

Kartläggning av teknik, metoder och informationsflöde för mätning av skogens produkter

Review of technology, methods, and information flows for measuring products from forestry



Vänster bild: Mätplats med travmättningsrigg. Höger bild: Kontrollmätning av stockar med klave. Undre bild: Klassning och bedömning av stockar innan mätram vid sågverksintag.
Foton: Maria Nordström & Kari Hyll



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

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2020 ISSN 1404-305X

Förord

Tack till alla som bidragit med information, intervjuer och inspel till den här rapporten. Vi vill särskilt tacka Stiftelsen Seydlitz MP bolagen för deras finansiella bidrag till projektet. Vi vill även ge ett extra tack till Biometria och särskilt Monika Strömgren för datamaterialet och diskussioner kring analysen.

Uppsala 2020-04-08

Kari Hyll och Maria Nordström

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Abstract	8
Introduktion	10
Syfte	11
Mål	11
Material	12
Grundläggande begrepp	13
Nyckeldefinitioner	13
Ersättningsgrundande mätning	14
Typgodkännande	16
Kalibrering och kontroll	17
Egenskapsmodeller	17
Mätningens förutsättningar	19
Vilken information efterfrågas	19
Mätning av stående skog	20
Mätning vid skörd	22
Information om virket	22
Avverkningsposition (koordinater)	22
Identifikation av individuella stockar	23
Beröringsfri eller förstöringsfri mätning	24
Bestämning av kvantitet	26
Ersättningsgrundande skördarmätning	26
Räkning	26
Stockmätning	26
Travmätning eller skäppmätning	30
Bedömning av volym	35
Bedömning av volym och fastvolymprocent	35
Vägning	35
Vägning med torrhaltsbestämning	36
Övriga metoder	36
Bestämning av kvalitet	37
Kvalitet hos massaved	37
Kvalitet hos sågtimmer	38
Kvalitet hos trädbränslen	39
Förutsättningar för att automatisera mätningen av olika virkesegenskaper	40

Perspektiv på virkesmätning hos skogsbranschens aktörer.....	49
Skogsägare	49
Virkesköpare	50
Industrier	51
Mättekniska utvecklare.....	52
De vanligaste mätmetoderna per sortiment över tid och geografi	54
Databearbetning	54
Kategori, sortiment och måttslag	54
Ersättningsgrundande skördarmätning.....	55
Massaved.....	56
Sågverksflis (cellulosaflis).....	60
Sågtimmer	61
Övriga sågbara sortiment	64
Trädbränsle	66
Informationsflödet	70
Stående skog	70
Skörd	70
Mellan avverkning och industrin	71
Ankomst till industrin	72
Vedgården	72
In till processen.....	73
Vad mäts var och när	73
Diskussion	76
Stående skog och skörd	76
Mätning av kvantitet.....	77
Mätning av kvalitet	78
Informationskedjan	79
AI/maskininlärning/nya datakällor	79
Mätningens villkor och förutsättningar	80
Nästa steg.....	80
Slutsatser.....	81
Referenser.....	82

Sammanfattning

Denna rapport är en del av satsningen ”Framtidens virkesmätning” och ger en översyn av området virkesmätning i vid mening. Här avses mätning av kvantitet såväl som kvalitet, på stående skog, vid skörd, för ersättning och för processtyrning. Fokus har dock legat på mätningar som sker när virket byter ägare. De olika mätförutsättningarna för kategorierna sågtimmer, massaved och trädbränsle har beaktats, med viss prioritering av massavedsmätning. Rapporten baseras på en litteraturgenomgång av forskning och utveckling inom virkesmätning de senaste 20 åren, kompletterad med intervjuer och dataanalys. En ambition har varit att rapporten ska vara lättillgänglig även för läsare som är obekanta med ämnet virkesmätning.

Utvecklingen inom virkesmätning går mot ökad automatisering. Två exempel är användningen av bildbaserade tekniker, exempelvis vid travmätning av massaved och införandet av rutiner för semiautomatisk klassning av tallsågtimmer. Ökad automatisering brukar gå hand i hand med ökad användning av beröringsfria mättekniker. Här är skördarmätning ett undantag, där utvecklingen av beröringsfria mättekniker för skördaraggregat hittills inte lett till ett teknikskifte. Givet att det finns en ökad önskan att mäta virkesegenskaper redan vid skörd är det ändå troligt att forskningsinsatserna kommer att fortsätta, men med fokus på kvalitetsparametrar. Eftersom den svåra miljön i skördaraggregatet har varit ett betydande hinder är en möjlig utveckling att beröringsfri teknik, exempelvis laserskanners, istället monteras på motorhuven eller andra platser på skördaren.

Inom den ersättningsgrundande mätningen är det tydligt att travmätningen ökar för både sågtimmer, massaved och trädbränsle, sannolikt som en följd av den bildbaserade fjärrmätningens framgångar. Av samma anledning minskar användningen av den metod som kallas bedömning av volym och fastvolymprocent. Även vägning som grund för ersättning minskar något, liksom skäppmätning av sönderdelat bränsle.

Idag är analysen av fjärrmätningars bilderna delvis manuell när det gäller mätning av volym, och helt manuell när det gäller skattning av kvalitet. Utveckling pågår för att helautomatisera volymsmätningen och det är troligt att även kvalitetsklassningen kommer automatiseras med hjälp av AI-metoder. För massaved är utmaningen att manuellt skatta färskhet via bild. På sikt är det dock möjligt att multispektrala kameror integreras i fjärrmätningssystemen för mätning av exempelvis färskhet. För sågtimmer sker mycket utveckling inom kvalitetsmätning av stockar med röntgenmätningar. Kostnadsbilden för röntgentekniken är dock en utmaning. En möjlig parallell utveckling är att ersättningsgrundande fjärrmätning av sågtimmer ökar, där information om kvalitet hämtas från skördardata. Även användningen av vägning och viktdata som stöd vid ersättningsgrundande mätning förutspås öka. Energibranschen vill i större grad basera ersättningen på energivärde. Där återstår dock mycket arbete för att säkerställa snabba och pålitliga mätvärden av energirelaterade egenskaper.

Virkesmätningen är beroende av de system som registrerar och lagrar informationen. I det digitala informationsflödet framstår det som relevant med lösningar som möjliggör att stockar och partier kan spåras även vid omlastning vid terminal. Samma slutsats gäller även vid lagring på industriernas vedgårdar. Flera märknings- eller identifikationssystem tänkta att monteras i skördaraggregatet är under utveckling. Initialt skulle tekniken kunna användas för att ersätta vältappar. Utvecklingssteg som kvarstår är dels att tekniken för aggregatet behöver demonstreras i långvarig praktisk drift, dels att system för avläsning utvecklas.

De områden som framstår som mest prioriterade för vidare teknikutveckling är automatisk kvalitetsklassning av sågtimmer i form av lösningar för att mäta fler egenskaper än idag, mätning av röta vid skörd eller vid fjärrmätning, krökmätning vid skörd, torrhaltsmätning av rundved och sönderdelat trädbränsle, och samplingslösningar för sönderdelat bränsle.

Abstract

This report is a part of the initiative Timber Measurements of the Future, and provides a review of Swedish timber measurement in the broad sense. The report considers the measurement of quantity and quality of standing forest, at harvest, for a commercial transaction, and for process control. However, the main focus has been on measurements that take place when the timber changes owner. The different measurement conditions for sawlogs, pulpwood and forest fuel have been examined, with some prioritisation of pulpwood measurement. The report is based on a literature review of research and development in timber measurement in Sweden and nearby countries over the past 20 years, supplemented by interviews and data analysis. One ambition has been to make the report also accessible to readers who are unfamiliar with the field of timber measurement.

The trend in timber measurement is towards increased automation. Two examples are the use of image-based techniques, for example in stack measurement of pulpwood, and the introduction of routines for semi-automatic classification of pine sawlogs. Increased automation usually goes hand in hand with increased use of non-contact measurement techniques. Here, harvester measurement is an exception, where the development of contact-free measurement techniques for harvester heads has yet to lead to technological change. Given the increased desire to measure log properties already at harvest, research is likely to continue. As the harsh environment in the harvester head has been a significant obstacle, one possible development is that non-contact technology, such as laser scanners, is instead mounted on the engine hood or at other positions on the harvester.

Stack measurement is increasing for commercial measurement of both sawlogs, pulpwood and forest fuel, probably due to the success of image-based remote measurement. For the same reason, the method known as assessment of volume and solid volume percentage is used less. Weighing as a commercial measurement method has also decreased somewhat, as has bushel measurement of chipped forest fuel.

Today, the remote analysis of stack images is partly manual when measuring volume, and completely manual when grading. Development is under way to fully automate the volume measurement, and it is likely that grading will also be automated using AI methods. For pulpwood, the difficulty of estimating freshness through image is a challenge for remote measurement but, in the long run, multispectral cameras may be integrated into the remote sensing rigs to measure, for example, freshness. For sawlogs, significant development is taking place in measuring quality properties using X-ray scanners, but the cost is a challenge. A possible parallel development is that remote measurement of sawlog stacks will increase, where high-quality information is obtained from harvest data. The use of weighing and weight data as support for commercial measurement is also expected to increase. The energy industry wants to base payment on energy value to a greater extent, but much work remains before fast and reliable measurement of energy-related properties can be ensured.

Timber measurements rely on the systems that record and store the information. The digital information chain would be improved by solutions that enable logs and stacks to be tracked through reloading at a terminal, or during storage at industrial wood yards. Several marking or identification systems intended for mounting in the harvester head are under development. Initially, the technology could be used to replace stack notes. As a next step, the unit for the harvester head needs to be demonstrated in long-term practical operation, and systems for reading and decoding the markings should be developed.

The areas that appear to be most prioritised for further technological development are automatic quality classification of sawlogs by measuring more properties than today, rot measurement at harvest or during remote stack measurement, sweep measurement at harvest, moisture content measurement of roundwood and chipped forest fuel, and sampling solutions for chipped forest fuel.

Introduktion

Två grundläggande frågor vid en virkesaffär är ”hur mycket virke finns det?” och ”av vilken kvalitet är det?”. Svaren ges av virkesmätningen. I Sverige har det varit norm att den betalningsgrundande virkesmätningen görs av en aktör oberoende av köparen och säljaren. Historiskt har denna aktör varit någon av de regionala virkesmätningssällskapen: VMF Nord i norra Sverige, VMF Qbera¹ i Mellansverige, och VMF Syd i södra Sverige. En oberoende instans, VMK (Virkesmätningsskontroll) har i sin tur stått för extern kvalitetsgranskning av virkesmätningssällskapens verksamhet.

Data från virkesmätningen har sedan skickats till SDC, som grundades redan på 1960-talet av skogsbrukets intressenter. SDC har även hanterat data från skördare, och haft FoU-aktiviteter inom avdelningen VMU (Virkesmätningssutveckling). Knutet till SDC har även Rådet för Mätning och Redovisning (RMR) varit, som har rådgivit SDC kring virkesmätningssfrågor.

Vid årsskiftet 2018/2019 slogs de tre virkesmätningssällskapen samman med SDC till organisationen Biometria. I och med att virkesmätningssällskapens regionala praktiker delvis skiljde sig åt aktualiserades frågan hur mätningen bäst kan organiseras över landet.

FoU-aktiviteter inom virkesmätning har även skett hos Skogforsk och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). Hos Skogforsk har forskning främst skett inom områden som skördarmätning och mätning av trädbränsle. På SLU, som haft en betydande verksamhet inom området Virkeslära, ledde personalomsättning till minskad forskningsaktivitet inom virkesmätning. Mot denna bakgrund har skogsbranschen uttryckt en önskan om ökad satsning på forskning och utveckling inom området virkesmätning.

Vi är med andra ord inne i en tid av utveckling och förändring inom området virkesmätning. Den här studien syftar därför till att ge en aktuell översyn av virkesmätningen, med fokus på Sverige men även med viss blick på forskning och utveckling som skett internationellt.

I studien har vi valt en bred definition av ämnet virkesmätning: teknik och metoder som mäter och prognostiserar kvantitet- och kvalitetsrelaterade ved- och bränsleegenskaper längs hanteringskedjan. I många sammanhang syftar virkesmätning däremot enbart på den betalningsgrundande mätningen av virke.

¹ Qbera från verbet kubera; att beräkna volymen av något

Syfte

Syftet med studien är att etablera en kunskapsbas och lägesbild kring mätning av massaved, sågtimmer och träddränsle, i den prioriteringsordningen. Projektet tittar på kedjan från den stående skogen till industrin, med fokus på när virket byter ägare. Kostnadseffektivitet, tidseffektivitet och noggrannhet beaktas, liksom både säljarens och köparens behov.

Särskilda frågeställningar är:

Vilka egenskaper mäts idag? Hur, var och i vilken omfattning? Vilka egenskaper som inte mäts idag finns det behov av att mäta? Vilka för- och nackdelar har de olika mätmetoderna? Hur påverkas logistiken av var och hur metoderna används? Vice versa, hur påverkas utformningen av mätningen av logistiken?

Hur ser informationsflödet ut? Hur lagras och propageras mätdata? När i processen behövs informationen vs. när mäts den? Mäts samma egenskap flera gånger i processen, och så ifall varför?

Hur ser utvecklingen ut? Vilka mätningar görs med manuella metoder? Vilken information lagras på papper respektive digitalt (respektive inte alls)? Vilken information skattas och registreras av mänsklig mätare? Vilka är drivkrafterna bakom utvecklingen mot fjärrmätning? Vilka tekniker är ”på ingång”?

Vilka faktorer hindrar respektive stimulerar utveckling och implementering av effektivare mätteknik? Vad är teknikutvecklingsbolagens perspektiv? Hur ser utvecklingen ut när det gäller nya mättekniker och metoder för virkesmätning? Vilket är teknikutvecklingsföretagens och industriernas perspektiv?

Mål

Produktmålen med projektet är att identifiera minst tre prioriterade områden med behov av ny eller förbättrad mätteknik. Effektmålen med projektet är att få en överblick över det digitala informationsflödet och identifiera eventuella flaskhalsar, samt att genom översyn och förbättring av mätnoggrannhet och transparent dataflöde bidra till rättvis betalning för ökad social och ekonomisk hållbarhet i skogsnäringen.

Material

Den här rapporten bygger på tre olika material. Det första materialet är en litteraturstudie med fokus på publikationer från de senaste 20 åren. Huvuddelen av litteraturen kring virkesmätning finns i form av rapporter och examensarbeten, och endast en liten del är publicerad i vetenskapliga tidskrifter.

Det andra materialet består av två dataset från Biometria. Det första består av volymer för betalningsgrundande skördarmätning för åren 2013–2018. Det andra består av volymer för all övrig ersättningsgrundande virkesmätning för åren 2017–2019. Detta dataset är dels uppdelat på sortimentskategori och mätmetod, dels geografiskt uppdelat i mätplats med tillhörande koordinater. I analysen antas att de kvantiteter sågtimmer, massaved och trädbränsle som inte registreras i Biometrias system är försumbara.

Det tredje materialet består av muntliga och skriftliga intervjuer med representanter från mätutvecklingsföretag och skogsindustriella företag, samt forskare och anställda på branschens institut och organisationer.

Grundläggande begrepp

NYCKELDEFINITIONER

I den här rapporten förekommer begreppen mätare, mätprincip, mätutrustning, mätmetod, mätsystem och mätteknik. En *mätare* kan vara antingen en mänsklig individ eller en mätutrustning, och i rapporten har vi strävat efter att vara tydliga med om vilken av dessa som avses. I övrigt har vi använt begreppen som följer: en *mätprincip* är den fysikaliska princip som används för att få information om en egenskap, till exempel när-infraröd absorption. En *mätutrustning* tillämpar en mätprincip (ofta olika tillverkare och olika märken) och levererar ett mätvärde. En *mätmetod* har en mätprincip och ofta även en mätutrustning, men framför allt en analys för att komma fram till mätresultatet. Okulär besiktning (att skatta något med ögat) kan sägas vara en mätmetod, liksom fjärrmätning (travmätning genom datorstödd analys av visuella bilder). Ett *mätsystem* kombinerar mätprinciper, mätutrustningar eller mätmetoder. *Mätteknik* används i denna rapport som ett paraply för alla dessa begrepp.

Två andra begrepp som ofta förekommer i samband med virkesmätning är *mätning* och *skattning* (alternativt bedömning). Däremot förklaras sällan de två begreppen. Oxford Dictionary definierar mätning som ”att ta reda på storleken, mängden eller graden av en egenskap genom att använda ett instrument märkt med standardiserade enheter”. Cambridge English Dictionary definierar mätning som ”att ta reda på den exakta storleken eller mängden av något”. En ideal mätning är objektiv, alltså inte beroende av mänskligt tyckande.

Inom statistiken används begreppet skattning (estimering) närmast synonymt med beräkning av något. När det gäller mätning blir definitionen något annorlunda. Skattning definieras av Oxford Dictionary som ”en grov beräkning av värdet, antalet, kvantiteten eller graden av något”. En annan definition är att skattning har ett subjektivt element. En semi-objektiv skattning kan vara gjord efter en mall (Björklund 2012). Skillnaden mellan mätning och skattning handlar med andra ord om mätnoggrannhet och objektivitet. Exakt var gränsen dras mellan mätning och skattning är odefinierat.

Mätningar är ofta behäftade med *systematiska* och *slumpmässiga* fel (osäkerheter). Bjurulf och Nordström (2016) summerar: ”Det är eftersträvarsvårt med mätmetoder med små slumpmässiga fel (låg standardavvikelse). Ofta blir val av mätmetod en avvägning mellan låg standardavvikelse och hög effektivitet – ett klassiskt exempel är valet mellan stockmätning och travmätning”. Virkesmätningsslagen ställer krav på mätningens *noggrannhet* på partinivå (Skogsstyrelsen 2014). Noggrannhet brukar här tolkas som sammanlagd avvikelse från det sanna värdet (referensmetoden), med andra ord en kombination av systematiskt och slumpmässigt fel.

Mätningen utförs vid en *mätplats*, som vanligen är placerad vid en industri eller terminal. Virket transporteras till mätplatsen och mäts in innan det slussas vidare, vilket gör att affären mellan köpare och säljare kan avslutas. Normalt är det industrins eller terminalens ägare som också äger mätplatsen och dess utrustning, medan Biometria står för den opartiska bemanningen av den. Virkesmätaren sköter mätningens första led, medan kontrollmätaren står för intern kvalitetsgranskning. Vid mätning registreras virkesmätaren eller kontrollmätaren som del av ett *mätlag*, som kan bestå av en eller flera personer. Mätningen leder fram till ett *mätbesked* som redovisar resultatet till köparen och säljaren. Ett parti kan dock *mätningssvängas* om virket inte bedöms vara *leveransgillt*, alltså inte uppfyller vissa grundkrav för det aktuella sortimentet eller avtalet.

Sortiment är ett vanligt begrep i virkesaffärer. I de system som registrerar virkesmätningensdata är ett sortiment en smal kategori produkter, exempelvis stamdelar eller träddeklar. Sortiment samlas i *sortimentsgrupper*, exempelvis "träd och stammar". Till vardags delas virke ofta in i sågtimmer, massaved och trädbränsle, som här kommer att kallas för *kategorier*.

Travar eller stockar som slumpas ut för ändamål som omräkning eller kontroll kommer i rapporten gemensamt att kallas för *uppföljningstravar* respektive *uppföljningsstockar*.

ERSÄTTNINGSGRUNDANDE MÄTNING

Vid någon tidpunkt ska säljaren få betalt för virket. Priset beror på en kombination av virkets trädslag, sortiment (exempelvis barrmassaved, klentimmer och brännved), kvantitet (mängd) och kvalitet. För att affären ska kunna genomföras behöver det därför finnas information om hur stor kvantitet (i handelsmåtten) som finns av de olika kvalitetsklasserna. Det behövs också information om virket inte uppfyller minimikraven för mätning eller klassning och därför ska vägras mätning. Mätningen som syftar till att ge denna information kallas för ersättningsgrundande mätning eller vederlagsmätning.

Data från ersättningsgrundande mätningar samt majoriteten av data från mätning med skördare lagras i Biometrias informationssystem VIOL (Virke OnLine). Dagens version kallas VIOL 2. Arbete pågår med utveckling av nästa generationssystem, det så kallade VIOL 3. Målsättningen är bland annat att VIOL 3 ska kunna hantera mer detaljerad information.

Handelsmått

Vid mätning registreras mätvärdet med ett måttslag som beror på den mätmetod som använts. Det är vanligt att betalningen grundas på ett annat måttslag, som då kallas handelsmåtten. I dessa fall behövs en omvandling från det inmätta måttslaget till handelsmåtten göras. Handelsmåtten styr till mycket hög grad mätningens organisering och utveckling.

I Sverige betalas det mesta virket utifrån sin volym i kubikmeter m^3 . Fast volym, m^3f , är en formutjämnad volym, där stockens håligheter (luft) och utbuktningar är skattade och borträknade (Björklund m.fl. 2009). Fast volym kan mätas på bark, m^3f_{pb} , eller under bark, m^3f_{ub} . För rundved är kubikmeter fast volym under bark, m^3f_{ub} , det dominerande handelsmåtten. Att handelsmåtten är just under bark är en konsekvens av att veden, och inte barken, ses som den värdefulla delen av stocken. Däremot mäter många mätmetoder ovanpå barken och inte under den, och för att få handelsmåtten behöver mätaren då skatta/beräkna och dra bort barkens andel av volymen.

Sett till all rundved dominerar måttslaget m^3f_{ub} men för kategorin sågtimmer mäts ca 70 procent av all volym in med toppmått volym, m^3to . Vid toppmätning räknas hela stocken ha samma diameter som den har vid toppändan, vilket motsvarar den del som går att såga till trävaror. Måttslaget kan vara på eller under bark. Toppmått volym är inte en fastvolym, men kan räknas om till sådan genom omvandlingstal. Ett mindre vanligt måttslag för sågtimmer är mittmått volym, m^3mi , då hela stocken räknas ha samma diameter som på dess mitt. Till skillnad från toppmått volym definieras mittmått volym som en fastvolym och har därför en enkel omvandling till m^3f_{ub} .

