mäthus eller en bit isär så att den ena kan sortera ut stockar som man inte vill ska gå igenom den andra mätramen. Den optiska mätramen ger stockens yttre form medan röntgenramen (vanligen en tvåvägs) ger stockens inre form och egenskaper. En studie av Skog (2013) visade att kombinationen av röntgen och visuellt ljus förbättrade detektion av toppbrott och splintfuktkvot jämfört med röntgenram eller laserram ensamt. Även mätningen av densitet förbättrades.

Röntgentomografer

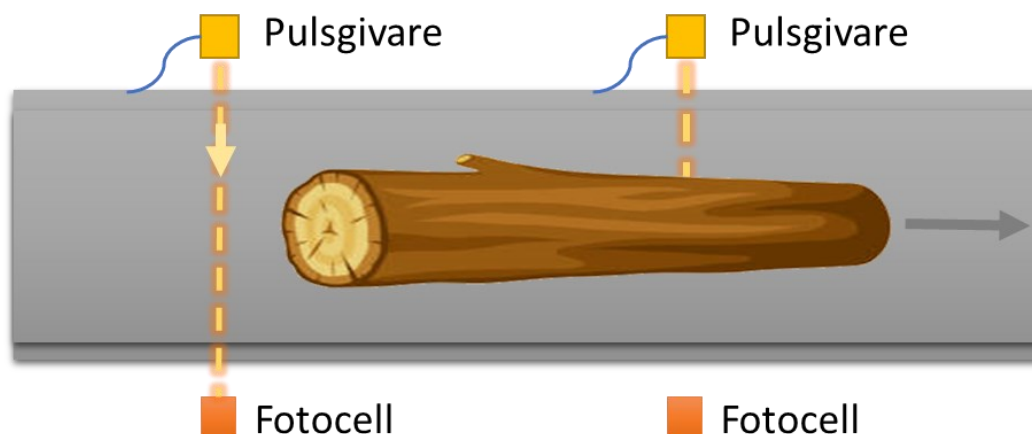
Röntgentomografer är röntgenramar som mäter i 3D. Mätmetoden har länge använts inom vården, oftast under beteckningen CT-skanners (Computer Tomography). En av utmaningarna för anpassning till skogsindustriell tillämpning var de mycket högre skanningshastigheter som krävs i ett sågverk (Grundberg 1999). Det finns idag en modell av röntgentomograf anpassad för virkesmätning på marknaden. Röntgentomografen ger både stockens inre och yttre form och har en högre upplösning än röntgenramar med färre riktningar.

Längdmätning med mätramar

För de flesta mätramar sker längdmätningen inte på samma sätt som diametermätningen, utan med optomekanisk utrustning placerad i anslutning till den ram där diametermätningen sker. Vid kerattbanan sitter en pulsgivare, som skickar ut en ljuspuls med intervall beroende på kerattbanans hastighet. Ljuspulsen skickas mot en eller flera fotoceller (kan liknas vid en enskild kamerapixel), som känner av ifall en förbipasserande stock blockerar det inkommande ljuset (*Figur 3*). Genom att räkna hur många pulser som skickats ut medan ljuset är blockerat kan stockens längd räknas ut (Strömgren 2017). Att mätningen är mekaniskt kopplad till kerattbanan gör att en kedja eller ett vändhjul i dåligt skick kan skapa ryckighet som påverkar mätningen.

För modellen Microtec CT-Log sker längdmätningen enligt en annan princip, med en “virtuell fotocell” som använder röntgendata från mätramen (Francesco Fontanini, Microtec, personlig kommunikation 2021b).

Ett alternativ till den optomekaniska längdmätningen skulle vara stereokamerabaserad mätning (Strömgren 2017), men där finns ännu inget kommersiellt system på marknaden.

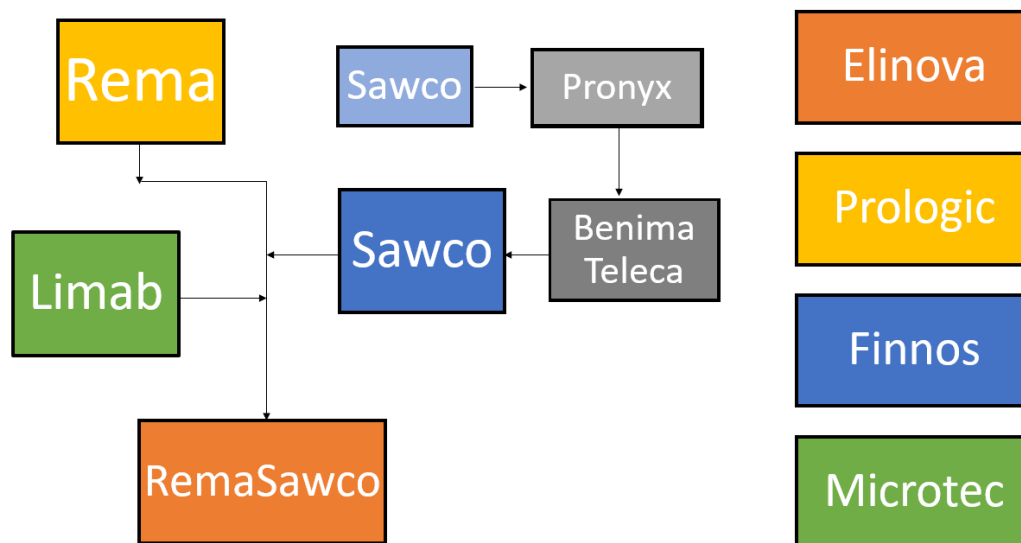


Figur 3. Princip för optomekanisk längdmätning av sågtimmer. För illustrativa syften har två pulsgivare ritats.

Tillverkare och modeller på svenska marknaden

Det här avsnittet syftar till att ge en bild över utvecklingen av mätramstillverkare och -modeller på den svenska marknaden, med fokus på stockmätramar som används för ersättningsgrundande mätning. Avsnittet försöker vara djuplodade men på grund av det stora antalet historiska modeller är det troligen inte heltäckande.

En övergripande förteckning av tillverkarna ges i Figur 4:



Figur 4. Mätramstillverkare med mätramar installerade på svenska sågverk omkring år 2020.

RemaControl

RemaControl, vanligen kallat enbart Rema, grundades 1954. Den första svenska genomlysande mät ramen, Tina, utvecklades av Tekniska Röntgencentralen och marknadsfördes av RemaControl. Tina fanns kommersiellt tillgänglig åtminstone så tidigt som 1980. Tina använde sig av gammastrålning från radioaktiva isotoper (Brodin 1989; VMR 2000). Mät ramen utvärderades bland annat hos Ala sågverk.

RemaControls röntgenram RemaLog XRay var en vidareutveckling av Tina. De radioaktiva isotoperna ersattes av röntgenrör och kontrollsystemet utvecklades (VMR 2000). Mät ramen var tillgänglig med en eller två mät riktningar.

RemaControls första optiska mät ram var Mr1-75, en skuggmät ram med 1–3 mät riktningar (Björn Hansson, RemaSawco, personlig kommunikation, 2021). Bland RemaControls övriga modeller fanns Rema 900, Rema 9000, Rema 9001, Rema Log Bark, och Rema Log 3D. Rema 900X var en modellfamilj med 1–4 mät riktningar, där 9001 var en 1D-ram, 9002 var en 2D-ram formad som ett X, och 9004 var en 2D-ram formad som ett plus (+).

Sawco

Sawco grundades 1987 och utvecklade optiska mätramar. Sedan dess har verksamheten ingått i flera svenska företag. År 2000 köptes Sawco av Pronyx. Året därefter typgodkändes Pronyx optiska 3D-mät ram ProScan. Pronyx blev Benima AB och en del av Teleca Group. År 2005 köptes Benima av företaget Lines-S AB och bytte namn tillbaka till Sawco AB. Samma år typgodkändes en ny variant av ProScan, även kallad Ruler-E. Det var en 3D-laserram med integrerad kamera i en enhet med möjlighet att detektera vedförekomst för att beräkna barktjocklek (Björn Hansson, RemaSawco, personlig kommunikation 2020a).

2012 köpte det svenska företaget Image Systems både Sawco Holdings och RemaControl, och slog ihop bolagen till affärsområdet RemaSawco.

Limab

Det finska företaget Limab utvecklade den optiska 3D-mätramen Limab LogProfiler. Limab köptes år 2018 av RemaSawco. I Finland heter bolaget nu RemaSawco Oy.

RemaSawco

Idag marknadsför RemaSawco mätramarna RS-3DLog och RS-LogProfiler, som båda är typgodkända för ersättningsgrundande mätning. RS-3DLog mäter barktjockleken med trakeideffekt och kan fås med dubbla kameror i varje mätposition, vilket ger en utökad vy av stocken runt medbringarna. RS-LogProfiler har dubbla laserlinjer och rörelsekompensering för att kompensera för skakningar hos stocken när den matas genom mätramen. RS-LogProfiler har integrerad röntgenmätning och kombinerar idag trakeideffekt och röntgenmätning för att bedöma barktjockleken. Den version av RS-LogProfiler som användes i denna studie var en tidigare variant som endast använde röntgen för att bedöma barktjockleken (Björn Hansson, RemaSawco, personlig kommunikation 2020b).

Andor

Elinova är ett typgodkänt mätsystem (kommunikationssystem och 1D-mätram) som utvecklades av EPC AB och ANDOR Automation AB under 1990-talet. Styrsystemsdelens utvecklades av företaget Styrlogik under 1980-talet, bland annat hos Ingvar Persson (Dan Trygg, Andor, personlig kommunikation 2020a). Den 1D-mätram som användes i mätsystemet var av det österrikiska märket Keba. Tillverkning av en mätram i Sverige startades baserad på Keba, under namnet ELINOVA Mätstöd och maskinstyrning. Den första mätramen, av modellen Elinova 768, installerades 1993 hos Karlträ. Sawco använde under en period Elinova som leverantör av 1D-mätramar (Dan Trygg, Andor, personlig kommunikation 2020a). Elinova blev år 1986 en del av företaget EPC AB, och lades ner år 1995. Elektronikdelen av mätsystemet kom att skötas av företaget IEO (Industrielektronik i Oxelösund).

Kring år 2019 återupptog Andor Automation försäljningen och utvecklingen av Elinova, i samarbete med maskinleveratören IPAB Ingvar Persson i Skövde. Mätsystemet kallas nu för Virkesinmätning. En 2D-mätram togs fram baserat på det typgodkända 1D-systemet; de nya levererade systemen av denna modell används dock bara för sortering (Dan Trygg, Andor, personlig kommunikation 2020b).

Finnos

Finnos grundades i Finland 2016 med bakgrund i företaget Bintec, som utvecklade röntgenteknik. Den första Finnos-ramen installerades i Sverige år 2018. Idag marknadsför Finnos mätramarna Optimizer, Lite Log Scanner och Fusion Log Scanner, där den senare är typgodkänd för ersättningsgrundande mätning i Sverige.

PrologicPlus

Det kanadensiska företaget PrologicPlus grundades 1993 och har en typgodkänd mätram, modellen Prologic 3D-2025 True shape scanner. Enligt den här studiens underlag fanns det år 2020 en Prologic-mätram som används för vederlagsmätning på ett svenskt sågverk. Idag marknadsför företaget 3D-linjelasermätramen ProLogScanner av typen 3D eller TrueShape, och röntgenmätramen ProX-Ray, som tillverkas i samarbete med Finnos.

Microtec

Microtec grundades i Italien 1980. Företagets första mätramar var optiska, och var tidiga med lasertrianguleringstekniken. 1995 utvecklades deras första mätram som kombinerade optisk mätning och röntgen. År 2009 typgodkändes modellen DiShape för ersättningsgrundande mätning i Sverige, och installerades på Fiskarhedens sågverk.

Microtec deltog i utvecklingen av röntgentomografitekniken (3D-röntgen) för stockmätning, som skedde på Freiburgs Universitet, SP Trä och Luleå Tekniska Universitet i Skellefteå, och som resulterade i en färdig produkt kring år 2011 (Skog 2014). Idag marknadsför Microtec mätramarna Logeye och CT-Log, som båda är typgodkända för ersättningsgrundande mätning.

Andra fabrikat

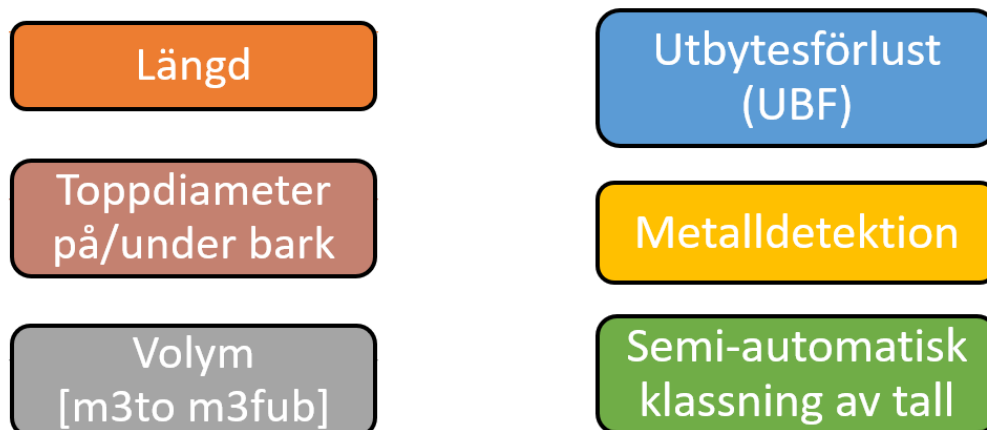
Österrikiska företaget Sprecher Automation fick sin optiska 3D-mätram SpreScan 3D 400/401 typgodkänd år 2009. Ingen SpeScan tycks idag användas för ersättningsgrundande mätning på svenska sågverk. Micropuu var en finsk tillverkare av mätramar och styrsystem som under en tid hade system installerade på svenska sågverk (Strömgren 2015). De gick i konkurs kring år 2010 och Limab köpte upp konkursboet (Jere Heikkinen, Finnos, personlig kommunikation 2021, Johan Skog, RemaSawco, personlig kommunikation 2021). Även belgiska Vision ++, österrikiska H-Sensortechnik, ryska Avtomatika-Vektor, kanadensiska Joescan, kanadensiska Hermery, kanadensiska LMI Technologies, och tyska Jorg Elektronik erbjuder idag mätramar (Absolute Reports 2021).

Typ- och installationsgodkännande och kontrollmätning

Mätramar kan ofta mäta ett stort antal parametrar hos stocken, men för att mätvärdet ska få användas som grund för ersättning till säljaren måste mätramen vara typgodkänd för just den parametern. Typgodkännandet är en process som utförs av organisationen Virkesmätningsskontroll (VMK). Som exempel innebär typgodkännandet för toppdiameter att mätramen måste klara av att mäta diametern på en provkropp med en medelavvikelse på max ± 1 mm, och en enskild mätning får avvika max 2 mm (Biometria 2020). För längd får avvikelsen vara max 2 cm för en enskild mätning, och max 1 cm för medelavvikelsen. Förutom typgodkännandet måste en mätram ha klarat Biometrias installationsgodkännande för den specifika mätplatsen (SDC 2013).

För att löpande följa upp mätningen slumpas en viss andel av stockarna ut som kontrollstockar, till exempel var tusende stock. Diametern mäts manuellt genom korsklavning och längden mäts med ett integrerat måttband. För att diametermätningen ska kunna ske under bark avbarkas stocken på mätstället med en yxa. Barktypen, metallförekomsten och utbytesförlusten kontrolleras inte, utan det är den sammanvägda kvalitetsklassen som bedöms och jämförs med kvalitetsklassen från den ordinarie mätningen.

De parametrar som är typgodkända för minst en stockmätramsmodell visas i Figur 5:



Figur 5. Parametrar som är typgodkända för automatisk eller semiautomatisk mätning för minst en mätramsmodell.

Automatisk mätning av utbytesförlust (krök) kan bara göras med 3D-ramar (optiska eller, mer ovanligt, röntgen). Mätningen av utbytesförlust används även som en indirekt bedömning av flera andra kvalitetsproblem som är svåra att detektera utanpå stocken, till exempel tjurved och toppbrott. Detta baseras på korrelationer mellan bland annat krokighet och tjurvedsförekomst (Öhman 2001). Det gör att åtminstone en del stockar med inre kvalitetsproblem klassas ner eller vrakas.

Metalledetektorer finns på alla sågverk, där de flesta är magnetspolebaserade. Bland mätramar kan automatisk metalledetektion bara göras med röntgenramar. Jämfört med magnetspoletekniken är röntgenmätningen av metall mer känslig, särskilt vid detektion av bly (Jacob Edlund, Biometria, personlig kommunikation 2021c).

Semiautomatisk klassning av tall kräver röntgen och någon form av 3D-mätning (optisk eller röntgen). Den semiautomatiska klassningen av tall, eller mer specifikt semiautomatisk krök- och röntgenklassning, är den enda typgodkända automatiska mätningen som involverar mätning av stockens inre egenskaper. Vid den semiautomatiska klassningen av tall görs först en bedömning av kvalitetsproblem som inte kan mätas automatiskt (exempelvis röta, utstickande rotben och blånad). Sedan mäts utbytesförlusten med 3D-teknik, varefter röntgenmätningen beräknar ett kvalitetsindex från en modell som kombinerar egenskaper som kärnvedsdiameter, kärnvedsdensitet, kvistvolym, avstånd mellan kvistvarv och avsmalning (Björklund & Edlund 2013). Modellen har utvärderats på ett stort antal manuella klassningar.

Mätning av längd och diameter med skördare

Vid skörd mäts längd och diameter hos varje stock med mekaniska mätgivare i skördaraggregatet (Hyll & Nordström 2020). Diametern mäts på bark i sektioner längs hela stocken och omvandlas till mått under bark med en barkfunktion som drar ifrån den beräknade dubbla barktjockleken från diametermättet på bark. Längden och diametern kombineras sedan till fast volym under bark. Föraren skattar och registrerar trädslag för varje stam. Kvalitetssegenskaper som krök och röta skattas av föraren men registreras inte. Sammanvägningen av kvaliteten avspeglas i stället i det sortiment som stammen apteras till (exempelvis sågtimmer, massaved, bränsleved eller specialsortiment).

Skördarens mätning följs upp löpande genom egenkontroll som skördarföraren genomför med hjälp av manuella kontrollmätningar av längd och diameter med digitalklave och

måttband (antingen integrerat i digitalklaven eller separat stålmåttband). Många skördare är dessutom kvalitetssäkrade genom en tredjepartskontroll, utförd av Biometria. Biometrias kvalitetstekniker följer då upp skördarens mätning löpande baserat på inskickade filer med kontrollmätningar (.hqc enligt StanForD 2010) och gör dessutom fältbesök vid minst ett par tillfällen per år. Fältbesöken syftar till att kontrollera hur väl skördarföraren utför kontrollmätningen samt utgör grund för dialog kring vad som kan göras för att mätningen ska förbättras. Instruktioner för hur uppföljningen enligt systemet för kvalitetssäkring ska genomföras finns beskrivna i Biometria (2019).

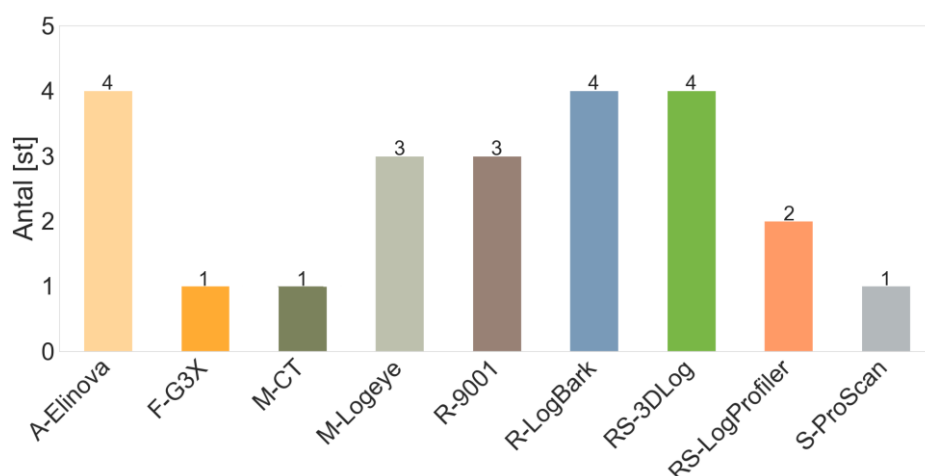
Material och metod

Förteckning över mätramar för sågverk i Sverige

En förteckning över sågverksmätplatser och deras mätutrustning tillhandahålls av Biometria. Av totalt 145 sågverk i listan hade 124 minst en stockmätram som användes för vederlag. För dessa angavs bland annat fabrikat, modell, ålder samt om mätramen hade röntgenutrustning och automatiskt mätte under bark, krök och metall. Uppgifterna bör betraktas som en ögonblicksbild för slutet av år 2019 och början av år 2020. Givet att mätramar kontinuerligt uppdateras eller byts ut uppskattas osäkerheten i det totala antalet mätramar av en viss modell vara ca ± 3 st.

Urval av mätramar till kvantitativa studien

Målet med urvalet var att få maximalt antal olika fabrikat och modeller, samt helst ett antal mätramar av varje modell. Samtidigt gjordes en avvägning för att underlaget skulle vara så pass hanterligt att den kvantitativa undersökningen kunde genomföras inom tidsramen för projektet. Ett urval gjordes och sågverken kontaktades och erbjöds deltagande. Det slutliga urvalet bestod av 19 sågverk, varav 4 bytt mätram under eller i anslutning till studieperioden. Det totala antalet mätramar blev därför 23 stycken. Fördelningen på modeller visas i Figur 6:



Figur 6. Fabrikat och modeller i den kvantitativa studien. A=Andor, F=Finnos, M=Microtec, R=Rema, RS=RemaSawco och S=Sawco. Modellen ProScan har även gått under benämningen Ruler-E.

Varje kombination av sågverk och mätram gavs en siffra 1–23. Detaljer för varje sådan enhet visas i Tabell 2. Kompletterande data om förekomsten av röntgenkapacitet kan hittas i Appendix. Sågverk 2 och sågverk 23 sågade fasta längder (exempelvis kubb).

Tabell 2. Grundläggande information om mätramarna i studien. Notera att åldern är baserad på installationsåret och att mätramens mjukvara eller hårdvara kan ha uppdaterats sedan dess. Kond = konditionerat (uppvärmt), Amb = inomhus ambient (ej uppvärmt).

#	Fabrikat	Modell	Ålder	Mät klimat
1	Finnos	G3X	2018	Inne-Kond.
2	Andor	Elinova	2019	Inne-Amb.
3	Microtec	Logeye	2010	Inne-Kond.
4	Microtec	CT-Log	2020	Inne-Kond
5	RemaSawco	RS-3DLog	2013	Inne-Kond
6	RemaSawco	RS-3DLog	2005	Ute-Tak
7	Andor	Elinova	1994	Inne-Kond.
8	Rema	9001	2005	Inne-Kond.
9	Andor	Elinova	1994	Okänt
10	Sawco	Proscan (Ruler-E)	2007	Inne-Kond.
11	RemaSawco	LogProfiler	2019	Inne-Kond.
12	Rema	LogBark	2007	Inne-Kond.
13	Rema	9001	1999	Inne-Kond.
14	Microtec	Logeye	2020	Inne-Kond.
15	Rema	LogBark	2007	Ute
16	RemaSawco	LogProfiler	2019	Inne-Kond.
17	Rema	LogBark	2006	Inne-Kond.
18	Andor	Elinova	1993	Ute-Tak
19	Microtec	Logeye	2011	Inne-Kond.
20	Rema	LogBark	2007	Inne-Kond.
21	RemaSawco	RS-3DLog	2014	Inne-Amb.
22	RemaSawco	RS-3DLog	2013	Inne-Kond.
23	Rema	9001	2005	Inne-Amb.

De parametrar i kontrollstocksdata som använts framgår av

Tabell 3:

Tabell 3. De parametrar i kontrollstocksdata som använts i projektet.

Parameter	Typ	Värden / enhet
Datum	Ordinarie, Kontroll	ÅÅÅÅ-MM-DD
Barktyp	Ordinarie	0 1 2 3 4
Trädslag	Ordinarie, Kontroll	Tall, Gran, Al, Lövträd
Toppdiameter under bark	Ordinarie, Kontroll	mm
Längd	Ordinarie, Kontroll	cm
Bruttovolym	Ordinarie, Kontroll	liter = dm ³ = 0,001 m ³
Kvalitetsklass	Ordinarie, Kontroll	1 2 3 4 8 9

När denna studie genomfördes hade kontrollmätning av topprotvolym hos sågtimmer ännu inte införts i bredare skala, och rotdiameter finns därför inte med som diameter.

Från kontrollstocksdata beräknades trädslagsblandningen samt andel autobark (barktyp 4) i materialet. Observera att andelen gran respektive tall i datamaterialet inte behöver motsvara fördelningen mellan trädslagen i sågverkets produktion då uttaget av kontrollstockar kan vara olika dimensionerat för de olika trädslagen. Information om andel autobark fick kompletteras för de sågverk som börjat betala på m³fub under mätperioden, då barktypvärdet i dessa fall visade 4 oavsett om manuell eller automatisk skattning/mätning använts. I tre fall, där en blandning av automatisk och manuell barkmätning använts under perioden, gick det inte att återskapa vilken andel som använts.