Om luften i virkeslasset inte räknas bort kallas volymen för skrymvolym, m^3s , istället för fastvolym. Handlar det om travad rundved kan skrymvolymen även kallas travad volym, m^3t . Handlar det om en skäppa sönderdelat trädbränsle kan skrymvolymen kallas stjälpvolym, fortfarande med måttslaget m^3s . Skrymvolymen går snabbt att beräkna baserat på skäppans eller travens yttermått. För sönderdelade sortiment som träflis förekommer även måttslagen *tTV* (ton torrsvikt), *MWh* (megawattimmar) och *tTWh* (ton terawattimmar).

För stående skog, exempelvis vid försäljning av rotposter, förekommer måttet skogskubikmeter, m^3sk . Skogskubikmeter inkluderar trädets topp och bark, men inte dess grenar, rötter eller stubbe.

Mätmetoder

Det finns åtta standardmetoder för ersättningsgrundande mätning (Tabell 1). Mätmetoderna har varsin sifferkod i informationssystemet VIOL, där en mätning som kombinerar travmätning med bedömning av fastvolymprocent (kod 3) och stockmätning (kod 2) ibland kan refereras till som ”3-2-mätning”. Metoderna beskrivs mer ingående i ett kommande kapitel. Stockmätning utförd som topprot-mätning är den referensmetod som alla andra metoder utvärderas mot. Dock kommer aldrig två mätmetoder som jämförs att ge exakt samma resultat eftersom deras mätprinciper alltid skiljer sig lite åt.

Tabell 1. Standardmätmetoder för ersättningsgrundande mätning, samt deras VIOL-koder och handelsmått. Källa: SDC (2017b).

Mätmetod	Kod	Exempel på handelsmått
Stockmätning	2	m^3to , $m^3f ub$
Travmätning med bedömning av fastvolymprocent	3	$m^3f ub$
Travmätning eller skäppmätning	4	m^3t , m^3s
Bedömning av volym och fastvolymprocent	5	<i>tTV</i> , $m^3f ub$
Bedömning av volym	6	$m^3f ub$
Vägning	7	ton
Räkning	8	st (antal)
Vägning med torrhhaltsbestämning	9	<i>tTV</i> , <i>tTWh</i> , <i>MWh</i>

Stickprov och rationella metoder

Stickprov, i betydelsen mätning av en delmängd, används på flera sätt inom virkesmätningen. Stickprov fyller en viktig funktion för att utvärdera och kvalitetssäkra mätningen. Det görs genom att slumpa ut ett urval av exempelvis travar eller stockar och mäta det med en noggrannare metod. Ett exempel är den tidigare nämnda 3-2-mätningen. När en trave just har mätts får mätaren ett meddelande att den slumpats ut till ett stickprov. Då stockmäts varje stock i traven, och stockarnas volym räknas ihop till en ”trave”. Genom att jämföra stickprovsmätningens resultat med travmätningens resultat kan systematiska och slumpmässiga fel beräknas, och förslag på förbättringar av mätningen kan utformas. Stickprov används också för att möjliggöra användningen av mer rationella metoder som exempelvis räkning. I rationella metoder mäts ofta många stockar eller en stor mängd trädbränsle samtidigt. Dessa metoder är billigare och effektivare men har ofta en lägre noggrannhet än när stockarna mäts individuellt eller trädbränslet mäts i mindre enheter.

Att korrigera mätresultatet från den rationella metoden med mätresultatet från en mer noggrann stickprovsmätning ger ett bättre mätresultat. Genom att bara en liten andel av virket mäts med den långsammare och dyrare mätmetoden (stickprovsmetoden), blir mätningen mer rationell. Till exempel kan travmätning användas som stickprovsmätmetod vid vägning, och stockmätning användas som stickprovsmätmetod vid travmätning.

En närliggande användning av stickprov är omvandling mellan måttslag. Ett exempel kan vara att en stor mängd stockar mäts med en mätmetod som ger volym på bark, m^3f_{pb} . Ett stickprov tas ut och mäts med en metod som ger volym under bark, m^3f_{ub} , vilket ger ett omvandlingstal mellan m^3f_{pb} och m^3f_{ub} som sedan tillämpas på alla stockar.

Kollektiv

Kollektivmätning är ett system som syftar till att slumpa ut stickprov från en specifik grupp virke (ett kollektiv), och sedan justera den ursprungliga mätningen med resultatet från stickprovet. Detta kallas för kollektivomräkning. Kollektivomräkningen grundande sig bland annat i en misstanke om att virkets ursprung och sortiment påverkade mätningen. Tanken var att visst virke kunde få sin volym överskattad vid mätningen, medan annat kunde få sin volym underskattad. För massaved gällde den misstanken särskilt bedömningen av vrak, alltså andelen stockar som vid inmätning inte visar sig uppfylla minimikraven, och därmed inte ges betalning för (LandSkogsbruk, 2019b). Man ville kompensera för en eventuell under- eller överskattning av volymen och göra kompensationen skräddarsydd för virkespartier som var lika varandra, men olika andra partier. För att göra detta grupperades virket i så kallade kollektiv. Till exempel kunde ett kollektiv bestå av det virke som såldes av en viss köpare till en viss säljare under ett år. Kollektiv har använts vid ersättningsgrundande mätning i Mellansverige och norra Sverige sedan 1960-talet (Orvér, 2002).

Mätningen av virke som tillhörde ett kollektiv utfördes sedan i två steg. Först mättes virket med en rationell, ”enkel”, mätmetod, till exempel travmätning. Sedan slumpades ett antal stickprovstravar ut och mättes med stockmätning. Från skillnaden i uppmätt volym mellan den enkla mätningen och stickprovet beräknades ett kollektivomräkningstal, som användes för att räkna om all volym som mätts med den enkla mätmetoden. Den omräknade volymen antogs ligga närmare den sanna volymen. Senare studier kom att visa att effekten av kollektivomräkningen inte var tillräckligt stor för att motivera att systemet upprätthölls, och i augusti 2019 beslutade Biometrias styrelse att fasa ut kollektivomräkningen för massaved. Kollektiv för massaved kommer att finnas kvar för vissa båt- och tågtransporter. Det förekommer även kollektiv för mätning av sågtimmer.

TYPGODKÄNNANDE

För att en mätutrustning ska få användas för ersättningsgrundande mätning måste den typgodkännas av VMK (organisationen för virkesmätningsskontroll). Utrustningen utvärderas då på två områden: för mätteknisk noggrannhet och kontrollerbarhet, samt för funktionalitet i praktisk virkesmätning (VMK, 2019a). Typgodkännandet gäller för en viss mätsituation; ett typgodkännande för att mäta på en 24 m lång timmerbil betyder inte att utrustningen är godkänd för att mäta på fordon längre än 24 m. På samma sätt blir inte en utrustning som godkänns för att mäta på gran automatiskt godkänd för att mäta på andra trädslag. Utrustningen behöver sedan också ett installationsgodkännande för den specifika plats som den används på.

KALIBRERING OCH KONTROLL

De flesta mätutrustningar behöver kalibreras för att uppnå god mätnoggrannhet och bibehålla denna över tid. Kalibrering syftar till att minimera systematiska fel i mätningen. När en mätutrustning installeras eller tillämpas på ett nytt sorts prov behöver också kalibrering göras för att anpassa utrustningen till de nya omständigheterna, exempelvis när en mätutrustning som utvecklats för grot ska användas på returträ. Det är vanligt att kalibrering sker med hjälp av modellobjekt, som har väl bestämda egenskaper. Ett modellobjekt kan exempelvis vara en stockliknande plastcylinder med känd diameter, längd, vikt och ytstruktur. Ofta sker kalibrering av ordinarie personal. Virkesmätningslagen ställer då krav på egenkontroll av mätningen. Opartisk kontroll sker genom besök av kontrollmätare eller mätrevisorer.

EGENSKAPSMODELLER

En del egenskaper är svåra att mäta, antingen rent tekniskt, vid rätt tidpunkt eller till en rimlig kostnad. Ett alternativ är att använda modeller för att koppla egenskaper som mätts hos den stående skogen eller vid skörd, till egenskaper hos virket och slutprodukten. Betydande arbete för att ta fram sådana modeller gjordes kring millennieskiftet (Ekenstedt m.fl. 2003, Lundqvist m.fl. 2003). Exempel på egenskaper som fås ur modeller är kvistegenskaper, torr-rådensitet, och fiberdimensioner (Möller m.fl. 2007). Den indata som då krävs kan vara ålder, trädhöjd, diameter, aktuellt läge i trädet i avstånd från rot, bonitet och geografiska koordinater (latitud och altitud). En annan sorts modell exemplifieras av uttorkningsmodeller för virkesvältor, vars indata är avverkningstidpunkt, avläggskoordinater, vältans utsatthet för väderfaktorer och väderdata (Wilhelmsson m.fl. 2005). Egenskaperna som modelleras är då torrhalt och färskhets.

Beroende på modellerad egenskap och kvalitet hos den mätdata som används som indata har modellerna olika förklaringsgrad och osäkerhet. Därför används modeller främst för att dra slutsatser kring medelvärden på parti- och beståndsnivå, snarare än för att förutsäga egenskaper för individuella stockar.

Mätningens förutsättningar

Mätningens förutsättningar påverkas av faktorer som sortiment, träslag, logistik och behovet av förtroende. Det påtalas ofta att mätningen inte ska vara en del av affären. Med det menas framför allt att ett virkesparti ska mätas till samma kvantitet och kvalitet oavsett vilken mätplats det mäts in på. Mätningen ska vara likformig så att säljaren inte tjänar eller förlorar på att virket skickas till en viss industri.

Mätningen verkar i en logistisk kedja, där ett virkesparti kan köpas, bytas, säljas och delas upp flera gånger innan det når industrin. Valet av mätmetod beror på faktorer som vem säljaren är, partiets storlek och var i den logistiska kedjan mätningen sker. Om säljaren är en privat skogsägare som kanske säljer virke en eller två gånger i sitt liv blir förtroendet för mätningen viktig. Då kan valet falla på en lättbegriplig metod med hög noggrannhet. Vid lagerförflyttningar inom ett företag eller affärer mellan stora aktörer kan valet istället falla på en rationell, mindre noggrann mätmetod. Den logistiska kedjan påverkar också mätningen i avseendet att mätningen inte får sakta ner flödet mer än nödvändigt. För massaved mäts ofta virket som trave på lastbil när det ankommer vid en industri. Varje minut som lastbilen står still är en kostnad. Samtidigt kanske inte en liten mätplats eller industri har resurserna att investera i den nyaste och mest effektiva mättekniken. Det leder till en spridning i tekniknivå mellan olika mätplatser.



Figur 1. Mätplats med mätbrygga vid värmeverk. Källa: Garis Masa, forna VMF Syd.

Sågtimmer betingar ett högre värde än massaved, som i sin tur betingar ett högre värde än trädbränsle. Det gör att det finns en ökad motivation att betala för mätningen och för mätteknisk utveckling för sågtimmer, jämfört med exempelvis trädbränsle. För sågverk och värmeverk finns också en stor variation i industriernas storlek, där stora industrier ofta har möjlighet att investera mer i ny mätteknik än mindre.

Det mesta virket som mäts är gran eller tall. Baserat på det dataset som analyserades inför den här rapporten utgjorde gran, tall eller blandad barrved 88 procent av det virke som mättes som grund för ersättning år 2019. Ca 8 procent var lövträdsvirke, varav björk utgjorde strax under 7 procent och asp, bok och ek tillsammans utgjorde strax under 1 procent. Dominansen av gran och tall gör att ny mätteknik i första hand anpassas för

dessa trädslag. Lövträdsvirke är även svårare att mäta än barr, bland annat eftersom det brukar vara krokigare. Travmätning har till exempel större spridning vid mätning av löv än vid mätning av barr (Bjurulf & Nordström 2016). Ett stort antal olika trädslag kombinerat med små volymer kan även göra det svårare för virkesmätaren att följa upp och förbättra sin mätning av ett givet trädslag.

VILKEN INFORMATION EFTERFRÅGAS?

Senare kapitel kommer att gå igenom olika kvalitetsegenskaper i större detalj. Redan nu kan det dock vara värt att ha med sig vilka egenskaper som anses viktigast för olika sortimentskategorier.

Massaved

De virkesegenskaper som är mest intressanta för massaframställning är densitet, färskhet och fiberdimensioner (fiberlängd, fiberväggstjocklek, fiberbredd). Relaterade till densitet och färskhet är torrhalt, avverkningsdatum, kärnvedsandel och torrsvikt. Andra relevanta egenskaper är rötförekomst, nedsmutsning och ligninhalt. För hanteringen av stockarna i massabrukets renseri är stockens längd, diameter (övergrovhet) och förekomst av kvistar, klykor, krökning och främmande föremål av stor betydelse (Klensmeden 2006, Wilhelmsson, 2007).

Sågtimmer

Viktiga egenskaper för timmer är trädslag, längd, diameter, krökning (utbytesförlust), färskhet, sprickor, rötförekomst, bulighet, avsmalning, kvistning (grovlek, grenvarvsavstånd), tjurvedsförekomst, fibervinkel och hållfasthet (Wilhelmsson, 2007). Eftersom hållfastheten är svår att mäta skattas den istället från andra mätta variabler, som växtvridenhet, årsringsbredd och kärnvedsandel. Vid sådana skattningar behövs också information om ifall stocken är rot-, mellan- eller toppstock.

Trädbränsle

För sönderdelat trädbränsle är torrhalt, storleksfördelning (fraktionsklass, finfraktionsandel, spånandel), askhalt, skrymdensitet och barkhalt de viktigaste egenskaperna (Klensmeden 2006, Persson & Engstrand 2006, Björklund m.fl. 2014, Iwarsson Wide m.fl. 2019). Många av dessa egenskaper speglar energiinnehållet, som i dagsläget inte går att mäta direkt.

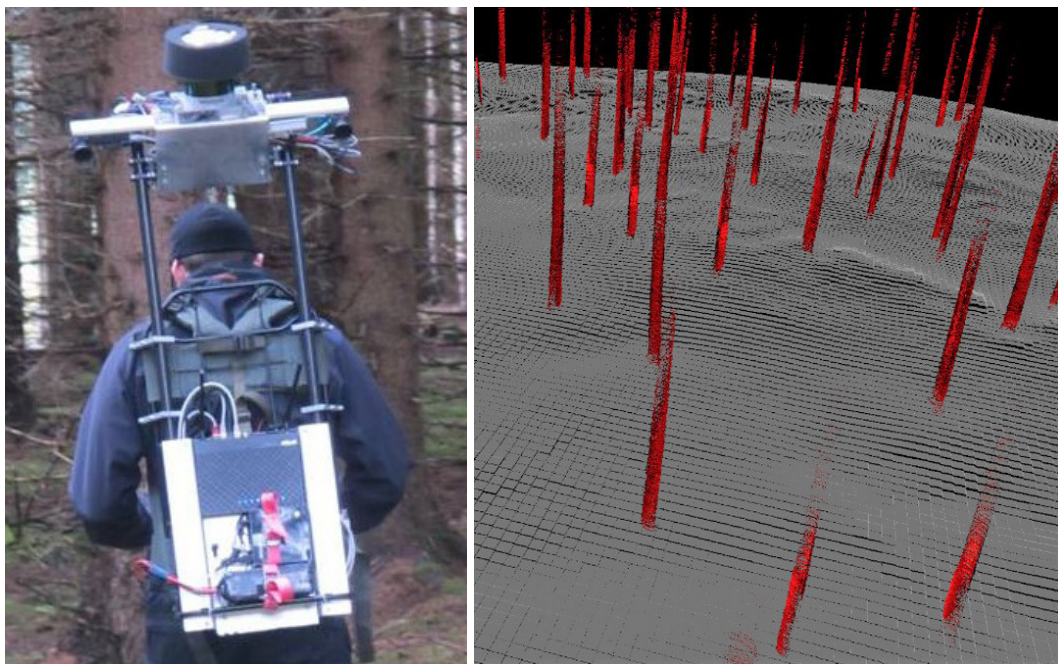
Mätning av stående skog

I dagligt tal förknippas virkesmätning framför allt med ersättningsgrundande mätning vid industri. Information för användning till planering, ersättning och processtyrning genereras dock i hela värdekedjan, från den stående skogen, via avverkningen, fram till den industriella processen. Därför kommer denna rapport att belysa alla dessa delar. Mätning av stående skog är i sig ett ämne som kan fylla hela böcker, därför ligger fokus på det mest grundläggande.

Den stående skogen finns beskriven på beståndsnivå, men inte för enskilda träd, i ett beståndsregister (för skogsföretag) eller en skogsbruksplan (för enskilda skogsägare). Informationen om den stående skogen omfattar exempelvis ålder, trädslagsfördelning, medelhöjd, medeldiameter (brösthöjdsdiameter), position (koordinater), skador, samt vilka delar av beståndet som ska undantas vid avverkning (hänsynsobjekt). Inför avverkning används informationen för att skatta total virkesvolym i beståndet och för att beräkna utbytet, det vill säga vilka produkter som kommer att falla ut.

Beroende på beståndets storlek kan information om den stående skogen inhämtas manuellt eller kombineras med exempelvis flygbilder eller 3D-data från den nationella flygburna laserskanningen. Traditionellt har den manuella mätningen skett med bland annat klave och relaskop. Mer avancerad utrustning för skattning av inre skador och hållfasthet förekommer, exempelvis baserad på borrhingsmotstånd eller akustisk excitation (Ross 2015). Dessa metoder är dock inte spridda inom det svenska produktions skogsbruket, sannolikt på grund av komplex teknik och hög kostnad. Både i Sverige och utomlands finns en ökad mängd digitala och ofta appbaserade metoder och tjänster för manuell mätning av stående skog (Willén & Söderberg 2017, Arboreal 2019, Trestima 2019).

Den nationella laserskanningen är särskilt användbar för att skatta bestånds medelhöjd och medeldiameter, men har begränsningen att den utförs med några års mellanrum och att informationen därmed kan vara inaktuell. Laserskanning kan heller inte i dagsläget identifiera trädslag eller skador hos individuella träd. Utvecklingen inom flygburen laserskanning går mot ökad spatial upplösning och mer frekventa nationella laserskanningar. År 2018 hade den nationella skanningen en upplösning på ca 2 punkter per m². En upplösning på ca 5 punkter per m² är nödvändig för att skatta egenskaper hos individuella träd (Jon Söderberg, Skogforsk, personligt meddelande 2019-08-26). Försök pågår för att förbättra noggrannheten i trädslagsfördelningen på beståndsnivå med multispektral laserscanning (Axelsson m.fl. 2018). Flera initiativ syftar också till att utveckla potentialen för mätning med drönare eller mobil laserscanning, som båda har upplösning på trädnivå (Holmgren m.fl. 2017).



Figur 2. Vänster: Utrustning för mobil laserskanning. Höger: Digital terrängmodell och beräknade stamdiametercylindrar från mobil laserskanning. Källa: Holmgren m.fl. (2017), Skogforsk (2016).

Mätning vid skörd

INFORMATION OM VIRKET

Majoriteten av virkesskörden i Sverige sker idag med skördare och skotare. Det mesta virket skördas som enskilda träd och flerträdshantering kommer därför inte att beröras här. Vid skörd mäts längd och diameter hos varje stock med mekaniska mätgivare i skördaraggregatet (Figur 3). Diametern mäts på bark i sektioner längs hela stocken och omvandlas till mått under bark med en barkfunktion. Längden och diametern kombineras sedan till fast volym under bark, $m^3 \text{sub}$. Vid jämförelse med topprot-stockmätning är mätosäkerheten hos skördaren ca 4–7 procent för en enskild stam (Wilhelmsson m.fl. 2019). Föraren skattar och registrerar trädslag för varje stam. Kvalitetssegenskaper som krök och röta skattas av föraren men registreras inte. Sammanvägningen av kvaliteten avspeglas istället i det sortiment som stammen apteras till (exempelvis sågtimmer, massaved, bränsleved eller specialsortiment).



Figur 3. Delar av skördaraggregatet som används för mätning av längd och diameter. Längden mäts med ett mät hjul medan diametergivarna sitter monterade antingen i de övre kvistknivarna eller i matarhjulen. Källa: Nordström & Hemmingsson (2015).

AVVERKNINGSPOSITION (KOORDINATER)

Att veta positionen på det avverkade trädet möjliggör jämförelser med fjärranalys- och laserskanningsdata. De flesta skördare registrerar idag maskinhyttens position, som kan vara mer än 10 m från trädet. Det har dock skett utveckling inom kranspetsstyrning, där kranspetsens position relativt skördarhytten registreras (Lindroos m.fl. 2015, Hannrup m.fl. 2020). En studie har visat att trädets position kan beräknas med en noggrannhet på ca 1 m med hjälp av kranspetsstyrning (Hauglin m.fl. 2017). Sedan år 2017 finns skördarmodeller utrustade med kranspetsstyrning på marknaden (John Deere 2019). Metodiken är dock ännu inte fullt implementerad och kräver även en bra positionering av basmaskinen.

IDENTIFIKATION AV INDIVIDUELLA STOCKAR

Skördarmätningen ger längd, diameter och volym för varje stock. Skotaren vet dock inte exakt vilka stockar den lastar på. Därmed avidentifieras stockarna och kan inte längre kopplas till informationen i skördardata. Virket får istället en identifikation på travnivå genom att märkas med en stämpel eller vätlapp.

En möjlighet är att identifiera stockarna vid ett senare tillfälle genom att mäta deras egenskaper igen. I en studie kunde ca 40 procent av stockarna identifieras genom att jämföra längden och diametern som mätts vid ersättningsgrundande mätning med samma mått från skördaren (Johan Möller, Skogforsk, personligt meddelande, 2019-08-30). En slutsats är att fler egenskaper än bara längd och diameter krävs för att unikt kunna spåra en stock genom värdekedjan.

Företaget Tracy of Sweden bedriver utveckling kring kamerabaserad teknik och mjukvara för identifikation av stockar. Metoden baseras på bildanalys av ytstrukturen hos stockens ändtytor och dess årsringar (Tracy, 2019). Systemet finns idag som mobilapp för användning vid manuell avverkning och testas även monterat i skördaraggregat. Ambitionen är att den skördarmonterade tillämpningen även ska användas för diameter- och längdmätning av stockar (Jonny Edvardsson, Tracy, personligt meddelande 2019-07-16).