Utöver kontrollstocksdata samlades data om ett antal parametrar som bedömdes kunna påverka mätresultatet. Dessa bestod av information om mätramens närmiljö samt medelvärde på kerattbanehastigheten. Idealt hade ett värde för kerattbanehastigheten funnits för varje kontrollstock, men då sådana historiska data inte fanns för något sågverk insamlades i stället medelhastigheten. Ett sågverk bedömde att standardavvikelsen från medelvärdet var 2,5 m/min. Även stockarnas krokighet bedömdes kunna inverka på mätresultatet, men då alltför få deltagande sågverk hade sparade data för krök eller ovalitet kunde inte krokighet ingå i studien.

Tabell 4 visar insamlade och beräknade data.

Tabell 4. Beräknade eller insamlade egenskaper för de deltagande sågverken. Notera att trädslagsblandningen och andelen autobark gäller specifikt för kontrollstockarna och att urvalsfrekvensen av kontrollstockar kan vara olika för olika trädslag.

#	Antal kontroll- stockar	Trädslagsblandning (% gran/tall)	Kerattbane- hastighet (m/min)	% Autobark
1	1027	0 / 100	165	100
2	354	0 / 100	52	0
3	1625	0 / 100	160	100
4	1605	0 / 100	160	100
5	639	100 / 0	113	0

6	1064	100 / 0	72	0
7	377	100 / 0	90	0
8	575	100 / 0	80	0
9	416	61 / 39		0
10	693	60 / 40	70	0
11	395	44 / 56	70	Oklart
12	338	100 / 0	90	Oklart
13	1248	0 / 100	145	0
14	540	0 / 100	145	0
15	1178	59 / 41	140	0
16	1059	57 / 43	130	Oklart
17	1076	73 / 27	140	0
18	431	12 / 88	40	0
19	1686	100 / 0	150	54,8
20	467	0 / 100	70	0
21	1288	49 / 51	153	98,5
22	714	95 / 5	85	0
23	732	100 / 0	53	0

Databearbetning

Filtrering

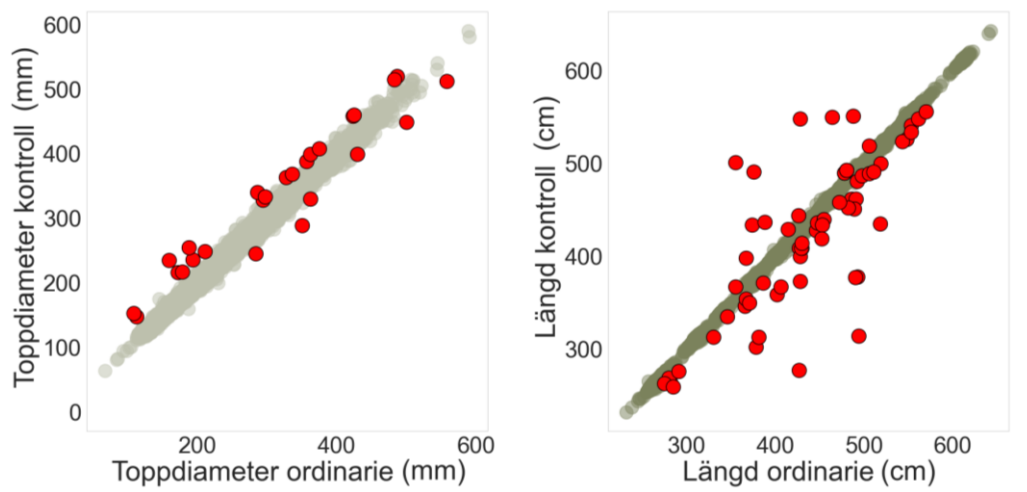
Ett antal sågverk hade kontrollstockar av flera trädslag. Om antalet kontrollstockar av ett visst trädslag var färre än 30 stycken togs samtliga stockar av det trädslaget bort från sågverkets data. För 31 stockar var toppdiametern i kontrollmätningen angiven till 0 mm, vilket indikerar att enbart kvaliteten kontrollmättes, och inte kvantiteten. Dessa stockar togs bort. 21 stockar hade ingen barktyp angiven och filtrerades bort.

Outlier-värden i längd och toppdiameter beräknades utifrån de gränsvärden som brukar användas av Biometria vid beräkning av partivis noggrannhet:

- (Längd ordinarie – längd kontroll) > 10 cm
- (Toppdiameter ordinarie – toppdiameter kontroll) > 30 mm

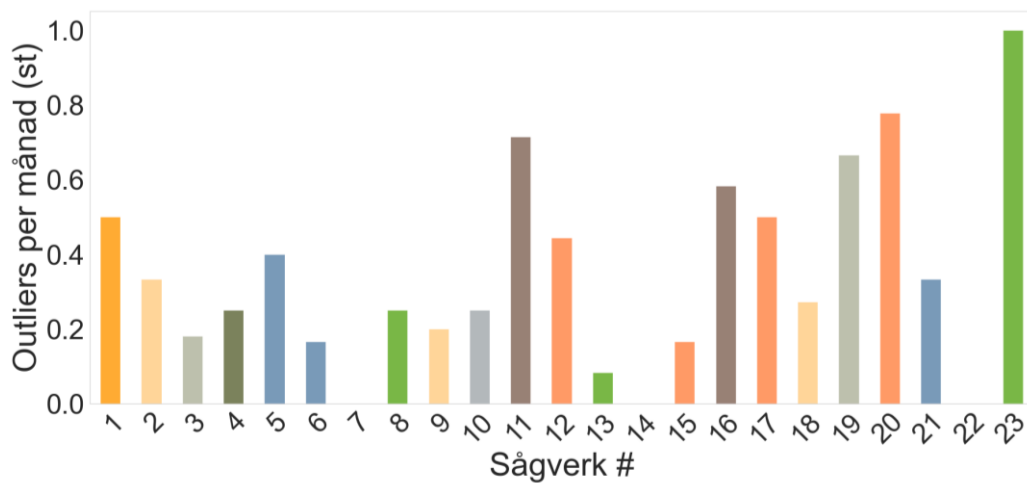
En enskild, mycket grov stock (toppdiameter 600 mm, längd 383 cm och bruttovolym 1247 liter) filtrerades också bort, då den utgjorde en outlier i bruttovolymen.

Outliers kan till exempel orsakas av stockar som hamnat bredvid varandra och därför överlappar i bredd och/eller längd. Dessa värden (Figur 7) togs bort ur data då de annars skulle ha stor påverkan på den beräknade spridningen.



Figur 7. Outliers i kontrollstocksdatasetet (röda punkter). Vänster: outliers i enbart toppdiameter. Höger: outliers i enbart längd.

Medelantalet outliers per månad och sågverk presenteras i Figur 8:



Figur 8. Medelantal outliers per sågverk som deltar i studien. Staplarna är färgkodade för mättramsmodell.

I snitt hade sågverken i studien 0,4 outliers per månad, vilket motsvarar ca fem per år. Viss förfiltrering av data sker under själva mätningen, då starkt avvikande värden skapar så kallade larm. Mätaren måste godkänna larmvärdena, som annars ej registreras och då inte visas som outliers i kontrollstocksdata. Även givet denna förfiltrering får antalet outliers sägas vara lågt, vilket tyder på ett fungerande mättingsflöde.

Beräkningar

Majoriteten av de deltagande sågverken rapporterade sin volym baserat på matrisomvandling från m^3to till m^3fub . Denna matrisomvandling bidrar till mätosäkerheten och är på väg att fasas ut. Det förekom sågverk som periodvis rapporterade m^3fub baserat på sektionsmätning (fastvolym) men utan att detta gick att

särskilja i data. För att undvika osäkerhet från omvandlingsmatrisen och för att få en enhetlig bruttovolym för alla sågverk utvärderades därför volymen baserat på en beräknad bruttotoppcylindervolym:

$$\text{Brutto-m}^3\text{to} = \frac{\pi D_{\text{topp}}^2 L}{4}$$

där D_{topp} är stockens toppdiameter under bark i meter, och L är längden i meter.

Analysen i den kvantitativa studien baserar sig på avvikelsen (skillnaden) mellan ordinarie mätning och kontrollmätning:

$$X = (\text{Ordinarie mätning}) - (\text{Kontrollmätning})$$

Medelvärde av X (den systematiska avvikelsen) kan sägas spegla kalibreringsarbetet snarare än mätramen i sig och inkluderas därför inte i resultatredovisningen. Spridningen i X (den slumpmässiga avvikelsen) beräknades i samtliga fall som en (1) standardavvikelse (σ), med andra ord att 68 procent av utfallen förväntas ha ett värde inom denna spridning från medelvärde. För toppdiametern och längden analyserades spridningen i X som ett absolutvärde, medan den för bruttotoppcylindervolymen (brutto- m^3to) analyserades i procent av den kontrollmätta medelvolumen:

$$P = 100 * \frac{(\text{Ordinarie mätning} - \text{kontrollmätning})}{\text{Kontrollmätning}} = 100 * \frac{X}{\text{Kontrollmätning}}$$

Spridningen i mätavvikelsen X analyserades på följande sätt:

1. För varje sågverk och hela studieperioden. Från dessa beräknades totala medelvärde, medianvärde och standardavvikelsen för hela studieperioden. Vid dessa beräkningar gavs samtliga sågverk lika vikt. Ett exempel på resultat baserat på dessa beräkningar finns i Tabell 10.
2. Som #1, men grupperat på modellnivå eller modellnivå och trädslag. I de fall där mer än en mätram fanns för en given modell beräknades medelvärde, lägsta och högsta värde, samt standardavvikelsen av spridningen inom sagd modell. Även här gavs alla sågverk med samma modell lika vikt. Att först medelvärdesbilda på modellnivå och sedan ta medelvärde av dessa minskar inverkan av sågverk med extrem spridning på det totala medelvärde. Exempel på resultat baserat på dessa beräkningar finns i Figur 14.
3. För varje sågverk och månad. Medelvärde, medianvärde, lägsta och högsta värde samt standardavvikelsen för spridningen varje månad beräknades.
4. För varje sågverk och olika dimensionsklasser (diameter, längd och m^3to -volym). För varje dimensionsparameter (toppdiameter, längd, m^3to -volym) skapades 15 klasser. Ett sågverk inkluderades i analysen om det hade minst fem stockar i den aktuella klassen. Medelvärde, medianvärde och standardavvikelsen för spridningen varje månad beräknades.

Tre sågverk i studien använde sig av den semiautomatiska klassningen av tall, medan 13 sågverk klassade tall manuellt. För analysen av den semiautomatiska kvalitetsklassningen av tall filterades gränstockar samt stockar med nollklassning (oklassade) bort. Samtliga stockar i klass 1, 2 och 3 användes i utvärderingen, men för klass 4 användes endast stockar med nedklassningsorsak 2 (krök) i ordinarie mätning eller kontrollmätning, då manuell nedklassning kan förekomma för övriga nedklassningsorsaker i klass 4 (Björklund & Edlund 2013). För klass 8 (specialklass) och 9 (vrak) fanns inte tillräckligt många stockar med nedklassningsorsak 2 för att få ett tillfredsställande statistiskt

underlag, och dessa klasser togs därför bort. Träffprocent och slumpjusterad träffprocent beräknades sedan totalt och per klass enligt Edlund (2019).

Tabell 5 visar komponenterna i beräkningen.

Tabell 5. Komponenter i beräkningen av träffprocent och slumpjusterad träffprocent. N = antalet stockar.

Ord/Ktrl	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Summa
<i>Klass 1</i>	N _{1,1}	N _{1,2}	N _{1,3}	N _{1,4}	N _{1,Ktrl,tot}
<i>Klass 2</i>	N _{2,1}	N _{2,2}	N _{2,3}	N _{2,4}	N _{2,Ktrl,tot}
<i>Klass 3</i>	N _{3,1}	N _{3,2}	N _{3,3}	N _{3,4}	N _{3,Ktrl,tot}
<i>Klass 4</i>	N _{4,1}	N _{4,2}	N _{4,3}	N _{4,4}	N _{4,Ktrl,tot}
<i>Summa</i>	N _{1,Ord,tot}	N _{2,Ord,tot}	N _{3,Ord,tot}	N _{4,Ord,tot}	N _{tot}

Den totala ojusterade träffprocenten T_{match} , slumpträffen T_{slump} , och slumpjusterade träffprocenten T_{just} beräknades enligt:

$$T_{match} = \frac{100}{N_{tot}} \cdot \sum_{k=1 \dots 4} (N_{k,k})$$

$$T_{slump} = \frac{1}{100} \cdot \sum_{k=1 \dots 4} (N_{k,Ord,tot} \cdot N_{k,Ktrl,tot})$$

$$T_{just} = 100 \cdot \frac{T_{match} - T_{slump}}{100 - T_{slump}}$$

Den slumpjusterade träffprocenten $T_{k,just}$ beräknades även per klass, med följande beräkningssteg:

$$K_{k,++} = \frac{N_{k,Ord,tot}}{N_{tot}} \cdot \frac{N_{k,Ktrl,tot}}{N_{tot}} = \frac{N_{k,Ord,tot} \cdot N_{k,Ktrl,tot}}{N_{tot}^2}$$

$$K_{k,--} = \frac{\sum_{l=k} (N_{l,Ord,tot})}{N_{tot}} \cdot \frac{\sum_{l=k} (N_{l,Ktrl,tot})}{N_{tot}}$$

där summeringen görs för alla klasser *utom* k.

$$S_k = K_{k,++} + K_{k,--}$$

där S_k är slumpfaktorn för klass k.

$$N_{k,fel} = \sum_{\substack{i=k \\ j \neq k}} N_{i,j} + \sum_{\substack{i \neq k \\ j=k}} N_{i,j}$$

där $N_{k,fel}$ är antalet felklassade stockar och värdet för $N_{i,j}$ alltså inte ingår i summeringen

$$N_{k,rätt} = N_{tot} - N_{k,fel}$$

$$T_{k,rätt} = \frac{N_{k,rätt}}{N_{tot}}$$

$$T_{k,just} = 100 \cdot \frac{T_{k,rätt} - S_k}{1 - S_k}$$

För parametrar som insamlats eller beräknats på sågverksnivå gjordes en statistisk modell baserad på Ordinary Least Squares (OLS), där spridningen i toppdiameter- respektive längdmätningen kopplades till faktorer som mätramsmodell, mätramsålder, kerattbanehastighet, och andel nedklassning. Beräkningarna genomfördes i Python. Utfallet bedömdes inte ge några nya insikter, sannolikt beroende på att antalet datapunkter (23 st) var lågt, samt att dataupplösningen var för grov.

Jämförelse med mätprecisionen hos skördare

Betalningsgrundande skördarmätning är en mätmetod som ännu utgör en marginell andel av den totala inmätta volymen av skördade produkter från skogen. Användningen kan dock tänkas öka i omfattning framgent då den medför en potential att väsentligt korta ledtiderna från skörd till avslutad affär med skogsägaren. Noggrann mätning av längd och diameter i skördare är dock centralt för apteringen, och sedan systemet för kvalitetssäkring av skördarens dimensionsmätning kom på plats för ca 15 år sedan har mätningen förbättrats väsentligt. Samtidigt utgör fortfarande inmätningen vid industri ”facit” i systemet. Detta gör det motiverat att göra en jämförelse mellan hur väl skördare och sågverkens mätramar kan mäta längd och toppdiameter under bark.

Datamaterial skördare

Datamaterialet utgjordes av skördarens registrering av längd och diameter samt manuella kontrollmätningar av motsvarande från ordinarie fältbesök hos kvalitetssäkrade skördare genomförda av Biometrias kvalitetstekniker under 2020. Materialet omfattade totalt 31 skördare som under perioden arbetade för samma uppdragsgivare i södra Sverige).

De skördade stammarna var jämförbara i dimension för samtliga skördare i materialet. Jämförelsen för diametermätning gjordes endast för toppdiameter, då det var det enda diametermått som fanns tillgängligt för mätramarna.

Data filtrerades för outliers enligt samma gränsvärden som användes för mätramsdata, det vill säga en avvikelse mellan skördarens mätvärde och den manuella kontrollmätningen på > 10 cm för längdmåttet respektive > 30 mm för toppdiametermåttet under bark. Antalet outliers var mycket lågt. I de fall en skördare hade färre än tio kontrollmätta stockar för ett träslag gjordes ingen analys för det träslaget, då resultatet riskerade påverkas alltför mycket av slumpen. Trots filtreringen är antalet stockar relativt lågt, vilket utgör en begränsning i datamaterialet. Det bedömdes dock ändå vara bättre att utgå från kvalitetsteknikernas mätningar snarare än förarnas egenkontroll för att minimera felet som orsakas av osäkerhet i den manuella kontrollmätningen.

Tabell 6. Jämförelse mellan skördare och mätramar vid sågverk. Datamaterialet utgörs av fältbesök hos 31 kvalitetssäkrade skördare i södra Sverige under 2020.

Skördare	Antal stockar		Toppdiameter under bark tall, mm			Toppdiameter under bark gran, mm		
	Tall	Gran	Min	Max	Medel	Min	Max	Medel
1		41				63	309	183
2		41				69	250	156
3		38				120	288	197
4	10	10	72	290	189	75	352	219
5		15				74	331	191
6	25	16	58	205	141	79	328	197
7		10				80	199	147
8		37				79	408	211
9	11	18	108	248	177	86	265	166
10		49				93	320	189
11	18		81	232	164			
12	24		104	271	194			
13		15				74	284	174
14	23		111	307	206			
15	18	59	57	242	149	79	255	173
16	19	45	82	270	171	100	390	233
17		34				66	255	153
18	24	27	118	314	209	68	240	126
19	21	20	109	272	197	82	275	179
20	25	30	85	274	192	75	314	168
21	21	50	107	329	206	71	231	153
22	34	27	88	231	159	70	234	161
23		28				72	280	174
24		17				100	336	223
25		19				70	312	174
26		50				70	177	119
27		45				79	273	171
28		40				58	207	143
29	18	18	54	200	128	52	227	144
30		40				93	294	193
31	16	37	64	222	126	79	303	200

Beräkningar

Spridningen (1σ standardavvikelse) för avvikelserna mellan skördarens registrerade mätvärde (M_1) och kvalitetsteknikerns manuellt kontrollerade värde (M_3) beräknades för mätning av:

- Stocklängd
- Toppdiameter (alla stockar)
- Toppdiameter (stockar i timmerdimension, ≥ 13 cm i topp)

För att möjliggöra en jämförelse mellan skördarens diametermätning som kontrolleras på bark (pb) och mätrarnas diametermätning som kontrolleras under bark (ub) skattades

standardavvikelsen under bark för skördaren genom att lägga till en osäkerhet för beräkningen av barkens tjocklek med Skogforsks barkfunktioner. Standardavvikelsen σ_{bark} mellan mätt och beräknad dubbel barktjocklek i stockens toppända togs från Hannrup & Lundgren (2012):

- Tall: 2,5 mm
- Gran: 2,2 mm

Standardavvikelsen σ för skördarens diametermätning under bark beräknades som:

$$\sigma_{skördare,ub} = \sqrt{\sigma_{skördare,pb}^2 + \sigma_{bark}^2}$$

Kontrollmätningen och dess mätosäkerhet

En del av osäkerheten i resultatet kommer från osäkerheten i kontrollmätningen, snarare än från mätramen. I en studie från Biometria var den totala genomsnittliga osäkerheten i längdmätningen 15 mm, varav 1 mm (7 procent) kom från kontrollmätningen (Monika Strömgren, Biometria, personlig kommunikation 2021). För toppdiameter har motsvarande studie inte gjorts, men kan antas vara en något högre procentandel då klavningen av diameter innehåller fler manuella moment, som avbarkning, val av mätposition på stocken (i de fall då stocken är ojämn) och mätriktningar för korsklavningen (i de fall ojämnheter gör det svårt att åstadkomma mätningar som är vinkelräta mot varandra). Då underlag saknades för toppdiameter gjordes i denna studie ingen särskild justering för kontrollmätarens bidrag till mätosäkerheten.

Enkätundersökning

Målet med enkäterna var dels att få information om teknisk status och mätningpåverkande variabler som inte framkom i det övriga datamaterialet, dels att få en förståelse för hur utrustningen används och vilka utvecklingsbehov som finns hos användarna. Urvalet av sågverk för enkäterna baserades på spridningen i längd och toppdiameter hos det aktuella sågverket för hela dataperioden. Målsättningen var att för varje modell välja ett sågverk som uppvisade mindre spridning i någon parameter, och ett som uppvisade större spridning, för att se om förklarande faktorer framkom. Detta var i praktiken inte alltid möjligt.

En enkät skickades ut till närmast berörda anställda på sågverket, och en enkät till Biometrias ansvarige kvalitetsledare för sågverket. Den svarande på sågverket kunde exempelvis vara en elektriker, produktionstekniker eller produktionsledare. Frågorna redovisas i Appendix. Av 22 utskickade enkäter till 11 sågverk inkom 18 svar.

En annan enkät gick även ut till några tillverkare och leverantörer av mekanisk utrustning. På denna inkom svar från Loab, som är återförsäljare av bland annat Microtec och Springer (mekanisk utrustning).

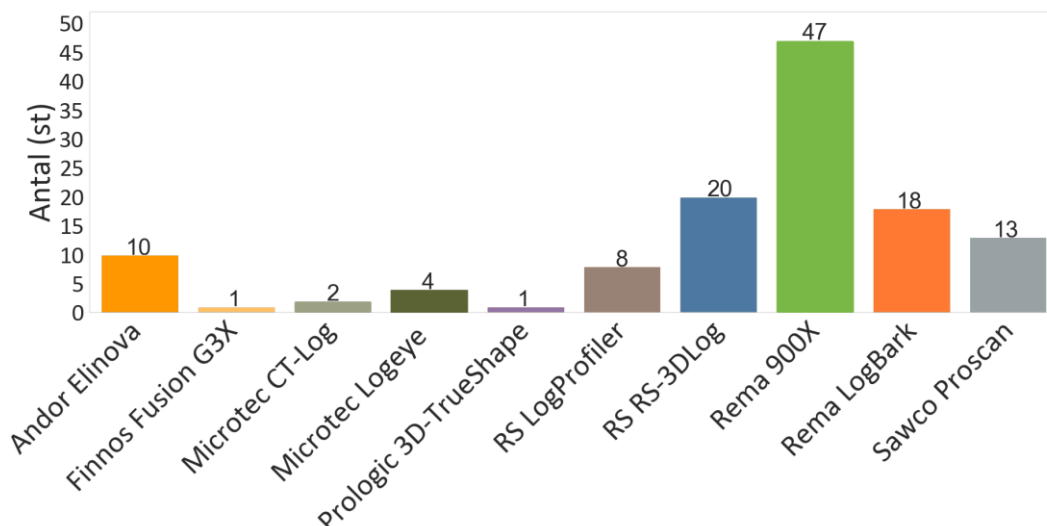
Resultat av kartläggningen av mätramarnas tekniska status

Detta avsnitt visar resultat av kartläggningen som baserar sig på samtliga mätramar på svenska sågverk där Biometria är mätande part. Kartläggningen speglar tillgänglig information i slutet av 2019/början av 2020, och bör betraktas som en ungefärlig överblicksbild. De kategorier av modeller som fanns installerade på svenska sågverk listas i Tabell 7. För varje modell finns vanligen olika tekniska alternativ och konfigurationer. Det är värt att notera att möjligheten till automatisk underbarksmätning ofta inte används över hela året.

Tabell 7. Mätramsmodeller installerade vid svenska sågverk kring årsskiftet 2019/2020. Ej automatisk innebär att manuell barkbedömning (barktryck) i kombination med barkfunktion behöver användas.

Modell	Typ	Mätprincip för underbarksmätning
Andor Elinova	Optisk 1D	Ej automatisk
Rema 900X	Optisk 1D/2D	Ej automatisk
Prologic 3D-TrueShape	Optisk 3D	Ej automatisk
Rema LogBark	Optisk 3D	Trakeideffekten (laserlinje)
Sawco Proscan (Ruler-E)	Optisk 3D	Trakeideffekten (laserlinje)
RS-3DLog	Optisk 3D	Trakeideffekten (laserlinje)
Finnos 3GX	Optisk 3D+2D-röntgen	Röntgen
Microtec Logeye	Optisk 3D+2D-röntgen	Bildanalys
RS LogProfiler	Optisk 3D+2D-röntgen	Röntgen
Microtec CT-Log	3D-röntgen	Röntgen

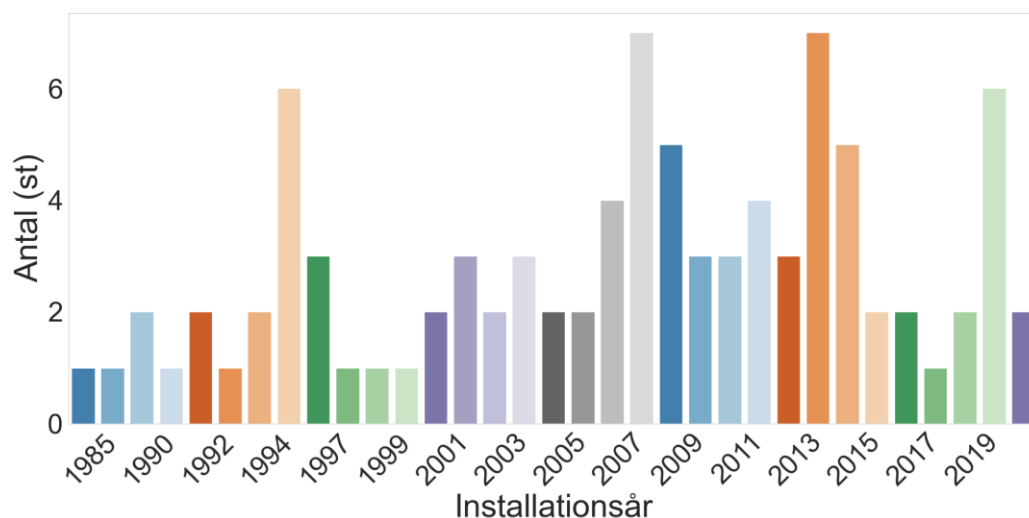
Antalsfördelningen för olika modeller visas i Figur 9:



Figur 9. Antal mätramar av olika fabrikat och modeller på svenska sågverk kring år 2020. Totalt antal mätramar i underlaget var 124 stycken. Staplarna är färgkodade för olika modeller.