Miljöförhållandena i skördaraggregatet är mycket utmanande för kameror och andra optiska system, med bland annat vibrationer och stänkande smuts och bark. Ett alternativ är därför att fysiskt stämpla eller tagga ändytan. Kring år 2010 gjordes en EU-gemensam forskningsinsats för att utveckla RFID-taggar (Radio-Frequency IDentification) för märkning av stockar (Uuusijärvi 2010). Skogforsk deltog i ett delprojekt. RFID är en passiv teknik som avger en identifierande radiovåg först när taggen är nära en avläsare. I projektet testades taggarnas hållfasthet, där 5 procent gick sönder när de manuellt trycktes in i stockarna. Varje tagg kostade ca 10 kr, vilket i sammanhanget var relativt mycket. En märkare avsedd att monteras i skördaraggregatet utvecklades och utvärderades. I snitt adderade märkningen 5–7 sekunder till bearbetningen för varje stock, vilket sågs som en signifikant kostnadsökning. Två olika RFID-avläsare utvecklades för skördare respektive sågverk. Avläsaren för sågverk hade svårighet att skilja stockar åt om de matades så att RFID-taggar låg nära varandra och deras signaler därmed sammanblandades. Detta kunde exempelvis hända om båda stockarna hade RFID-taggen i toppändan men stockarna lastades så att toppändarna hamnade mot varandra. RFID-systemet tycks inte ha utvecklats vidare på den svenska marknaden.

Företaget Logscom utvecklar en laserskrivare som fästes vid skördaraggregatet eller skotargrinden och ger en unik stämpel till varje stock (Logscom 2019a). Detta system är i ett första steg tänkt för att ersätta den skyddsmärkning av stockar som idag görs i norra Sverige. Företaget Otmetka utvecklar en stämpel som monteras vid skördaraggregatet och stämplar in en unik serie fördjupningar in i ändytan (Otmetka 2019). Dessa system kräver en avläsare, sannolikt kamerabaserad, längre fram i värdekedjan. De metoder som då används behöver kunna hantera skymmande faktorer som nedsmutsning, snö och isbildning på ändytan.



Figur 4. Vänster: Logscom-stämpling av ändytor motsvarande dagens manuella skyddsmärkning. Källa: Logscom (2019b). Höger: Närbild på Otmekta-stämpling av ändyta. Källa: Otmekta (2019).

BERÖRINGSFRI ELLER FÖRSTÖRINGSFRI MÄTNING

Under åren 2006–2013 gjordes i Sverige en större forskningsinsats kring beröringsfri mätteknik i skördare i praktisk drift (Hannrup m.fl. 2007, Andersson m.fl. 2008, Hannrup, m.fl. 2011, Hannrup m.fl. 2013). Potentialer i utveckling av beröringsfri mätning var förenklad kalibrering, ökad mätnoggrannhet samt möjlighet att separera mätningen från kvistningen och matningen (Hannrup m.fl. 2007). Eftersom mätgivarna idag är mekaniskt integrerade med kvistningen och matningen behöver hastigheten begränsas så att mätningen kan ske med tillräcklig noggrannhet. Om mätningen frikopplas kan matningshastigheten ökas, och därmed produktiviteten.

Metoder studerades för beröringsfri mätning av både stammens dimensioner (diameter, längd) och egenskaper (stamkrök, fibervinkel) (Andersson m.fl. 2008). Optiska metoder är känsliga för smuts och därför beaktades även icke-optiska beröringsfria metoder. För längdmätning utvärderades ett system baserat på reflektion av mikrovågor. Resultaten ansågs lovande men hade problem med varierande amplitud och fasförskjutningar i signalen. För diametermätning utvärderades ultraljudsmätning samt en kombination av linjekamera och linjelaser. Båda metoderna hade nackdelen att de mätte på bark och inte under bark. Ett demonstrationsprojekt med kombinationen kamera och laserlinje testades i produktionsmiljö, med slutsatsen att optiken hade otillräckligt skydd mot stänkande bitar och partiklar. I ett uppföljningsprojekt konstruerades ett stänkskydd, där slutsatsen drogs att skyddet behövde designas olika för avverkning av tall respektive gran (Hannrup m.fl. 2013). Efter det sista projektet drogs slutsatsen att utvecklingsläget var sådant att nästa steg var att ta mätsystemet till implementering. Det hade krävt finansiella utfästelser av skogsföretagen, vilket inte skedde.

Även i Finland gjordes flera projekt kring beröringsfri skördarmätning. I en studie sattes två stereokameror strax ovanför skördaraggregatet, med målet att skapa en partiell 3D-modell av formen hos det stående trädet när skördaren närmade sig det (Jokinen 2009). Nästa utvecklingssteg, som var att extrahera diameter och avsmalning från modellen, tycks dock inte ha genomförts. I ett annat projekt testades tre sensoruppställningar, där

den första bestod av stereokameror och belysning monterade i anslutning till skördaraggregatet med målet att mäta diameter och längd på avverkade stockar (Miettinen m.fl. 2010). Den andra och tredje uppställningen bestod av stereokameror respektive laserbaserad 3D-skanner, båda monterade i fronten på ett terränggående fordon för att mäta form och avstånd till stående träd (Miettinen m.fl. 2010). Betydande utvecklingsarbete kring analysalgoritmer gjordes, bland annat för att hantera den stora variationen i ljusbakgrund (från skugga till bländande solljus) samt träd och grenar som skymmer varandra. Sensoruppställningarna testades dock inte under produktionsförhållanden.

Internationellt har företaget Fibre-gen från Nya Zeeland släppt en kommersiell akustisk mätare av vedstyvhet, som monteras i skördaraggregat. En utvärdering visade att utrustningen kunde skilja mellan stockar med hög och låg elasticitetsmodul, men samtidigt tog mätningen tid som minskade skördarens produktivitet med ca 4 procent (Walsh m.fl. 2014).

Flera rena förstudier med beröringsfri mätutrustning tänkt att monteras i skördaraggregat har gjorts. Exempel på detta är mikrovågsteknik för att mäta stockens inre egenskaper (Eskelinen & Eskelinen 2000, Lindström 2010, Chalmers 2013) och radar-mätning för att mäta diameter under bark (Ottosson 2014). Inget av dessa projekt tycks dock ha kommit till stadiet att de testats i praktisk drift. Vidare har en kroatisk forskargrupp presenterat ett koncept för skördaraggregat som kombinerar flera mättekniker av både berörande och beröringsfritt slag (Sandak m.fl. 2019), med utgångspunkt i ett kommersiellt aggregat. Teknikerna som ingick var RFID-tagging för spårbarhet, hyperspektral kamera för ändytebild, NIR-spektrometer för vedkemi, accelerometer och vibrationsmätare för hållfasthetsbedömning samt mätning av krafter på kvistknivarna och svärdet. I kontrollerade fälttester ansågs RFID-taggingen och hållfasthetsbedömningen vara delvis framgångsrika, och den kvistkarta som tagits fram från kvistknivsmätningen ha hög potential.

Sammanfattningsvis återkommer skördarmiljöns utmaningar i de olika studierna. För sensorer i skördaraggregatet kommer vibrationerna att vara stora. Smuts och skräp från kvistning, matning och kapning kan stöta till, repa, smutsa ner och klibba fast. Ovanför aggregatet och i kranspetsen finns risk att sensorerna doppas i snö och stöter emot stenar och andra föremål. För sensorer monterade på motorhuven kommer de fysiska miljöproblemen att vara något mindre, men metoderna kommer fortfarande att behöva kunna hantera faktorer som variationer i ljus över dygnet och året, bländande solljus, grenar som är i vägen, temperaturer från -35 till +35 grader, förekomst eller frånvaro av snö på stammar, sågdam och snörök. Särskilt variationer i temperatur påverkar mätresultatet och mätnoggrannheten för många typer av sensorer. Det gäller både själva mätutrustningens temperatur, luftens temperatur och vedens temperatur. Eftersom veden hos det stående trädet kan vara frusen på vintern måste eventuella beröringsfria mätmetoder för skördare kunna mäta lika bra på fruset som ofruset virke, vilket flera mätprinciper har svårighet med. Även den rutinmässiga kalibreringen av skördaren kan påverkas av temperatur. Om kalibreringen skett i kyla kan barken hos kalibreringsstockarna ha högt inträngningsmotstånd, och därmed ge ett högre diametervärde än om barken är varmare och är lättare för mätarhjulet att tränga in i. Om vädret sedan slår om jämfört med förutsättningarna under kalibreringen kan mätningen tappa i noggrannhet (Nordström 2013).

Bestämning av kvantitet

Som redan nämnts finns åtta standardmetoder för ersättningsgrundande mätning (Tabell 1). Mer specifikt används de för att mäta virkets kvantitet. Förutom dem kan även skördarmätning användas för ersättningsgrundande mätning. Metoderna går igenom i detalj nedan, där fokus har lagts på de mest använda metoderna. Användningen av mätmetoderna för olika sortiment och mätplatser redovisas närmare i kapitlet *De vanligaste mätmetoderna per sortiment över tid och geografi*, och berörs därför endast ytligt nedan.

ERSÄTTNINGSGRUNDANDE SKÖRDARMÄTNING

I Sverige är det absolut vanligast att ersättningsgrundande mätning görs av oberoende virkesmätare genom en separat mätning efter skörd, men möjligheten finns att göra ersättningsgrundande skördarmätning (Biometria 2019b). Då används den längd och diameter som mäts av skördaren för att beräkna fast volym på bark, och en barkfunktion för att konvertera måttet till fast volym under bark.

RÄKNING

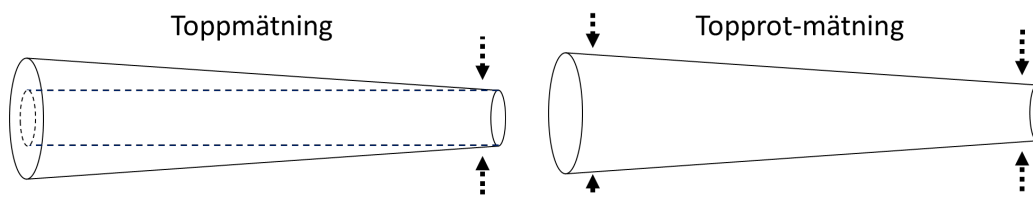
Räkning är en enkel och rationell metod där antal enheter i partiet, exempelvis travar eller skäppor, räknas och rapporteras i enheten *st*. Bjurulf & Nordström (2016) nämner att metoden framför allt används vid tågtransporter av virke. År 2019 var det tre sortiment där räkning användes mest: massaved (bassortimentet), sågtimmer (bassortimentet) och massaved i standardlängder.

STOCKMÄTNING

Stockmätning är den vanligaste metoden för ersättningsgrundande mätning av sågtimmer och stod för 75 procent av den mätta volymen år 2019. Även stora volymer av exempelvis klentimmer, plywoodtimmer och svarvtimmer stockmäts. För massaved och bränsleved används stockmätning främst vid mätning av uppföljningsstockar. Eftersom stora volymer virke mäts med stockmätning följer här en mer grundlig genomgång av olika utföranden och utrustningar.

Manuell stockmätning (klavning)

Manuell stockmätning görs för sågtimmer vanligen som toppmätning och för massaved som topprot-mätning (Haglöf 2019). Topprot-mätning ger fastvolym under bark, m^{3fub} , medan toppmätning ger så kallad toppcylindervolym, m^{3fto} . Traditionellt har toppcylindervolymen omvandlats till fastvolym med hjälp av toppformtal som beror på den mätta diametern och längden (SDC, 2017a). Metodiken för toppmätning är dock under förändring, som innebär att toppformtalen fasas ut (VMK, 2019c).



Figur 5. Illustration av stockmätning. Pilarna indikerar klavens placering. Vänster: Toppmätning som ger toppcylindervolym (den inre cylindern). Höger: Topprot-mätning som ger fastvolym.

Mätningen görs med klave och måttband. Vid diametermätning barkas stocken där klavningen ska ske, så att diametern mäts under bark. Idag används nästan alltid digitala klavar som kan länkas till varandra, till exempel när två personer mäter varsin sida av stocken vid topprot-mätning (Haglöf 2019). Om stocken är mycket grov kan dock analog, traditionell klave behöva användas (Hans Weslien, Biometria, personligt meddelande, 2019-09-10). Dagens klavning är beroende av god fysisk kontakt mellan klave och stock. Finska företaget Masser håller dock på att utveckla en beröringsfri klave baserad på stereokameror och LED-belysning (Antti Uurtamo, Masser, personligt meddelande 2019-11-04).

Mätramar för stockmätning

Mätramar kan användas för både ersättningsgrundande mätning, sortering och positionering vid sågverk. Det förekommer att samma mätram används för både ersättningsgrundande mätning och sortering. Mätningen av volymen görs i sektioner, vilket påminner om skördarmätning, och volymen som fås är en fastvolym, $m^3 fub$, som ibland kallas mätramsfub (Björklund m.fl. 2009).

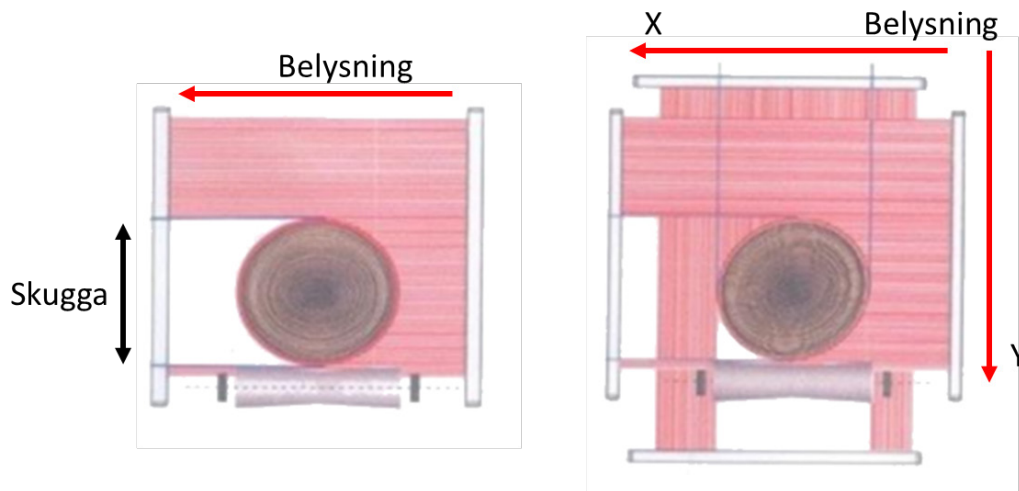
Rent praktiskt kan mätningen gå till så att mätaren sitter i en kontrollstol och övervakar och bedömer passerande stockar innan de matas in till mätramen. Mätaren har en ändyta vänd mot sig när stocken passerar, och kan möjligen även se den andra ändytan via en spegel. Skattning av träslag och kvalitetsklass görs för varje stock och registreras genom kontrollstolens knappar. Det hela sker i hög hastighet. Stocken matas sedan vidare till mätramen, som utför mätningen av kvantitet. Mätramen kan ses som ett mätsystem som kombinerar fotoceller för längdmätning och själva ramen för diametermätning. Stockens längd mäts genom en eller flera fotoceller vid matarbanan (kerattbanan), som avgör när stocken börjar och slutar (Strömgren 2017). Ju stabilare stocken ligger på matarbanan desto bättre noggrannhet får mätningen. Att mata igenom stocken med relativt låg hastighet ökar också noggrannheten (Strömgren 2017). Mätramen mäter diametern i sektioner, exempelvis varje centimeter, som sedan räknas samman till volymen för hela stocken.



Figur 6. Vy över passerande stockar från kontrollstolspositionen på en sågverksmätplats. Mätramen sitter i den gråblå byggnaden i bakgrunden. Källa: Kari Hyll.

Det finns två huvudsakliga kategorier av mätramar, optiska och röntgen, som båda har flera varianter. 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. Det har även funnits mätramar som baserats på gammastrålning, men dessa tycks ha tappat i användning till förmån för röntgentekniken (Sjölander 2003).

Skuggramar är en tidig variant av optisk mätram. De delas upp i envägsramar (1D) som bestämmer stockens diameter i en mätriktning, och tvåvägsramar (2D, X-Y), som bestämmer den i två mätriktningar. Ett exempel på tekniskt utförande är att stocken belyses med ett ljusfält och en linjekamera avbildar stockens skugga (Figur 7). Genom bildanalys fås stockens diameter. En envägsram ger diameter, längd, volym och avsmalning, medan en tvåvägsram också ger krök och ovalitet (Inx 2012, Henriksson 2014). Mät noggrannheten i diametermätningen är ca 1 mm (Henriksson 2014).



Figur 7. Vänster: illustration av envägsmätram (1D). Höger: Illustration av tvåvägsmätram (2D). Källa: Modifierad från Strandgard (2015), Mongeau m.fl. (1993).

Laserramar är en optisk mätramstyp som kombinerar kameror och laserljus, huvudsakligen i 3D, även om 2D-modeller förekommer. 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 laserlinje på stocken, som avbildas av en eller flera kameror (Figur 8). Laserlinjens deformation på stocken kan användas för att bestämma avståndet från kameran till varje punkt på linjen, och därmed stockens diameter och form. Time-of-flight-mätramar mäter istället 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). Laserramar har en högre mät noggrannhet jämfört med 1D- och 2D-ramar. Vissa modeller kan dock vara känsligare för störningar från solljus (Henriksson 2014).

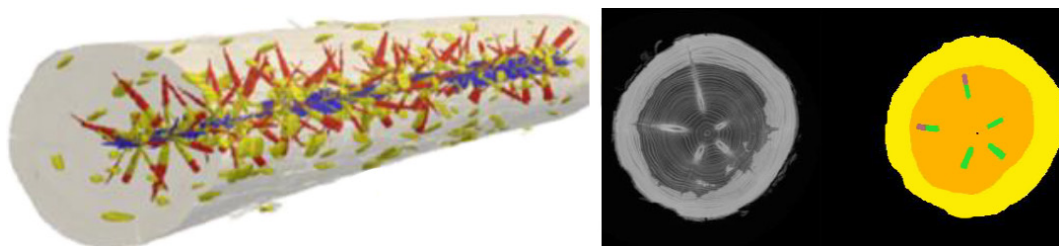


Figur 8. Vänster: Illustration av lasermätram (3D). Källa: LMI Technologies (2019). Höger: Foto av belysning från lasermätram. Källa: LMI Technologies (2016).

Optiska mätrammar mäter i grunden diameter på bark, och barktjockleken hos varje stock har därför behövt skattas eller mätas på annat sätt. Idag använder en del laserramar sig av den så kallade trakeideffekten för att skatta barktjockleken från områden på stocken där barken har skalats av. Dessa mätrammar kan därmed automatiskt mäta volym under bark (SDC 2017a). Trakeideffekten fungerar dock inte om stockens yta är frusen, och används därför mindre i norra Sverige än i södra Sverige (Nyström & Hagman 2007). Utvecklingen går mot en ökad andel laserramar. År 2008 var 37 procent av de optiska mätramarna 3D-ramar, medan de år 2015 utgjorde 53 procent (Edlund 2009, Strömgren 2015).

Röntgenramar finns även de som envägs- eller tvåvägsramar (Skog 2013). 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) och främmande material som metallspikar (VMR 2000, Microtec 2019a). Genom barkens annorlunda densitet kan röntgenramar kalibreras till att ignorera den, och därmed mäta volym under bark (Skog m.fl. 2010).

Röntgentomografer (CT-skanners) är röntgenramar som mäter i 3D. Mätmetoden har länge använts inom vården. En av utmaningarna för anpassning till skogsindustriell tillämpning var de mycket högre skanningshastigheter som krävs i ett sågverk. Det finns idag en röntgentomograf anpassad för virkesmätning på marknaden, som utvecklades i samarbete mellan SP Trä, Luleå Tekniska Universitet, Universitetet i Freiburg och företaget Microtec (Grundberg 1999, Skog 2014a). Den finns i dagsläget installerad på två svenska sågverk.



Figur 9. Vänster: Insidan av stock röntgad med CT-skanner, med klassificering och färgmarkering av friskkvistar (gul), torrkvistar (röd), sprickor (blå), kådfickor (gul). Höger: Ändyta av stock röntgad med CT-skanner, rå bild och bild med klassificering, Källa: Sandberg (2017).

Flera tillverkare har även ramar som kombinerar optisk 3D-mätning med tvåvägsröntgen, där den förra ger stockens yttre form och den senare dess inre form och egenskaper. En studie av Skog (2013) visade att kombinationen av röntgen och visuellt ljus förbättrade detektion av toppbrotsdetektion och splintfuktkvot jämfört med röntgenram eller laserram ensamt. Även mätningen av densitet förbättrades.

Generellt är optiska ramar billigare än röntgenramar, 2D-ramar billigare än 3D-ramar, och kombinationsramar dyrare än ramar som bara baseras på en teknik. En CT-log kostar ca 30 MSEK, en tvåvägsröntgenram ca en tiondel av det och en 3D-laserram mindre än en tvåvägsröntgenram.

Inga studier hittades som jämförde mätramar av olika fabrikat.

Mobil automatisk stockmätning

Mobil automatisk stockmätning (MAS) är ett mätsystem för stockmätning. Det används framför allt i Mellansverige för mätning av uppföljningstravar av massaved. Systemet består av en lastbil med kran, matare och en mätram. För varje stock som matas genom MAS:en bedömer operatören stockens trädslag, och om den är en rotstock eller inte (VMF Qbera 2012a). Mätramen, som är en envägsskuggram, ger stockens längd och diameter på bark (VMF Qbera 2012c). Eftersom handelsmåttet är volym under bark behövs ett omvandlingstal. Av de mätta stockarna väljs cirka 1 procent slumpmässigt ut som uppföljningsstockar, som mäts manuellt genom topprotmätning. Operatören gör en manuell bedömning av barkavskav på traven som helhet, som tillsammans med travens medeldiameter används för att beräkna barkandelen. Barkandelen och provstockarna vägs samman till ett omvandlingstal från volym på bark till volym under bark. Provstockarna används även för kvalitetskontroll och uppföljning.

TRAVMÄTNING ELLER SKÄPPMÄTNING

Vid travmätning av rundved mäts en stor mängd stockar samtidigt. Den mesta travmätningen sker medan traven fortfarande är lastad på lastbil, vilket ger logistiska fördelar. Metoden anses därför mer ekonomisk och rationell i jämförelse med stockmätning. Noggrannheten, för större partier ca 8 procent av den mätta volymen, är dock lägre än för stockmätning (Bjurulf m.fl. 2017). Det beror bland annat på osäkerheten i den bedömning av fastvolymprocent och barkandel som krävs för att omvandla den mätta volymen till m^3_{ub} . År 2019 användes travmätning för ersättningsgrundande mätning på ca 80 procent av den svenska massavedsvolymen, 20 procent av sågtimmervolymen, 50 procent av volymen för övriga sågbara sortiment och 30 procent av volymen för trädbränsle.