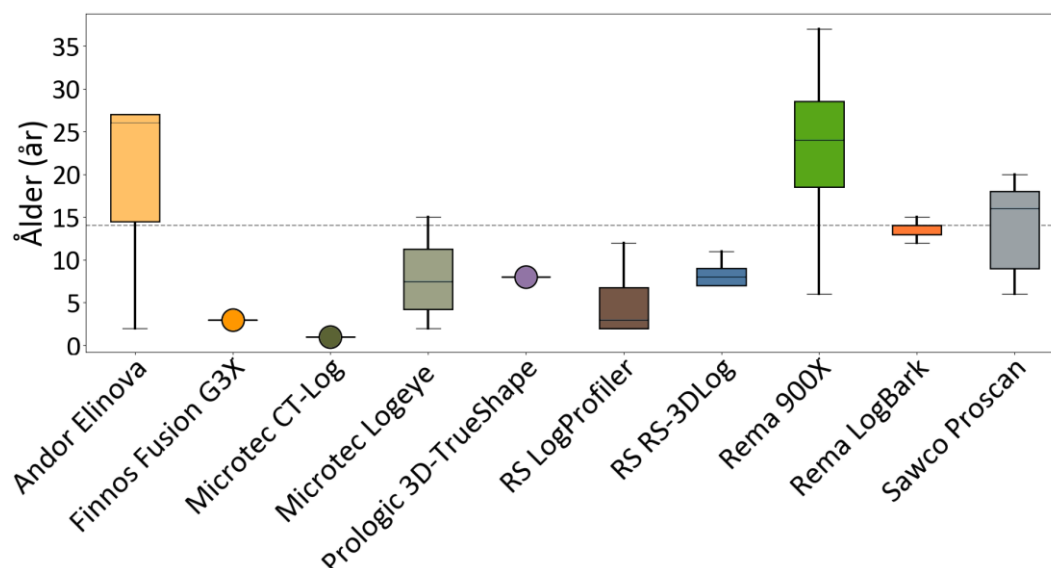
Den vanligaste mätramsmodellen på svenska sågverk är Rema 900X, följt av den nyare optiska 3D-modellen RS-3DLog och den lite äldre optiska 3D-modellen Rema LogBark. Som nämnt i bakgrundskapitlet är 900X en modellfamilj där X:et står för antalet mätriktningar.

92 av de 124 mätramarna hade uppgift om installationsår (Figur 10).



Figur 10. Ålder hos mätramarna på de svenska sågverken. Totalt antal mätramar med uppgift om ålder var 92 av 124 stycken. Färgsättningen är enbart estetisk.

26 av 92 mätramar (28 procent) var äldre än 20 år, det vill säga installerades innan år 2001. Installationsåret säger dock inget om hur mätramen eller kerattbanan har uppdaterats i mjukvara eller hårdvara sedan dess. Installationsår fördelat på modell visas i Figur 11:

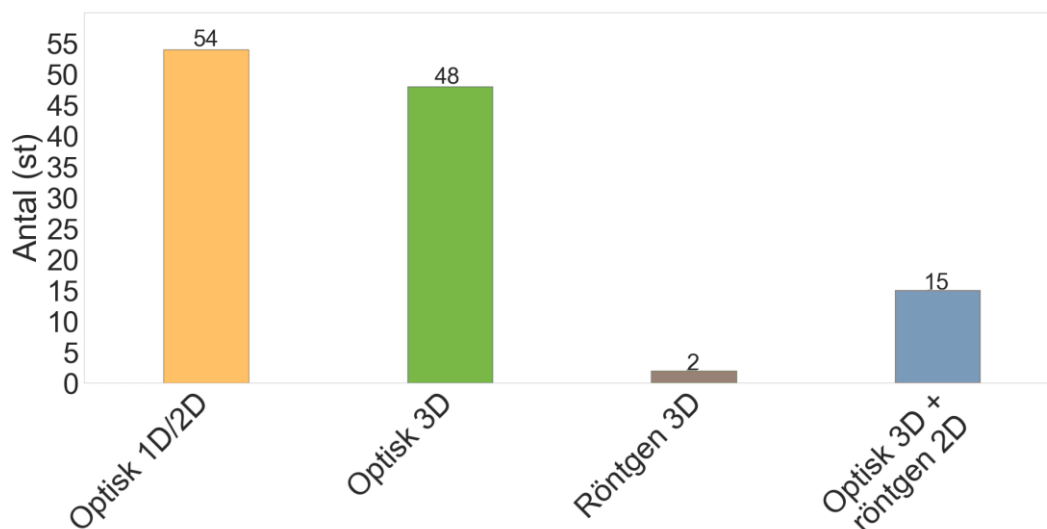


Figur 11. Boxdiagram över åldersfördelningen hos de olika mätramsmodellerna i förteckningen. De modeller som är angivna med cirklar saknar spridning, antingen för att det endast finns ett installerat exemplar, eller för att alla åldrar är lika. Det svarta strecket inuti boxen visar medianåldern hos

modellen. Boxen innesluter 25:e till 75:e percentilen av åldrarna. Felstaplarna visar lägsta och högsta åldern.

De äldsta mätarmarna var av modellerna Rema 900X och Elinova. De senaste fem åren har inga installationer gjorts av modellerna Prologic 3D-TrueShape, Rema 900X, Rema LogBark, Sawco Proscan eller Sawco Ruler-E. För både Rema och Sawco förklaras det att de inte längre finns som egna företag, och att det är RS-modellerna som erbjudits sedan sammangåendet. Två nya Elinova-mätarmar har installerats sedan 2018.

Fördelningen av olika mätprinciper visas i Figur 12:



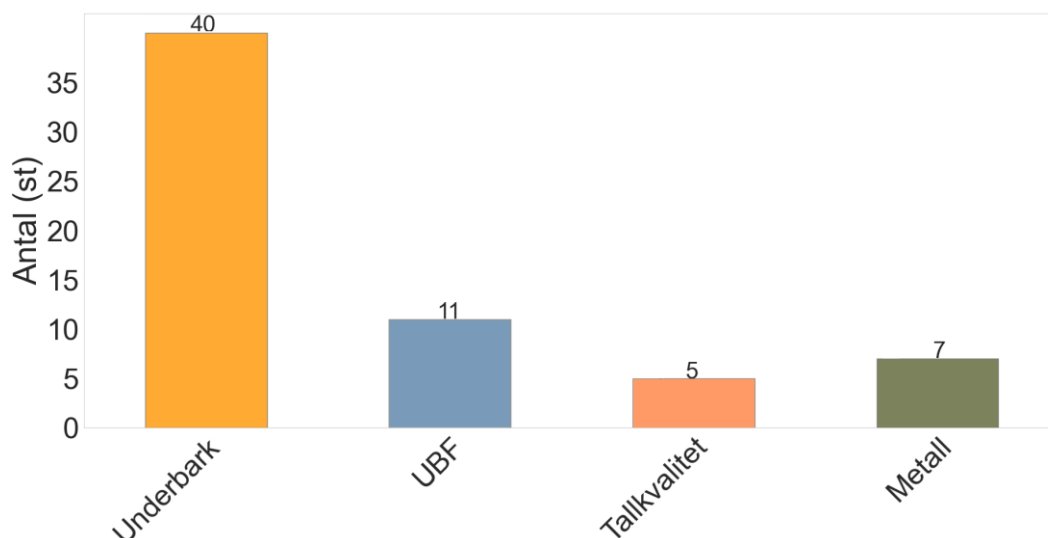
Figur 12. Antal mätarmar med olika mätprinciper som används för vederlagsmätning på svenska sågverk kring år 2020. Totalt antal mätarmar i underlaget var 124 stycken.

Drygt 44 procent av mätarmarna var optiska 1D/2D-ramar, 39 procent var 3D-ramar utan röntgen, 12 procent var kombinerad röntgen och optisk 3D och 2 procent var 3D-röntgenramar. En jämförelse med tidigare kartläggningar (Edlund 2009, Strömgren 2015) visas i Tabell 8. Den tydligaste utvecklingen är att allt fler mätarmar har röntgenkapacitet samt introduktionen av 3D-röntgenramar.

Tabell 8. Procentandel mätarmar av olika typer från denna och tidigare kartläggningar. Xray = röntgen.

%	Optisk 1D/2D	Optisk 3D	Optisk 3D+ Xray	3D Xray
År 2009	78	15	7	-
År 2015	47	47	6	-
År 2020	45	40	13	2

Förutom automatisk mätning av dimension har många mätarmar kapaciteten att mäta andra egenskaper för vederlag. Det bör dock betonas att det inte betyder att kapaciteten används, eller används hela tiden. Till exempel förekommer det att den automatiska underbarksmätningen stängs av i perioder då det är mycket is och snö på stockarna. Figur 13 visar att ungefär hälften av sågverken i undersökningen ständigt eller periodvis faktiskt använder automatisk mätning av olika egenskaper:



Figur 13. Antal sågverk i förteckningen som använde automatisk mätning under bark, utbytesförlust (UBF), semiautomatisk klassning av tall (tallkvalitet) och metallförekomst kring år 2020. Totalt antal mätningar var 124 stycken.

Av sågverken använde 32 procent automatisk underbarksmätning, 9 procent automatisk mätning av utbytesförlust, 4 procent semiautomatisk klassning av tall och 6 procent metalldetektion (med mätarm snarare än magnetpole). Om antalet sätts i relation till de 3D-mätarmodeller som är typgodkända för att mäta under bark respektive UBF så använder 83 procent sin kapacitet för underbarksmätning, men bara 21 procent använder sin kapacitet för automatisk krökmätning. 53 procent av röntgenmätarmarna användes för att mäta metall.

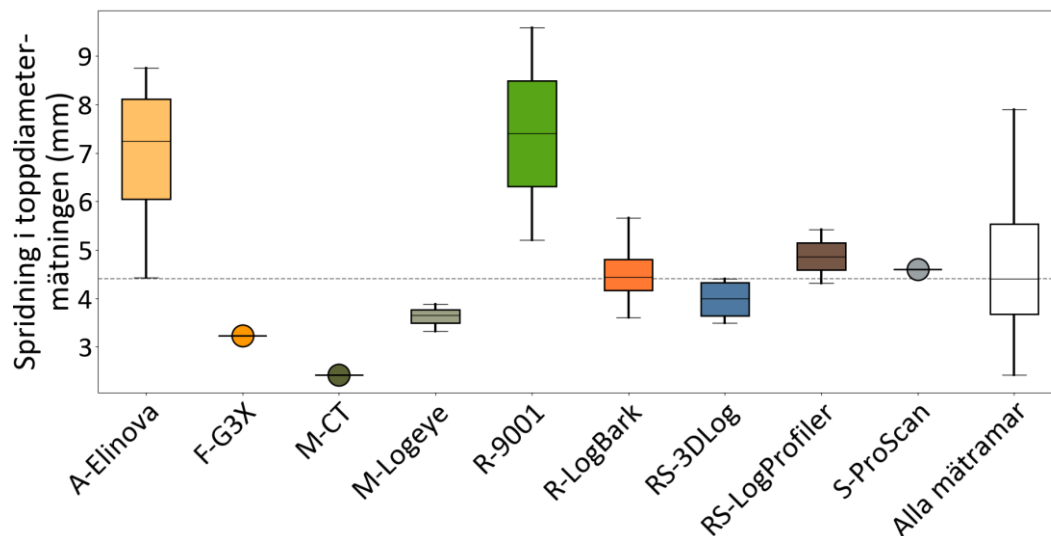
Resultat av utvärderingen baserad på kontrollstockar

I detta avsnitt används begreppet *spridningen i mätningen* som benämning på det mått som utvärderats. Analyser redovisas på modellnivå i de fall då detta antingen visat sig vara signifikant, eller då det bedömdes finnas ett värde i att påvisa frånvaron av skillnader och detta kunde göras utan alltför stor komplexitet.

Toppdiameter

Modell

I detta avsnitt avser toppdiameter alltid diametern under bark. Spridningen i mätningen av toppdiameter för de olika mätarmodellerna i studien över hela studieperioden visas i Figur 14:



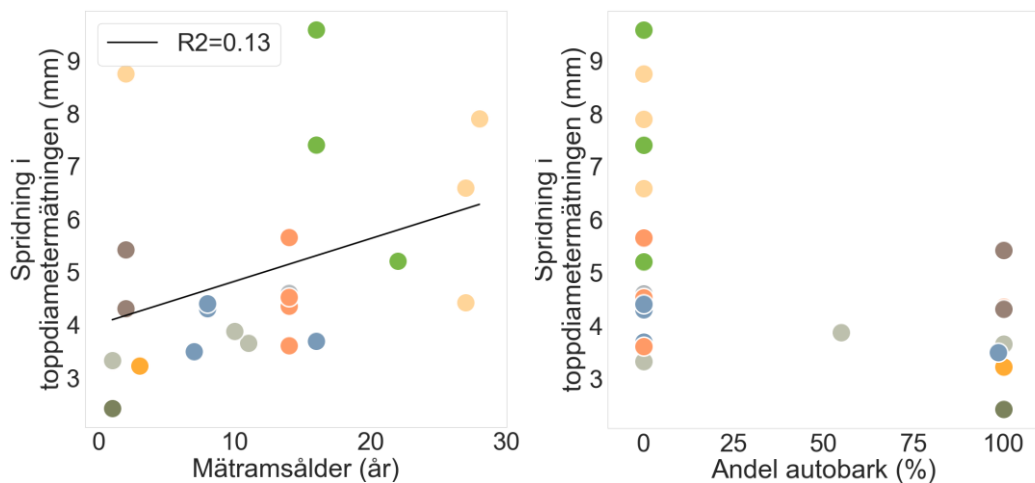
Figur 14. Boxdiagram över spridningen i skillnaden mellan ordinarie mätning och kontrollmätning av stockens toppdiameter (mm). De modeller som är angivna med cirklar saknar spridning då endast ett exemplar finns med i studien. Det svarta strecket inuti boxen visar medianspridningen hos modellen. Boxen innesluter 25:e till 75:e percentilen av spridningarna inom modellen. Felstaplarna visar lägsta och högsta spridningen inom modellen.

Medianvärdet för spridningen i toppdiametermätningen för alla mätningar i datamaterialet var 4,4 mm och medelvärdet var 5,0 mm. Det lägsta värdet för mätningarna i studien var 2,4 mm och det högsta 9,6 mm. De modeller vars spridning avvek signifikant (med mer än en standardavvikelse) från medelvärdet var de optiska 1D-mätningarna Rema 9001 och Andor Elinova samt 3D-röntgenmätningen Microtec CT-Log. Det bör noteras att det fanns en stor spridning inom de optiska 1D-mätningarna (Andor Elinova och Rema 9001), där de 1D-mätningar som hade minst spridning var i paritet med de optiska 3D-mätningarna. De två mätningar som hade minst spridning använde underbarksmätning med röntgen (Finnos G3X och Microtec CT-Log) till 100 procent under studieperioden. Även modellen RS-LogProfiler använder underbarksmätning med röntgen, men för de sågverk som hade modellen var funktionen för autobark ännu inte fullt drifttagen under studieperioden och därför var andelen autobarksanvändning lägre än 100 procent, enligt sågverksansvariga. Manuella barktryck kan alltså ha bidragit till den större observerade spridningen hos RS-LogProfiler.

Ålder och underbarksmätning

Spridningen i toppdiametermätningen för de mätningar i studien som hade röntgenkapacitet var i snitt mindre än för de utan. De var också ofta nyare än mätningar utan röntgen. Mätningens ålder skulle kunna korrelera med skicket på kerattbanan och annan teknisk utrustning, vilka kan påverka mätningen negativt genom skakningar och vibrationer. Bland mätningarna i studien fanns dock inget tydligt samband mellan ålder (installationsår) och spridningen i toppdiametermätningen (vänstra delen av Figur 15).

Däremot var nästan alla mätningar med stor spridning 1D-mätningar, som saknar möjlighet till automatisk underbarksmätning. Som visat är det dock möjligt att mäta med spridning kring mediannivån även med en 1D-mätning. Det är även möjligt att mäta med liten spridning utan automatisk barkmätning (högra delen av Figur 15).



Figur 15. Vänster: Medelvärde av spridning i mätningen av toppdiameter (mm) vs. mätramsålder (år). Höger: Medelvärde av spridningen i mätningen av toppdiameter (mm) vs. andel automatisk barkmätning (%) under studieperioden. Datapunkterna med samma färg är av samma mätramsmodell.

Ett gransågverk i studien använde nästan 50/50 procent automatisk barkmätning och manuell barkbedömning. För detta sågverk indikerar resultaten att den automatiska mätningen ger något mindre spridning i toppdiametermätningen än den manuella (Tabell 9).

Tabell 9. Genomsnittlig spridning i mätningen av toppdiameter för manuell respektive automatisk barkmätning från ett gransågverk i studien (mätramsmodell Microtec Logeye).

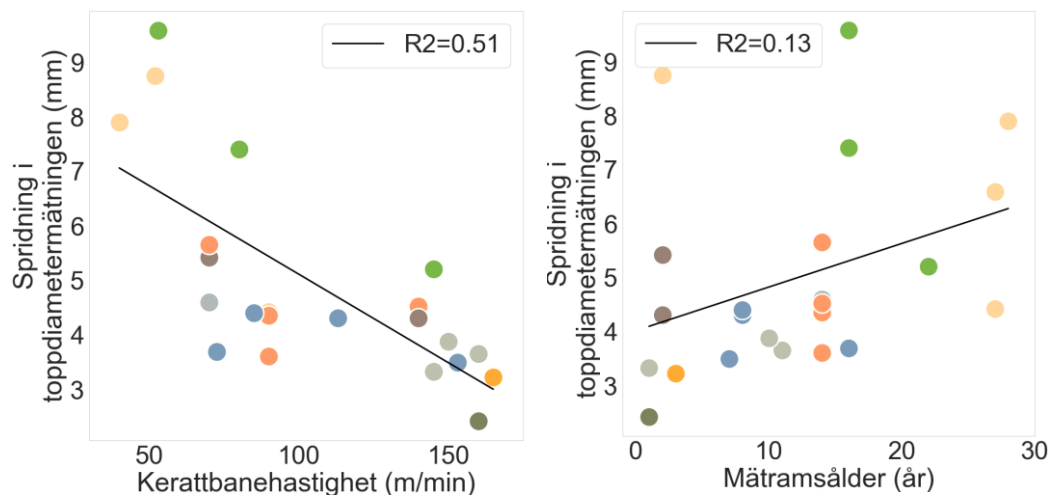
Barktyp	Antal stockar	Spridning (mm)
1, 2 (manuell)	758	3,9
4 (automatisk)	927	3,6

Vissa sågverk ställer om till manuell mätning när mätomständigheterna är svårare, till exempel vid förekomst av snö och is eller när timret är bevattnat. Det skulle kunna ge en skillnad i spridning som inte beror på mätram eller människa utan på virket. Det aktuella sågverket använde nästan enbart manuell barkbedömning från mitten av juli till mitten av december, och nästan enbart automatisk barkmätning från januari till nästkommande juli, med andra ord motsatt resonemanget ovan. Inverkan av säsong på resultatet bör därför vara relativt liten.

Kerattbanehastighet och mätramsmiljö

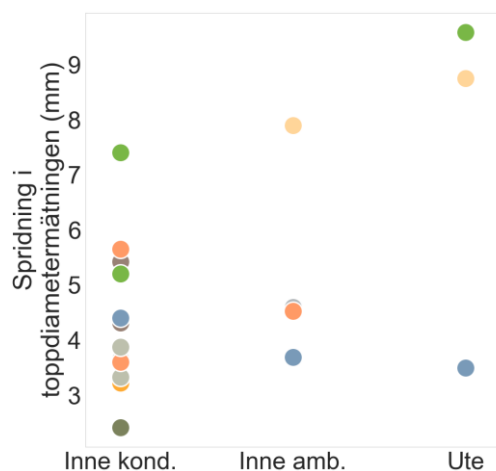
Varje sågverk har en högsta hastighet som kerattbanan får köras i, baserat på lokala utvärderingar av hur hastigheten påverkar mätningens noggrannhet (Monika Strömgren, Biometria, personlig kommunikation 2021d). En skakig kerattbana får därför inte köras med alltför hög hastighet. Å andra sidan skulle ett sågverk med stabil kerattbana kunna bedöma att det var värt att offra lite av mätningens noggrannhet för att köra snabbare produktion, så länge de fortfarande håller sig inom godkänd mätosäkerhet. Om den hypotesen stämde skulle högre kerattbanehastighet oftare vara förknippat med större spridning. I denna studie fanns dock ingen konflikt mellan hög kerattbanehastighet och liten spridning i mätningen av toppdiameter (vänstra delen av Figur 16). Snarare tycktes det vara vanligt att kombinera hög kerattbanehastighet och liten spridning. Flera av de

sågverk som hade högst kerattbanehastighet hade också nya mätramar (högra delen av Figur 16). Det kan tyda på att en investering i den mekaniska infrastrukturen gjordes i samband med mätramsbytet, som bidragit till den lilla spridningen.



Figur 16. Vänster: Medelvärde av spridning i mätningen av toppdiameter (mm) vs. medelkerattbanehastighet (m/min). Höger: Mätramsålder (år) vs. spridning i toppdiametermätningen). Mätramar av samma modell har samma färg.

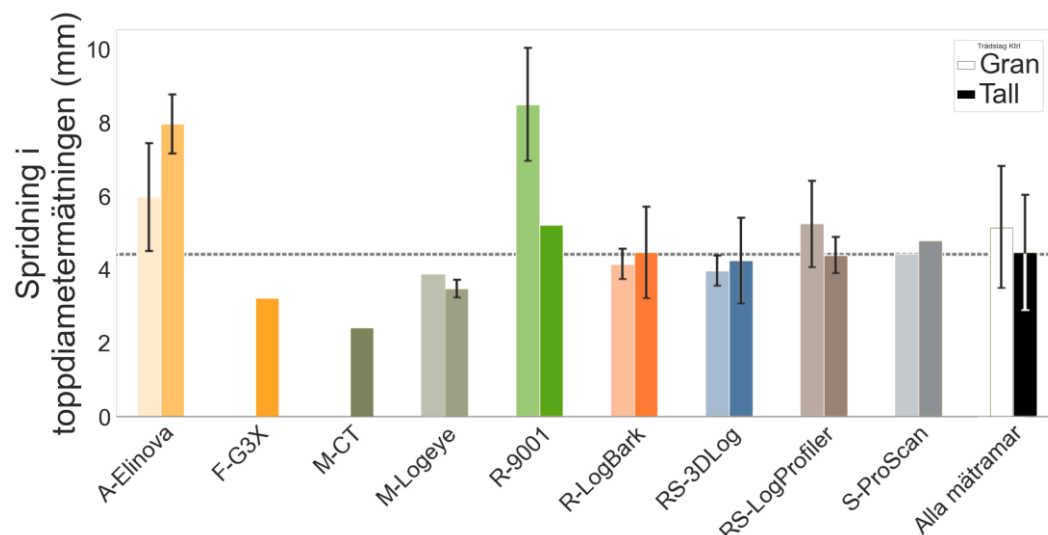
De flesta mätramar i studien är placerade i konditionerade rum. De tre mätramar i studien som hade högst spridning stod antingen utomhus eller i okonditionerade rum (ambient klimat), se Figur 17. Samtliga av dessa var även optiska 1D-mätramar. Det förekom mätramar som stod utomhus eller inomhus okonditionerat och hade relativt låg spridning. Det förekommer även att mätramar som står utomhus eller okonditionerat blir uppvärmda av värmefläktar på vintern. Sammantaget är det svårt att baserat på detta underlag dra generella slutsatser kring mätramsklimatets påverkan.



Figur 17. Medelvärde av spridning i mätningen av toppdiameter (mm) vs. mättramens klimat (inomhus konditionerat, inomhus ambient eller utomhus). Mätramar av samma modell har samma färg.

Modell vs. trädslag

Spridningen i toppdiamettermätningen visas uppdelat på trädslagen gran och tall i Figur 18:



Figur 18. Spridning i toppdiamettermätningen (mm) i relation till mätarmodell och trädslag.

Staplarna visar medelvärdet över studieperioden. Vänstra stapeln för respektive modell är gran och högra stapeln är tall. För modellerna F-G3X och M-CT mättes enbart tall. Felstaplarna är standardavvikelsen (1σ) inom samma modell i de fall då det finns flera exemplar. De horisontella strecken (överlappande varandra) är medianvärdet av alla modellernas medelvärden för respektive trädslag.

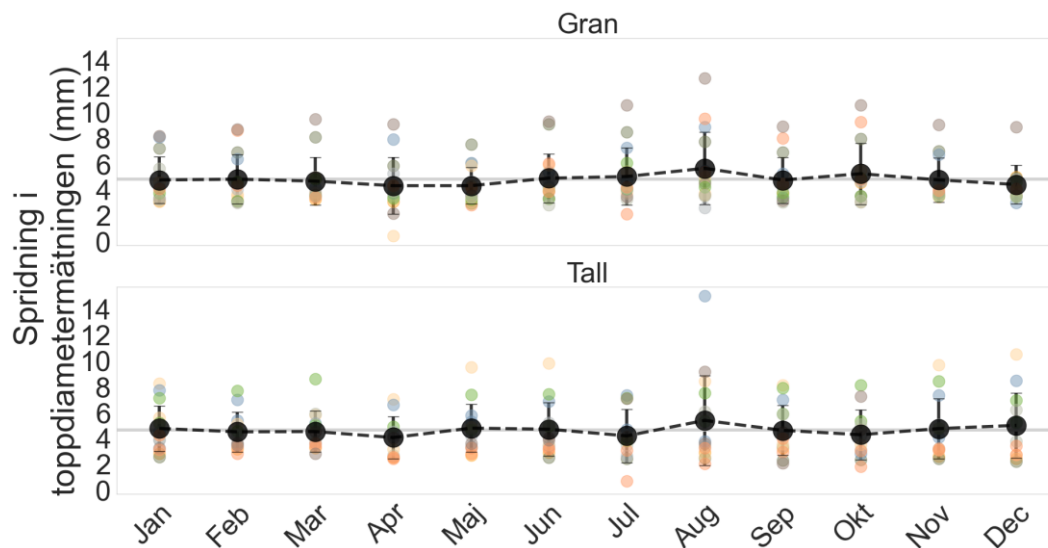
Det finns ingen signifikant skillnad i hur mätarmarna mätte gran och tall, sett till medel- och medianspridningen i toppdiamettermätningen, se även Tabell 10. För tall har Microtec CT-log en spridning signifikant under medelvärdet, medan Andor Elinova har spridning signifikant över. För gran ligger samtliga mätramar inom en standardavvikelse från medelvärdet. Det kan noteras att några av de mätramar i studien med störst spridning finns på sågverk som mäter gran, medan de mätramar med minst spridning står på sågverk som endast mäter tall. Att det har varit vanligare för tallsågverk att investera i mer avancerade mätramar grundar sig bland annat i en mer detaljerad sortering på grund av fler olika klasser och produkter.

Tabell 10. Statistik över spridning i mätningen av toppdiameter för gran respektive tall. Övre delen är baserad på värden som först grupperats på modellnivå (staplarna i Figur 18), vilket dämpar extremvärden, medan nedre delen är beräknat direkt på all data för gran respektive tall.

Beräknat på modellnivå (mm)	Minsta värde	Medelvärde	Medianvärde	Maxvärde	Stdev
Gran	3,9	5,2	4,4	8,5	1,7
Tall	2,4	4,5	4,4	8,0	1,6
Direkt beräkning (mm)	Minsta värde	Medelvärde	Medianvärde	Maxvärde	Stdev
Gran	3,6	5,1	4,4	9,6	1,4
Tall	2,4	4,8	4,7	8,7	1,6

Årstid

Spridningen (standardavvikelsen) i mätningen av toppdiameter, uppdelat per månad visas i Figur 19.



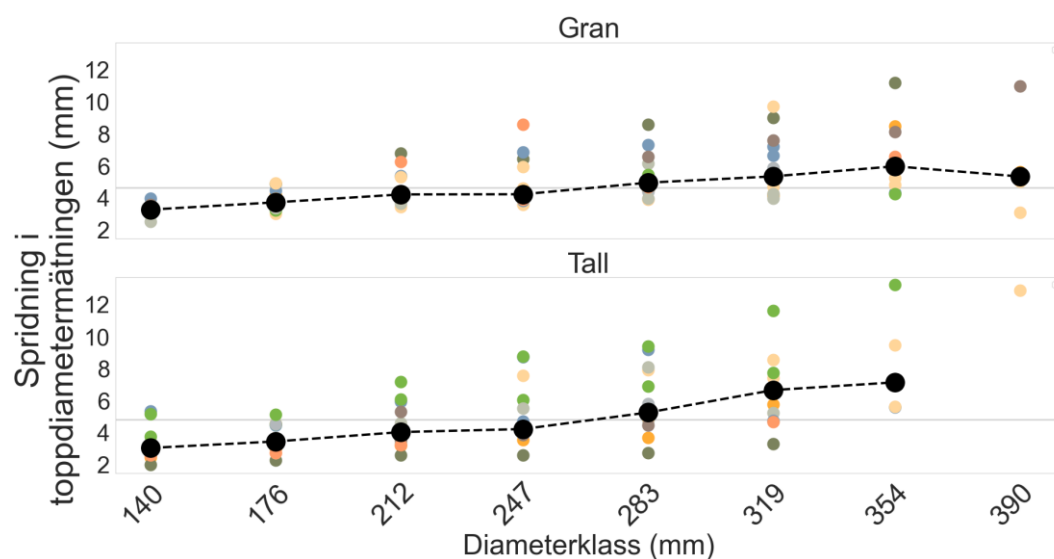
Figur 19. Spridning i toppdiametermätningen (mm) i relation till månad och trädslag. De svarta punkterna är spridningens medelvärde per månad, för alla sågverk och den grå linjen är medelvärdet för de svarta punkterna. Felstaplarna är 1 σ -standardavvikelsen för varje månad.

De deltagande sågverken är spridda från Småland i söder till Västerbotten i norr och det är därför väntat att variationen över årstid skiljer sig mellan olika sågverk. Sett till spridningens medelvärde per månad så var inverkan av årstiden inte signifikant. Som mest varierade medelspridningen för toppdiameter med 25 procent över året. För enskilda sågverk kan variationen i spridningen över året däremot vara betydande. Det sågverk med minst variation i spridningen över året hade ett spann mellan högsta och lägsta månad på 21 procent, medan motsvarande för sågverket med störst variation över året var 188 procent.

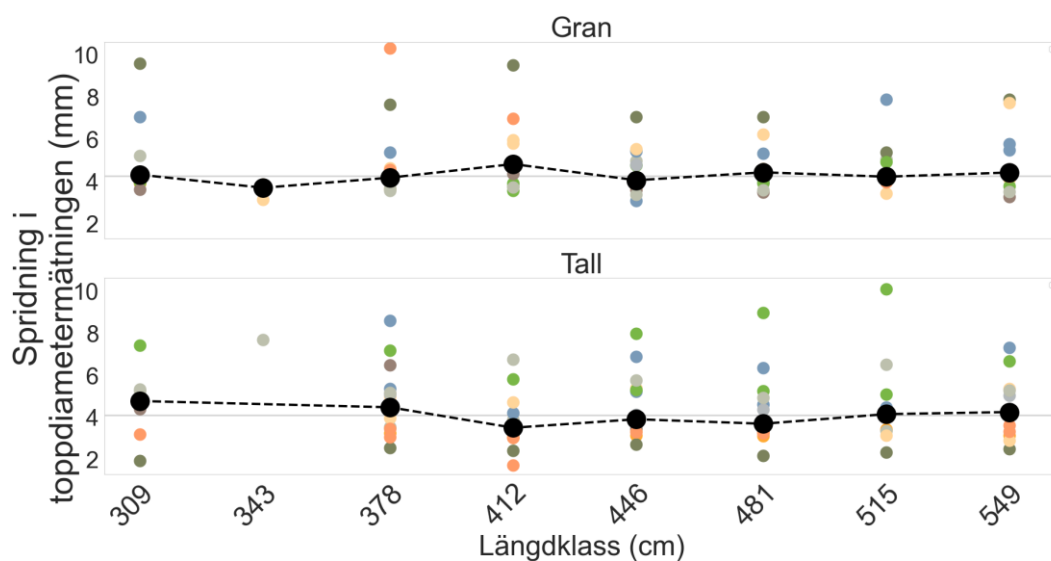
Här kan det noteras att den vinter 2019/2020 som finns med i datasetet för de flesta sågverk var ovanligt mild. Det skulle kunna minska inverkan av snö och is på mätningen. Det finns också erfarenheter av att årstiden påverkar mätningens medelavvikelse (systematiska avvikelse) i högre grad än mätningens spridning (Monika Strömgren, Biometria, personlig kommunikation 2021c).

Grovlek

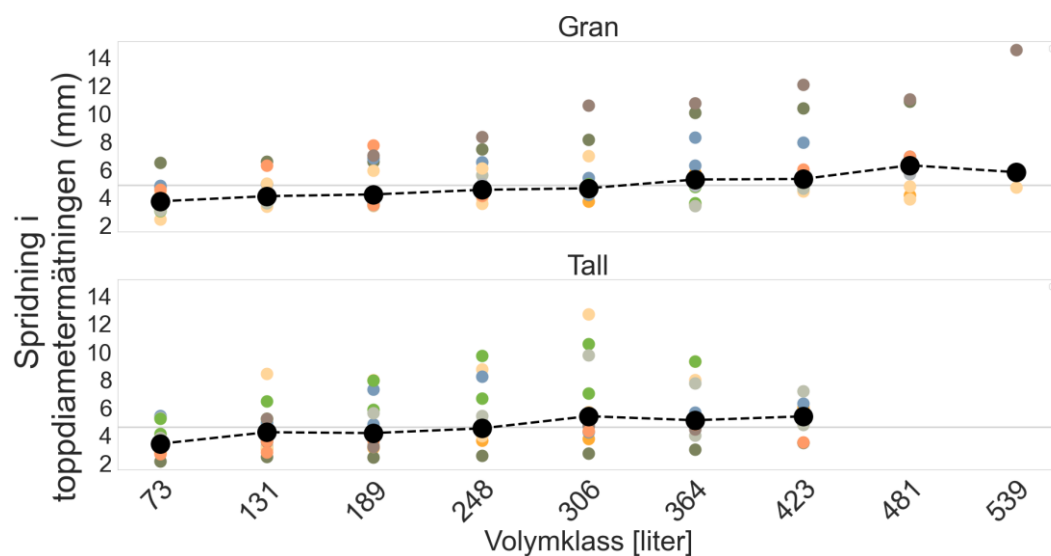
Spridningen i mätningen av toppdiameter beroende på diameterklass, längdklass och volymklass (m³to) visas i Figur 20 till Figur 22:



Figur 20. Spridning i toppdiamettermätning i relation till toppdiameterklass för gran och tall. De svarta punkterna är medianvärdet i klassen för sågverken i studien. De färgade punkterna representerar enskilda sågverk som har minst fem stockar i den aktuella klassen. De svarta punkterna är medianvärdet i de fall då minst två sågverk finns i en klass. Den horisontella linjen är medelvärdet av de svarta punkterna.



Figur 21. Spridning i toppdiamettermätning i relation till längdklass för gran och tall. De svarta punkterna är medianvärdet i klassen för sågverken i studien. De färgade punkterna representerar enskilda sågverk som har minst fem stockar i den aktuella klassen. De svarta punkterna är medianvärdet i de fall då minst två sågverk finns i en klass. Den horisontella linjen är medelvärdet av de svarta punkterna.



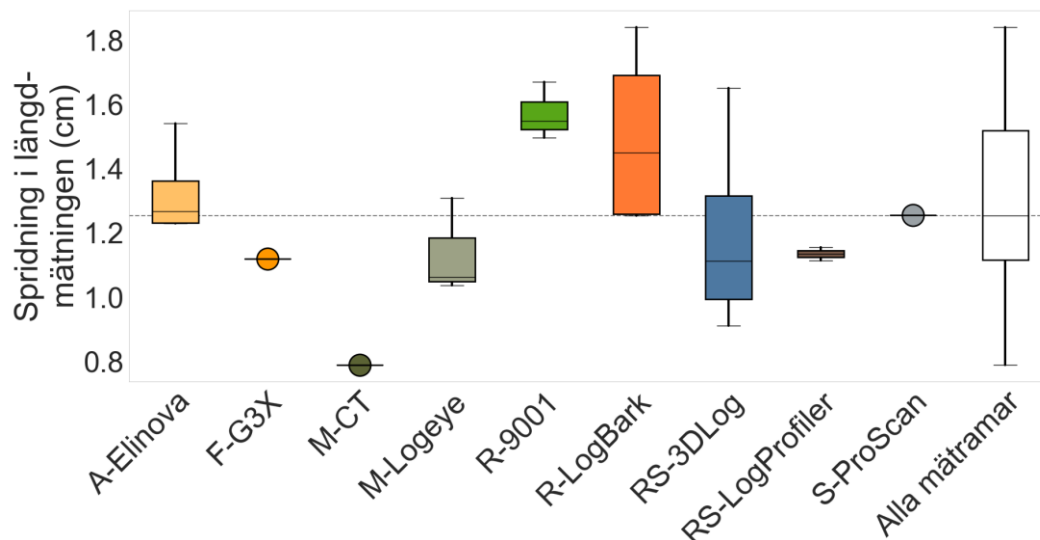
Figur 22. Spridning i toppdiamettermätning i relation till volymklass för gran och tall. De svarta punkterna är medianvärdet i klassen för sågverken i studien. De färgade punkterna representerar enskilda sågverk som har minst fem stockar i den aktuella klassen. De svarta punkterna är medianvärdet i de fall då minst två sågverk finns i en klass. Den horisontella linjen är medelvärde av de svarta punkterna.

Resultaten visade att spridningen i toppdiamettermätningen ökade med ökad diameter, men var oberoende av längd. Spridningen ökade med ökad volym.

Längd

Modell

Spridningen i mätningen av längd för de olika mätramsmodellerna i studien över hela studieperioden visas i Figur 23:



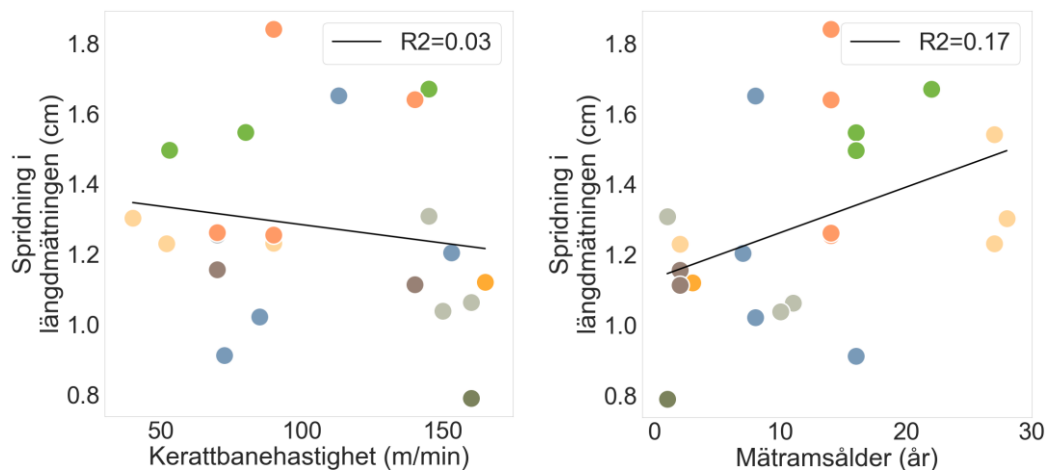
Figur 23. Boxdiagram över spridningen i skillnaden mellan ordinarie mätning och kontrollmätning av stockens längd (cm). De modeller som är angivna med cirklar saknar spridning då endast ett exemplar finns med i studien. Det svarta strecket inuti boxen visar medianspridningen hos modellen. Boxen innesluter 25:e till 75:e percentilen av spridningarna inom modellen. Felstaplarna visar lägsta och högsta spridningen inom modellen.

Medianvärdet på spridningen i längdmätningen var 1,3 cm, medelvärdet samma (1,3 cm), det lägsta värdet 0,8 cm och det högsta 1,8 cm. Det kan jämföras med en tidigare studie från Biometria där mätosäkerheten i längd var 1,5 cm, varav 0,1 cm kom från kontrollmätningen (Strömgren 2017). Spridningen kring medelvärdet var lägre för längdmätningen än för diametermätningen. Det är inte oväntat då de flesta mätramar använder den optomekaniska längdmättningsprincipen, som inte skiljer sig mycket mellan olika leverantörer. Därför kan en tydlig skillnad mellan modeller snarare förväntas vara kopplad till kerattbanans status eller till råvaran. Microtec CT-log hade dock en spridning i längdmätningen signifikant mindre än medelvärdet. Det är också den enda modell som mäter längd med en röntgenprincip, vilket enligt tillverkaren i princip eliminerar störningar från skuggor och damm (Francesco Fontanini, Microtec, personlig kommunikation 2021b).

Mätramsålder och kerattbanehastighet

Som enkätundersökningen visar (se nästa kapitel) är en vanlig erfarenhet att kerattbanans status påverkar spridningen i längdmätningen. Studiens resultat visar att nyare mätramar oftare har mindre spridning i längdmätningen och äldre mätramar oftare har större spridning, även om sambandet inte är linjärt (vänstra delen av Figur 24). Detta kan bero på att mätramsåldern inte säger något om när kerattbanan senast renoverades, till exempel genom kedjebyte. Att en mätram som är två år gammal kan ha större spridning i längdmätningen än en som är 27 år gammal visar dock på vikten av övriga faktorer, till exempel råvarans beskaffenhet samt underhålls- och kalibreringsrutiner.

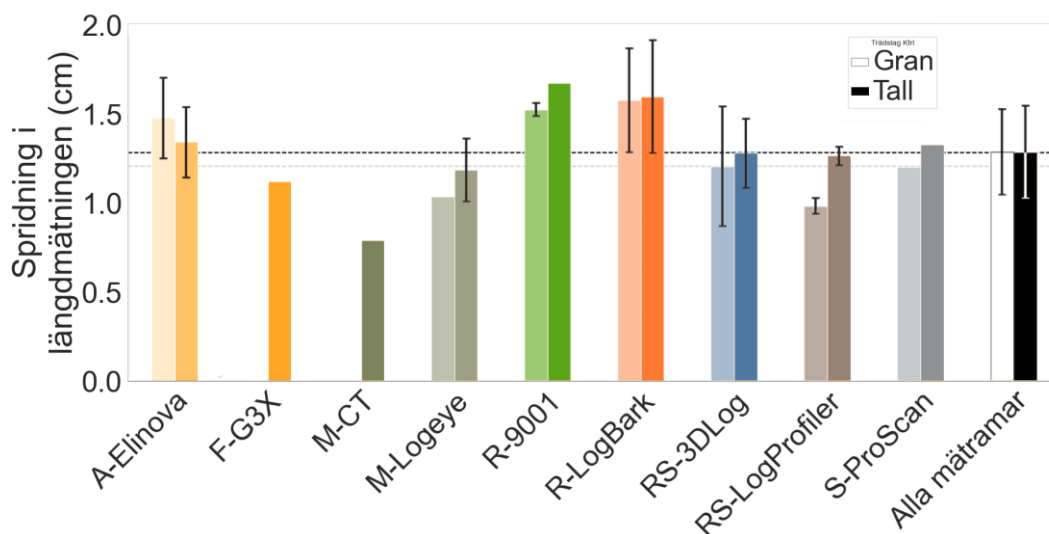
I medeltal är spridningen i längdmätningen inte beroende av kerattbanehastigheten (högra delen av Figur 24). Med andra ord går det att kombinera en hög kerattbanehastighet och en liten spridning. De mätramar som gör det är oftare nya modeller.



Figur 24. Vänster: Medelvärde av spridning i mätningen av längd (cm) vs. mätramsålder (år). Höger: Medelvärde av spridning i mätningen av längd (cm) vs. medelkerattbanehastighet (m/min). Mättrarar av samma modell har samma färg.

Modell vs. trädslag

Spridningen i längdmätningen visas uppdelat på trädslagen gran och tall i Figur 25:



Figur 25. Medelvärde av spridning i mätningen av längd för olika modeller och trädslag (cm). Vänstra stapeln för respektive modell är gran och högra stapeln är tall. För modellerna F-G3X och M-CT mättes enbart tall. Felstaplarna är standardavvikelsen (1σ) inom samma modell i de fall då det finns flera exemplar. De horisontella strecken är medianvärdet av alla modeller för gran respektive tall.

Inte heller för spridningen i längdmätningen fanns någon signifikant skillnad mellan gran och tall, sett till medel- och medianvärdena, se även *Tabell 11*. För gran uppvisar modellerna LogProfiler och Logeye en spridning signifikant under medelvärdet, medan LogBark och 9001 uppvisar spridning signifikant över medelvärdet. För tall uppvisar CT-Log en spridning signifikant under medel medan 9001 och LogBark uppvisar spridning signifikant över. Sammanfattningsvis är de modeller med spridning signifikant över

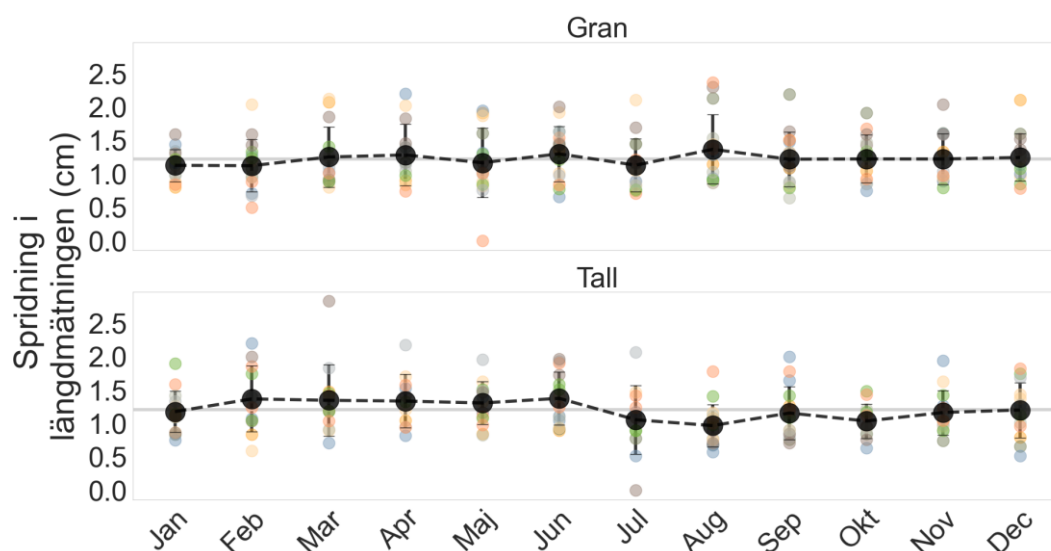
medelvärde äldre, och de med spridning signifikant under medelvärdet nyare, vilket kan korrelera med den mekaniska infrastrukturens skick.

Tabell 11. Statistik över spridning i längdmätningen för gran respektive tall. Övre delen är baserad på värden som först grupperats på modellnivå (staplarna i Figur 25), vilket dämpar extremvärden, medan nedre delen är beräknat på alla data för gran respektive tall.

Beräknat på modellnivå (cm)	Minsta värde	Medelvärde	Medianvärde	Maxvärde	Stdev
Gran	1,0	1,3	1,2	1,6	0,2
Tall	0,8	1,3	1,3	1,7	0,3
Direkt beräkning (cm)	Minsta värde	Medelvärde	Medianvärde	Maxvärde	Stdev
Gran	0,9	1,3	1,3	1,8	0,3
Tall	0,8	1,3	1,3	1,9	0,3

Årstid

Längdmätningens spridning per månad visas i Figur 26:

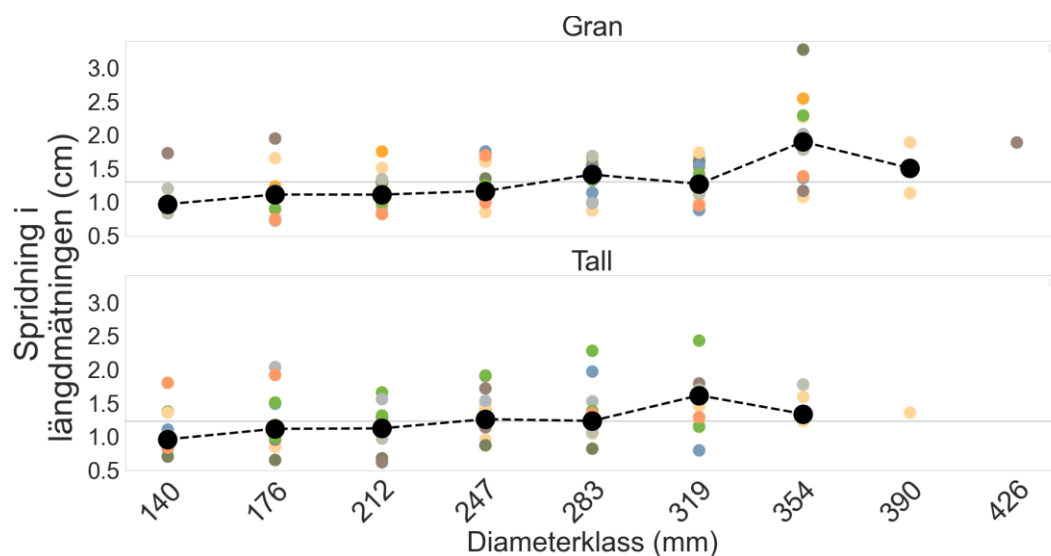


Figur 26. Spridning i längdmätningen (cm) i relation till månad och trädslag. De svarta punkterna är spridningens medelvärde per månad för alla sågverk och den grå linjen är medelvärdet för de svarta punkterna. Felstaplarna är 1 σ -standardavvikelsen för varje månad.