Skäppmätning mäter volymen hos sönderdelat virke i skäppa (lastbilens ”låda”) och ger resultatet i enheten m^3_s . Skäppmätning används exempelvis när det inte finns någon våg tillgänglig, vilket gör att det sönderdelade virket inte kan mätas genom vägning med eller utan torrhhaltsbestämning. Skäppmätning har störst användning inom sortimenten sågverksflis, returträ och grotflis.

Trav- och skäppmätning kan utföras på flera olika sätt och med olika utrustningar. Nedan har beskrivningen delats upp i utförandemetoder (manuell mätning och fjärrmätning) och typgodkända mätsystem.

Trav- och skäppmätningens utförandemetoder

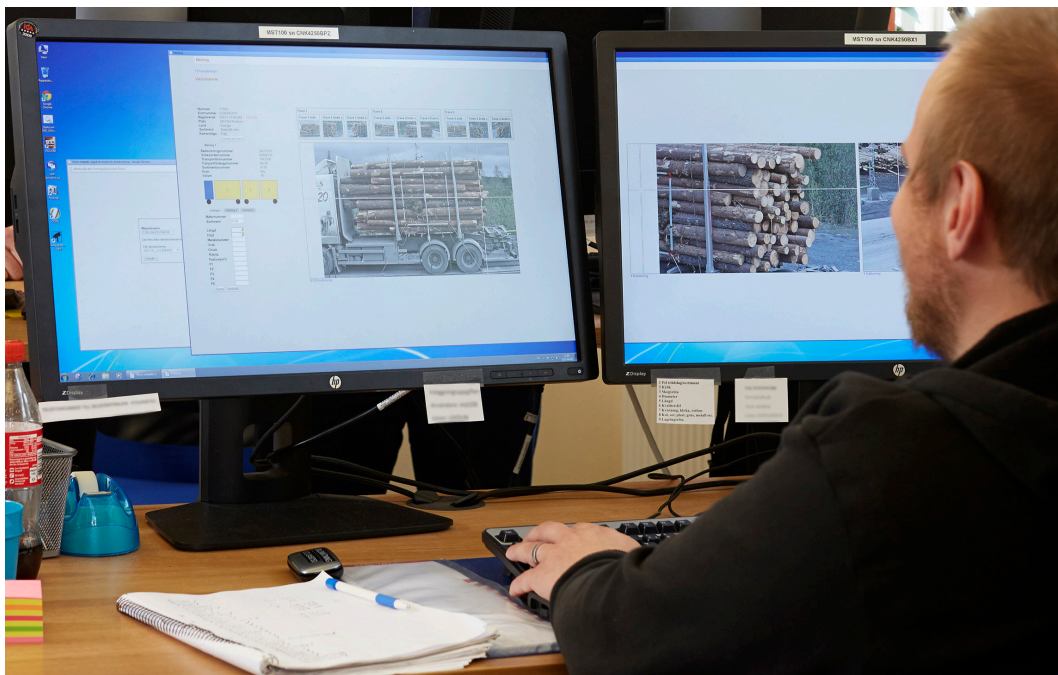
Manuell travmätning innebär att en mänsklig virkesmätare fysiskt är på plats och mäter virket med mätsticka, vanligen från en mätbrygga. Travens höjd, längd och bredd mäts i centimeter. Vedvolymprocenten (även kallat fastvolymprocenten) skattas. Den anger hur stor del av traven som är ved under bark, och med andra ord inte är luft, bark, kvistar, snö eller is, och ligger oftast i intervallet 47–58 procent (VMF Qbera 2012b). I södra Sverige fylls ett måttkort i med parametrarna som ligger till grund för bedömning av vedvolymprocenten. Måttkortet lagras i pappersformat och kan användas vid uppföljning till den individuella mätaren.

Manuell skäppmätning innebär att höjden på det sönderdelade bränslet mäts på flera ställen i skäppan. Tillsammans med skäppans egna mått i längd och bredd, som måste vara kända och tillgängliga för mätaren, beräknas materialets skrymvolym. All ersättningsgrundande skäppmätning utförs idag manuellt.

Fjärrmätning är en bildbaserad mätning där traven fotas av en mättrigg på mottagningsplatsen och bilden skickas till en fjärrmättningscentral för analys. Utvecklingen inom fjärrmätning startade hos Norsk Virkesmåling och kring år 2005 påbörjades svenska försök (Björklund & Rönnbäck 2017). De stora fjärrmättningscentralerna ligger i Östersund (tidigare kallad Bildmättningscentralen, BMC) och i Sundsvall (tidigare kallad Fjärrmättningscentralen, FMC). Även den mindre mätcentralen på Värö har nyligen fått status som fjärrmättningscentral. Vid fjärrmätning snabbgranskas först bildernas kvalitet, bland annat så att vätlappen är synlig. Vid dåligt väder kan vätlappar regna sönder, virket bli mörkt och stämplarna bli otydliga (Tommy Westerlund, personligt meddelande 2019-07-22). Om bildkvaliteten är tillräcklig ges lastbilschauffören klartecken att lämna mätstationen, sedan analyseras bilden.

I dagsläget behövs alltid manuell skattning av virkets sortiment och kvalitet göras. Där emot kan mätningen av virkets kvantitet sägas vara semiautomatisk eller helautomatisk. Mer specifikt är mätningen av själva travvolymen mer eller mindre automatiserad beroende på vilken mätutrustning som bilderna tas med. I vissa fall behövs analysen av vedvolymprocent och travad volym ("lådan") göras manuellt. I dessa fall mäts travad volym genom att en mänsklig fjärrmätare lägger in en rektangel i bilden på traven, vars mått kan räknas om till en riktig volym. För andra utrustningar är dessa moment automatiserade genom bildanalys, exempelvis maskininlärnings- och AI-algoritmer.

Gemensamt för algoritmerna för automatisk mätning är att de måste kunna identifiera och ta bort irrelevanta objekt som lastbilskranar ur bilderna. Fjärrmätning innebär en effektivisering av personalresurser, eftersom en virkesmätare kan bemanna flera mätplatser samtidigt. Det ger också möjlighet för en mätplats att ha längre öppettider, och minskar dödtid mellan leveranser för virkesmätaren. Det kan noteras att diskussioner pågår kring vem som äger och kan få tillgång till bilderna från bildbaserad mätning.



Figur 10. Analys av en fjärrmätt bild. Källa: Olle Melkerhed/Biometria.

Trav- och skäppmätningens mätutrustningar och mätsystem

Mätsticka, eller mätkäpp, används för manuell mätning av travars volym (Figur 11). Travmätning på lastbil från mätbrygga med mätsticka utförs genom att travens höjd mäts från lasthållarens (släpets) botten till ett medelvärde av det översta stocklagrets högsta punkter (SDC 2016, Biometria 2019e). Stockarnas längd mäts så att måttet motsvarar deras grundtevägda medellängd, det vill säga att grova stockar påverkar medellängden mer än klena stockar. Bankbredden mäts mellan lasthållarens stakar och beräknas som medelvärdet av den övre bankbredden och nedre bankbredden, där den senare brukar finnas förregistrerad. Tillsammans ger höjden, stocklängden och bankbredden travens skrymvolym. Travens fastvolymprocent skattas sedan med hjälp av ett trädslagsberoende startvärde och olika avdrag och korrigeringar. Mätstickan har normalt mätskalans nollpunkt i sin bottenända, vilket är smidigt vid bryggmätning. Skogforsk har även tagit fram en mätsticka där nollpunkten utgår från toppen av mätstickan, bland annat tänkt för chaufförmätningar från marken (Fridh 2012).



Figur 11. Två varianter av travmätsticka. Källa: Skogssverige (vänster), forna VMF Qbera (höger).

Mabema GPV är ett automatiskt mätsystem som kombinerar linjelasertriangulering med kameror och bildanalys för att mäta 3D-volym. Nyligen har hanteringen av bilderna integrerats i Biometrias system för fjärrmätning, IRIS. Mabema GPV är typgodkänt för helautomatisk mätning av fast volym under bark. Travens sortiment och kvalitet måste dock fortfarande analyseras manuellt. Förutom travens höjd, längd och bredd ges stockarnas diameterfördelning vid önskade delningsgränser i traven. Eftersom mätningen ger volymen på bark används ett barkavdrag som bestäms från medeldiametern, där en lägre medeldiameter ger ett högre barkavdrag (Mabema 2019). Mabema GPV är uppbyggt av flera mätriggar som tillsammans spänner upp ett tält med tak och väggar. Vid mätning kör lastbilen genom tältet med en hastighet på 3–5 km/h. Avskärmningen säkerställer att belysningsförhållandena är kontrollerade men gör utrustningen relativt utrymmeskrävande. Det framhålls att lasermätningen ger hög noggrannhet och repeterbarhet (Mabema 2019). Utveckling pågår för att bland annat kunna detektera röta (Magnus Lundberg, Mabema, personligt meddelande 2019-06-23). Systemet kostar runt 5–6 Mkr (SDC 2018c), och används främst i södra Sverige. Majoriteten av all fjärrmätning görs på massaved men en installerad Mabema GPV används för att mäta sågbara sortiment i form av kubb (LandSkogsbruk 2019a).



Figur 12. Vy inifrån ett Mabema GPV system. Källa: Mabema.

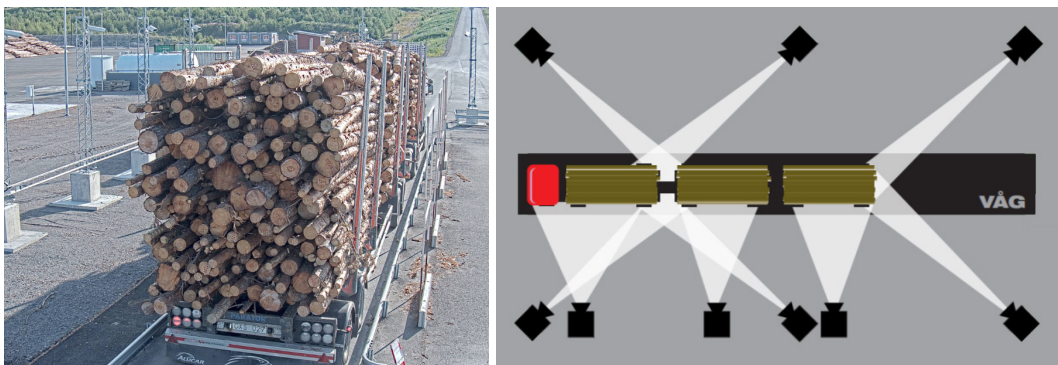
Timspect från företaget CIND mäter travens volym genom stereokamerateknik och bildanalys när en lastbil kör igenom en rigg i ca 5 km/h (Tommy Westerlund, Biometria, personligt meddelande 2019-07-22). Stereokameratekniken skapar en 3D-bild utifrån de delar av traven som är synliga för kamerorna. När mätningen går felfritt medför det tidsbesparing. Om bildkvaliteten inte uppfyller kraven behöver lastbilen köra igenom riggen igen, och potentiellt även göra en omregistrering ifall nya fordon har hunnit åka genom riggen. Detta kan hända några gånger under ett mätplatsskift (Tommy Westerlund, Biometria, personligt meddelande 2019-07-22).

Efter bildgodkännande beräknar Timspect automatiskt den travade volymen på bark, medan vedvolymprocenten skattas av mänsklig fjärrmätare för att ge fast volym under bark. Systemet ger även diameterfördelning och skattning av stocklängdsfördelning. Utveckling pågår för att automatisera bestämningen av vedvolymprocenten. Timspect kostar från ca 1,5 Mkr (Marcus Schelin, CIND, personligt meddelande 2019-09-05).



Figur 13. CIND Timspect mätrigg. Källa: CIND.

Biometrias Bildrigg (tidigare SDC-rigg eller IRIS-rigg) använder 2D-bildanalys för att travmäta volym. Jämfört med övriga riggar har analysen av bilderna något fler manuella element, i och med att mätningen av den travade volymen ("lådan") i bilden inte är helt automatiserad. Även vedvolymprocenten behöver skattas av fjärrmätaren. Utveckling pågår för att automatisera båda dessa moment. Riggen monteras vid en fordonsväg. Medan lastbilen står stilla vid riggen tar nio horisontella kameror bilder av lasten (Figur 14). Kamerakonfigurationen behöver anpassas något för olika typer av lastbilar. Eftersom lastbilen står still i väntan på kvalitetsgodkännande går eventuell omtagning av bilder snabbt. Uppställningen har en grundkostnad på 175 kkr att sätta upp, plus 10,5 kkr per månad och kringkostnader för installation och kalibrering (Håkan Jonsson, Biometria, personligt meddelande 2019-07-24).



Figur 14. Lastbil vid Biometrias Bildrigg. Källa: Tommy Westerlund (Biometria). Höger: Illustration av Biometria-rigg sedd ovanifrån. Källa: SDC.

Andra företag som tillverkar bild- eller laserbaserade lösningar för travmätning är finska Codator, estniska Loadmon, estniska Timbeter, och chilenska Woodtech (Codator 2019, Loadmon 2019, Timbeter 2019, Woodtech 2019).

Flera mätsystem för beröringsfri, semiautomatisk eller helautomatisk skäppmätning av sönderdelade bränslen finns på marknaden (CIND 2019, Woodtech 2019). Ingen av dessa är dock typgodkänd för ersättningsgrundande mätning i Sverige.

BEDÖMNING AV VOLYM

Bedömning av volym används främst vid lagerförflyttningar med exempelvis tåg (Magnus Haapaniemi, Biometria, personligt meddelande 2019-09-30). Metoden kan utföras genom att räkna antalet timmervagnar i ett tågset, skatta medelvolymer för en tågagn, och därefter räkna ut totalvolymen för lasten (Bjurulf & Nordström 2016). Metoden har använts i liten utsträckning för sortimenten sågtimmer 04, sågverksflis och massaved, men används idag i stort sett inte alls för ersättningsgrundande mätning (Magnus Haapaniemi, Biometria, personligt meddelande 2019-09-30).

BEDÖMNING AV VOLYM OCH FASTVOLYMPROCENT

Bedömning av volym och fastvolymprocent används främst för olika sortiment av massaved, där den 2019 stod för ca 13 procent av den mätta totalvolymen. Metoden har utförts på två skilda tillvägagångssätt. Gemensamt för båda är att de tillåter mätning av flera travar samtidigt, och därmed ger en snabbare mätning vid stora leveranser.

Det ena tillvägagångssättet innebär att lasten först vägs så att kvantiteten i *ton* erhålls. Vikten omvandlas sedan till *m³ub* genom ett tabulerat omvandlingstal. Vägningen görs som taravägning med fordonsvåg, vilket innebär att fordonet vägs både med och utan last, och virkets vikt blir differensen mellan dem. Förekomst och vikt av skräp som sten, snö och is behöver dock skattas och dras av. Fordonsvågar har god noggrannhet och låg spridning, så länge de är väl kalibrerade (von Hofsten 2018). Det gör att den volym som fås genom denna mätmetod också har låg spridning (Bjurulf m.fl. 2017). Omvandlingstalet baseras på ett riktigt stort antal stockmätta stickprov utfallna på respektive sortiment och mottagningsplats (Torbjörn Näslund, Biometria, mejlväxling 2019-09-12). Talet modifieras utifrån virkets trädslag, medeldiameter, fukthalt och tyngd (torkat, frod-vuxet, övergrovt) (VMF Nord 2017).

Det andra tillvägagångssättet påminner om travmätning men kan appliceras på flera travar samtidigt. Höjden på alla travar mäts och räknas om till ett medelvärde, och vedlängden på minst en trave mäts (VMF Nord 2017). Dessa mått kombineras med lastbilens bankbredd till en skrymvolym. Fastvolymprocenten skattas och ger tillsammans med skrymvolymen en volym i *m³ub*.

VÄGNING

I många länder är vägning med handelsmättet *ton* en vanlig mätmetod för massaved (Lars Björklund, Biometria, personligt meddelande 2019-09-13). I Sverige förekommer vägning som ersättningsgrundande mätning exempelvis för sortimenten sågverksflis, massaved, sågtimmer (bassortimentet samt 02), pellets och returträ. Bjurulf och Nordström (2016) nämner att metoden ofta används på importerad rundved.

Förutom statiska och dynamiska fordonsvågar används kranspetsvågar och fordonsmonterade vågar för vägningen (Johansson m.fl. 2013). Det är råvikten som mäts, alltså virkets vikt i fuktigt (grönt) tillstånd. Det gör att den mätta vikten är en summa av vedens vikt och det fria eller bundna vatten som virket innehåller. Mängden vatten i virket påverkas av faktorer som väder och lagringstid. När vägning används för ersättningsgrundande mätning blir priset på virket därmed beroende av yttre faktorer. Det är en bidragande orsak till att vägning inte används i större utsträckning för ersättningsgrundande mätning av rundved i Sverige, trots att metoden ses som rationell och har noggrannhet och låg spridning. Att gå över till vägning har främst diskuterats för massa-ved och bränsleved, men en nackdel vore då att priserna skulle bli svårare att jämföra med sågtimmer, som sannolikt fortsatt skulle handlas baserat på fastvolym (Bjurulf m.fl. 2017).

VÄGNING MED TORRHALTSBESTÄMNING

Vägning med torrhaltsbestämning används i stort sett bara för trädbränsleskategorin, exempelvis för sortimenten grothlis, returträ, stamvedsflis och grot. Då kompletteras vägningen med en torrhaltsmätning och resultatet ges i ton torrsvikt *ttv*. Torrsvikten speglar virkets bränslevärde betydligt bättre än råvikten. Mätning av torrhalt beskrivs mer ingående under kapitlet om kvalitetsegenskaper.

Resultatet kan omvandlas till megawattimmar *MWh* via så en så kallad energiberäkningsnyckel, som baseras på virkets torrhalt, värmevärde, askhalt och ångbildningsvärme (Biometria 2019a). Medan torrhaltsmätningar vanligen görs på plats för varje lass kan prover behöva skickas iväg för övriga mätningar, vilket gör att de sker mer sällan. I praktiken kan det finnas ett omvandlingstal för varje leverantör och sortimentsgrupp (bränsleved, grot, bark, etc.), där värdena på värmevärde och askhalt uppdateras genom mätningar varannan månad (Daniel Ivarsson, Jämtkraft, personligt meddelande 2019-11-21). Alternativt kan schablonvärden användas, om de finns för den aktuella sortimentsgruppen.

I Sverige används vägning med torrhaltsbestämning i stort sett bara för sönderdelade sortiment. I Finland, där ersättningsgrundande mätning i högre utsträckning görs i skogen, används metoden också för bränsleved (Björklund m.fl. 2014). Vägningen sker med skotarens kranvåg. Spånprov från veden tas med motorsåg med spånsamlare och en handhållen mätare används för att mäta torrhalten. Tillsammans ger det ett värde på *ttv* direkt i skogen.

ÖVRIGA METODER

En alternativ metod för att mäta volym är xylometermetoden, där en virkestrave eller stock sänks ner i vatten. Arkimedes princip ger då volymen av det nedsänkta materialet, på bark. Xylometermätning används idag vid finska massabruk, för bland annat stickprovsmätning (Lars Björklund, Biometria, personligt meddelande, 2019-08-28). Finland har dock volym på bark som handelsmått, medan Sverige har under bark, vilket gör metoden något mindre anpassad för svenska förhållanden. Fördelar med metoden inkluderar att den är effektiv och relativt utrymmessnål.

Bestämning av kvalitet

Vid skörd sorteras varje stock i sortimentsspecifika travar som transporteras till respektive industri. Vid ankomst till industrin är mätningens uppgift att svara på tre frågor: är virket verkligen av det sortiment som aviserats, hur mycket virke är det och vilken kvalitet har det?

Kvalitetsbedömningen består dels av grundkrav för att virket alls ska accepteras för inmätning (om det är leveransgillt), dels av krav för att virket ska kvala in som sitt tilltänkta sortiment (exempelvis tallsågtimmer), och dels av krav för specifika kvalitetsklasser. De nämnda kraven är standardiserade för kategorierna sågtimmer, massaved, sågverksflis (cellulosafilis) och trädbränsle. Utöver de standardiserade kraven kan köpare och säljare avtala om extra kvalitetskrav. Målet med de standardiserade kvalitetskraven är att spegla de egenskaper som är viktiga i den industriella processen och ge incitament till skogsägare och skördarförare att ta fram och aptera virke med rätt egenskaper.

Vid ersättningsgrundande mätning registreras inte alltid de olika ingående kvalitetsegenskaperna var för sig, utan de vägs samman till en kvalitetsklassning. Kvalitetsklassen säger vilka ramar som virkets egenskaper håller sig inom, men inte deras exakta värde. Styrningen av den industriella processen kan ibland behöva mer information om råvaran än den som ges vid ersättningsgrundande mätning. Informationen kan då antingen hämtas från mätningar tidigare i värdekedjan, modelleras från andra mätvärden ifall efterfrågad egenskap inte har mätts, eller mätas innan eller under den industriella processen. Informationsflödet längs värdekedjan går igenom i detalj i ett senare kapitel.

KVALITET HOS MASSAVED

Medan kvantiteten hos massaved mäts, skattas kvaliteten. Vid travmätning blir det dessutom i praktiken fördelningen av egenskaperna som skattas, eftersom individuella stockar inte bedöms annat än om traven som de ligger i utses till uppföljningstrave. Anledningen till att kvalitet skattas av mänsklig mätare är främst att många av egenskaperna är svåra att mäta automatiskt med de mätmetoder som idag används för massaved.

Sedan augusti 2019 klassificeras massaved i kvalitetsklasserna prima, sekunda och utskott. Det innebar bland annat att klassningen av individuella stockar som vrak togs bort. Istället klassas nu traven i sin helhet. Jämfört med tidigare system har större fokus lagts vid egenskaper som är viktiga för den industriella processen. Exempelvis så har årsringsdensitet tagits bort som krav, och krav på kvistningen minskats. Klassningen är densamma oavsett trädslag. Bedömning av trädslag och om leveransen är leveransgill görs dock fortfarande. Övriga egenskaper som normalt ingår i kvalitetsklassningen är: min- och maxdimensioner (övergrovhet, klenhet), rotben, ojämnheter/utbuktningar, krokighet (krök), kvistning/klyka, röta, torrhet, färskhet, nedsmutsning och förekomst av främmande material (Biometria 2019c). Extra kvalitetskrav som kan avtalas om är exempelvis färskhet och lagringsskador.

Ytterligare mätningar sker i den tidiga delen av massatillverkningsprocessen. En diametersensor kan säkerställa att stockarna som transporteras mot barkningstrumman inte är för grova och därmed fastnar. Metalldetektorer och stenfällor minskar slitaget på huggen. System som mäter barkandel och utvärderar barkningen kan installeras, där vissa även mäter stockens längd och diameter innan barkningen. Efter flishuggen kan

utrustning installeras för att mäta egenskaper som torrhalt och storleksfördelning. Flisen blandas sedan oftast med sågverksflis (cellulosaflis) för att få en önskad mix av egenskaper, exempelvis av densitet och fiberdimensioner.

Sågverksflis genomgår en ersättningsgrundande mätning vid ankomst till massabruket. Först fastställs att flisen inte innehåller föroreningar eller främmande material. De egenskaper som, beroende på avtal, ingår i kvalitetsklassningen är barkhalt, förekomst av röta och fraktionsfördelning (SDC 2018a).

KVALITET HOS SÅGTIMMER

I sågverk kombineras ofta ersättningsgrundande mätning och sortering. Med andra ord används informationen från mätningen till att gruppera stockar med liknande egenskaper. Dessa stockar kan sedan sågas efter varandra så att såginställningarna inte behöver ändras lika ofta eller lika mycket. Den grundläggande sorteringen baseras på trädslag, längd och diameter (Skog 2013). Olika kvalitetsegenskaper kan inkluderas i sorteringen med fördelen att sågningen kan optimeras för en viss produkt, men nackdelen är att de olika sorteringsklasserna blir mindre.

Utöver kvalitet skattas virkets trädslag, dess färskhet och att trädslaget är leveransgillt, det vill säga kan processas vid den aktuella industrin. Sågtimmer har två kvalitetsklasser för gran och fyra kvalitetsklasser för tall. Egenskaper som normalt ingår i kvalitetsklassningen är, min- och maxdimensioner, årsringsdensitet, rotben, rotveck, rakhet (utbytesförlust, krokighet), stamskada (lyra, slirskada, spjälkning), kvistar (spröt/annan sort, mängd, position, kvistvarv), bulor, sprickor (stam-, växt-), tvärkrök/toppbrott, lyra, röta, nedsmutsning, insektsskador och förekomst av främmande materia (SDC 2018b). Extra kvalitetskrav som kan avtalas om är till exempel bedömning av avverkningsskador och blånad.

Semiautomatisk kvalitetsklassning finns som typgodkänd metod för tallsågtimmer (VMK 2016, VMK 2018b, VMK 2018a). Där används mätram(ar) för de delar av klassningen som handlar om kvistegenskaper (röntgen), metalldetektion (röntgen) och utbytesförlust (3D-optisk eller röntgen). Manuell bedömning görs av sällan förekommande fel.

Röntgenramar kan bara mäta egenskaper som kan korreleras till densitet (Oja 1997). Blånad och begynnande röta är exempel på egenskaper som idag inte kan mätas med röntgen. Även kådlåpor är svårt (Linus Hägg, RISE, personligt meddelande 2019-10-29), liksom kap- och fällsprickor, då de inte expanderar till detekterbar storlek förrän i torkningsprocessen. Att skilja mellan frisk kvist och död kvist kan inte heller göras genom skillnad i densitet, däremot i viss utsträckning genom deras skillnad i form (Linus Olofsson, LTU Skellefteå, personligt meddelande 2019-10-18). Röntgenramar har även svårt att skilja mellan ved och vatten, och därmed är fukthalt utmanande att mäta (Linus Hägg, RISE, personligt meddelande 2019-10-29). Optiska ramar kan å andra sidan bara mäta egenskaper som kan korreleras till stockens yttre form. Det gör att optiska ramar inte kan mäta inre defekter som röta, tjurved och frodvuxenhet (Björklund m.fl. 2003).

Flera mätningar görs sedan innan virket sågas upp. Sågtimmer lagras oftast obarkat på vedgården och därmed blir första enhetsprocessen barkning. Om den ersättningsgrundande mätningen inte görs med röntgen sätts ofta metalldetektor innan eller efter barkningen. En mätram kan sitta efter barkningen för att mäta barkningsgraden och även detektera övergrova eller alltför klena stockar. Den extra mätningen av diameter efter

barkning är en säkerhet ifall den barkfunktion som användes för att beräkna diameter under bark vid den ersättningsgrundande mätningen passade dåligt för den aktuella stocken. Barkningsmätningen kan även kombineras med mätningen som behövs för positioneringen, alltså hur stocken ska läggas och roteras för att sågas optimalt. Annars behövs ett separat mätsystem för positionering, där bland annat stockens krokighet, avsmalning och ovalitet mäts.

Beroende på var i sågverket mätutrustningen finns är miljön olika utmanande. Generellt behöver mätningen ske med hög hastighet och vara robust mot damm, smuts, vibrationer och ljusförändringar.

KVALITET HOS TRÄDBRÄNSLEN

För trädbränslen finns inga standardiserade kvalitetskategorier utan specifika kvalitetskrav avtalas mellan köpare och säljare. Kvalitetsbedömningen är dock olika för bränsleved (rundved) och sönderdelade sortiment. För bränsleved kan avtalade kvalitetskrav utgöras av träslag, kvistningsgrad, och min- och maxdimensioner. Främmande föremål får inte förekomma men till skillnad från sågtimmer och massaved är sot och kol från exempelvis brand tillåtet (Biometria 2019d). För sönderdelade sortiment får inte sten eller stora frusna block förekomma, däremot en mindre andel oorganiskt material. Avtalade kvalitetskrav kan handla om storleksfördelning, torrhalt och askhalt (Biometria 2019d).

När materialet är sönderdelat anses provtagningen (samplingen) ha minst lika stor betydelse för mätresultatet som mätmetodens noggrannhet (Björklund m.fl. 2014, Heinonen 2019). Vid mätning av exempelvis torrhalt hos flis behövs 0,5–3,0 liter material samlas för ett prov (Biometria 2019a). Eftersom egenskaper som torrhalt kan variera väsentligt inom en skäppa eller flisstack krävs en komplex provtagning från flera positioner och djup för att erhålla ett representativt resultat. Detta är i praktiken svårt att åstadkomma då det är fysiskt tungt för mätaren att gräva ner i ett flislass ovanifrån. Ett alternativ är att använda en provsond som sticks ner i lasset och inte tar upp prov utan mäter direkt med en sensor i sondens tipp (Björklund m.fl. 2014). Ett annat alternativ är att använda en monterad provtagningsborr som med motorhjälp hämtar upp material inifrån ett lass (Gustafsson 2016). Finska företaget Prometec har utvecklat ett helautomatiserat system för provtagning från sönderdelade bränslen, där provtagningsborren är monterad i en byggnad som fordonet kör in i (Prometec 2016). Provtagningen tar ca 10 minuter för en lastbil på 150 m³. Förutom samplingen används en linjelaser för att mäta skäppans volym. Normalt används sedan annan utrustning för själva mätningen av proverna (Timo Houtari, Prometec, personligt meddelande 2019-11-04). I Sverige har Värtaverket nyligen investerat i en variant av systemet anpassad för provtagning från tågagnar.



Figur 15. Vänster: NIR-sond. Källa: Bestwood (2019). Höger: Provtagningsborr. Källa: Prometec (2016).

Ett tredje alternativ för mer representativ provtagning är att mäta på ett flöde av bränsle, exempelvis genom att montera en sensor vid flishuggens utlopp eller ovanför ett transportband. Vid ett försök i Italien testades en resistiv fukthaltsmätare monterad i utloppet på en flishugg (Lars Eliasson, Skogforsk, personligt meddelande 2020-02-07). Utloppet var dock tillverkat av stål, vilket påverkade signalen hos den resistiva mätaren. Vidare hade mätaren svårt att mäta det breda spann av fukthalter som kan förekomma hos trädbränsle. Principmässigt liknande mätningar förekommer inom jordbrukssektorn, där beröringsfria sensorer kan monteras på skördetröska och mäta en sidoström av spannmål (Taylor & Whelan 2007, Hanigan 2018).

För sönderdelat trädbränsle är det särskilt viktigt att mätutrustningar mäter lika bra på fruset som på ofruset material. Behovet av bränsle är extra stort under de kalla månaderna, vilket innebär att en stor andel av mätningarna sker på material som kan vara fruset. Det tycks helt saknas pålitliga mätmetoder för att avgöra om ett material är fruset. Det gör det svårt att kringgå risken i att använda mätmetoder som inte mäter väl på fruset bränsle, annat än att tina bränslet innan mätning.

FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ATT AUTOMATISERA MÄTNINGEN AV OLIKA VIRKESEGENSKAPER

Utvecklingen inom virkesmätning går mot ökad automation, vilket förväntas ge en billigare mätmetod med lägre spridning. Automatiserad kvalitetsklassning förutsätter att fler kvalitetsegenskaper än idag kan mätas istället för att skattas. Alternativt behöver kvalitetsklassningen ändras så att egenskaper som inte kan mätas istället ersätts med sådana som kan mätas, och som korrelerar med de omätbara egenskaperna. Sågverkens mätningar är de instrument som kan mäta flest egenskaper, men som tidigare beskrivet har de begränsningar. Röntgenramar har framför allt svårt att mäta röta och har ett högt kostnadsläge, medan optiska ramar inte kan mäta inre egenskaper. På grund den höga kostnaden är mätningar heller inte aktuella för massaved och trädbränsle. Därför finns det anledning att gå igenom ett antal kvalitetsegenskaper, hur de mäts idag, och vilka utvecklingsinsatser som gjorts för att automatisera deras mätning, både vid skörd och senare i värdekedjan.

Trädslag

Virkets trädslag är en grundläggande egenskap. Olika trädslag betingar olika pris då virket lämpar sig för olika typer av produkter. För trädslagsrena industrier är det viktigt att veta att de bara får in det trädslag som de kan bearbeta. För industrier som använder sig av blandade trädslag, till exempel vissa massabruk, är information om trädslagsfördelningen värdefull för att styra processen och förutsäga produkttegenskaperna.

Vid millennieskiftet gjordes utvecklingsarbete kring trädslagsbestämning av rundved. En studie genomförd vid ett sågverk hade målet att skilja mellan gran och tall, där målet var 99,5 procent träffsäkerhet (Björklund m.fl. 2003). Ett system som kombinerade reflektion av visuellt ljus och NIR-strålning från stockens mantelyta bedömdes kunna nå målsättningen, men vara alltför känsligt för snö, is och smuts på ytan under årets kalla månader. Medan mantelytan är svår att rengöra, är stockens ändyta lättare att kapa eller polera ren. Ett sådant alternativ utreddes men bedömdes inte som värt att gå vidare med, bland annat på grund av den ökade kostnad som renkapning av ändytan skulle innebära. En annan studie utvärderade om NIR-spektroskopi eller visuell kamera kunde användas för att skilja mellan gran och tall under laborativa förhållanden (Nilsson 2005). Det konstaterades att mätning på bark var bättre än mätning på avbarkad ved, och att NIR-metoden gav ett bättre resultat än kamerametoden, med en träffsäkerhet på ca 90 procent. Metoden tycks dock inte ha tillämpats kommersiellt.

Genom att gran och tall har olika kviststruktur och att kviststrukturen kan mätas med röntgenram kan dessa två trädslag identifieras med en noggrannhet kring 95 procent (Johan Skog, RemaSawco, personligt meddelande 2019-06-12). Vid en tidig utvärdering av metoden hade grova tallstockar en tendens att klassas som gran, medan klena granstockar hade en tendens att klassas som tallstockar (Björklund m.fl. 2003).

Idag finns ingen typgodkänd automatisk metod för att mäta trädslag, istället görs manuell skattning.

Främmande föremål och nedsmutsning

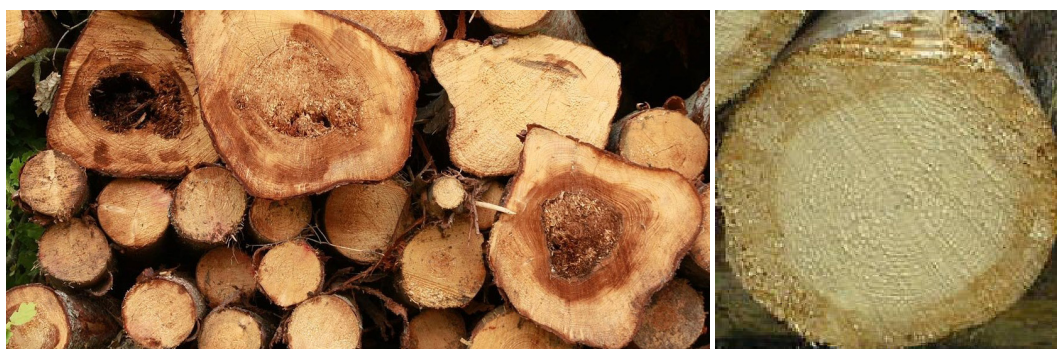
För i stort sett alla virkessortiment är förekomst av främmande föremål i virket en grund för mätning svägran. Det kan röra sig om grus, sten, spik, gummi, häftklamrar, ammunition och plastsnittlar, samt kol och sot för brandskadat virke. I vissa fall sitter de främmande föremålen i barken och försvinner när stockarna avbarkas vid industrin, men de kan fortfarande orsaka problem i barkningsprocessen.

I sågverk kan röntgenramar detektera metall och sten (Henriksson 2014). Om röntgenram saknas finns oftast en enklare metalldetektor. Även på massabruk förekommer metalldetektorer och/eller stenfällor innan barkningen. Plast, exempelvis i form av snittlar, är mer problematiskt då materialet är svårt att bleka bort ur pappersmassan och inte upptäcks av metalldetektorer. Massaved travmäts dessutom ofta, och främmande föremål kan dölja sig i stockar inne i traven, där de är svåra att inspektera. För sönderdelat trädbränsle är klumpar av snö och is ett större problem, bland annat då det försvårar mätningen och hanteringen av virket vid industrin (Biometria 2019d). Som redan nämnt är det svårt att mäta om ett material är fruset. Temperatur är en indikator, men klumpat material kan vara fruset under ett relativt stort temperaturspann. Många sensorer mäter dessutom bara ytemperatur, medan insidan (bulken) kan ha en annan temperatur som varierar på olika positioner i lasset.

Ett alternativ är att detektera främmande föremål redan vid skörd. En studie tittade särskilt på möjligheten att sätta metalldetektor i skördare, men drog slutsatsen att en teknisk lösning saknades (Lindström 2010). Mikrovågsteknik sågs som mest lovande då den till skillnad från röntgen inte utgjorde någon hälsorisk för föraren. Det skulle dock inte gå att förlita sig helt på detektion av främmande föremål vid skörd, då nedsmutsning kan tillkomma från skotning, lagring och transport.

Röta

Skogsröta bildas i växande träd och lagringsröta i virke under lagringstiden och i stånd-torra träd. Att detektera röta är viktigt för både sågtimmer och massaved, och rötstockar som annars hade blivit massaved klassas istället som bränsleved. Många metoder har tagits fram för att mäta röta på stående skog (Goh m.fl. 2018). Mätning av röta på stående produktionsskog har dock inte blivit spritt i Sverige, sannolikt på grund av en kombi-nation av utrustningens kostnad och att mätningen tar lång tid och/eller är tekniskt avancerad.



Figur 16. Vänster: Gran med skogsröta. Källa: SLU. Höger: Lagringsröta i splintveden. Källa: Slöjd-data.

Vid skörd skattas skogsröta oftast av skördarföraren genom visuell inspektion av stubben (Henrik von Hofsten, Skogforsk, personligt meddelande 2019-10-17). Om stubben är täckt av snö kan uppgiften istället hamna hos skotarföraren, som tittar på stockarnas ändtytor. För travade stockar bedriver flera av fjärrmättningsföretagen utveckling kring att identifiera röta från bilder av travarnas ändtytor (Mabema 2019, Timbeter 2019). Vid industrin kan röntgenramar detektera kraftig röta i en stock, men har svårighet med begynnande röta (Skog & Hagman 2013).

I Norge har projekt gjorts kring detektion av röta på stubbar eller under bearbetning genom bildanalys av ändtytor (Nowell 2019, Ostovar m.fl. 2019). Bilder togs på färska stubbar under vinkel- och ljusförhållanden som ska påminna om de hos en skördare. Bildanalys- och AI-algoritmer tillämpades sedan för detektion av röttningsgrad. Klassificeringen var korrekt i mellan 74–82 procent av fallen (Ostovar m.fl. 2019).

Färskhet

Det finns ingen entydig definition av färskhet, men virke kan sägas vara färskt om det har samma egenskaper som det hade vid avverkningen. Förändring i torrhalt är det som främst utmärker virke som inte längre är färskt. Ofärskt virke kan även minska i ljushet och genomgå substansförluster på grund av nedbrytning. Färskhet är en viktig parameter för alla sortiment, främst då ofärskt virke är svårt att barka (Skutin & Arvidsson 2002). Barkbarheten används därför för att bedöma färskhet på rundved (Biometria 2019c).

Färskhet skattas enklast genom information om tiden som gått sedan avverkning (lagringstiden). Den informationen kan i teorin fås från skördardata, eller i vissa fall från vältlapp om fällningsvecka angetts där. I produktionsdatafilen som skickas från de flesta skördare till VIOL och/eller företagens egna system finns tidsstämpel för avverkningen av varje stock. I praktiken är dock informationen svår att använda eftersom möjlighet att ta ut avverkningsdatum från dagens VIOL-system än så länge saknas. Vid ersättningsgrundande skördarmätning finns krav på att mätbeskedet ska innehålla första och sista datum för avverkningen, som fås via parametrar i StanForD-data. Det är dock en mycket liten andel av den ersättningsgrundande mätningen som görs via skördare och därmed ger den informationen.

Arbete pågår med att integrera första avverkningsdatum från skördare i VIOL-systemet. Nackdelen med första avverkningsdatum som mått på hela leveransens färskhet uppkommer framförallt vid större avverkningar som kan hålla på under flera veckor i rad. I teorin kan avverkningsdatum för varje enskild stock anges, men för att informationen ska vara användbar krävs att varje stock kan spåras och identifieras genom värdekedjan, något som inte är fallet idag, men fullt möjligt på sikt.

Den reella färskheten är en kombination av tiden som gått sedan avverkning och väder och miljöfaktorer under lagring och transport. Vinteravverkat virke som lagrats fruset under flera månader kommer att bete sig färskare än virke som avverkats i augusti och legat i solen i några veckor. Ur det perspektivet kan det vara bättre att skatta färskhet genom torrhaltsmätning, och då helst av splintveden (Persson m.fl. 2012). Detta kan dock vara svårt att utföra på vissa sortiment då det saknas enkla metoder för att mäta torrhalt på rundved.

För grot-sortimentet (grenar och toppar) förekommer det till färskhet relaterade begreppet grönandel (Gunnarsson m.fl. 2016). Grönandelen är andelen barr eller löv i groten. Barr sitter kvar längre än löv men faller till slut av när groten blir mindre färsk. Groten blir då så kallad brun grot. Barren innehåller bland annat mycket kalium och kalcium jämfört med grenarna, vilket ger en hög askhalt och kan ge problem med beläggningar och korrosion i värmepannan. Grot med hög grönandel avger även mer NOX-gaser vid förbränning. Grönandel skattas idag via grotens färg.

Torrhalt

Begreppen torrhalt och fukthalt är relaterade och används närmast synonymt. Om de uttrycks i procent är torrhalten = $(100 \% - \text{fukthalten})$. I skogsbranschen används främst torrhaltsbegreppet, medan energi- och värmebranschen främst använder fukthaltsbegreppet (Lars Fridh, Mellanskog, personligt meddelande 2019-10-31).

Torrhalt mäts främst för sönderdelade sortiment. Torrhalten hos ett flisprov mäts oftast gravimetriskt (genom vägning) men även typgodkända beröringsfria sensorer förekommer. Vid gravimetrisk mätning vägs provet först i fuktigt tillstånd, torkas i torkskåp och vägs sedan i torrt tillstånd. Mellan 24–48 timmars torktid brukar krävas (Björklund m.fl. 2014). Sönderdelat träddränsle läggs normalt på hög när det ankommer till industri. Det hade kunnat vara fördelaktigt att omedelbart sortera i olika högar baserat på torrhalt, men detta hindras av att mätvärdet från gravimetrisk torrhaltsmätning tar lång tid att få.

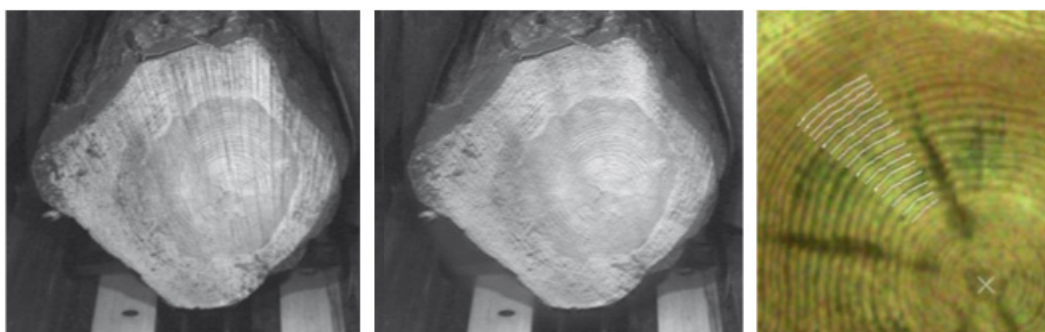
Det finns tre typgodkända beröringsfria mätutrustningar, där två är baserade på belysning och detektion av när-infraröd (NIR) strålning och den tredje på magnetonukleär resonans (NMR) (Bestwood 2019, Prediktor 2019, Valmet 2019). NIR-baserad mätning brukar vara snabb men har nackdelen att signalerna inte penetrerar in i materialet, utan

bara mäter fukten på ytan. NMR penetrerar djupare in i provet men har svårighet med att mäta på fruset material. Det finns även ett stort antal ännu inte typgodkända torrhaltsmätare, som därmed inte får användas vid ersättningsgrundande mätning men som kan användas vid exempelvis processmätning (Fridh 2015). Bland dessa finns bland annat utrustning som mäter fukt med röntgen (Mantex 2019a) eller elektrisk kapacitans (Westerlund & Bergström 2018). En teknik under utveckling baserar sig på radiovågor (Ottosson m.fl. 2016), där försök har gjorts för att mäta medelfukthalt igenom en 2,4 m bred skäppa. Den långa våglängden hos radiovågor medför dels det stora penetrationsdjupet in i materialet, dels att störningar från sten och små metallföremål blir mindre än för exempelvis röntgenvågor. Själva skäppan kan dock inte ha väggar av metall, och utvecklingsarbete kvarstår kring bland annat mätning av fruset material. Många metoder som används för att mäta torrhalt på flis kan även användas på kapade trissor från rundved, eller på spån som sågats från rundved med kedjesåg med spånsamlarutrustning (Biometria 2019a). Däremot saknas idag metoder för torrhaltsmätning av rundved som är både oförstörande och mäter en stor andel av virket. Ett forskningsarbete har även gjorts i Finland där neutron-aktiveringsanalys användes för att mäta fukt hos travad massaved (Päiviö 2009). Mätprincipen ansågs lovande men mätutrustningens mycket höga kostnad var ett hinder för fortsatt utveckling (Heikki Pajuoja, Metsäteho, personligt meddelande, 2019-10-15).