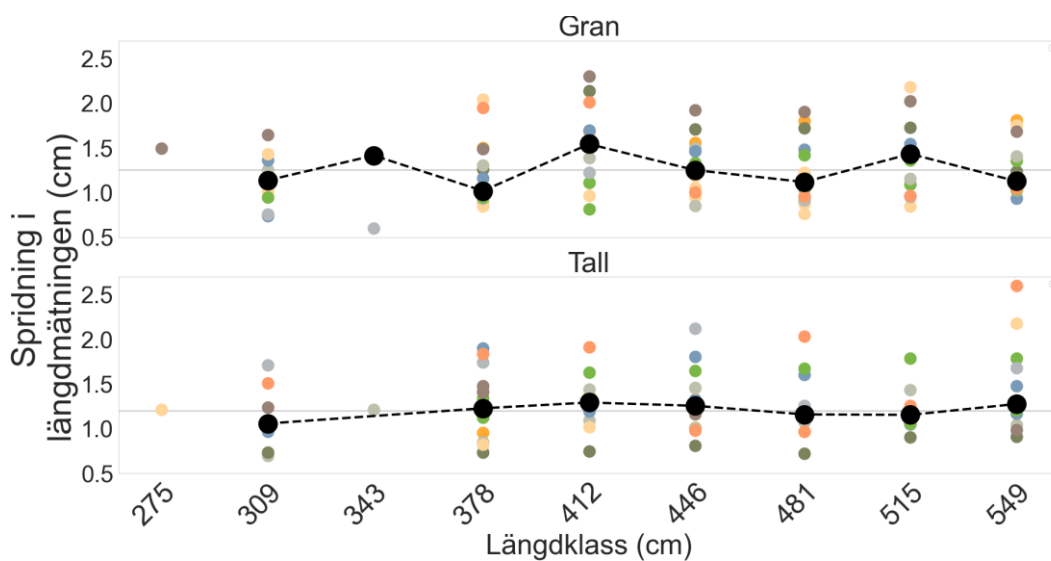
Generellt anses årstid ha liten påverkan på längdmätningen. Resultatet i denna studie visade heller ingen signifikant påverkan av årstid på spridningen i längdmätningen av gran. För tall finns en antydning till en större spridning under våren och en mindre under hösten, men den är inte signifikant skild från medelvärdet.

Grovlek

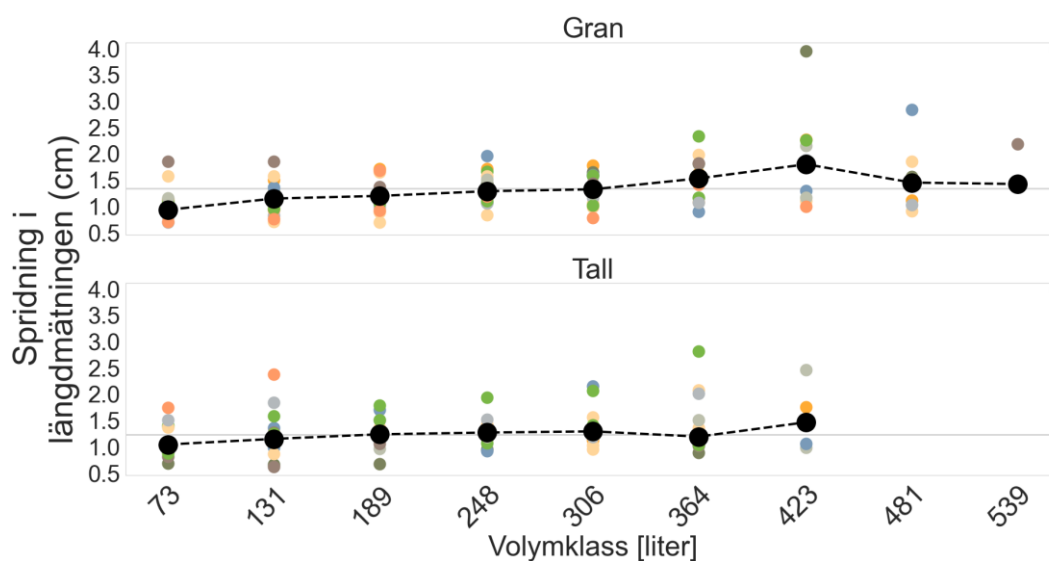
Spridningen i längdmätningen beroende på diameterklass, längdklass och m³to-volympklass visas i Figur 27 till Figur 29. Antalet stockar i varje klass finns i Tabell 16–Tabell 17 i Appendix.



Figur 27. Spridning i längdmätningen (cm) i relation till toppdiameterklass för gran och tall. De färgade punkterna representerar enskilda sågverk som har minst fem stockar i den aktuella klassen. De svarta punkterna är medianvärdet i de fall då minst två sågverk finns i en klass. Den horisontella linjen är medelvärde av de svarta punkterna.



Figur 28. Spridning i längdmätningen (cm) i relation till längdklass för gran och tall. De färgade punkterna representerar enskilda sågverk som har minst fem stockar i den aktuella klassen. De svarta punkterna är medianvärdet i de fall då minst två sågverk finns i en klass. Den horisontella linjen är medelvärde av de svarta punkterna.



Figur 29. Spridning i längdmätningen (cm) i relation till volymklass för gran och tall. De färgade punkterna representerar enskilda sågverk som har minst fem stockar i den aktuella klassen. De svarta punkterna är medianvärdet i de fall då minst två sågverk finns i en klass. Den horisontella linjen är medelvärde av de svarta punkterna.

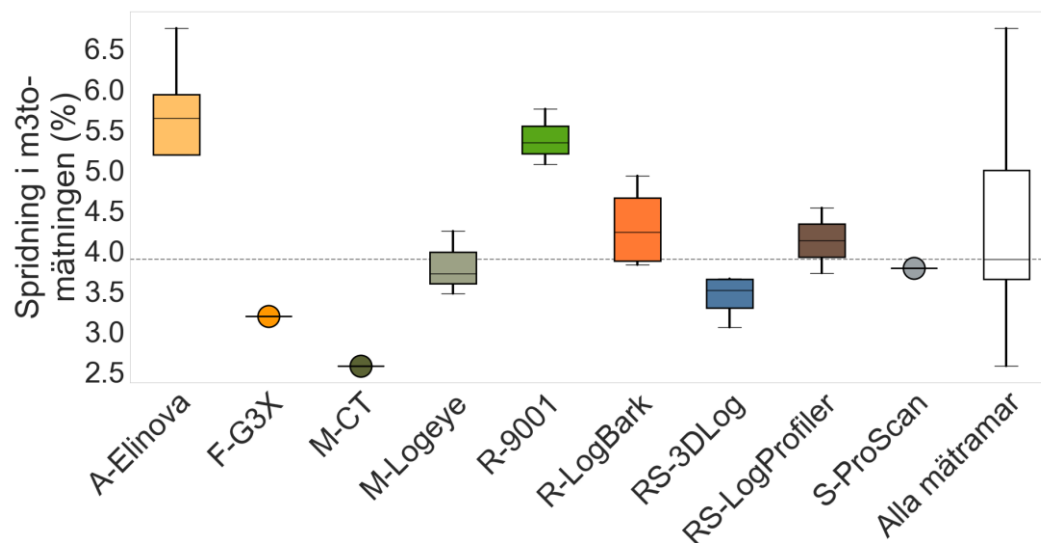
Spridningen i längdmätningen ökar något med ökad toppdiameter och toppcylindervolym men är inte nämnvärt beroende av stockens längd.

Bruttovolym

I detta och övriga avsnitt avses alltid bruttotoppcylindervolym (m^3_{to}) när volym nämns, och den angivna enheten på spridningen är procent (%). Som nämnt i metodavsnittet är denna brutto- m^3_{to} inte tagen direkt från kontrollstocksdata, utan beräknad baserad på toppdiameter och längden. Detta avsnitt innehåller något färre figurer än för längd och toppdiameter, eftersom volymen är en kombination av dessa.

Spridningen i volym för de olika mätramsmodellerna i studien över hela studieperioden visas i Figur 30:

Modell



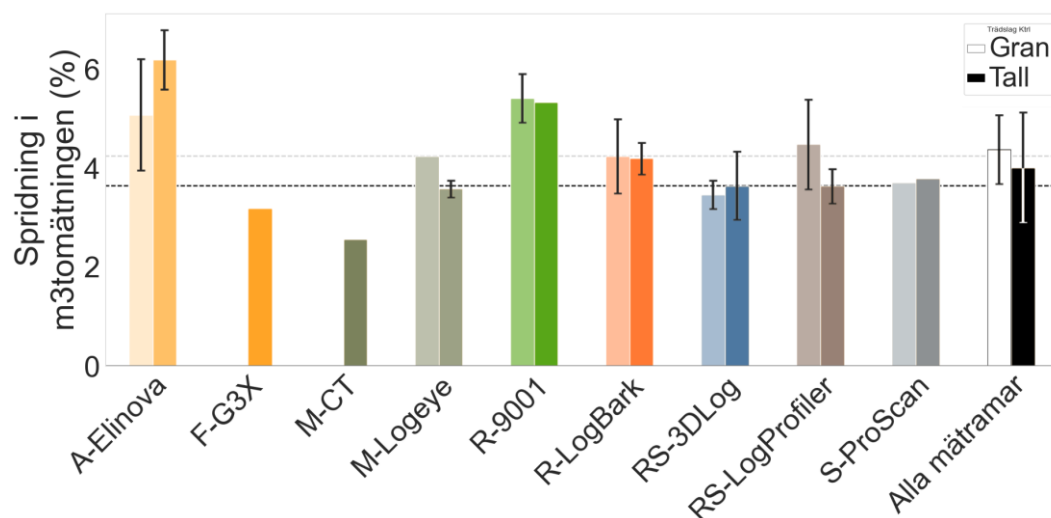
Figur 30. Boxdiagram över spridning i skillnaden mellan ordinär mätning och kontrollmätning av stockens m^3_{to} -volym (%) i relation till mätramsmodell. De modeller som är angivna med cirklar saknar spridning då endast ett exemplar finns med i studien. Det svarta strecket inuti boxen visar medianspridningen hos modellen. Boxen innesluter 25:e till 75:e percentilen av spridningarna inom modellen. Felstaplarna visar lägsta och högsta spridningen inom modellen.

Medianvärdet för de olika modellernas spridning i m^3_{to} -volym var 3,9 procent och medelvärdet 4,3 procent. Det högsta värdet för en mätram i studien var 6,8 procent och det lägsta 2,6 procent. Microtec CT-log har en spridning signifikant under medelvärdet och Andor Elinova en spridning signifikant över.

Det vore förväntat att spridningen skulle bli något större om volymen i stället beräknades i m^3_{fub} , då roten anses svårare att mäta än toppen.

Modell och trädslag

Spridningen i m^3_{to} -mätningen visas uppdelat på trädslagen gran och tall i Figur 31:



Figur 31. Spridning i skillnaden mellan ordinarie mätning och kontrollmätning av stockens m³to-volym (%) i relation till mätramsmodell och trädslag. Vänstra stapeln för respektive modell är gran och högra stapeln är tall. För modellerna F-G3X och M-CT mättes enbart tall. Felstaplarna är standardavvikelsen (1σ) inom samma modell i de fall då det finns flera exemplar. Medianvärdet är medianen av staplarna för respektive trädslag. Det horisontella strecket är medianvärdet av alla modeller och båda trädslagen.

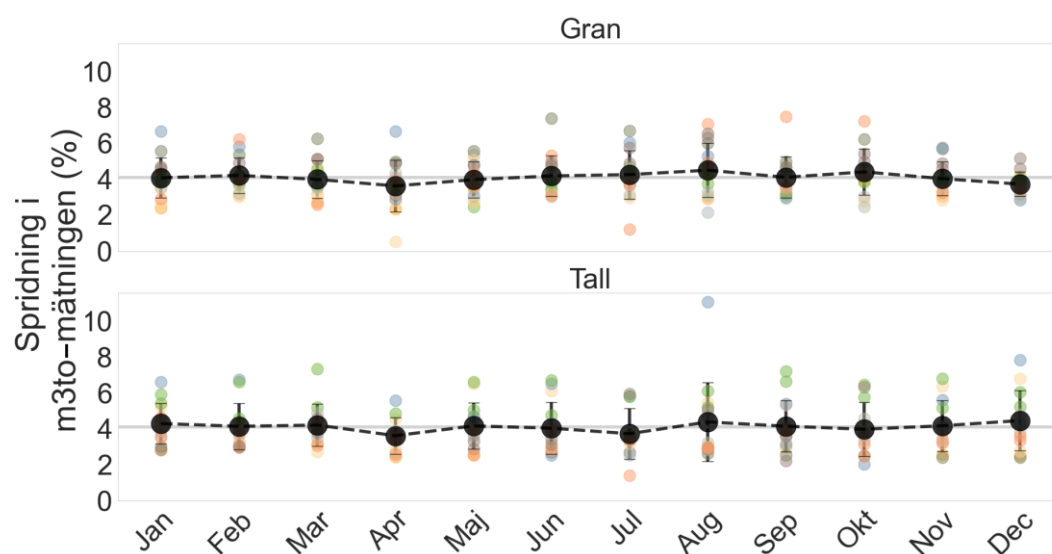
Skillnaden i spridningen mellan gran och tall var inte signifikant (större än 1σ) för någon mätramsmodell, se även *Tabell 12*. Spannet i spridningen var högre för tall än för gran, vilket hänger samman med att de mätramar med minst spridning enbart står på sågverk som sågar tall, medan mätramar med stor spridning finns hos både gran- och tallsågverk.

Tabell 12. Statistik över spridningen i m³to-mätningen för gran respektive tall. Övre delen är baserad på värden som först grupperats på modellnivå (staplarna i Figur 25), vilket dämpar extremvärden, medan nedre delen är beräknad direkt på all data för gran respektive tall.

Beräknat på modellnivå [%]	Minsta värde	Medelvärde	Medianvärde	Maxvärde	Stdev
Gran	3,5	4,4	4,2	5,4	0,7
Tall	2,6	4,0	3,7	6,2	1,1
Direkt beräkning [%]	Minsta värde	Medelvärde	Medianvärde	Maxvärde	Stdev
Gran	3,0	5,2	5,1	7,9	1,4
Tall	2,6	5,2	5,6	7,8	1,6

Årstid

Volymmätningens spridning per månad visas i Figur 32:

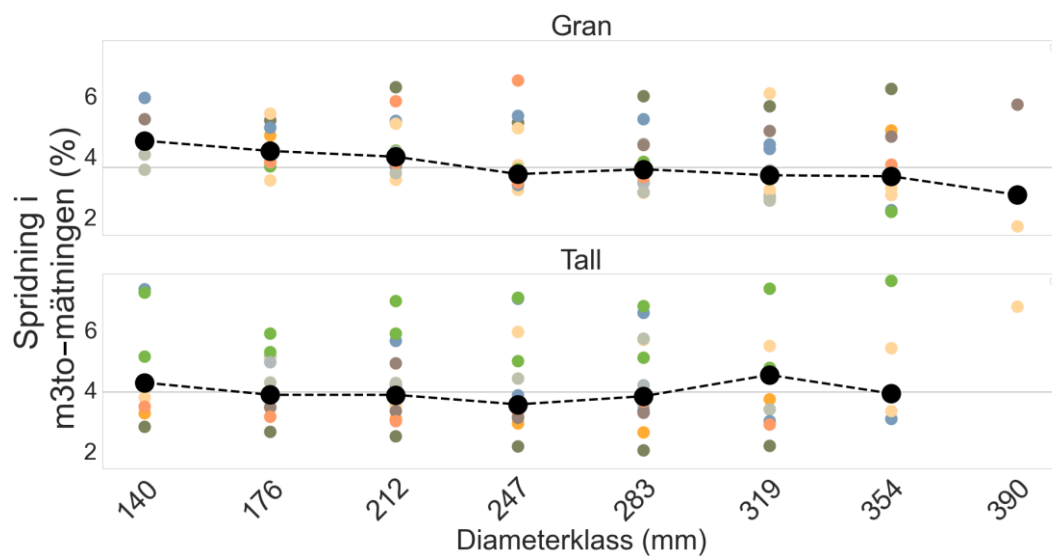


Figur 32. Spridning i skillnaden mellan ordinarie mätning och kontrollmätning av stockens m³to-volym (%) i relation till månad och trädslag. De svarta punkterna är spridningens medelvärde per månad för alla sågverk och den grå linjen är medelvärdet för de svarta punkterna. Felstaplarna är 1σ-standardavvikelsen för varje månad.

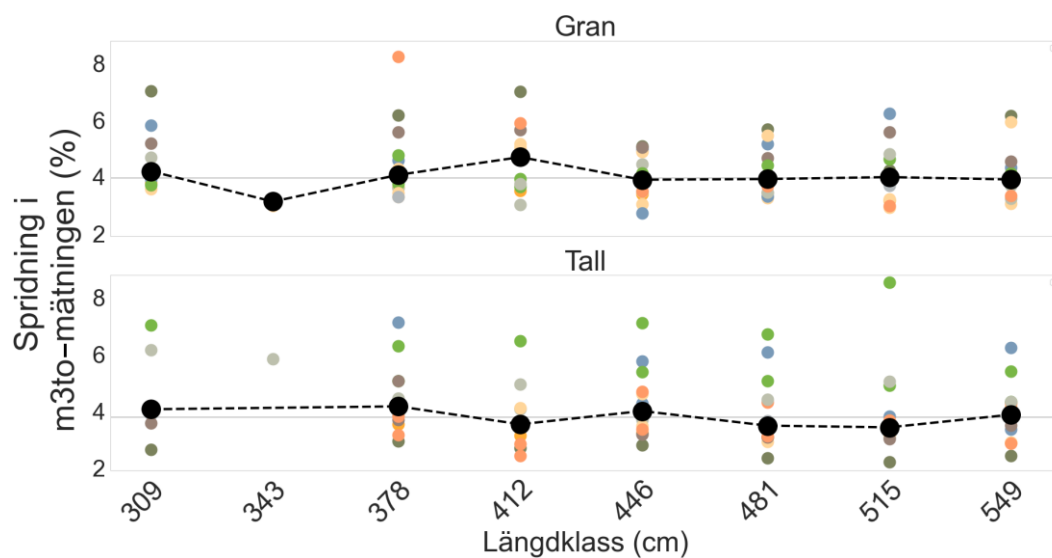
Det fanns ingen signifikant inverkan av årstid på den procentuella spridningen i m³to-mätningen. Även här är det värt att notera att vintern 2019/2020 var ovanligt mild.

Grovlek

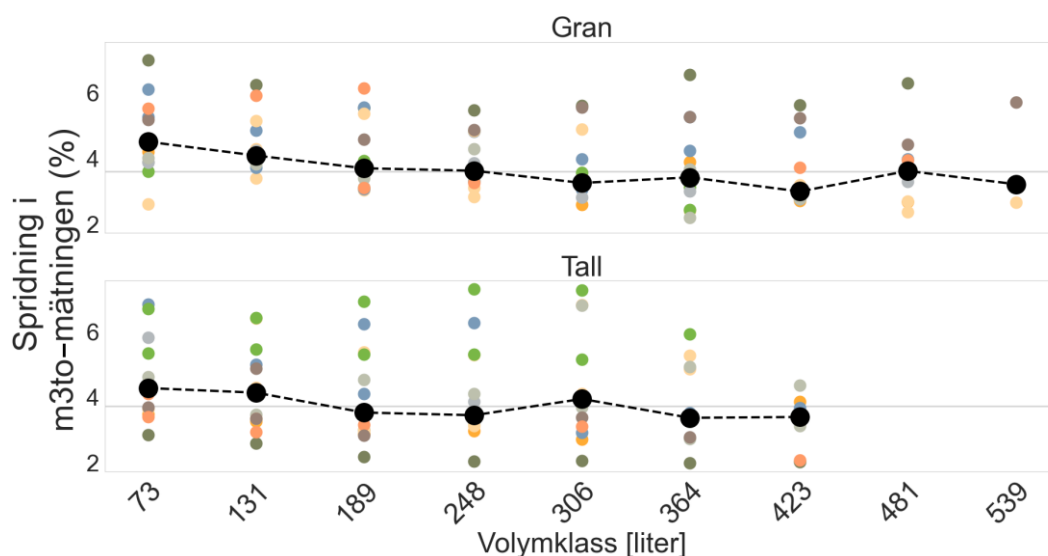
Spridningen i mätningen av m³to-volym beroende på diameterklass, längdklass och volymklass visas i Figur 33 till Figur 35. Antalet stockar i varje klass finns i *Tabell 16–Tabell 17* i Appendix.



Figur 33. Spridning i mätningen av m³to-volym (%) i relation till toppdiameterklass och trädslag. De färgade punkterna representerar enskilda sågverk som har minst fem stockar i den aktuella klassen. De svarta punkterna är medianvärdet i de fall då minst två sågverk finns i en klass. Den horisontella linjen är medelvärdet av de svarta punkterna. Notera att y-axelns enhet är procent.



Figur 34. Spridning i mätningen av m³to-volym (%) i relation till längdklass och trädslag. De färgade punkterna representerar enskilda sågverk som har minst fem stockar i den aktuella klassen. De svarta punkterna är medianvärdet i de fall då minst två sågverk finns i en klass. Den horisontella linjen är medelvärdet av de svarta punkterna. Notera att y-axelns enhet är procent.



Figur 35. Spridning i mätningen av m^3 -volym (%) i relation till volymklass och trädslag. De färgade punkterna representerar enskilda sågverk som har minst fem stockar i den aktuella klassen. De svarta punkterna är medianvärdet i de fall då minst två sågverk finns i en klass. Den horisontella linjen är medelvärde av de svarta punkterna. Notera att y-axelns enhet är procent.

Framför allt för gran finns tendens att spridningen i m^3 -mätningen minskar med ökande diameter, längd och volym. För tallen är mätningen relativt konstant för olika grovlekar, sett till samtliga sågverk. Detta kan bero på att grövre tallar tenderar att ha andra kvalitetsfel, som i sin tur drar upp spridningen trots att stockarna ligger mera still. Här bör det betänkas att medan spridningen i mätningen av längd och toppdiameter redovisats som absoluta tal (mm och cm), redovisas spridningen i m^3 -volymen här som procentuell andel. Orsaken är att mätningen av volym vanligen utvärderas just som procentandel. Om figurerna ovan i stället beräknas med absoluta tal (liter) ökar spridningen med ökad diameter och volym. Skillnaden förklaras av att ju större talet hos täljaren i beräkningen av procentandel är (i detta fall den kontrollmätta volymen, se avsnittet om beräkningar), desto mindre blir det procentuella värdet.

Kvalitetsparametrar

Kontrollstocksdata saknar kontrollmätning av utbytesförlust (UBF) och metalldetektion, och mätningen av dessa egenskaper har därför inte utvärderats. Tre mätrammar i studien användes för semiautomatisk klassning av tall. För dessa jämfördes träffprocenten i kvalitetsklassningen med de sågverk som sågade tall men hade manuell klassning.

Tabell 13. Slumpjusterad träffprocent för tallstockar hos sågverk som använder semiautomatisk klassning av tall vs. de som inte gör det. För klass 4 har endast stockar med nedklassningsorsak 2 (krök) använts, då övriga orsaker inte mäts automatiskt.

Slumpjusterad träffprocent per klass (%)	Semiautomatisk	Manuell
Klass 1	51,6	38,9
Klass 2	67,7	65,2
Klass 3	50,1	42,3
Klass 4	49,6	42,3
Total slumpjusterad träffprocent (%)	55,4	46,2

Resultatet visar att för sågverken i studien presterar den semiautomatiska klassningen bättre än den manuella i alla fyra klasserna. Bland de tre modeller i studien som använts för semiautomatisk klassning av tall är resultaten relativt lika (*Tabell 14*). Den modell som använder sig av 3D-röntgen (Microtec CT-Log) hade något högre slumpjusterad träffprocent än de övriga i klass 1, 2 och 4, medan Finnos G3X hade något högre i klass 3.

Tabell 14. Slumpjusterad träffprocent för tallstockar hos tre olika mätramsmodeller som använts för semiautomatisk klassning av tall. För klass 4 har endast stockar med nedklassningsorsak 2 (krök) använts, då övriga orsaker inte mäts automatiskt.

Slumpjusterad träffprocent per klass (%)	M-CT	F-G3X	M-LE
Klass 1	55,0	52,0	47,8
Klass 2	70,0	67,0	64,2
Klass 3	51,7	52,9	42,0
Klass 4	42,4	41,6	28,2
Total slumpjusterad träffprocent (%)	56,0	55,6	47,2

Här kan det noteras att automatisk klassning av utbytesförlust (UBF, krök) ingår som ett moment i den semiautomatiska klassningen av tall, följt av en mätning av stockens inre struktur. En hög träffprocent kräver därmed att mätramen även håller en viss nivå på mätningen av UBF.