Årsringar

Årsringars antal, bredd och densitet korrelerar med andra, mer svårsmätta egenskaper, bland annat trädets ålder och virkets densitet. Årsringar är lättast att mäta på stockens ändyta. I ett finskt projekt studerades kamerabaserad årsringsmätning under simulerade förhållanden, med målet att tekniken skulle vara användbar i ett skördaraggregat (Marjanen m.fl. 2008). Bildvinklar, belysning och ändytans råhet anpassades för att påminna om verklig produktion. Slutsatsen var att metoden gav ett robust medelvärde på årsringsbredden. Metoden testades dock inte i praktisk drift.

I sågverk kan årsringsbredd mätas med röntgen, förutsatt att mätramens är ny nog för att ha tillräcklig bildupplösning (Skog m.fl. 2010). Optiska kamerabaserade tekniker vore dock ett mycket billigare alternativ. En utmaning är att ändytan bleknar under lagring, vilket gör att kontrasten mellan vårved och sommarved minskar och att årsringarna blir svårare att särskilja (Norell & Borgefors 2010). Dessutom kan ändytorna hos stockar som ankommer till industri vara delvis täckta av smuts och snö. Sammantaget gör det att bildanalysmetoderna måste vara mycket robusta och kunna hantera många olika fall.



Figur 17. Vänster: Rå ändyta med sågmärken från skördarsvärdet. Mitten: Rå ändytan behandlad med bildanalys. Höger: Märgposition och årsringar detekterade med bildanalys. Källa: Norell & Borgefors (2010).

Ett projekt kring kamerabaserad bildanalys av ändytor i sågverksmiljö gjordes i samarbete mellan Uppsala universitet och dåvarande SDC (Norell 2010). Algoritmer för att automatiskt räkna årsringar samt identifiera märengens position på gran och tall togs fram. Slutsatsen var att metoden fungerade lika bra som årsringsbedömning av mänsklig mätare, men var mer lämplig som stöd vid semiautomatisk mätning än vid helautomatisk mätning. Mer nyligen gjordes ett projekt i Frankrike kring kamerabaserad detektion av märeng på råa ändytor, vilket anses vara ett förstadium till att kunna mäta årsringar (Decelle m.fl. 2019).

Krokighet/krök/utbytesförlust och rotben

Krokighet (krök) är framför allt en viktig parameter för sågtimmer eftersom det styr utbytet, det vill säga hur mycket sågad vara som kan fås ut av en enskild stock. Även för massaframställning är det viktigt att en stock inte är så krökt att det förhindrar matning genom rensrietet och friktionskrafterna vid avbarkningen.

Vid avverkning skattas idag krök av skördarföraren. En svensk utvecklingsstudie för automatisering av krökmätning i skördare har gjorts (Andersson m.fl. 2008). Två kameror placerades på skördaraggregatet, riktade mot den utmatade och kvistade delen av stocken. Den ena kameran fotade då stocken uppifrån och den andra från sidan. Mätprincipen ansågs lovande men svårigheter med stockens och bakgrundens varierande färg och ljusintensitet gjorde att mätningen inte gick att automatisera med bildanalys.



Figur 18. Stereokamerabilder från studie för automatisk krökmätning i skördare (Andersson m.fl. 2008).

I sågverket mäts krokighet och utbytesförlust idag med optiska mätningar och röntgenramar (VMK 2019b). Få studier tycks dock finnas som utvärderar denna mätning, exempelvis hur väl de provkroppar som används representerar verkliga stockar (Fontanini 2019). Ett alternativ till mätningar vore att utveckla teknik som använder sig av stereokameror, som även anses mindre känsliga för transportbandets skakningar (Strömberg 2017). Två sågverk har installerat en kamerabaserad övervakningsutrustning som använder bildanalys för detektion av rotben. De detekterade stockarna tas till rotbensreducering. Utrustningen kan även mäta rotradie, medelradie, krökning och längd hos stocken (Erik Erlandsson, Nilhe, personlig kommunikation 2020-01-21).

Idealt vore att mäta krök redan på det stående trädet, så att apteringen kan optimeras därefter. På sikt är detta något som laserscanners monterade på skördaren skulle kunna åstadkomma. En sådan teknikutveckling kommer sannolikt att relateras till utvecklingen av självkörande skogsmaskiner, då deras styrsystem behöver kunna identifiera position och storlek hos de omgivande träden (Melkas m.fl. 2014).

Flisstorleksfördelning

Flisens storleksfördelning (fraktionsfördelning) är en viktig parameter vid både bränsleanvändning och massaframställning. Även information om sönderdelningsmetoden, exempelvis hugg eller kross, kan vara relevant (Iwarsson Wide m.fl. 2019). Storleksfördelningen hos den huggna flisen bör vara smal, det vill säga varken ha för stor finfraktion eller grovfraktion. Vid kemisk massaframställning kan grova flisbitar bli ofullständigt kokta, medan finfraktionen blir överbehandlad. Vid mekanisk massaframställning kan övergrov flis inte passera mellan raffinörens skivor (Hellström 2010). Finfraktionen innehåller också en större andel föroreningar (Ding m.fl. 2005).

Storleksfördelning kan mätas genom sällning eller beröringsfri mätning. Vid sällning av massaflis skakas 8–10 L flis genom hyllor med perforeringar och hål av olika diameter (SCAN-CM 40:01 2001, SS-EN ISO 17827-1 2016, SDC 2018a). Skakningen tar ca tio minuter. Efteråt vägs flisen i varje fraktion och andelen i varje fraktion beräknas. System finns även som gör sällningen automatiskt genom att mata flisen igenom roterande rör med olika perforerande sektioner (Hartmann m.fl. 2006).



Figur 19. Sågspån i olika fraktioner. Källa: Krizan m.fl. (2015).

Beröringsfri mätning av flisstorleksfördelning kan göras i eller vid flödet. Om mätningen görs med kamera när flisen transporteras på band finns risken att enskilda bitar skymmer varandra. Alternativet är att göra mätningen när flisen är i fritt fall mellan två nivåer av ett transportband, eller att leda bort flisen från processen till en särskild mätutrustning (Hartmann m.fl. 2006). De flesta utrustningar som utvecklats för ändamålet har varit inriktade på mätning av flis för massatillverkning, snarare än ersättningsgrundande mätning av trädbränsle. Mätprincipen kan baseras på exempelvis röntgen eller kombination av kamera och linjelaser (Andritz 2019, Mantex 2019b, Teknosavo 2019). Ofta kan mätsystemen kompletteras med sensorer som mäter av fler egenskaper, exempelvis torrhalt, ljushet, främmande föremål eller densitet. Ingen beröringsfri utrustning är idag typgodkänd för mätning av storleksfördelning.

Barkandel och barkhalt

Att virket avbarkas väl är viktigt vid både sågning och massaframställning. Vid massaframställning ger kvarvarande bark i flisen mörkare massa, minskar fiberutbytet och utlöser extraktivämnen som påverkar kokkemin (Bajpai 2018). För att skydda virket mot uttorkning lämnas barken kvar så länge som möjligt och avbarkas när virket tas in till processen. Sågtimmer barkas stock för stock medan massaved barkas gruppvis i exempelvis barktrumma. Barkhalten kan mätas optiskt genom kameror och linjelaser,

ibland integrerat med barkningens styrsystem (Teknosavo 2016). Då avbildas stocken eller stockarna innan respektive efter barkningen, och de båda bilderna jämförs med bildanalys som identifierar barken.

För sönderdelade sortiment, till exempel ersättningsgrundande mätning av sågverksflis (cellulosaflis), mäts barkandel manuellt genom att väga hela flisprovet, sortera ut barken och sedan väga den (SDC 2018a).

Askhalt, energivärde och radioaktivitet

Askhalten är andelen obrännbara föreningar i ett material, som i sin tur är en kombination av virkets naturliga innehåll av mineraler och metaller och föroreningar som tillkommer vid avverkning och transport. Förutom att energivärdet blir lägre ju högre askhalten är så orsakar framför allt kalium problem i förbränningen genom beläggningar, slagning och sintring (Fridh m.fl. 2015).

Askhalt mäts vanligen genom att väga provet, förbränna det och sedan väga den återstående askan (Svensk Standard SS 18 71 72). Proceduren tar relativt lång tid. Det finns ingen typgodkänd beröringsfri mätutrustning. Skogforsk testade en labbutrustning som kombinerade Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA), för att mäta fukthalt, med röntgenfluorescens (XRF) för att mäta askhalt (Fridh 2015). Dessa två egenskaper kunde sedan kombineras för att räkna ut energivärde. Det konstaterades att medan standardavvikelsen för fukthalten och askhalten var högt, var skattningen av energivärdet mycket bra. Metoden kringgår dock inte behovet av representativ sampling och det konstaterades att mycket arbete skulle kvarstå för att skapa en kommersiell produkt. Sammantaget finns i dagsläget ingen snabb metod för att mäta energivärde på trädbränsle, trots att det är den egenskap som värmeverken helst skulle basera ersättningen på.

Radioaktivitet, oftast uttryckt som cesiumhalt, är en egenskap som inte mäts idag men som har viss relevans för trädbränsle. Det beror på att radioaktiviteten kan koncentreras och bli relativt hög i askan, vilket särskilt blir ett problem om askan ska återföras till skogen. Gränsvärden för cesiumhalt finns satta för spridning av aska på skogsmark (Möre & Hubbard 2005). För massaved innehåller mätning sinstruktionerna krav på att misstanke om radioaktivitet anmäls till köparen av partiet, så att vidare undersökning kan göras (Biometria 2019c). Framför allt importvirke från Baltikum och Ryssland anses kunna ha förhöjd cesiumhalt. Radioaktivitet mäts främst genom avancerade laboratoriemetoder som mäter gammastrålningen från cesiumets sönderfall. En potentiell lösning för större volymer vore ett slags gammarrigg, liknande en bildrigg för fjärrmätning, som skulle kunna detektera ”förhöjda halter” hos en passerande transport (Pål Andersson, Strålsäkerhetsmyndigheten, personligt meddelande 2019-04-23). Om en sådan rigg gav utslag skulle dock laboratoriemätning behövas för att fastställa exakt strålningsnivå. Det är också sannolikt att lösningen skulle vara dyr.

Densitet

Densiteten är en inre egenskap som är relevant för många sortiment men som inte är en del av dagens kvalitetsklassning, sannolikt för att den är svår att mäta. Virkets densitet är korrelerat till mekaniska egenskaper av vikt för sågtimmerproduktion. Vid massaframställning är virkets densitet starkt relaterad till utbytet, det vill säga mängden fibrer som går att få ut från veden (Brunberg m.fl. 1996). För trädbränsle är densiteten korrelerad med energitätheten i lasset (Fridh m.fl. 2015). Densiteten behövs också när vägning används för ersättningsgrundande mätning i de fall då vikten ska omvandlas till volym.

Röntgenramar mäter densitet, vilket gör informationen lättillgänglig för sågverk som har en sådan ram (Skog 2014b). För övriga sortiment är densitet mer omständligt att mäta.

Densiteten hos virke är beroende av dess fukthalt, och bör idealt anges med fukthalten specificerad (TAPPI 2016). Huvudsakligen används tre varianter av densitet: rådensitet, torrdensitet och torr-rådensitet. Rådensiteten är virkets densitet när det har en fukthalt vid fibermättnadspunkten och är enklast att mäta eftersom den motsvarar virkets naturliga tillstånd. Rådensiteten kan mätas rationellt även för stora volymer, genom att exempelvis mäta vikt och volym på travnivå, även om mätvärdet blir relativt grovt. I dessa fall är det skrymdensiteten som mäts (densiteten inklusive luft). För enskilda träd eller mindre prover kan rådensitet också mätas med instrument som använder sig av mekanisk penetrering (pilodyn, resistograf), akustisk excitering, eller röntgen (Wilhelmsson 2007, Ågren m.fl. 2017, Fundova m.fl. 2018). Dessa instrument mäter densiteten exklusive luft.

Torrdensitet är virkets densitet i helt torrt tillstånd. För små prover kan torrdensiteten fås genom att provet torkas och att volymen och vikten sedan mäts. För större mängder virke kan den torra vikten fås genom att kombinera råvikten med mätning av virkets torrhalt. Däremot är den torra volymen mycket svårare att mäta. Ett alternativ till torrdensiteten är då torr-rådensiteten.

Torr-rådensitet är virkets vikt i helt torrt (vattenfritt) tillstånd dividerad med volymen i rått (vattenmättat) tillstånd. Torr-rådensitet är en konstruktion snarare än något som förekommer naturligt, men den används i många beräkningar och modeller som predikterar slutegenskaper hos skogliga produkter. Den kan bland annat mätas enligt standarden SCAN-CM 43:95 (1995).

Perspektiv på virkesmätning hos skogsbranschens aktörer

I detta kapitel presenteras material från ett antal intervjuer som gjorts för att lyfta fram olika aktörers perspektiv på virkesmätning. Det måste betonas att syftet inte har varit att göra en kvantitativ sammanställning utan snarare att lyfta fram bredden på perspektiv. Intervjuerna bör med andra ord inte ses som representativa för hela branschen. Intervjukategorierna har varit skogsägare, virkesköpare utan egen industri, ansvarig eller användare av virkesmätningsdata vid industri, samt mätteknisk utvecklare. För skogsägare var målsättningen att täcka olika storlek på innehavet (privat/liten, mellanstor, stor skogsägare). För stor skogsägare intervjuades inte ett enskilt företag utan åsikter inhämtades under workshopen "Framtidens virkesmätning" på Skogforsk den 1:a oktober 2019. För industri var målet att täcka upp olika storlekar på industrin (liten, mellanstor, stor) samt olika vedråvara (sågtimmer, bränsle, massaved). För mättekniska utvecklare var målet att spegla olika tillämpningsområden och närhet till färdig produkt.

Tabell 2. Intervjuade individer och aktörer per kategori.

Skogsägare	Virkesköpare	Industri	Mätteknisk utvecklare
2 privatpersoner, södra Sverige		Kährs Skog AB	Tracy of Sweden
Persson Invest AB	Sydved	Jämtkraft Värme	Radarbolaget
Flertal andra bolag		SCA Östrand	CIND

SKOGSÄGARE

Skogsägarna fick bland annat frågor om hur de inhämtar och lagrar information om sin skog, vad de tycker om ersättningsgrundande skördarmätning respektive industrimätning och om de har några tankar kring de senaste större förändringarna inom virkesmätningen. Majoriteten av frågorna var förberedda, varav en handlade om övriga tankar och medskick som inte tagits upp i de andra frågorna.

De två privata skogsägarna som intervjuades ägde ca 200 respektive 400 ha skog. Båda använde främst skogsbruksplan i pappersformat. En av dem hade även sin skogsbruksplan digitalt men tog sitt barn till hjälp med det, då det digitala systemet upplevdes som krångligt. Han hade gått kurs om digital skogsbruksplan två gånger men det hade inte riktigt satt sig. De intervjuade inhämtade information om sin skog genom att vara och arbeta i skogen och använde inte själva mätinstrument. En av dem uttryckte nyfikenhet kring mobilappar för skogsinventering och att det skulle kunna vara praktiskt. Båda de intervjuade hade bra förtroende för mätningen, även om en av dem poängterade att det gick upp och ner beroende på vem som mätte. De upplevde att mätningen och mätbeskedet gav den information de behövde. Båda hade en positiv bild av betalning via skördare (stampris), även om bara den ena hade provat på det. Den viktigaste aspekten som togs upp kring stampris var att det skulle vara en bra skördarförare, och de intervjuade kände förtroende för de lokala skördarförarna. De upplevde att de olika handelsmått fungerade okej när man väl hade satt sig in i hur det fungerade men en av dem tyckte att toppmätning var dåligt för långt virke. Båda hade erfarenhet av fjärrmätning av virkestravar och tyckte att metoden var bra, främst för att det lagrades bilder

som man kunde gå tillbaka till. En av de intervjuade ville att det skulle skickas en bekräftelse så fort virket hade fotats, så att det inte dröjde tills bilderna var analyserade innan man fick veta om ens virke kommit fram. När det gällde övergången till prima/sekunda menade en av de intervjuade att förändringen främst gjorts för att industrin skulle få billigare virke.

Bolaget som representerade kategorin mellanstor/stor skogsägare hade ca 100 000 ha skog. Företaget höll på att migrera mellan två mjukvaror för bestandsregister. Den nya mjukvaran kunde lättare uppdatera bestandsregistret med exempelvis gallringsuppföljning baserat på skördardata, vilket sågs som intressant. Laserdata hade i stort sett ersatt användning av klaven vid bland annat nyindelning av skogen. Relaskop användes ibland vid exempelvis gallringsplanering. Där sågs mobilappar för inventering som en intressant ny möjlighet, särskilt för att hjälpa nyare maskinförare att kalibrera sig. Vid ersättningsgrundande mätning ansågs stabilitet och pålitlighet vara viktigast. Mätningen och mätbeskedet gav den information man behövde. Det nämndes att systemet med stickprov för exempelvis travmätning kunde vara svårt för enskilda att förstå. Betalning baserat på skördardata sågs som en komplex fråga. Det skulle kräva mer fokus på precision och på skördaraggregatet, vilket även skulle gynna apteringen. För den aktuella skogsägaren var betalning via skördarmätning inte aktuellt då de ändå skulle behöva mäta en gång till vid leverans, men det ansågs vara ett möjligt alternativ för privata skogsägare. På området mätteknisk utveckling tog den intervjuade upp att teknik som tillät virkessortering baserat på hållfasthet vore bra, och skulle stärka trävarors konkurrenskraft.

För kategorin stora skogsägare kommer även industriperspektiv att ingå, då de flesta som deltog i workshopen där åsikterna inhämtades äger egna industrier. Att bibehålla förtroendet för virkesmätningen ansågs centralt. Likformig mätning togs upp som ett exempel. Att instruktioner och metoder tillät viss flexibilitet ansågs viktigt, exempelvis att göra en noggrann, dyrare mätning mot enskilda skogsägare, och en rationell, mindre noggrann mätning vid interna förflyttningar eller virkesbyten. Det poängterades att det behövs mätteknik som är anpassad för terminaler, inte minst små sådana. Helautomatiserad mätning av både massaved och sågtimmer sågs som en naturlig utveckling, där kvalitetsbestämning av sågtimmer skulle kräva mest utveckling. Lösningar för bildbaserad travmätning av sågtimmer, exempelvis med stöd av skördardata, sågs som intressant att utforska. Att mäta fler kvalitetsegenskaper redan i skogen, ”röntgen i skördare”, var också en vision. Att åstadkomma en sammanhållen digital informationskedja sågs som prioriterat, liksom att undersöka nya och effektivare metoder för kalibrering och kontroll, såsom alternativ till klaven och de provkroppar som finns idag. Även spårbarhet på individnivå (exempelvis stocknivå) nämndes. Det sågs som värdefullt att kunna använda mätdata från exempelvis sågverkens mätarmar till att ge skördarförare feedback på sin aptering.

VIRKESKÖPARE

Virkesköparen använde en kombination av Lantmäteriets ortofoton och skogsbruksplaner för att få information om skogen. Det betonades att informationen behövde vara aktuell, helst inte mer än ett år gammal, för att vara användbar. Grundyta, höjd och ålder var viktigast att veta. Förutom det användes oftast manuell skattning, ”köttögat”, för bedömning av exempelvis gallringsbehov, volym och trädslagsfördelning. I undantagsfall användes relaskop. Erfarenheten av ersättningsgrundande mätning var att framför allt kvalitetsklassningen av sågtimmer skiljde sig oacceptabelt mycket mellan olika mätare, och även mellan mätplatser. Mätningen borde vara jämnare och stabilare.

Helautomatiserad mätning sågs som en framtida möjlighet för att åstadkomma det. Erfarenheterna av fjärrmätning av massaved var att själva mätningen varken var bättre eller sämre än bryggmätningen, men att det var en stor fördel att bilderna sparades så att de kunde kontrolleras på nytt. Klassningen i prima/sekunda upplevdes fortfarande som ganska ny men ett tydligt önskemål var inte bara orsaken till nedklassning på travnivå utan att också få besked om procentandelen fel i varje kategori. Virkesköparen såg potential i användning av laserdata från den nationella laserskanningen och även i bättre skattningar av volym och trädslagsfördelning så att rotlagersiffrorna blev ännu mer pålitliga.

INDUSTRIER

Industrierna fick bland annat frågor om vilka egenskaper som är viktigast för dem att mäta, vilka mätningar de gör och med vilken utrustning, vilka ytterligare mätningar de skulle vilja göra givet att resurserna fanns och vilken mätteknisk utveckling som de såg som mest relevant.

Den lilla industrin representeras i intervjuerna av ett företag som sågar och förädlar ek, då den mesta mättekniska utvecklingen anpassas för gran och tall och det föreföll intressant att få med lövträdsperspektivet. Industrin har en envägsskugggram som toppmäter volymen för varje stock och en mätare som manuellt skattar kvalitet. Längd och diameter är de viktigaste egenskaperna för dem. Industrin mäter inte enligt standardinstruktionerna, utan gör avdrag för defekter och betalar för användbar del. Det leder till att de får två mätbesked, ett för den användbara delen och ett för avdraget. Att istället få ett gemensamt mätbesked nämndes som önskvärt. Man kände starkt för toppmätningen. Den intervjuade trodde att det var osannolikt att kvalitetsmätning av ek skulle kunna automatiseras inom sin livstid – ”lövmätning är en konst”. Man kände en oro kring kompetensförsörjning, då det tog flera år för en mätare att bli bra på kvalitetsbedömningen och vikarien vid sjukdom och frånvaro hade passerat pensionsåldern. Röntgenmättram framstod som attraktivt för industrin men var i dagsläget en kostnadsfråga. Viss utveckling skulle sannolikt också behöva ske för att anpassa mättramen till trädslaget ek.