Jämförelse med spridningen i skördarmätningen

Spridningen i mätningen av längd och toppdiameter hos de mätramar som studerats här jämfördes med motsvarande för sammanlagt 31 kvalitetssäkrade skördare, uppdelat på trädslagen gran respektive tall. Datamaterialet speglar en årsmängd och kan anses representativt för kvalitetssäkrade skördare, även om det ligger en begränsning i datamaterialets storlek. Urvalet gjordes inte med avsikten att välja ut ett antal bättre eller sämre presterande skördare. Resultaten visar att kvalitetssäkrade skördare i stort har en spridning i mätningen på samma nivå som, och i vissa fall väsentligt lägre än, huvuddelen av de mätramar som finns på svenska sågverk.

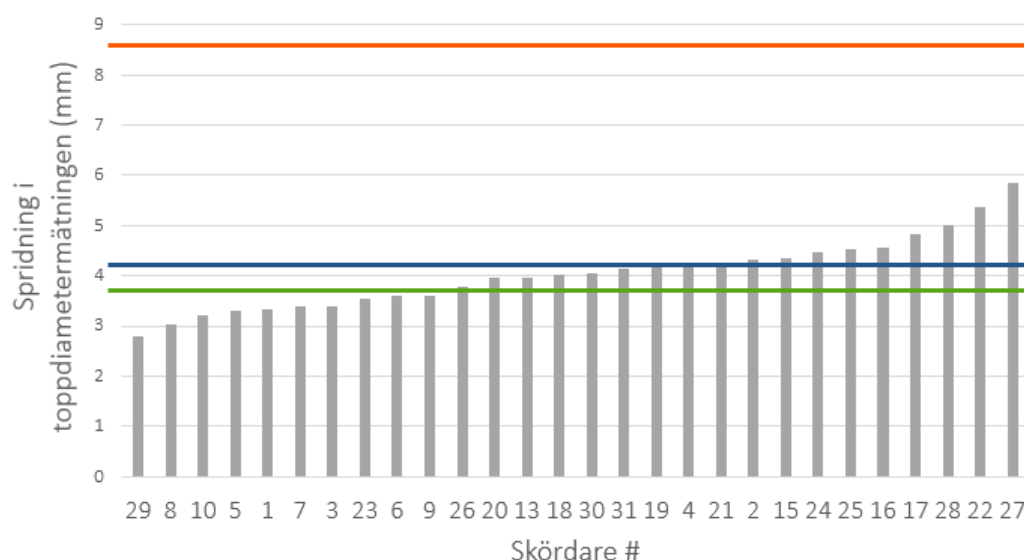
Toppdiameter

Jämförelsen mellan skördare och mätram gjordes baserat på mätningar av toppdiameter hos stockar av gran och tall. Då kvalitetssäkringen av skördarens diametermätning görs för diametermättet på bark och mätramarna följs upp på måttet under bark skattades skördarens spridning för diametermättet under bark genom att lägga till osäkerheten hos den använda barkfunktionen utifrån resultat från tidigare studier. Jämförelsen gjordes

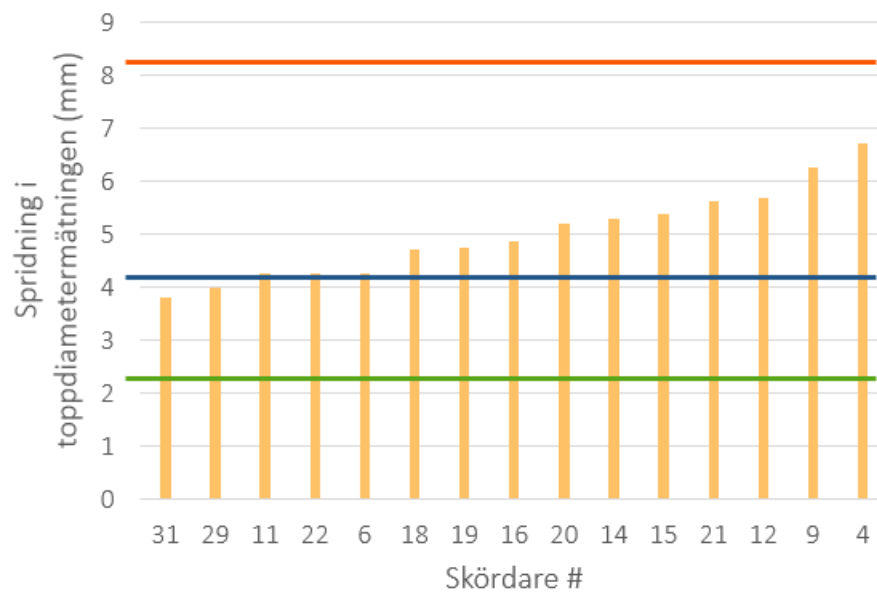
både för alla kontrollmätta stockar från skördarna (Figur 36 och Figur 37) samt för stockar i timmerdimension, här definierat som 13 cm eller grövre i topp (Figur 38 och Figur 39).

Resultaten indikerar att skördarens mätning av toppdiameter på granstockar har en spridning väl i nivå med sågverkens mätramar. För gran hade en tredjedel av skördarna i materialet en mindre spridning i mätningen av toppdiameter än den mätram som hade minst spridning. De mätramar som uppvisade störst spridning hade en spridning i mätningen av toppdiameter som vida översteg vad som skulle godkännas inom ramarna för kvalitetssäkring av skördarens mätning. Noteras bör dock att de allra mest tekniskt avancerade mätramarna i studien används i sågverk som endast sågar tall, då de traditionellt haft större behov av sortering baserat på inre egenskaper.

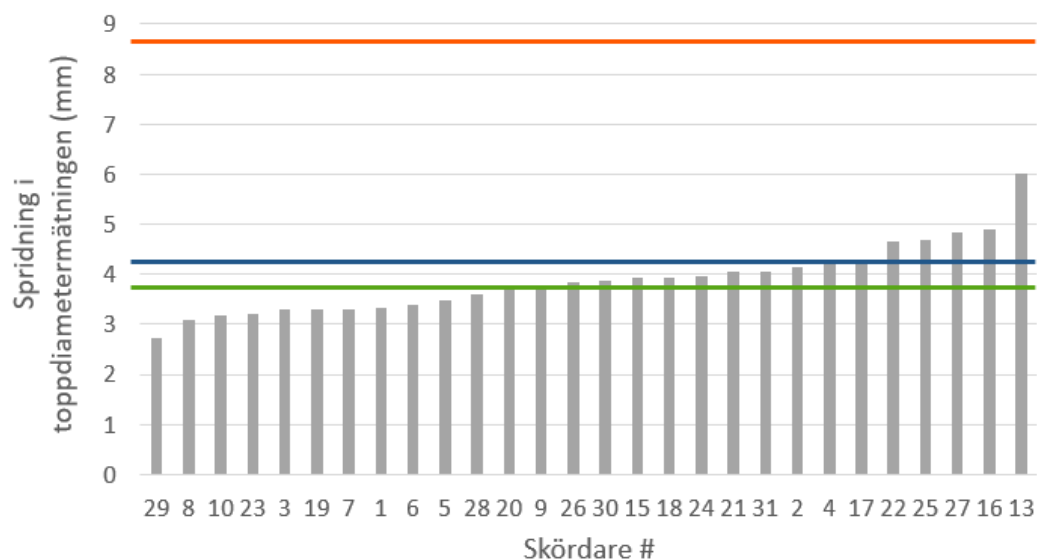
Även för tall hade en tredjedel av skördarna en spridning i toppdiametermätningen i nivå med eller bättre än medianen för mätramarna när alla stockar jämfördes. För timmerdimensioner (13 cm eller grövre i topp) föll samtliga skördare med minst spridning bort på grund av för få stockar i timmerdimensioner och knappt hälften av skördarna hade då en spridning ungefär i nivå med medianvärdet för mätramarna.



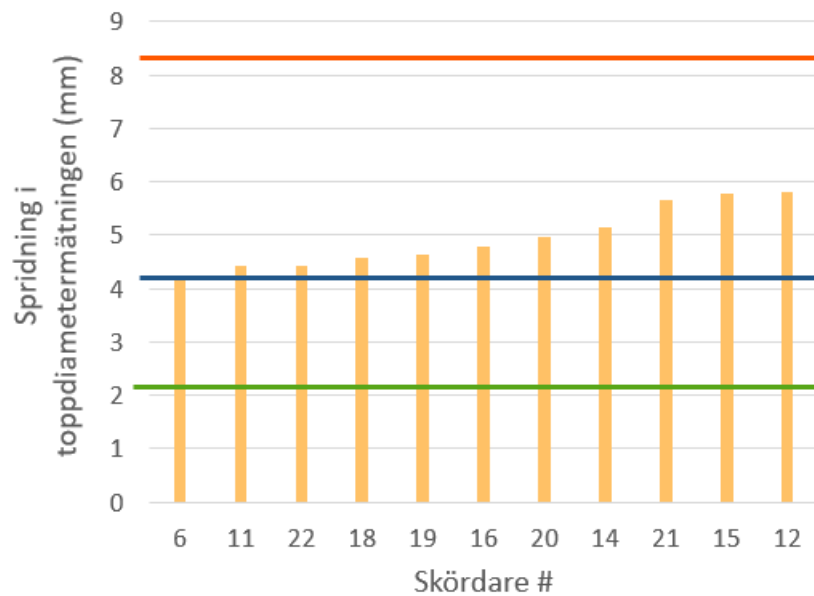
Figur 36. Spridning (1σ , mm) i avvikelsen mellan skördarens mätning av toppdiameter på stockar av gran, justerat till underbarksmått, och en manuell kontroll. Den blå linjen motsvarar medianvärdet för motsvarande spridning för gran hos de mätramar som studerats, den röda linjen motsvarar den största spridningen för gran i mätramsmaterialet och den gröna linjen motsvarar den minsta spridningen i mätramsmaterialet för gran. Notera att den mätram i studien som uppvisade minst spridning i toppdiametermätningen (2,4 mm) inte mätte på gran.



Figur 37. Spridning (1σ , mm) i avvikelserna mellan skördarens mätning av toppdiameter på stockar av tall, justerat till underbarksmått, och en manuell kontroll. Den blå linjen motsvarar medianvärdet för motsvarande spridning hos mätarna i studien som mätte tall, den röda linjen motsvarar den största spridningen i mätarmaterialet för tall och den gröna linjen motsvarar den minsta spridningen i mätarmaterialet för tall.



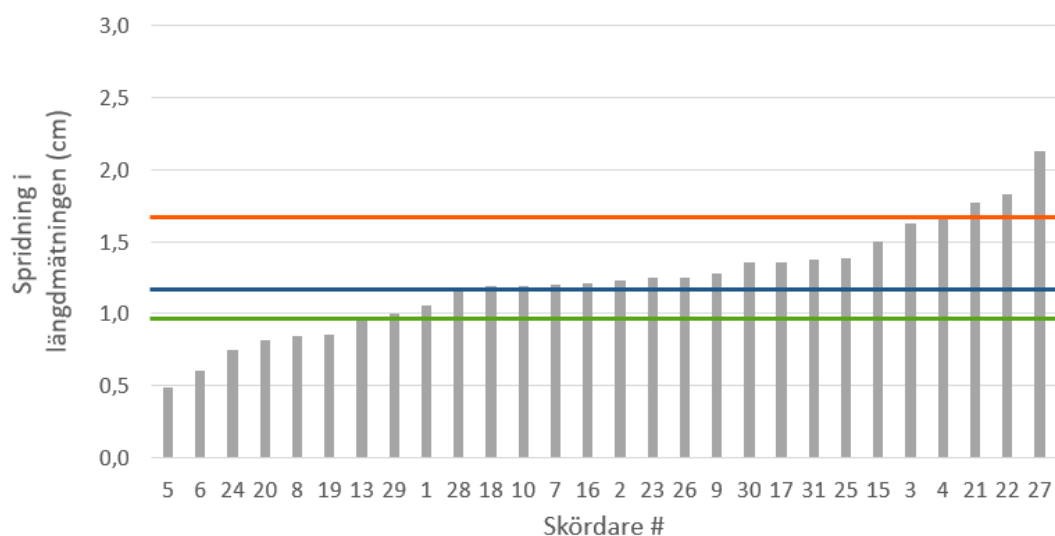
Figur 38. Spridning (1σ , mm) i avvikelserna mellan skördarens mätning av toppdiameter på stockar av gran som är minst 13 cm i topp, justerat till underbarksmått, och en manuell kontroll. Den blå linjen motsvarar medianvärdet för motsvarande spridning för gran hos de mätarna som studerats, den röda linjen motsvarar den största spridningen för gran i mätarmaterialet och den gröna linjen motsvarar den minsta spridningen i mätarmaterialet för gran. Notera att den mätarmaterial i studien som uppvisade minst spridning i toppdiamettermätningen (2,4 mm) inte mätte på gran.



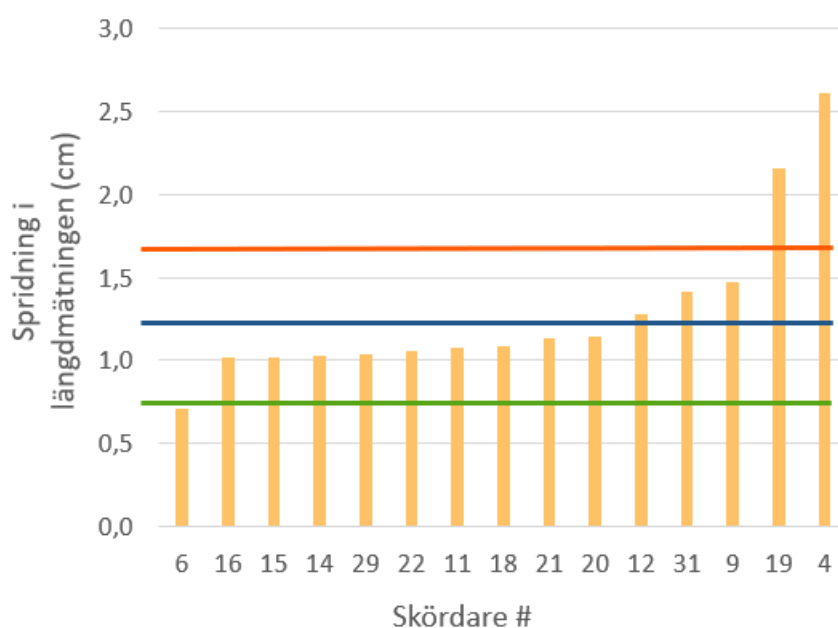
Figur 39. Spridning (1σ , mm) i avvikelsen mellan skördarens mätning av toppdiameter på stockar av tall som är minst 13 cm i topp, justerat till underbarksmått, och en manuell kontroll. Den blå linjen motsvarar medianvärdet för motsvarande spridning hos mätramarna i studien som mätte tall, den röda linjen motsvarar den största spridningen för i mätramsmaterialet för tall och den gröna linjen motsvarar den minsta spridningen i mätramsmaterialet för tall.

Längdmätning

Spridningen i längdmätning hos de undersökta skördarna presenteras i Figur 40 (gran) och Figur 41 (tall). Som framgår av figurerna var huvuddelen av skördarna i materialet väl i nivå med mätramarna. För gran uppvisade en fjärdedel av skördarna en mindre spridning i mätning av stocklängd än mätramarna. I materialet fanns inte bakgrundsinformation tillgänglig för att förklara skillnader mellan enskilda skördare.



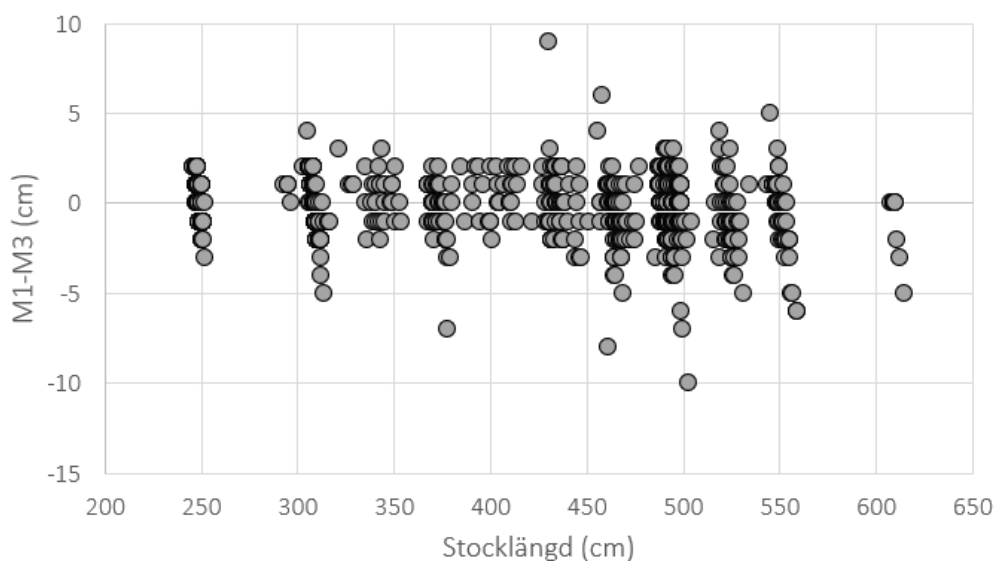
Figur 40. Spridning (1σ , cm) i avvikelsen skördarens mätning av längden på stockar av gran och en manuell kontroll. Den blå linjen motsvarar medianvärdet för motsvarande spridning för gran hos de mätarmar som studerats, den röda linjen motsvarar den största spridningen för gran i mätarmsmaterialet och den gröna linjen motsvarar den minsta spridningen i mätarmsmaterialet för gran. Notera att den mätarm i studien som uppvisade minst längdspridning (0,8 cm) inte mätte på gran.



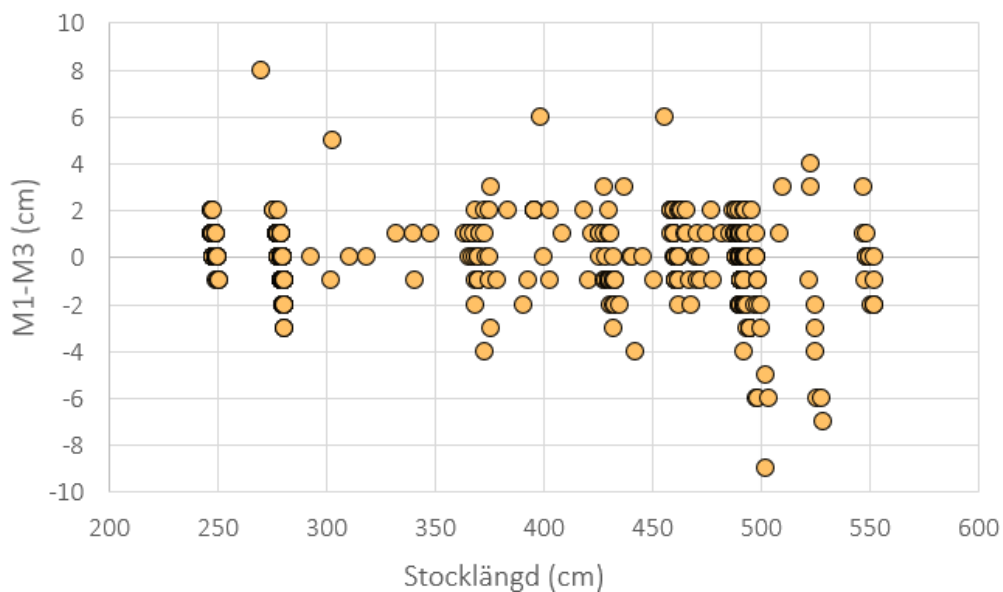
Figur 41. Spridning (1σ , cm) i avvikelsen skördarens mätning av längden på stockar av tall och en manuell kontroll. Den blå linjen motsvarar medianvärdet för motsvarande spridning hos mätarmarna i studien som mätte tall, den röda linjen motsvarar den största spridningen för i mätarmsmaterialet för tall och den gröna linjen motsvarar den minsta spridningen i mätarmsmaterialet för tall.

För att undersöka ifall avvikelsen i skördarens längdmätning hade något samband med stocklängd plottades detta för både gran och tall (Figur 42 och Figur 43). Resultaten

indikerar inget tydligt samband, möjligen en liten tendens till större avvikelser för de allra längsta stockarna.



Figur 42. Avvikelse (cm) mellan skördarens registrerade längd (M1) för stockar av gran och en manuell kontroll (M3) plottad mot den kontrollmätta längden (M3).



Figur 43. Avvikelse (cm) mellan skördarens registrerade längd (M1) för stockar av tall och en manuell kontroll (M3) plottad mot den kontrollmätta längden (M3).

Resultat av enkätundersökningen

Anställda på sågverk och Biometria

Som beskrivet i metoddelen skickades en enkät med 10–11 frågor ut till närmast berörda anställd hos sågverket eller Biometria hos en delmängd av de deltagande sågverken. En tidig tanke var att gruppera svaren utifrån om spridningen i mätningen på den svarandes sågverk låg över eller under medianvärdet. Sagda gruppering gjordes i analysen av resultaten, men gav inte tillräckligt med mervärde för att motivera det upplägget här. Det var dock tydligt att sågverken med liten spridning i längd och diameter var mer nöjda med sin mätning.

1. Vad har ni för rutiner kring service och underhåll, inklusive kalibrering? (sågverk + Biometria)

Nedan listas exempel på svar. I de fall där många angivit samma svar markeras detta med (+).

Daglig egenkontroll

- Biometrias mätare utför egenkontroller på diameter/längd inför varje skift med hjälp av mallar (+++). Blir 1–2 ggr/dag.

Periodisk test

- Halvårskontroll / periodiskt test av Biometria, ibland också med leverantör (++++). För 1D-ramar kan det räcka med en gång per år.
- Större underhåll planeras så att de infaller vid sågverkets sommarstopp.

Kalibrering

- Kalibrering om kontrollmätningen ser avvikelser. Litet behov av kalibrering om inte mätramen får en smäll från en stock eller liknande så mätmodulerna ändrar läge.
- Kalibrering kan ta upp till 4h; planerar kalibrering och service samtidigt för att minska stopptiden för mätramen.
- Biometria utför kalibrering när mätvärdena börja gå fel. Extra noga när fubvolym mäts, då man får justera både topp- och rotmått beroende på vilket som avviker.
- En typisk åtgärd vid kalibrering är att en laser eller kamera i mätramen inte fungerar och att en elektriker byter varefter mätramen justeras. Mätramstillverkaren gör kalibrering när det krävs mer avancerade åtgärder.
- Efter byte av pulsgivare för längdmätningen görs ett repeterbarhetstest på tio gånger med den långa och tio gånger med den korta längdmallen. Om alla längdestor är inom ± 2 cm startar man inmätningen.

Service och underhåll

- Generellt är sågverket ansvarigt för underhåll, men Biometria kan påtala om det finns behov av service (+).
- Vissa sågverk har serviceavtal med leverantören, andra inte. Vissa gör förebyggande underhåll, andra gör det inte utan reparerar när saker går sönder.
- Rengöring dagligen.

2. Om du har varit med om driftsättning av en ny mätram, hur gjordes det?

- Leverantören gör inställningar och intrimning av mätram och banor, sedan kommer Biometria in och gör installationstest, som påminner om det periodiska testet (+++). Leverantören är med tills den kontrollerat att allt funkar som tänkt (+++).
- Installationstestade med ett underlag av 50 stockar som mättes in genom systemet och kollades för rätt längd, diameter och volym. Med dessa stockar utfördes även repeterbarhetstest. Mätramen testades för längd och diameter med provkroppar. Alla olika inställningsalternativ gick igenom och det verifierades att all kommunikation fungerade samt att manualer fanns m.m. Tog 2–3 dagar.
- Först ett periodiskt test, sen kördes installationstest på autobark, fub, metall och UBF. För testerna av autobark och fub var det 50 stockar som körs sex gånger och jämförs med klavningen. Justeringar därefter så ramen mäter rätt, därefter högt uttag av kontrollstock så man har koll under daglig drift. För metall kontrolleras att röntgen ser metallen och att den inte gör några falska vrak. För UBF så körs ett antal stockar med krök och några utan.
- Haft värdefullt stöd från personal centralt på Biometria (++).
- Mycket problem med trasiga komponenter under ganska lång tid (1,5 år).
- Brukar ta rätt lång tid att få till allt. Framför allt vad gäller själva mätningen för vederlaget, i detta fall övergång till m³fub från m³to.
- Säkerhetsmässigt är anläggningen CE-märkt av tillverkaren.

3. Hur gammal är kerattbanan, medbringarna och den relaterade mekaniken som transporterar stockarna genom mätningen? Hur ofta kärvar den eller kräver stopp/start? (sågverk + Biometria)

Sällan

- Kärvar i princip aldrig på grund av centralsmörjning.
- Kärvar väldigt sällan men startas och stoppas flera gånger i timmen minst en gång per partibyte (++).
- Gissningsvis 1–3 gånger/år.
- Krånglar sällan. Kan komma två stockar tillsammans alternativt komma med grenar eller mindre bitar som stör mätningen.

Ibland

- Mätramslarm är största orsaken till stopp på kerattbanan. Eller att truckförare vill att banan stoppas på grund av stockar som hamnat fel eller dylikt i facken, partibytan m.m. (++).

Ofta

- Banan ca. 25–30 år gammal, kedjan ca fyra år. Start och stopp ca åtta gånger i timman. Åtminstone kärv vid varje partibyte, ca 200 stock.
- Inte på grund av keratten i sig utan när stocken ska slås av. Har ca 300–400 meter transportör från iläggning på keratt mot mätram. Mätramen kommer inom 20 m från iläggning. Efter mätning fortsätter hela fackdelen för var stocken ska slås av kedjan. Stockar som inte slås av bra genererar ofta korta stopp, cirka 15 korta stopp/h.

4. Hur vanligt är det med avvikelser och hur fångar ni upp dem? (sågverk + Biometria)

Sällan

- Inte vanligt, avvikelser upptäcks vid dagliga egenkontrollen (+++++). Tysta avvikelser fångas upp när kvalitetsledare tar kontrollstockar (+++).
- Över lag stabilt. Bruttovolymkvoten mellan kontrollmätare och mätram är största problemet.
- Ovanligt med avvikelser i diametermätning, vanligare med avvikelser i längd på grund av pulsgivare.

Ibland

- Larm på grund av att en kvist hänger efter stocken som gör att den inte exakt kan bestämma stocklängden ca en gång/dag. Mätramen löser ut och stannar på grund av en stöt av en stor kvist eller rotben en gång/månad.
- Oftast längdmätningen som avviker beroende på att kerattkedjan genom mätningen slits med tiden. Justering sker ungefär 4–6 gånger/år.
- Dubbla laserlinjer eller att en laser har slocknat (brinntid ca 15 000 h innan byte behövs).
- Längden kan variera beroende på om kedjan är glapp och sliten. Även gummislangen till pulsgivaren kan påverka längdmätningen. Hösten och vintern blöt bark och frusen på gran ger en stor avvikelse på diametern upp till 5 procent. Kontrollmätaren rättar till avvikelsen men oftast två månader för sent.
- Larm med avvikelser: oftast pulsgivaren någon/några gånger per år.
- Justering av UBF och UB (autobark) kanske en gång i halvåret vid behov.

Ofta

- Köfel, där den röda prick som följer en stock då den passerar tvärtransportören plötsligt kan hoppa till annan stock. Skapar dock inte problem med volym på ett parti eller liknande.
- Tysta avvikelser: dagligen. Oftast upptäcks det vid kontrollmätning.
- Vanligt att ovaliteten ger avvikelser.

5. Vilka faktorer upplever ni bidrar mest till mätosäkerheten? (sågverk + Biometria)

Hårdvara

- Skakig transportör/kerattbana (++), särskilt för diameter och UBF (++).
- Sliten kerattbana bidrar, syns enklast på längden.
- Längdosäkerheten var svag punkt, har inte haft några problem sen transportören byttes ut.
- Sliten utrustning, svajande lasrar, kerattbana.
- Plötsliga stopp i banan.
- Problem med pulsgivare.

Mjukvara, hantering

- Barkavdraget (++), utan tvekan.

Råvara

- Ovalitet (++) alternativt krokig stock, kvist m.m.
- Dålig stamform: vissa stockar är i princip omöjliga att mäta diameter på.
- Slirskador på timret.
- Snedkapade stockar (längdmätningen).

Klimat

- Temperatur är viktig för 3D-mätningar. Det får inte vara för varmt eller för kallt i mätuset (+++++). Kondens ger mätosäkerhet, värmebläddrar minskar problemet (++).
- Snö, is (++)
- Påverkar inte mycket, har stabil temperatur med hjälp av värmebläddrar (+).
- Årstiderna som påverkar barken som vi har svårigheter att fånga vid manuell bedömning av barken.

6. Sparar ni mätdata? Varför? Hur lätt/svårt är det att ta ut data? (sågverk)

Denna fråga fick färre antal svar än de flesta andra frågorna, vilket kan tyda på att den svarandes yrkesroll (exempelvis elektriker) inte involverade datahantering.

Ja

- Ja, har produktionsdatabas som samlar in data från varje stock. Lätt att få fram all data men kan vara lite svår att tolka.
- Sparas på stocknivå tillsammans med virkesorderdata. Används för spårbarhet till ursprung.
- Lagrar all mätdata i två år, därmed är det enkelt att ta ut de data. Att mäta är att veta! Skulle helst spara ännu fler år, men det tar för mycket utrymme.

Nej

- Vi sparar ingen mätdata någon längre tid.
- Nej, vi sparar inte mätdata. Tror att det är svårt att få fram gamla data.

7. Finns det någon information som ni skulle behöva för sorteringen som ni inte får idag? (sågverk)

Ja

- Finns några parametrar från skogen som vi skulle vilja fånga på stocknivå, detta är under utredning.
- När vi sågar fura skulle vi vilja se kviststrukturen och friskkvist.
- Finns det säkert, men med gran som råvara räcker diameter och längd.
- Kunna sortera ut sådant som vi anser inte är sågbart. Idag bygger det på att mätaren hinner göra den bedömningen också.

- Bättre detektering av tjurved och röta.

Nej

- Får allt vi behöver.

8. Vilka förbättringar skulle ni vilja se för att mätningen ska bli bättre (sågverk + Biometria):

Hårdvara

- Eventuellt en stabilare transportör (++).
- Nytt mätsystem gör att vi kan få igenom fler stockar.
- Ny mätram med röntgen.
- Plast ska bort från banan då stockar fastnar. Dela banan så att pulsgivaren fångar längden bättre. Pulsgivare måste sitta i vinkel mot banan.

Mjukvara / automatisering

- Ska mer stock gå igenom mätstationen måste mätaren ha mer teknisk hjälp med ny utrustning med mer automatisering.
- Enklare och tydligare användargränssnitt.
- Fub-mätning med topp och rot mått från mätramen.
- Bättre arbetsmiljö där mätaren kan få bättre stöd till klassningen (++).
- Automatik som finns men som sågverket inte har idag eller sådant som inte kan mätas automatiskt idag:
 - Justering av längd
 - Barkdetektion/barkavdrag (+++). Bättre autobark
 - Röta (++)
 - Toppbrott
 - Krök (+++), borde funka bäst där det också finns röntgen
 - Detektion/klassning av årsringar (++++)
 - Klassning av kvist för båda trädslagen (++)

Hantering

- Vassare kontrollrutiner vid mätram för vederlag. Ej okej med så stora avvikelser som vi har.
- Bättre arbetsmiljö för mätarna = bättre mätning
- För att få den automatiska mätningen att fungera fullt ut måste man titta på helhetslösning med mätram, keratt, matning och allt annat som hör till inmätningstationen. Precisera någon sorts standard och bestämma vissa grundförutsättningar så blir det lättare att driftsätta bra anläggningar. Måste först bestämma vilka delar som får sättas ihop med vad och vilka styrsystem som ska användas till vilken mätram m.m. Helt enkelt låsa systemen lite a la Apple och mindre valfrihet som med Android.

Nöjda

- Vi är nöjda och har inga behov.

9. Vad kan förbättras för att ert arbete ska bli lättare (användarvänlighet/arbetsmiljö)?

Hårdvara

- Robot som gör diametertester så man slipper krypa in i mätramen, det spar både knän och ryggar (+++).
- Mätramarna kan på vissa ställen bli väl inbyggda. Där de fungerar bäst är det inga ljusstörningar och stabil temperatur. Det kan lättare samlas damm och vid tester kan man ibland få krypa in i en mätram. Man bör precisera hur en mätram ska vara monterad med tanke på ergonomi och säkerhet vid tester. En mätram är ofta monterad ett par tre meter upp i luften. Inne i mätramen saknas det golv då skräp inte får bli kvar men att kunna stå säkert är något man skulle behöva titta på. Vid tester är det även bra om man skulle kunna manövrera keratten med handtag/fjärrkontroll för bättre precision.
- Smidigare rengöringsmöjligheter. Enklare att kunna röra sig vid mätramen, slippa klättra över kerattbanan. Alltid ha en skärm och tangentbord vid varje mätram så att vem som helst kan utföra mätkontroller.
- Vid daglig tillsyn/periodiska kontroller kan det vara mer användarvänligt där olika provkroppar ska hanteras.
- Ny mätstol med möjlighet att stå (++). Bättre belysning (++). Bättre datorer och bättre dataskärmar.

Mjukvara / rutiner

- Bättre stilleståndsuppföljning.

Miljö

- Ljudvolymen i kontrollrummet i mätramshuset, där det sitter kylfläktar till röntgenramen, inte lång stund man vistas där men störande när vi gör våra tester och kalibreringar.
- Centraldammsugare hade också varit lämpligt då det periodvis samlas mycket damm och annat i mätramshusen. Med lättare städning lägger sig i slutändan mindre mängd damm på lasrar, fotoceller och kameror.

Nöjda

- Har senaste stolarna med mycket bra funktioner i och möjligheten att stå och mäta så det finns inte så mycket mer att önska.

10. Vad skulle motivera investeringar i mätram eller mätmiljö för er? (sågverk)

- Automatiserad kontroll av mätramen för att minska kontrolltiden som läggs innan varje skift.
- Aspekter som främjar tillgänglighet och anläggningsutnyttjande.
- Bättre mätprecision (++), så att vi kan räkna hem investeringen eller att man kan lägga sågklasserna tigare för att få ett bättre sågutbyte. När det handlar om mätmiljön så är det bättre säkerhet.

- Bättre sortering och högre kapacitet med hjälp av röntgen och semiautomatisk mätning, till exempel semiautomatisk mätning av utbytesförlust, årsringsbedömning och rätt barkavdrag.
- Röntgenram för att få en jämnare, mer stabil och ej personberoende klassning av timret. Och till det även större möjlighet till sortering av postningsklasserna.
- Bättre sågutbyte genom säkrare barkavdrag som inte varierar över tid samt möjlighet att sortera på defekter.

Återförsäljare (av mekanisk utrustning och mätramar)

Hur ser ni på den mekaniska infrastrukturens roll för mätningen?

Infrastrukturen är basen till att kunna garantera ett korrekt mätresultat. Som leverantör av mekanisk utrustning följer vi rekommendationer från mätleverantören på hur de vill att konstruktionen ska vara utformad. Mekaniken står för logistiken igenom linjen, från inmatning, mätning och ut i timmerfack. Fel mätning eller dålig avpuffning kan påverka vart stocken hamnar till slut. Valet av infrastruktur ligger hos kunden. I princip kan alla mekaniska leverantörer och mätramsleverantörer jobba tillsammans. Allt som ofta är kraven liknande och detaljerna diskuteras direkt mellan parter.

Vilken roll spelar den fysiska mätplatsen vid en installation?

Ofta kommer man till en befintlig mätplats, då gäller det att hitta en lösning som säkerställer utrustningens funktion. Det brukar lösa sig på ett eller annat vis. Vid en nybyggnation av en mätplats är mätleverantören oftast med från början och kunden kan ha önskemål om väderstreck för att få till en bra logistik. I normala fall bygger man enligt dessa principer, alternativt får man rita en lösning som passar på den plats man får tilldelad. Detta kan ha konsekvenser för bland annat prestanda, hastighet och stycketal. Vi brukar kunna vaska fram de bästa lösningarna utifrån dagens teknik.

Vad prioriterar kunderna?

Det viktigaste är att timret mäts in korrekt och att man inte avviker från volym- och/eller värdekvot. Därefter ska det vara ett användarvänligt system, som är stabilt och inte krånglar, för att upprätthålla en effektiv mät hastighet. Att kunna automatisera sin mätplats står mer och mer i fokus. Full bedömning av virket vid sorteringen och spårbarhet är också en intressant utveckling.

Vad är era tankar kring att mätramsmarknaden har blivit mer internationell?

Främmande språk och kultur, samt det geografiska läget kan ge upphov till diskussion kring servicegrad och användarvänlighet. Särskilt när leverantören inte har någon känd leveranshistoria. Som leverantör får man helt enkelt satsa, engagera sig samt presentera sina lösningar, sitt företag och människor bakom. Generellt har samhället idag en mer global syn och sågverken ser sig flitigt omkring hos kollegor i utlandet för att se vad som gör dem framgångsrik.

Finns det behov av en kommunikationsstandard för information till/från mättramar?

Det skulle underlätta driftsättningen och göra det enklare att felsöka. I nuläget känner mättramsleverantören vi arbetar med att de stöter på olika problem för varje igångkörning, speciellt när man utgår ifrån att varje anläggning är den andra lik. Oklart om det är olika standarder eller om det något som upplevs och kommer från att Biometria var tre regioner tidigare.

Kommentarer från tillverkarna

Kommentar från RemaSawco

I denna studie ingick en stor blandning av olika mätsystem från RemaSawco, alltifrån gamla skuggramar till nyare 3D- och röntgenbaserade mätsystem. Resultaten visar tydligt på den stora skillnaden i mätprecision mellan gamla skuggramar och nyare typer av mättramar. Rörande manuella barkavdrag så är vår erfarenhet att precisionen skiljer sig åt mycket mellan olika verk; vid vissa verk används huvudsakligen en default barkkod medan man vid andra verk arbetar flitigt med att ange barkförekomst för varje stock. Genom automatisk underbarkmätning undviks denna typ av problematik och en god precision under bark erhålls oberoende av operatörens barktryck.

Vad gäller resultatet för RS-LogProfiler3DX samlades dessa data in i samband med två tidiga driftsättningar av systemet och då automatisk underbarkmätning var aktiv enbart under en del av testperioden blir resultatet svårt att utvärdera. Nämnas bör dock att den programvara som då användes beräknade barkavdrag endast baserat på röntgeninformation. RemaSawco har sedan dess utvecklat en ny metod för mätning av diameter under bark som kombinerar barkinformation från 3D- och röntgenmätning. Denna metod är nu typgodkänd och har under långtidstester visat en standardavvikelse på omkring 2,5 mm jämfört med kontrollstockar. Detta placerar mätprestandan för RS-LogProfiler3DX i det absoluta toppskiktet bland de mättramar som ingår i denna studie.

Notera också att standardavvikelse på diameter under bark jämfört med klavade kontrollstockar är ett osäkert mått på grund av klavningens osäkerhet. En intressant jämförelse är repeterbarhet på diameter under bark vid Biometrias anläggningsgodkännandetester. Typiskt ligger standardavvikelsen i repeterbarhetstesterna runt 1,0 mm, ibland neråt 0,6 mm, beroende på råvarans beskaffenhet och andra förutsättningar vid testerna.

Kommentarer från Microtec

1. Microtec regularly performs analysis of performance of our scanners using production data and control-measures data from Biometria. A general agreement with the results from Skogforsk study can be observed, both qualitative and quantitative.
2. The average standard deviation of ordinary-control measures of under-bark top diameter with Logeye (3D scanner from 3 different sawmills) is 3.6 mm, while CT Log (xray tomograph) can reduce the standard deviation to 2.5 mm.
3. Length measurement of logs is performed by Microtec in two distinct ways on optical scanners (Logeye) and x-ray tomographs (CT Log). While in Logeye a more classical

approach is employed, with the use of light curtains (photocells), CT Log makes use of the information coming from the x-ray tomography itself. This approach constitutes a sort of “virtual photocell” that directly employs the attenuation values of x-ray signals from the log measure. X-ray technology, unlike light-based techniques, is not affected by shadow zones, dirt, dust and other factors that are typically known to limit the accuracy of optical sensors, resulting in a more robust and accurate measure of length.

4. We consider that the final accuracy of the length measured by newest generation of scanners is limited by the quality of the mechanics (transport system) and quality of the end cut of the logs. The average standard deviation of length data from CT Log and Logeye from 3 sawmills is 1.3 cm.

5. The data of one of our Logeye scanners in this study was collected during the initial commissioning period of the scanner. In such initial phases offsets can be present, which are usually corrected once sufficient data is collected over time.

6. A further piece of interesting information on the performance of under-bark top diameter is the repeatability obtained from the installation tests performed with Biometria. For Logeye the average standard deviation of errors is 0.95 mm, while for CT Log the value drops to 0.45 mm.

Kommentarer från Finnos

Vi ser mycket positivt på att systemet som installerades 2017 med serienummer 1 har visat sig vara konkurrenskraftigt i kategorin 3D + 2D röntgensystem. Sedan dess har vi under de senaste fyra åren investerat mer än 3 miljoner euro i teknisk innovation. I de senaste FUSION-systemet är scannermodulens storlek mindre, högre bildupplösning, GPU-accelarerade algoritmer, moderna tomografitekniker och FINNOS använder en metod som kallas quadral energy imaging.

Vi har utvecklat de mest högteknologiska algoritmerna för underbarkdiameter i projekten där vi har 3D + 2D-röntgensystem i både timmersortering och såglinje, och stockarna matchas med hjälp av egenutvecklad teknik för spårbarhet. I dessa projekt har vi kunnat samla in data från flera miljoner stockar före och efter avbarkning. Uppgifterna har möjliggjort en bättre noggrannhet för underbarkdiameteren och gett oss nya verktyg för att kompensera säsongsvariationerna i såglinjen. Detta genom att också ta hänsyn till barkavdrag under säongsändringen. Baserat på våra projekt i Finland har avvikelsen på underbarkdiameteren minskat avsevärt och gett mycket goda scanner-resultat.

Detta har inneburit stora positiva effekter på utbytesförlusten på samtliga sågverk med vår teknik installerad.

Kommentarer från Andor

I studien har vi sett att vår ELINOVA 1D skuggmätarm under bra förhållanden presterar mätning i klass med nya 3D-mätare. Vi har också sett att hastigheten inte nämnvärt påverkar våra mätningar. Den av våra mätningar som har minst måttspredning är den som körs med högsta transportörshastighet. Många av våra mätningar används för enklare behov som topp-/rot-avkänning, rotbensdetektering och timmersortering utan inmätning. Vi ser en fortsatt efterfrågan på 1D-mätning och kommer fortsätta utvecklingen av våra mätningar och mätstöd för stockinmätning.

Diskussion

Kartläggningen

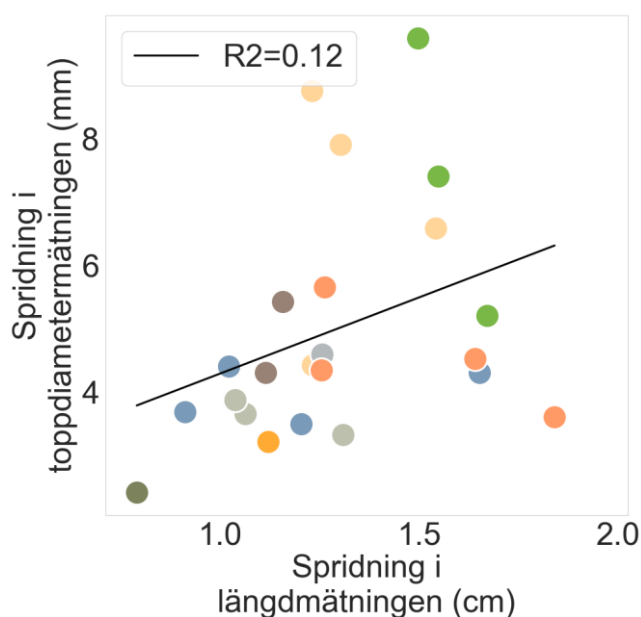
Antalet optiska 1D/2D-mätramar har inte ändrats särskilt mycket sedan den senast publicerade kartläggningen (Strömgren 2015), och får sägas vara relativt högt. De tidigare kartläggningarna visade att dessa mätramar framför allt stod på sågverk som sågade mindre volymer. Dessa mätramar har heller inte kapacitet för automatisk underbarksmätning, vilket förklarar att endast drygt hälften av de installerade mätramarna använder automatisk underbarksmätning helt eller delvis. För de mätramar som har den kapaciteten används den dock i hög grad.

Den tydligaste utvecklingen i teknisk status är att allt fler mätramar har röntgenkapacitet, samt att 3D-röntgenramar har börjat användas för ersättningsgrundande mätning. Något förvånande är att endast 21 procent av de mätramar som är av modeller typgodkända för automatisk UBF-mätning använder denna kapacitet. En delförklaring skulle kunna vara att UBF-mätningen ställer högra krav på anläggningen i övrigt, exempelvis kerattbanans stabilitet (Johan Skog, RemaSawco, personlig kommunikation 2021).

Utvärderingen baserat på kontrollstocksdata

En komplex uppsättning faktorer bidrar till spridningen i mätningen. Mätramsmodellen kan förväntas ha starkare koppling till diametermätningen än till längdmätningen, eftersom den tekniska principen för längdmätning är likartad för majoriteten av modellerna. Medan mycket teknisk utveckling har skett för diametermätningen har inte samma trend funnits för längdmätningen. Den röntgenbaserade längdmätningen i Microtecs CT-Log bör lyftas fram som ett undantag, som också uppvisar en signifikant mindre spridning vid längdmätningen jämfört med övriga modeller.

Det är relativt vanligt att de sågverk som har liten spridning i diametermätningen också har liten spridning i längdmätningen (Figur 44). Det sammanfaller till viss del med relativt nya mätramsinstallationer där även mekaniken har bytts ut. Däremot är det ovanligt att samtidigt ha stor spridning i toppdiametermätningen och liten spridning i längdmätningen. Några sågverk har liten spridning i toppdiametermätningen men stor spridning i längdmätningen. Det kan tyda på att dessa sågverk inte har samma grad av underhåll på sin mekaniska utrustning som för mätramen.



Figur 44. Spridning i längdmätningen (cm) vs. spridning i toppdiametermätningen (mm) för hela studieperioden för de deltagande sågverken.

Ofta brukar tall anses svårare att mäta än gran, bland annat på grund av större variation i barkens struktur. Samtidigt kan gran ha större problem med blöt bark som faller av och släpar efter stocken (Dan Trygg, Andor, personlig kommunikation 2021). I denna studie observerades dock ingen inverkan av trädslag på spridningen i mätningen för vare sig gran eller tall.

Inverkan av stockens längd, diameter och volym på spridningen i mätningen visade att spridningen över lag är oberoende av stocklängden, men minskar något med ökande volym. Inverkan av diameter var blandad, men med viss tendens att spridningen minskade med ökad diameter. En förklaring kan vara att tyngre stockar ligger mer still på kerattbanan. Samtidigt förväntas grövre stockar ha andra formrelaterade försvårande egenskaper, som rotben, som då skulle kunna dra upp spridningen. Detta hade kanske framkommit tydligare om kontrollstocksdata av rotdiameter hade funnits.

Studien sätter inte resultaten i relation till den ekonomiska kostnaden för mätramen. Generellt kan man säga att mindre spridning i mätningen är förenat med en högre kostnad för mätramen. Studien har visat på vikten att även se till investeringar i den mekaniska infrastrukturen för att åstadkomma mindre spridning.

I enkätstudien framkom det erfarenheter av att kerattbanehastigheten påverkar mätningen av särskilt längd och krök, då hastigheten får stocken att röra på sig. I denna studie finner vi inget samband mellan genomsnittlig kerattbanehastighet och genomsnittlig spridning i mätningen.

Alternativt är det möjligt att resultatet hade blivit annorlunda om ett mätvärde för kerattbanehastigheten hade funnits för varje stock. Sådana data fanns dock inte sparade, men skulle kunna samlas in i en riktad studie. Även vibrationsdata för varje stock när den transporteras genom mätramen hade varit intressant. Detta är dock inga data som finns tillgängliga idag, även om vissa mätramar har algoritmer för att skatta stockvibrationerna och kompensera för dem.

Begränsningar i kontrollstocksdata och studiens upplägg

En av denna studies styrkor är att resultaten representerar mätning under faktiska produktionsförhållanden, snarare än under mer idealiserade experimentella förhållanden. Samtidigt har de kontrollstocksdata som används ett antal begränsningar. Dels är antalet mätrammar per mätramsmodell begränsat. Detta beror dels på att vissa modeller endast finns installerade i ett fåtal exemplar, dels på en bedömning över hur mycket data som kunde hanteras under projektperioden. Dels saknas en del variabler som hade varit intressanta att studera för deras påverkan på mätningen: den mätta stockens utbytesförlust (UBF), ovalitet eller krök, diametern både på och under bark (det vill säga barktjockleken) samt kontrollmätning av metallförekomst. Kontrollmätning av barktjockleken hade möjliggjort en utvärdering av hur underbarksmätning med röntgen presterar i jämförelse med optisk underbarksmätning, vilket har efterfrågats av sågverken. Den slutsats som går att dra baserad på befintliga data är att de två mätrammar med minst spridning i toppdiameter båda mäter under bark med röntgen. Den lilla spridningen kan dock bero på andra faktorer.

Mätning av rotstockens volym brukar anses svårare för tall än för gran. Därför är det troligt att spridningen för tallstockar skulle bli något mindre än spridningen för granstockar om utvärderingen gjordes i fastvolym under bark (m³fub ej beräknad med matrisomvandling). Under studieperioden fanns inte tillräckliga kontrollstocksdata baserade på fastvolym under bark för att undersöka det antagandet, då endast ett sågverk registrerade fastvolym, och då bara under en del av studieperioden.