Den medelstora industrin, ett värmeverk, bidrog med mycket tankar kring mätning av trädbränsle. En grundläggande frustration var att det i dagsläget inte går att mäta det man egentligen är intresserad av – ”Vi gör energi, vi vill mäta energi och lagra energi”. Värmeverket handlar i MWh, vilket räknas ut genom torrhaltsmätning på varje lass som kombineras med genomsnittliga värden på askhalt och kalorimetriskt värmevärde som mäts och uppdateras ungefär varannan månad. Askhalten och värmevärdet mäts för varje sortiment och leverantör. Värmeverket lyfte fram samplingen som den största osäkerhetskällan i mätningen och att det finns mycket kvar att göra där. De nya automatiserade samplingssystemen upplevdes dock som mycket dyra. Värmeverket hade provat flera typgodkända beröringsfria mätare för torrhalt men valt att fortsätta med den traditionella ugnstorkningsmetoden. De beröringsfria mätmetoderna upplevdes antingen ge ostabila resultat eller ha svårighet att hantera fruset material och föroreningar som grus. Man var intresserad av bättre mätmetoder för fraktionsstorlek, gärna i kombination med definierade tröskelvärden för finfraktion respektive övergrovt. Man hoppades att VIOL 3 ska ge möjlighet att registrera alla mätvärden, även om mätning inte genomförs för varje lass, och att man sedan ska kunna välja vilka av dem som är ersättningsgrundande. Leveransavisering för sönderdelat trädbränsle var också något som sågs som en positiv möjlighet med VIOL 3. Värmeverket använder mycket returträ och uttryckte frustration över att ingen forskningsaktör ”tagit sig an” det sortimentet och att mätmetoderna för returträ är outvecklade.

Den stora industrin representerades av ett kemiskt massabruk, som tar in barrmassaved och sågverksflis. Den nya kvalitetsklassningen prima/sekunda ansågs bra för att undvika övergrova stockar som annars måste detekteras och sorteras bort i renseriet. Bruket skulle vilja ha bättre information om trädslagsfördelningen hos det inkommande virket, som idag huvudsakligen baserades på erfarenhet. Det upplevdes överlag svårt att få ut mätdata och information från den ersättningsgrundande mätningen och tidigare delar av värdekedjan. Rådensiteten hos sågverksflisen beräknades utifrån den inmätta vikten och volymen. Sågverksflisens torrhalt mättes vid den ersättningsgrundande mätningen. Massaveden däremot flisas efter den ersättningsgrundande mätningen, därför utfördes mätningen av massavedsflisen separat, efter den ersättningsgrundande mätningen. Framförallt mättes storleksfördelning genom skaksållning, ca ett stickprov per dag, men ibland även rådensitet samt torrhalt via ugnstorkning. Bruket uttryckte att det hade varit intressant att mäta torrhalt oftare när det är som torrast på sommaren och när det riskerar att frysa på vintern, om metoderna för torrhaltsmätning hade varit enklare och billigare. En erfarenhet från ett relaterat bruk nämndes, som hade skaffat en beröringsfri flismätare. Den användes inte längre då den ansågs kräva för mycket underhåll och utrymme. Om bruket skulle investera i ny mätteknik så vore mätning av barkandel efter barkningen samt en sten-/skräpdetektor innan huggen mest aktuella.

MÄTTEKNISKA UTVECKLARE

De mättekniska utvecklarna fick frågor om vilka faktorer som verkar stimulerande respektive hindrande för utveckling och implementering av deras mätteknik.

Tracy of Sweden, som utvecklar bildbaserad teknik huvudsakligen för spårning och identifiering av stockar, har en förhoppning att tekniken även ska kunna användas för beröringsfri diameter- och längdmätning i skördare. Företaget ansåg att samverkan med maskintillverkare och universitet var det som främst stimulerade utveckling och implementering. De största hindren angavs vara bristande intresse från aktörer som Skogforsk, samt den tekniska utmaningen kring beröringsfri längdmätning i skördare.

Radarbolaget, som utvecklar beröringsfri teknik för fukthaltsmätning av bland annat trädbränsle, upplevde det som stimulerande med extern förankring, granskning och finansiering från Vinnova eller Energimyndigheten. Även kunddeltagande i utvecklingsprojekt, samarbete med högskolor och andra aktörer och spridning av kunskap via central aktör som Skogforsk angavs som stimulerande. Slutligen nämndes tydliga modeller för finansiering som en möjlig stimulering, exempelvis att branschen står för utvecklingskostnaden och lovar att köpa X system om kravspecifikationen nås – ”det är viktigt att snabbt få igång försäljningen utan alltför höga startkostnader”. Motsvarande nämndes finansiering av teknik och produktutveckling som ett hinder, kopplat till brist på utvecklingsresurser hos skogsbolagen. ”Avancerad teknik tar lång tid att utveckla. Projekt startar inte om inte extern finansiering via Vinnova eller Energimyndigheten finns.” Det fanns också farhågor att typgodkännandeprocessen skulle vara omständlig.

CIND, som tagit fram och utvecklar ett av systemen för fjärrmätning av travar, gav en detaljerad redogörelse kring vad de upplevde som stimulerande och hindrande för deras mättekniska utveckling. ”Många personer hos våra kunder och hos Biometria är nyfikna och öppna för nya lösningar och ny teknik. Vi som underleverantör får oftast vara med i diskussioner och våra åsikter får ofta stort genomslag. I de flesta lägen har Biometria och våra kunder ett pragmatiskt synsätt på kontroller, lösningar på problem som uppstår m.m. Det är en jättestyrka att svensk skogsindustri har kommit så långt i sitt samarbete

och standardiserande vad gäller virkeshandel. Att det finns ett gemensamt regelverk i hela landet som vi behöver förhålla oss till, och att det räcker att bli godkänd hos en instans som alla sedan litar på är en stor fördel. Det märker vi när vi nu rör oss på en internationell marknad där det är mycket spretigare regelverk och otydligt hur man egentligen mäter, godkänner och kontrollerar. Det är också en styrka att det finns nationella tekniska system för virkeshandel som alla använder (DORIS m.fl.). Det gör att vi bara behöver anpassa oss till ett gränssnitt och ett system för att täcka in hela vår svenska kundbas, vilket är effektivt och kostnadsbesparande både för oss och våra kunder. Som hinder angav CIND: ”De kontrollrutiner som används för att godkänna automatiska system är ofta en direkt översättning av kontrollrutiner som gällde för traditionella och manuella metoder, med mycket fokus på skogliga aspekter så som var timret skall komma ifrån, var det skall vara lastat m.m. Dessa rutiner består ofta av att vid ett givet tillfälle tillsammans utföra ett strikt test som skall uppfylla vissa kriterier. Om det går bra vid just det tillfället så är systemet godkänt, annars inte. Att direkt översätta kontrollrutiner på detta sätt ger problem och begränsningar. Ett automatiskt system har fördelen att det samlar på sig data under en lång tid och man kan därmed göra kontrollrutinerna mer relevanta om man utformar dem mer i samråd med teknikleverantörerna. För ett automatiskt system är ett gradvis godkännande bättre, där man först fokuserar på att samla in data och använda den, men med ett ökat inslag av manuell granskning, stickprov m.m. Sedan kan man gradvis minska på mängden manuell övervakning och stickprov när man ser att systemet börjar bli intrimmat och kontinuerligt möter kraven vid de utförda stickproverna. Så fokus borde vara på kontinuerlig övervakning och förbättring, istället för rigida godkännanden vid ett givet tillfälle. Det är onödigt komplicerat och svårt för oss som teknikleverantör att få tillgång till all data som finns i systemen hos Biometria. Ibland är problemen rent tekniska (det finns inte stöd i Biometrias system för att få ut data på vissa format eller enligt vissa filtreringar) och ibland är problemen administrativa, till exempel att det är oklart vilka data som får delas med vem, vem som behöver godkänna att data distribueras, vem som praktiskt kan hjälpa till med arbetet. Det skiljer också från fall till fall vilka data som sparas var eller om de alls sparas. Det handlar till exempel om att rådata från en dataklave vid ett stickprov inte alltid sparas efter det att testerna är genomförda. Att få tag på data blir för oss individberoende och ganska godtyckligt. Ibland behöver vi utföra dyra tester för att samla på oss data som egentligen redan finns tillgänglig i de olika systemen hos kund eller hos Biometria. Här vore det önskvärt med en genomtänkt strategi, process och teknik så att teknikleverantörer på ett enkelt sett skulle kunna få tag på (helst via ett öppet API) all data som finns kring stickprover m.m.”

De vanligaste mätmetoderna per sortiment över tid och geografi

DATABEARBETNING

Följande kapitel redovisar data om hur standardmetoderna för ersättningsgrundande mätning av kvantitet använts i Sverige de senaste åren. För analysen erhöles VIOL 2-data från Biometria från januari 2017 till december 2019, filtrerad för att enbart inkludera ersättningsgrundande mätning. I data ingick uppgift om mätplats, mätmetod, inmätt måttslag, volym i inmätt måttslag, volym omvandlad till m^3ub , träslag, sortiment och sortimentsgrupp. Alla typer av mätplatser ingick, även terminaler och hamnar. Lägeskoordinater identifierades för alla utom 63 mätplatser, där majoriteten av de lägesbestämda mätplatserna var terminaler.

Den totala inmätta volymen för de tre åren var 276 miljoner m^3ub . Ett antal massavedsmätningar som registrerats som stockmätta togs bort, då det framkom att dessa var kontrollmätningar och inte vederlagsmätningar. För åren 2018 och 2019 fanns en mätplats där massaved registrerats som mätt med vägning med torrhhaltsbestämning. Givet att den aktuella mätplatsen var ett värmeverk bedömdes dessa volymer istället tillhöra trädbränslekategorin. Ett fåtal mätningar var registrerade med det inmätta måttslaget m^3tpb , motsvarande totalt 18 000 m^3ub . Givet att måttslaget travad volym (skrymvolym) på bark idag normalt inte används för ersättningsgrundande mätning (Monika Strömgren, Biometria, personligt meddelande 2019-08-12) togs dessa mätningar bort. Mätningar motsvarande 100 000 m^3ub hade m^3miub som inmätt måttslag, medan mätningar motsvarande 1200 m^3ub hade m^3miub som inmätt måttslag. Eftersom dessa måttslag räknas som fastvolym märktes de om som m^3ub .

KATEGORI, SORTIMENT OCH MÅTTSLAG

Baserat på sortiment grupperades data i fem kategorier: massaved, sågverksflis (cellulosaflis), sågtimmer, övriga sågbara sortiment, trädbränsle och specialsortiment (Tabell 3). De största sortimenten i datasetet visas i Tabell 4.

Tabell 3. Exempel på kategoriernas ingående sortiment och andelen volym (omvandlad till m^3ub) år 2019.

Kategori	Andel av volym %	Exempel på ingående sortiment
Massaved	41,8	Massaved, Massaved frisk färsk, Massaved nedklassad, Massaved stdl, Massaved sågbar, Massaved lagr. rötad, Mav ej färsk
Sågtimmer	35,2	Sågtimmer, Sågtimmer 02-04
Sågverksflis	10,7	Sågverksflis
Övriga sågbara sortiment	6,8	Rotstockar/grovtimmer, Stamblock, Svarvtimmer, Klentimmer 2, Pallkubb, Slipertimmer, Sparrtimmer, Sågbar kubb 2
Trädbränsle	5,4	Stamvedflis, Bränsleved, Grot, Grotflis, Returträ, Energiskog, Helstammar, Stamdelar, Träddelar, Sågverksflis torr, Stubbar, Träddelsflis
Specialsortiment	0,1	Rökerived, Stolpar, Tändsticksvirke

Tabell 4. De sexton sortiment i datasetet som representerar den största andelen volym (omvandlad till m³f ub) under åren 2017–2019. Sortimentsnamnen kommer från VIOL 2. *bassortimentet i sin sortimentsgrupp. **stld står för standardlängder.

Sortiment	Andel av volym %	Sortiment	Andel av volym %
Massaved *	36,3	Massaved stld **	1,6
Sågtimmer *	28,6	Bränsleved	1,6
Sågverksflis	10,7	Sågbar kubb 2	1,3
Sågtimmer 04	3,5	Grotflis	1,3
Klentimmer *	3,4	Massaved sågbar	1,1
Massaved frisk färsk	2,3	Returträ	0,9
Sågtimmer 02	2,2	Sågbar kubb *	0,8

Sågverksflis, som används vid massaframställning, registreras normalt som ett bränslesortiment. Då det inte är ett bränsle i egentlig mening, samtidigt som det är ett stort sortiment, togs beslutet att analysera sågverksflis som en egen kategori. Eftersom specialsortiment utgjorde en mycket liten andel av den totala volymen gjordes inte vidare analyser på den kategorin. Tabell 5 visar datasetets fördelning av inmätt måttslag, fördelat på de olika kategorierna. Det bör noteras att inmätt måttslag inte behöver vara samma som det ersättningsgrundande måttslaget (handelsmättet).

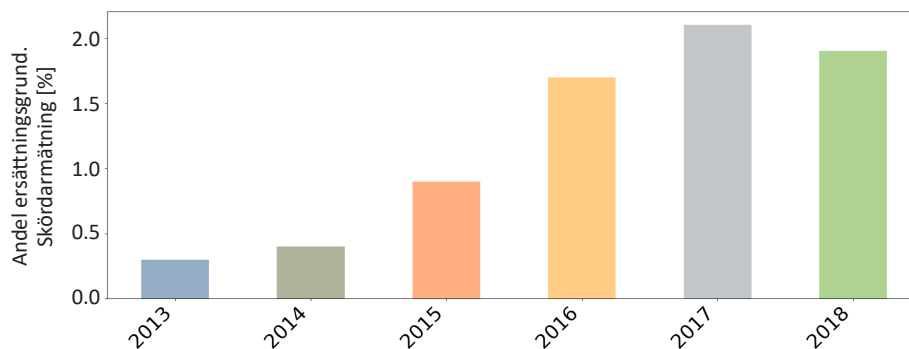
Tabell 5. Datasetets andel inmätt volym (efter omvandling) i procent per sortimentskategori och inmätt måttslag år 2019. Förklaringar till de olika enheterna finns i kapitlet om grundläggande begrepp.

Måttslag	Massaved	Sågverksflis	Sågtimmer	Övrigt sågbart	Trädbränsle
m ³ f ub	91,2	0,5	28,6	50,2	31,2
m ³ to ub	-	-	69,0	49,4	-
m ³ s	-	3,7	-	-	0,4
st	3,9	-	0,6	-	0,1
ton	4,9	95,2	1,8	0,3	11,6
ttv	-	0,5	-	-	57,6
MWh	-	-	-	-	0,003

Mätningen av sågtimmer domineras av m³to ub, medan mätningen av övriga sågbara sortiment i nästan lika stor utsträckning mäts med m³fub som m³to ub. Mätningen av trädbränsle domineras av ttv, men samtidigt förekommer en stor mängd andra måttslag. Det kan noteras att mycket av handeln med trädbränsle sker med MWh som handelsmått, vilket innebär att omvandlingar måste ske från måttslag som m³fub (för bränsleved), ton, eller ttv, via energiberäkningsnycklar (Håkan Jonsson, Biometria, personligt meddelande 2019-11-22).

ERSÄTTNINGSGRUNDANDE SKÖRDARMÄTNING

Figur 20 visar den ersättningsgrundande skördarmätta volymen som andel av total inmätt volym. År 2018 var 1,8 procent av den ersättningsgrundande mätningen i Sverige gjord av skördare. Som jämförelse betalades runt 85 procent av virket i Finland genom skördarmätning år 2018 (Melkas 2019). Nedgången av skördarmätning i Sverige år 2018 kan reflektera en minskad mängd skördat normalvirke till följd av skogsbränder och torka, och en ökad mängd import, som aldrig betalas genom skördarmätning. I Sverige används ersättningsgrundande skördarmätning i dagsläget främst i södra Sverige genom Södra Skogsägarna. Deras betalningsform ”stampris” används huvudsakligen för bestånd som kan ses som normala (Nilsson 2014).



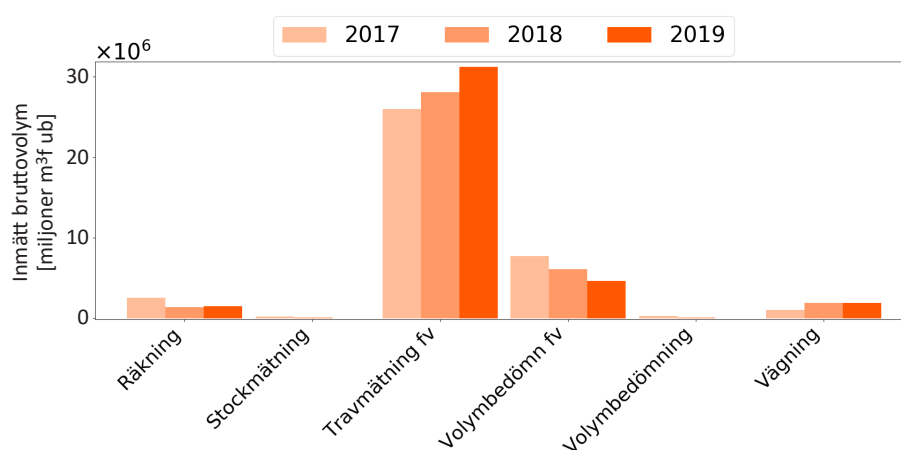
Figur 20. Volym mätt med ersättningsgrundande skördarmätning som andel av industrins totala förbrukning av svenskt rundvirke (import ej inkluderat), i Sverige 2013–2018.

Källa: Edlund (2017); VMU (2018); Edlund (2019); Skogsindustrierna (2019).

MASSAVED

Mätningen av massaved har sett tre stora förändringar de senaste åren, vilka är värdefulla att känna till när mätningen analyseras över tid. Först kom införandet och den ökade användningen av bildmätning, som kan sägas ha accelererat kring år 2017. I augusti 2019 förändrades sedan kvalitetsklassningen av massaved. Från att ha mätt bruttovolym, bedömt vrak och sedan räknat ut nettovolym, har systemet ersatts av mätning av bruttovolym och kvalitetsklassning av hela traven i klasserna prima, sekunda och utskott. Under hösten 2019 togs ett beslut om att vid årsskiftet 2019–2020 avskaffa den kollektivomräkning av travmätt kvantitet som varit utbredd i norra Sverige och Mellansverige.

Figur 22 visar standardmätmetodernas utveckling över tid för åren 2017–2019, sett i absoluta tal:



Figur 21. Volym m³ ub per mätmetod för ersättningsgrundande mätning av massaved (ej inräknat skördarmätning) för åren 2017–2019. Värdena är omvandlade till m³ ub från respektive måttlags ursprungliga enhet.

Störst volymer massaved mäts med travmätning, medan mindre volymer mäts genom bedömning av volym med fastvolymprocent samt vägning. Stockmätning eller volymbedömning används i stort sett inte alls vid ersättningsgrundande mätning av massaved. Mätmetodernas utveckling relativt varandra visas i Tabell 6.

Tabell 6. Den relativa användningen av olika mätmetoder för ersättningsgrundande mätning av massaved under åren 2017–2019, sett till totalvolymen i m³f ub.

Massaved, mätmetod [%]	2017	2018	2019
Räkning	6,9	3,7	3,9
Stockmätning	0,001	0,001	-
Travmätning fv	69,4	74,9	79,4
Volymbedömning fv	20,8	16,3	11,8
Volymbedömning	0,03	0,002	-
Vägning	2,8	5,2	4,9

Resultaten visar att travmätning ökar stadigt, medan användningen av vägning och räkning varierar något över tid. Bedömning av volym med fastvolymprocent har minskat starkt, vilket går att koppla till införandet av fjärrmätning. Som tidigare beskrivet finns två sätt att tillämpa mätmetoden bedömning av volym med fastvolymprocent. När metoden tillämpas genom vägning och omvandling till volym behövs ett omvandlingstal. Då omvandlingstalet varierar med säsong behöver det modifieras med torrhalt. Eftersom torrhalt i dagsläget inte går att skatta genom bildmätning har metoden i stor utsträckning ersatts av travmätning. Även den tillämpning av metoden då flera travar bedöms samtidigt håller på att ersättas av fjärrmätning (Torbjörn Näslund, Biometria, personligt meddelande 2019-09-12).

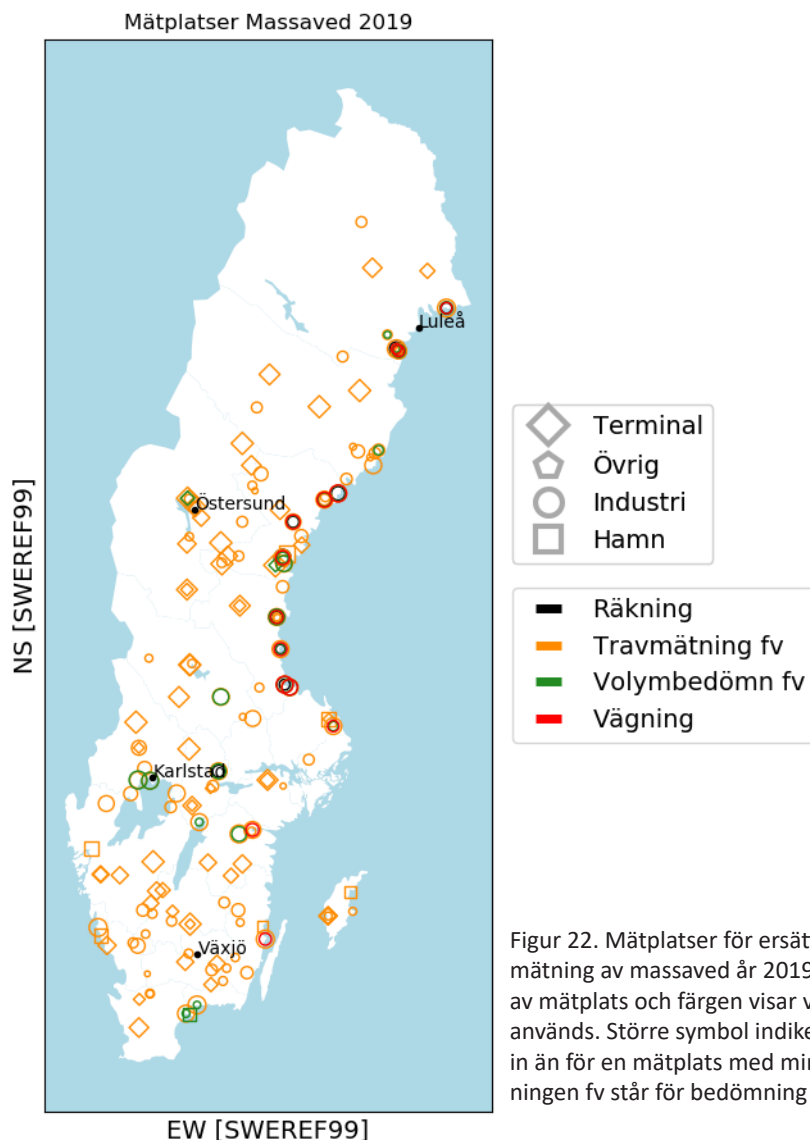
Standardmätmetodernas användning är delvis kopplade till mätplatsens typ, exempelvis terminal, hamn eller industri. Tabell 6 visar detta för de mätplatstyper som hanterar störst volymer.