Vidare gav datasetet otillräckliga förutsättningar till att undersöka skillnaden mellan automatisk barkmätning och manuell barkmätning, det vill säga hur mätramarna detekterar barken. Det beror dels på att barken inte kontrollmätts som individuell variabel, dels på att de flesta sågverk antingen använde 0 procent eller 100 procent automatisk barkdetektion, vilket gjorde det svårt att undersöka skillnaden inom ett individuellt sågverk. Flera av de sågverk som använt en blandning av autobark och manuell barktryckning saknade användbar information om barkkoden under studieperioden, vilket gjorde att den automatiska underbarksmätningen endast kunde utvärderas i begränsad omfattning. Idag tillämpas inte årstidskorrigering på de barkfunktioner som används vid automatisk underbarksmätning av diameter, vilket skulle kunna vara ett utvecklingsområde.

En joker i datasetet är den enskilda mänskliga mätarens påverkan på spridningen (vid manuell barkbedömning, kvalitetsklassning eller vid kontrollmätning). Även arbetsmetodiken kan ha stor inverkan, till exempel om barktyp trycks för enskild stock eller om samma barktyp anges för hela partiet. Erfarna mätare som arbetat på samma plats och i samma lag under lång tid ackumulerar erfarenheter både kring verkets beskaffenhet (årstidsvariationer, ovalitet, med mera) och kring andra avvikelser, vilket skulle kunna minska spridningen. Manuella skattningar och mätningar är dock en utmanande uppgift, varför ett inte oväsentligt bidrag till osäkerheten från skillnader mellan mätare bör antas.

Hade delar av studien kunnat designas på ett annat sätt? Det ideala upplägget för att undersöka mätramsmodellens inverkan hade varit en lång kerattbana med flera mätramsmodeller monterade efter varandra, där samma stockar hade kunnat köras med flera banhastigheter. Att samla de mätramsmodeller som fanns på marknaden till ett sådant upplägg bedömdes inte vara praktiskt genomförbart. Ett annat möjligt upplägg hade varit att välja ut några travar stockar med olika egenskaper och köra runt dessa till de deltagande sågverken. Kostnaden för transporten och för sågverkets produktionsminskning under testet, samt att slitage på stockarna skulle göra dem icke-

jämförbara över tid, gjorde dock att upplägget med kontrollstocksdata bedömdes vara en bättre utgångspunkt. Däremot hade studien kunnat designas med insamling av kontrollstocksdata under en period framåt i tiden, då även vissa produktionsdata som temperatur, keratbanehastighet och stockparametrar som inte används vid vederlag hade kunnat samlas in. Detta upplägg bör en eventuell framtida studie använda sig av.

Jämförelsen med skördare

Jämförelsen med skördare grundar sig på stockar mätta på bark, och då motsvarande diametermått på bark inte finns registrerat för kontrollstockar skattades osäkerheten i måttet under bark genom att lägga till den förväntade spridningen från barkfunktionen som används i skördare. Ett alternativ hade varit att använda det så kallade M4-måttet, det vill säga toppdiametern under bark som mäts av Biometrias kvalitetstekniker i samband med kontrollmätning av stockvolymen enligt topp-rot-metoden. Detta görs i första hand som kontroll av volymmätningen vid betalningsgrundande skördarmätning. Mätningen av barktjockleken görs då med en barkmätare, vilket är en mer osäker metod än den som används vid kontrollmätning under bark vid industri. Det bedömdes därför inte att resultatet skulle blivit säkrare ifall M4-måtten använts i stället för den metod som valdes. Det hade vidare varit önskvärt med ett ännu högre antal stockar i det datamaterial som användes i denna studie. Då vi utgick från de mätningar som görs av kvalitetsteknikerna vid fältbesök fanns inte den möjligheten. I en möjlig fördjupande studie skulle även data från egenkontrollen av skördare kunna användas, vilket möjliggör ett större underlag, dock med en större osäkerhet i själva kontrollmätningen än när den utförs av specialiserade kvalitetstekniker. De jämförelser som Biometria genomför av mätningen hos kvalitetssäkrade skördare grundar sig vanligen också på ett motsvarande, begränsat material från kvalitetsteknikernas mätningar.

Jämförelsen mellan precisionen hos de studerade mätramarna och ett antal kvalitetssäkrade skördare i södra Sverige indikerar att spridningen i skördarnas längd- och toppdiametermätning i många fall är helt i nivå med, och ibland mindre än, mätramarnas. Jämförelsen pekar också mot att de skördare som i materialet hade den allra största spridningen låg under spridningen hos mätramarna med störst spridning. Dock bör det påtalas att denna studie enbart använt skördarens toppdiametermätning. Vid beräkning av den skördarmätta volymen, vilket inte gjorts i denna studie, används diametermått på betydligt fler positioner längs stocken. Vidare har skördarmätningen och mätramsmätningen olika förutsättningar. Exempelvis är barkavskavet mindre och avståndet till roten känt vid skördarmätning, där det senare underlättar skattningen av andelen grov bark. Å andra sidan måste mätningen ske medan stocken hålls fast och upparbetas.

Även givet underlagets begränsningar i omfattning, vilket skulle kunna leda till att spridningen underskattas, bedöms skördarnas spridning i toppdiameter- och längdmätningen ligga i linje med förväntade värden, baserat på tidigare erfarenheter. Intrycket är även att mätnoggrannheten hos det kvalitetssäkrade skördarkollektivet förbättras från år till år. Samma utveckling har dock inte skett för vilka egenskaper som går att mäta med skördare, vilket gör att det alltså endast är mätramarna som kan ge information om stockens yttre form och inre egenskaper.

Enkätundersökningen

De flesta sågverk hade liknande rutiner för kalibrering och kontroll, baserade på Biometrias instruktioner. Rutiner för service skiljde sig mer åt, där vissa sågverk hade

serviceavtal med tillverkare och andra inte. Temperatur, årstid och kerattbanans status var de faktorer som oftast ansågs bidra till mätosäkerheten. Vissa sågverk hade erfarenheten att en sliten/skakig kerattbana främst påverkade längdmätningen, medan andra erfor att den främst påverkade diameter- och krökmätningen.

Få sågverksanställda svarade på frågan kring datahantering, vilket kan ha berott på yrkesrollen hos de som arbetar närmast mätramen. Erfarenheten hos författarna till denna studie är dock att det är mycket data som inte sparas i sågverken, till exempel kerattbanehastighet eller temperatur i mäthusen. Det gick heller inte att för mer än 1–2 sågverk få fram historiska krök-/ovalitetsdata på stocknivå för den aktuella studieperioden. Här tycks det som att dessa olika datakällor (mätram, mekanik och mätmiljö) skulle kunna integreras bättre för att förbättra mätningens förutsättningar. Likaså framstår det som att kostnaderna för datalagring och -hantering idag är ett hinder.

Den mänskliga mätarens roll kom in på flera områden. Det konstaterades att en god arbetsmiljö krävs för att mätaren ska kunna koncentrera sig och bibehålla hög noggrannhet och produktivitet i mätningen. Bra belysning och bekväma stolar återkom som förutsättningar, och flera tog även upp robotiserat provstockshandhavande så att mätaren inte behöver krypa in i mätramen som önskvärt. Samtidigt konstaterades att den mänskliga hjärnans produktivitet har en gräns, och att önskemål om ökad genomströmning genom mätstationen skulle kräva ökad automation för att genomföras. Om automatisering medför att mätaren slipper bedöma en egenskap kan hen koncentrera sig mer på de andra, eller på att klassa fler stockar. Åtgärder för att ge mätaren en bättre vy över stockarna och alla dess sidor togs också upp som potentiella förbättringar.

Motiv för framtida investeringar kretsade kring ökad precision i mätningen och ökad utnyttjandegrad av utrustningen. Bedömningen var att ökad automatisering skulle kunna bidra med detta. Möjligheten att kunna mäta och sortera baserat på inre egenskaper med hjälp av röntgen togs också upp som motiv till investering.

Kommentarer från tillverkarna

Flera tillverkare har önskat att denna studie även skulle utvärdera mätningen av de många stockparametrar som kan mätas med 3D-optik och röntgen men som inte används för vederlag. Tyvärr är detta en betydligt svårare uppgift då kontrollmätning eller annan typ av referensdata saknas. I kontakten med tillverkarna har det även framkommit att flera tycker att det är svårt att få tillräckligt med utvärderande underlag om mätningen för att använda i sitt utvecklingsarbete.

Klaven som referens

En återkommande åsikt är att klaven är en primitiv metod för att kontrollera dagens moderna mätramar. Huvudargumentet är att det facit som etableras med klaven har en högre mätosäkerhet än mätramen. Den manuella klavningen innehåller även en del tunga lyft och potentiellt riskfyllda element (avbarkning med yxa) för personen som kontrollmäter. Samtidigt har klaven en styrka i att den genom sin portabla natur kan användas både på industri, vid terminal och i skogen, och därmed fungerar som en enhetlig referensmetod för all rundved. Några av de alternativ som har diskuterats är:

- En lastbilsmonterad kontrollmätram liknande den MAS (Mobil Automatisk Stockmätning) som används för kontrollmätning av travad massaved i Mellansverige (Hyll & Nordström 2020). Att uppgradera en sådan mätram så att den ständigt mätte

bättre än de senaste mätramarna skulle dock vara svårt, och sannolikt skulle det även ligga viss prestige i vilket fabrikat som skulle få leverera ”referensen”.

- I högre grad använda skördarmätningen som kvalitetskontroll av industrimätningen. Detta skulle dock kräva högre spårbarhetsgrad mellan skog och industri än vad som finns idag.
- Behålla klaven men delautomatisera den för att minska inverkan av mänsklig subjektivitet. Finska Massers utvecklingsprojekt av laserklave (Hyll & Nordström 2020) är ett exempel, som dock inte har nått marknaden ännu. Ett annat alternativ skulle kunna vara en klave som med hjälp av mikro- eller radiovågor mäter under bark, och därmed tar bort behovet av avbarkning.

Hursomhelst tycks det finnas ett behov av kunskap kring hur mycket klaven faktiskt bidrar till osäkerheten i diameter när ordinarie mätning och kontrollmätning jämförs.

Alternativ till stockmätning (som grund för ersättning)

Travmätning ökar som metod för ersättningsgrundande mätning för timmer (Hyll & Nordström 2020). Framför allt gäller detta övriga sågbara sortiment (kubb och sparrtimmer), men även för normaltimmer. Travmätning ger mindre information om stockens inre och yttre kvalitet, vilket är egenskaper som används för sortering. Därför har sågverk som travmäter timmer ofta ändå en mätram, till sorteringen. En del använder ett sådant upplägg då de upplever att kvalitetsklassningen ändå inte är så relevant för dem, och att de kan hantera det mesta timret som kommer in. Mätrammar som bara används för sortering behöver inte typ- eller installationsgodkännas, utan måste framför allt förhålla sig till de krav som det köpande sågverket anger.

Även ersättningsgrundande skördarmätning kan öka som alternativ för köpare som inte ser behov av kvalitetsklassning eller som anser att modeller baserade på data om den stående skogen är tillräckliga som grund för kvalitetsbedömning. Även här kommer stocken sannolikt att mätas med mätram när den kommer fram till sågverkets sorteringsanläggning, men då inte som grund för ersättning mot markägare.

Utveckling av den automatiska mätningen

Flera respondenter i enkätdelen tog upp ökad automatisering som väg till ökad mätnoggrannhet och ökad produktionstakt. Utvecklingen av den automatiska mätningen sker dels hos mätramstillverkarna, dels hos universitet och institut (exempelvis LTU Träteknik och RISE Bioeconomy), där även Biometria brukar engagera sig när tekniken närmar sig tillämpning. Utvecklingen kan handla om att identifiera och testa en mätprincip som överhuvudtaget kan mäta den aktuella parametern, men oftare att förbättra en redan identifierad metod så att den får högre träffsäkerhet eller noggrannhet. Som minst behöver en ny automatisk metod ha samma träffsäkerhet och noggrannhet som dagens manuella bedömning. Till exempel bedömdes det som lämpligt att en automatisk metod för att skilja mellan gran och tall hade en träffsäkerhet på 99,5 procent (Björklund m.fl. 2003). Här kan det vara värt att betänka olika träffsäkerhetskrav för olika användningar av informationen. En automatisk trädslagsbedömning som används som stöd för den mänskliga mätaren skulle kunna ha lägre noggrannhetskrav än om informationen används direkt som grund för ersättning. Likaså skulle en mätning som enbart upptäcker grova fel, exempelvis grov röta eller tjurved, kunna vara bättre än att inte ha någon detektion alls.

Idag finns stereokamerasystem för identifikation av rotben på marknaden, men inte integrerat med mätramarna (Hyll & Nordström 2020). Vissa mätramstillverkare testar integrerad kameramätning av stockens ändyta, något som även har gjorts i en del tidigare studier (Björklund m.fl. 2003; Norell & Borgefors 2010). En framgångsrik mätning av ändytan skulle kunna ge årsringsdetektion (antal, bredd och densitet) och rötförekomst, samt en indikation om tjurvedsförekomst. De tidigare studierna har dock dragit slutsatsen att ändytemätning kräver polering eller renkapning av stocken. Trädslagsdetektion baserat på kviststruktur, barkstruktur och mantelytans färg ligger sannolikt inte alltför långt framåt i tiden, även om det hittills har varit en utmaning att komma upp i tillräckligt hög träffsäkerhet (Hyll & Nordström 2020). 3D-röntgenramar börjar kunna ge information om fibervinkeln hos stocken, men få vetenskapliga studier har gjorts om utfallet (Johan Oja, LTU, personlig kommunikation 2020c). Tjurvedsdetektion med röntgen har än så länge inte nått tillräcklig träffsäkerhet. Toppbrottsdetektion har testats genom röntgenmätning av avvikelser i märengens form (Skog m.fl. 2010).

Det är också troligt att mätningen på sikt kommer att integreras med information från tidigare eller senare i värdekedjan. Idag är en utmaning i den automatiska mätningen att det är svårt att få tillräckliga mängder referensdata – till exempel, om en stock som mätramen bedömde hade toppbrott verkligen visade sig ha det när stocken hade sågats upp och då kunde utvärderas med större noggrannhet. När hanteringen mellan mätram och justerverk väl går att spåra på stocknivå lär den informationen användas för att förbättra och utveckla den automatiska mätningen, exempelvis med AI. Från tidigare i kedjan kan prognoser och modeller baserade på skördardata hjälpa till att sätta vissa trösklar och gränsvärden på vilka mätresultat som är rimliga, eller om vissa bestånd är särskilt drabbade av vissa kvalitetsfel.

Slutsatser

Den här studien har undersökt olika faktorerers inverkan på spridningen i ersättningsgrundande mätning, bland annat mätramsmodell, kerattbanans beskaffenhet, och miljöfaktorer. Från studien drar vi följande slutsatser:

- Mätramsmodell avgör inte ensamt spridningen i mätningen. Modeller baserade på optiska 1D-mätramar hade i snitt större spridning i toppdiamettermätningen än modeller baserade på optisk 3D-teknik, som i sin tur hade större spridning än den modell som baserade sig på 3D-röntgenteknik. Det fanns dock sågverk i studien vars optiska 1D-mätramar mätte i paritet med optiska 3D-mätramar. Råvaran särskilde sig inte för dessa sågverk, vilket tyder på att den relativt sett lilla spridningen berodde på mätplatsmiljön eller handhavandet. En mer detaljerad undersökning skulle dock krävas för att belägga detta.
- Spridningen i längdmätningen varierade mindre för de olika modellerna än spridningen i toppdiameter. De mätramar med allra minst spridning i toppdiamettermätningen hade också liten spridning i längdmätningen. Det fanns dock flera exempel på sågverk med relativt liten spridning i toppdiamettermätningen och samtidigt stor spridning i längdmätningen. Det gick inte att påvisa att hög kerattbanehastighet, mätramens ålder eller dess omgivningsklimat påverkar spridningen i längdmätningen på aggregerad nivå.

- Skördare har inte sällan en spridning i toppdiametermätningen i nivå med medianvärdet för mätramsmodellerna. Mätramarna med minst spridning uppvisar dock mindre spridning än de ”bästa” skördarna.
- De ”bästa” skördarna har en spridning i mätningen av längd som är mindre än mätramarna med minst spridning.
- Inverkan av årstid på spridningen var liten i studien, eventuellt beroende på den ovanligt varma vintern 2019/2020.
- Inverkan av stockens längd, diameter och volym på spridningen visade att spridningen över lag är oberoende av stocklängden, men minskar något med ökande volym.

Referenser

Bibliografi

- Absolute Reports 2021. Global 3D Log Scanner Market Research Report. Absolute Reports, 124 s.
- Biometria 2019. Ersättningsgrundande virkesmätning med skördare. Nationella instruktioner för virkesmätning, Biometria, 1-13 s.
- Biometria 2020. Kontroll av utrustning för automatisk mätning av stocks längd och diameter. Biometrias kontrollanvisningar, Biometria, 1-8 s.
- Björklund, L. & Edlund, J. 2013. Metodbeskrivning Semiautomatisk kvalitetsklassning av tallsågtimmer enligt VMR 1-07. SDC, 17 s.
- Björklund, L., Grundberg, S. & Edlund, J. 2003. Slutrapport för projekt ”Effektivare Sågtimmermätning”. SDC VMR, 1-36 s.
- Brodin, K. 1989. Kvalitetsmätning på rundvirke av furu. Träteknik, 1-34 s.
- Edlund, J. 2009. Mätramar för sortering och vederlagsmätning vid sågverken 2008. VMK, 1-3 s.
- Edlund, J. 2019. Slumpjusterat nyckeltal för noggrannhet vid timmerklassningen. SDC, 1-5 s.
- Grundberg, S. 1999. An X-ray LogScanner - a tool for control of the sawmill process. Doctoral Thesis, Lunds Tekniska Universitet, 1-229 s.
- Hannrup, B. & Lundgren, C. 2012. Utvärdering av Skogforsk's nya barkfunktioner för tall och gran – En uppföljande studie. Skogforsk Arbetsrapport, Skogforsk, 1-32 s.
- Hyll, K. & Nordström, M. 2020. Kartläggning av teknik, metoder och informationsflöde för mätning av skogens produkter. Arbetsrapport, Skogforsk, 90 s.
- Microtec 2019. CT Log brochure. 1-8 s.
- Norell, K. & Borgefors, G. 2010. Årsringsmätning med bildanalys. Fakta skog, SLU Sveriges Lantbruksuniversitet, 1-4 s.
- Nyström, J. & Hagman, O. 2007. Barkmätning baserat på trakeideffekt. TräCentrum Norr, 1-16 s.
- SDC 2013. Arbetsgång vid utveckling och införande av ny mätteknik. SDC, 1-11 s.
- SDC 2017. Mätning av stocks volym under bark. Nationella instruktioner för virkesmätning, SDC, 1-19 s.
- Skog, J. 2013. Characterization of sawlogs using industrial X-ray and 3D scanning. Doctoral thesis, Luleå Universitet, 1-162 s.
- Skog, J. 2014. New Forest Industry Production Systems Based on High-speed CT Scanning. WoodWisdom-Net Research Programme Final Report. SP Trä, 1-17 s.
- Skog, J., Oja, J., Johansson, E., Lundgren, N. & Fredriksson, M. 2010. Förbättrad stocksortering genom att kombinera 3D- och röntgenteknik. TräCentrum Norr, 1-56 s.
- Strömberg, M. 2015. Mätramar för sortering och ersättningsgrundande mätning vid svenska sågverk 2015. VMU rapport, SDC, 1-6 s.
- Strömberg, M. 2016. Mätosäkerheter vid mätning av sågtimmer. VMU rapport, SDC, 1-21 s.
- Strömberg, M. 2017. Noggrannare längdmätning av sågtimmer. SDC, 1-25 s.
- VMR 2000. Kompendium i virkesmätning, DEL VIII: Automatmätning. 1-21 s.
- Weidenhiller, A., Denzler, J. K. & Golser, M. 2015. Detecting spruce and fir log diameter under bark by using shape and image data. Scandinavian Journal of Forest Research, 1-8.
- Öhman, M. 2001. The measurement of compression wood and other wood features and the prediction of their impact on wood products. Doctoral Thesis, Luleå Tekniska Universitet, 34 s.

Personlig kommunikation

Björn Hansson, RemaSawco, personlig kommunikation 2020a-b, 2021

Dan Trygg, Andor, personlig kommunikation 2020a-b

Francesco Fontanini, Microtec, personlig kommunikation 2021a-b

Jacob Edlund, Biometria, personlig kommunikation 2020a-c, 2021

Jere Heikkinen, Finnos, personlig kommunikation 2021

Johan Oja, Norra Skog, personlig kommunikation 2020a-b, 2021

Lars Björklund, Biometria, personlig kommunikation 2021

Johan Skog, RemaSawco, personlig kommunikation 2021

Monika Strömgren, Biometria, personlig kommunikation 2020a-b, 2021

Appendix

Ytterligare uppgifter om mätramarna i studien

Tabell 15. Förekomst av röntgen (X-ray), princip för längdmätning, samt förekomst av automatisk mätning hos mätramarna i studien under den aktuella studieperioden. UBF = Utbytesförlust (krök). Metall = metalledetektion. Tallklassning = semiautomatisk klassning av tall.

#	Röntgen	Längdmätning	Under bark	UBF	Metall	Tallklassning
1	Ja	Fotocell	Ja, X-ray	Ja	Ja	Ja
2	Nej	Fotocell	Nej	Nej	Nej	Nej
3	Ja	Fotocell	Ja, bild	Ja	Ja	Ja
4	Ja	X-ray	Ja, X-ray	Ja	Ja	Ja
5	Nej	Fotocell	Nej	Nej	Nej	Nej
6	Nej	Fotocell	Nej	Nej	Nej	Nej
7	Nej	Fotocell	Nej	Nej	Nej	Nej
8	Nej	Fotocell	Nej	Nej	Nej	Nej
9	Nej	Fotocell	Nej	Nej	Nej	Nej
10	Nej	Fotocell	Ja, trakeid	Nej	Nej	Nej
11	Ja	Fotocell	Ja, trakeid	Nej	Ja	Nej
12	Nej	Fotocell	Ja, trakeid	Nej	Nej	Nej
13	Nej	Fotocell	Nej	Nej	Nej	Nej
14	Ja	Fotocell	Ja, bild	Nej	Nej	Nej
15	Nej	Fotocell	Ja, trakeid	Nej	Nej	Nej
16	Ja	Fotocell	Ja, trakeid	Ja	Ja	Nej
17	Nej	Fotocell	Ja, trakeid	Nej	Nej	Nej
18	Nej	Fotocell	Nej	Nej	Nej	Nej
19	Ja	Fotocell	Ja, trakeid	Ja	Ja	Nej
20	Nej	Fotocell	Ja, trakeid	Nej	Nej	Nej
21	Nej	Fotocell	Ja, bild	Ja	Nej	Nej
22	Nej	Fotocell	Nej	Nej	Nej	Nej
23	Nej	Fotocell	Nej	Nej	Nej	Nej

Antal stockar i de olika grovleksklasserna

Gran

Tabell 16. Antal sågverk som har minst fem stockar i den aktuella klassen ($N_{\text{sågv}}$) samt totala antalet stockar i klassen (N_{sto}) (sågverk med mindre än fem stockar borträknat), för gran. K_{mitt} = klassmitt. Diam = toppdiameter, vol = m³to-volym.

Toppdiameter (mm)			Längd (cm)			m ³ to-volym (liter)		
K_{mitt}	N_{sto}	$N_{\text{sågv}}$	K_{mitt}	N_{sto}	$N_{\text{sågv}}$	K_{mitt}	N_{sto}	$N_{\text{sågv}}$
82	0	0	246	0	0	45	857	6
120	382	5	275	328	1	109	2751	15
157	1514	11	305	364	10	173	2450	16
195	2649	15	334	34	3	238	1583	15
232	2058	14	363	1178	15	302	897	15
270	1286	15	393	502	11	366	553	14
308	760	14	422	2196	16	431	294	14
345	464	14	451	569	11	495	139	10
383	277	11	481	2693	15	559	43	5
420	120	1	510	921	12	624	10	1
458	69	1	539	800	14	688	0	0
495	24	1	569	162	10	752	0	0
533	0	0	598	0	0	817	0	0
571	0	0	628	0	0	881	0	0

Tall

Tabell 17. Antal sågverk som har minst fem stockar i den aktuella klassen ($N_{\text{sågv}}$) samt totala antalet stockar i klassen (N_{sto}) (sågverk med mindre än fem stockar borträknat), för tall. Kl_{mitt} = klassmitt. Diam = toppdiameter, vol = m^3 to-volym.

Toppdiameter (mm)			Längd (cm)			m^3 to-volym (liter)		
Kl_{mitt}	N_{sto}	$N_{\text{sågv}}$	Kl_{mitt}	N_{sto}	$N_{\text{sågv}}$	Kl_{mitt}	N_{sto}	$N_{\text{sågv}}$
82	0	0	246	261	1	45	893	10
120	213	8	275	467	1	109	3822	16
157	2575	11	305	538	10	173	2680	15
195	2970	15	334	76	5	238	1332	15
232	1980	15	363	1325	15	302	605	14
270	1227	15	393	418	12	366	274	14
308	536	14	422	1535	15	431	93	9
345	202	13	451	322	14	495	37	6
383	56	5	481	1723	15	559	7	1
420	7	1	510	1138	15	624	0	0
458	0	0	539	1137	14	688	0	0
495	0	0	569	613	13	752	0	0
533	0	0	598	48	3	817	0	0
571	0	0	628	24	3	881	0	0