Tabell 7. Procentandel volym som mättes med standardmätmetoderna vid ersättningsgrundande mätning av massaved för olika typer av mätplatser, baserat på totalvolym i m³f ub under åren 2017–2019. Terminal inbegriper både typerna järnvägsterminal och virkesterminal/upparbetsplats.

Massaved, mätmetod [%]	Industri	Terminal	Hamn
Räkning	5,7	-	-
Stockmätning	0,0003	0,002	-
Travmätning fv	69,9	99,2	96,3
Volymbedömning fv	19,2	0,7	3,7
Volymbedömning	0,001	0,06	-
Vägning	5,1	-	-
Snittvolym per år [miljoner m ³ f ub]	31,9	5,7	0,4

Vid första anblick tycks det förvånande att mätmetoder som ofta förknippas med riktigt stora partier, som räkning, vägning och volymbedömning med bedömning av fastvolymprocent, förekommer betydligt mer vid industri än vid övriga mätplatstyper. Dessa metoder brukar annars förknippas med terminaler. En tänkbar förklaring är att ett antal massabruk har infrastruktur för att köra virke med tåg ända fram till industrin. Ett scenario är då att virke kommer med bil till terminal, travmäts där, lastas om på tåg och sedan transporteras med tåg in till massabruket.

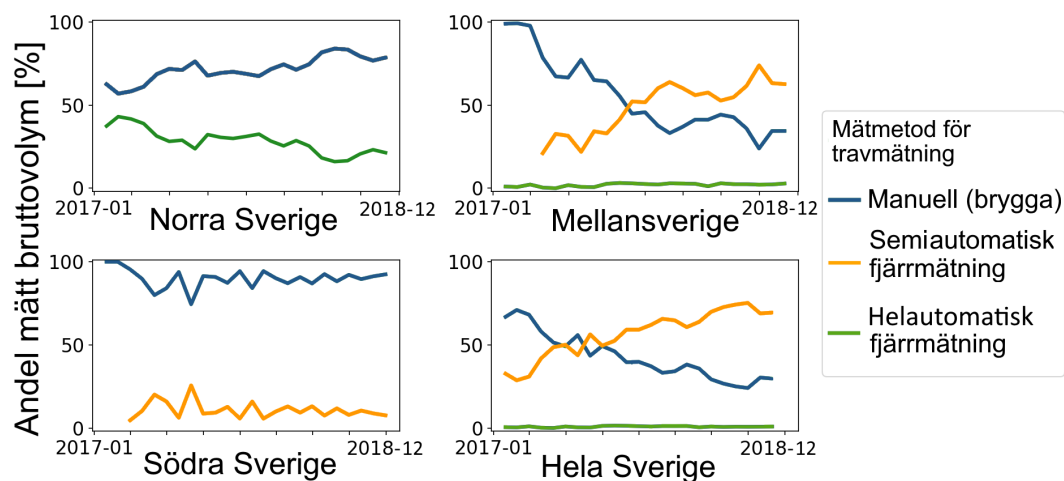
Figur 22 visar mätplatser för massaved och de metoder för ersättningsgrundande mätning som användes perioden januari–december 2019.



Figur 22. Mätplatser för ersättningsgrundande mätning av massaved år 2019. Symbolen visar typ av mätplats och färgen visar vilken mätmetod som används. Större symbol indikerar att mer volym mäts än för en mätplats med mindre symbol. Förkortningen fv står för bedömning av fastvolymprocent.

Många stora massabruk ligger vid kusten, vilket förklarar varför räkning och vägning är vanligast vid kustnära industrier.

Travmätningens dominans inom massavedsmätningen ger anledning till att titta närmare på vilka utförandemetoder som använts, det vill säga manuell bryggmätning, semiautomatisk fjärrmätning eller helautomatisk fjärrmätning. Analysen gjordes genom ett separat dataset från Biometria, som bestod av ca 13 500 uppföljningstravar mätta från januari 2017 till december 2018. Mätplatsens identifikationsnummer visade om en fjärrmättningscentral gjort analysen, och en lista över vilka mätplatser som hade helautomatiska mätutrustningar gjorde att olika typer av fjärrmätning kunde särskiljas. Eftersom uppföljningstravar slumpas ut kan datasetet användas för att dra slutsatser om travmätning av massaved i sin helhet. Figur 23 visar utförandemetodernas utveckling över tid.



Figur 23. Travmätningens användning vid mätning av uppföljningstravar av massaved under perioden 2017-01 till 2018-12. Regionerna speglar de forna virkesmätningssammanslagningarnas områden, det vill säga VMF Nord i norra Sverige, VMF Qbera i Mellansverige och VMF Syd i södra Sverige.

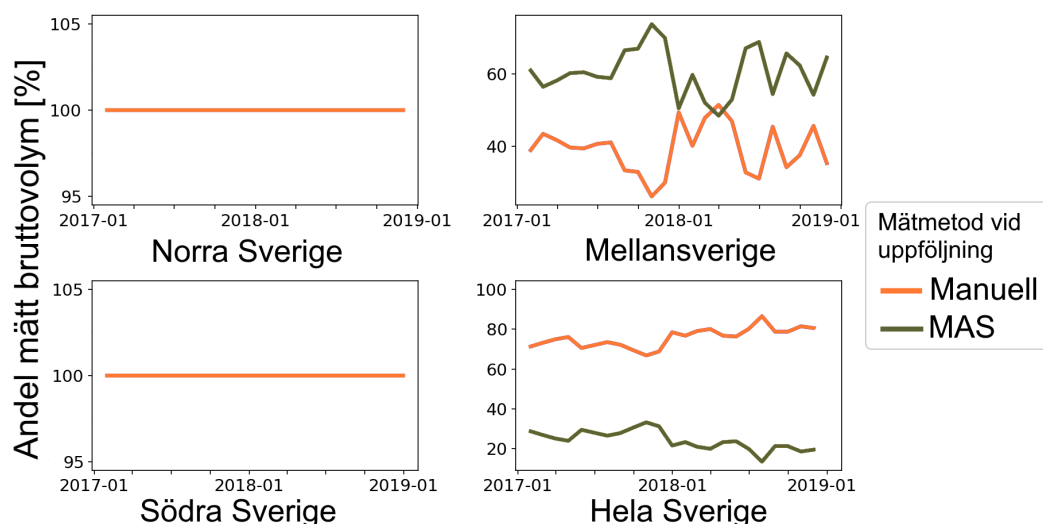
Resultatet visar att 30 procent av travmätningen av massaved i Sverige som helhet gjordes manuellt vid årsskiftet 2018/2019. Manuell travmätning var även den dominerande mätningen i södra Sverige. Semiautomatisk fjärrmätning (CIND, Biometrias bildrigg) användes vid 70 procent av travmätningen av massaved i Sverige som helhet, med högre andel i Nord- och Mellansverige. Helautomatisk fjärrmätning (idag endast Mabema GPV) användes för ca 1 procent av den travmätta massavedsvolymen. Tabell 8 summerar utvecklingen under två år.

Tabell 8. Massavedsmätningens volymmässiga fördelning per travmätningssammanslagning, genomsnitt för hela landet per år perioden 2017-01 till 2018-12.

Massaved, typ av travmätning [%]	2017	2018
Manuell bryggmätning	53,5	31,4
Semiautomatisk fjärrmätning	45,8	67,7
Helautomatisk fjärrmätning	0,7	0,9

Den semiautomatiska fjärrmätningen har ökat stort, och allt tyder på att fjärrmätning kommer att fortsätta ersätta manuella travmätning från brygga. Sett till den bredare teknikutvecklingen går trenden även mot att helautomatisk fjärrmätning kommer att ersätta den semiautomatiska, åtminstone vid mätning av kvantitet.

Eftersom datasetet bestod av uppföljningstravar så hade de både travmätts och stockmätts. Det gav möjlighet att analysera metoderna som används för stockmätning av uppföljningstravar, det vill säga manuell topprotmätning eller Mobil Automatisk Stockmätning (MAS). Resultatet visas i Figur 24.



Figur 24. Metoder för stockmätning av uppföljningstravar från travmätning av massaved under perioden 2017-01 till 2018-12, baserat på data från mättningskontroller. Regionerna speglar de forna virkesmättningsföreningarnas områden.

I norra och södra Sverige användes endast manuell mätning (klavnings) av uppföljningstravar, medan MAS mätte ca 70 procent av uppföljningstravarna i Mellansverige. Sett till Sverige som helhet mätte MAS 15 procent av uppföljningstravarna i början av 2019.

SÅGVERKSFLIS (CELLULOSAFLIS)

Som tidigare nämnts registreras sågverksflis normalt som ett bränslesortiment, men ges här en kort separat analys. I annat fall skulle sågverksflisen snedvrider analysen av trädbränslemätningen. Det är värt att notera att sortimentet endast utgörs av färsk sågverksflis, medan torr sågverksflis används och analyseras som trädbränsle. Tabell 9 visar hur sågverksflis mäts vid de olika mätplatstyperna.

Tabell 9. Procentandel volym som mättes med standardmätmetoderna vid ersättningsgrundande mätning av sågverksflis (cellulosaflis) för olika typer av mätplatser, baserat på totalvolym i m³f ub under åren 2017–2019.

Massaved, typ av travmätning [%]	Industri	Terminal	Hamn
Skäppmätning	4,5	-	-
Volymbedömning fv	0,4	-	-
Volymbedömning	0,2	-	-
Vägning	94,4	-	100,0
Vägning m. torr.	0,5		
Snittvolym per år [miljoner m ³ f ub]	9,8	-	0,00002

Som väntat mäts nästan allt sågverksflis vid industri, närmare bestämt massabruk. Vägning är den dominerande mätmetoden. De timmerstockar som sågverksflisen tillverkas av brukar hålla en relativt jämn och förutsägbar fukthalt. Vägning i råvikt blir därför en lämpligare metod, jämfört med ett sortiment där fukthalten inte är lika förutsägbar. Att sågverksflis ofta har förutsägbara egenskaper speglas i att den näst vanligaste metoden är räkning, vilket är en metod som ger ytterst begränsad information om virket.

Tabell 10 visar hur de olika metoderna har använts vid ersättningsgrundande mätning av sågverksflis under åren 2017–2019.

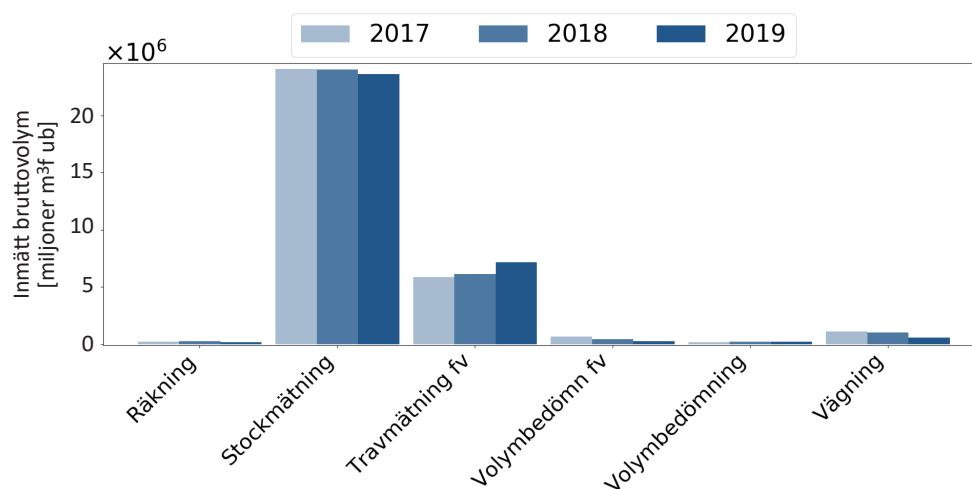
Tabell 10. Den relativa användningen av olika mätmetoder för ersättningsgrundande mätning av sågverksflis för åren 2017–2019, sett till totalvolymen i m³f ub.

Sågverksflis, mätmetod [%]	2017	2018	2019
Skäppmätning	5,0	4,9	3,8
Volymbedömning fv	0,2	0,5	0,5
Vägning	94,4	93,7	95,2
Vägning m. torr.	0,4	0,5	0,5

Sett över tid har små förändringar skett inom mätningen av sågverksflis, annat än att skäppmätningen minskar.

SÅGTIMMER

Till skillnad från massaved så stockmäts det mesta sågtimmeret. Att timmer har ett högt värde och att ersättningsgrundande mätning kan kombineras med sortering gör att en något dyrare mätning vid industri blir försvarbart. Figur 25 visar standardmätmetodernas utveckling över tid för åren 2017–2019, sett i absoluta tal.



Figur 25. Volym m³f ub per mätmetod för ersättningsgrundande mätning av sågtimmer, 2017–2019. Värdena har omvandlats till m³f ub från respektive måttslags ursprungliga enhet.

Mätmetodernas utveckling relativt varandra visas i Tabell 11. Sammanlagt visar resultaten att den totala volymen sågtimmer som stockmäts har ökat de senaste åren. Dock har stockmätningens relativa andel av inmätt timmer minskat något, till följd av att travmätningen har ökat sin andel. Användningen av vägning och bedömning av volym och fastvolymprocent har minskat.

Tabell 11. Den relativa användningen av olika mätmetoder för ersättningsgrundande mätning av sågtimmer för åren 2017–2019, sett till totalvolymen i m³f ub.

Sågtimmer, mätmetod [%]	2017	2018	2019
Räkning	0,7	0,8	0,6
Stockmätning	75,0	74,7	73,7
Travmätning fv	18,3	19,1	22,4
Volymbedömning fv	2,0	1,4	0,8
Volymbedömning	0,5	0,6	0,6
Vägning	3,4	3,3	1,3

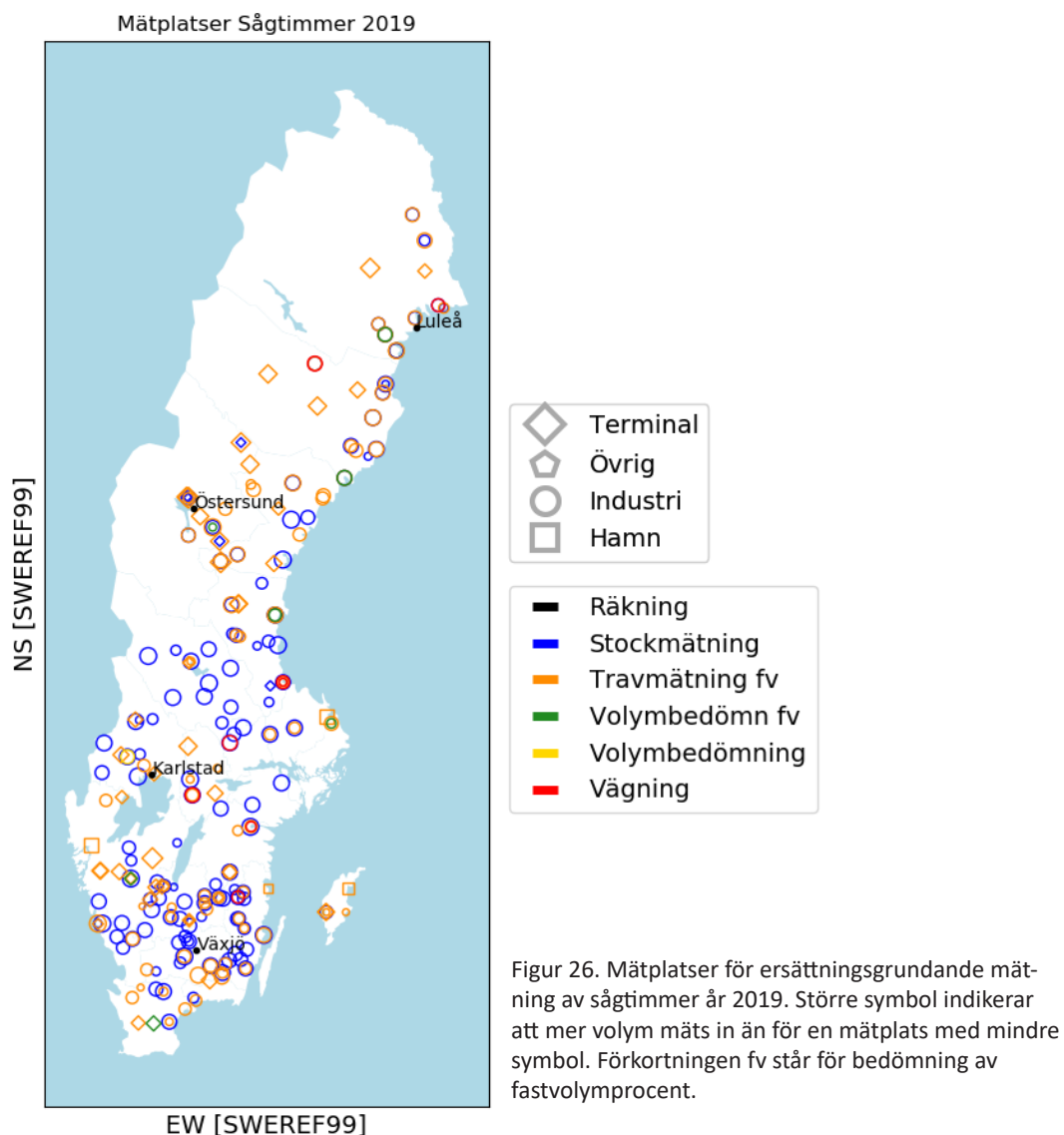
Mätmetoderna redovisas uppdelade på de största mätplatstyperna i Tabell 12.

Tabell 12. Procentandel volym som mättes med standardmätmetoderna vid ersättningsgrundande mätning av sågtimmer för olika typer av mätplatser, baserat på totalvolym i m³f ub under åren 2017–2019. Terminal inbegriper både typerna järnvägsterminal och virkesterminal/uppdräkningsplats.

Sågtimmer, mätmetod [%]	Industri	Terminal	Hamn
Räkning	0,7	0,03	-
Stockmätning	77,5	0,03	-
Travmätning fv	16,9	97,7	97,7
Volymbedömning fv	1,4	2,3	2,3
Volymbedömning	0,6	-	-
Vägning	2,9	-	-
Snittvolym per år [miljoner m ³ f ub]	31,0	1,0	0,2

Mätningen av sågtimmer skiljer sig på flera sätt från den av massaved. Sågverk har sällan järnväg ända fram till industrin, vilket gör att partiernas genomsnittliga storlek blir mindre. Att sågtimmer betingar ett högre värde i jämförelse med exempelvis massaved gör också att det ses som försvarbart att lägga mer resurser på mätningen, i form av den dyrare stockmätningen. Stockmätning sker i princip bara vid industri, medan terminaler och hamnar travmäter sågtimmer. Det kan delvis förklaras av att terminaler inte gör sortering på stocknivå, vilket minskar incitamenten att ha en mätram. Utan mätram blir stockmätning mindre rationellt. Volymbedömning med bedömning av fastvolymprocent är något vanligare vid terminal och hamn än vid industri, vilket tyder på hantering av stora volymer.

Figur 26 visar den geografiska fördelningen av de mätmetoder som användes för sågtimmer år 2019.



Mätmetodernas användning är relativt jämnt spridda över landet, med undantag för att travmätning relativt sett används mer vid terminaler i norra Sveriges inland, jämfört med övriga metoder.

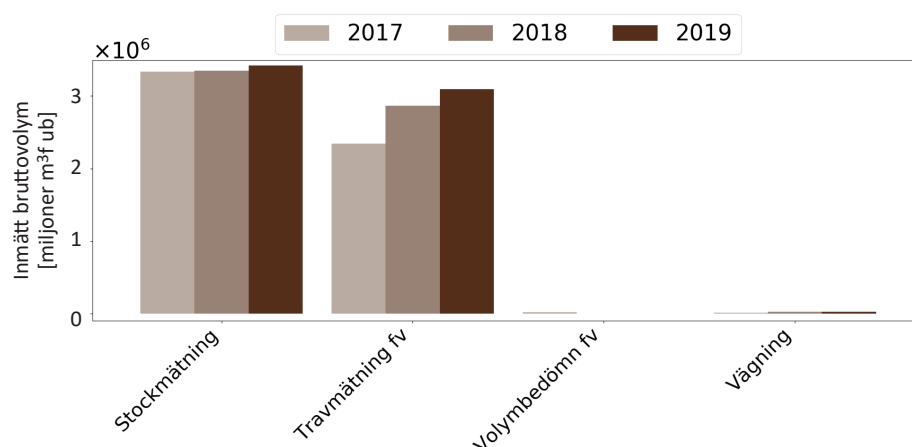
ÖVRIGA SÅGBARA SORTIMENT

Kategorin övriga sågbara sortiment innehåller ett stort antal sortiment. De vanligaste kombinationerna av mätmetod och sortiment visas i Tabell 13.

Tabell 13. De vanligaste kombinationerna av sortiment och standardmätmetod vid ersättningsgrundande mätning av övriga sågbara sortiment år 2019.

Sortiment	Mätmetod	Mätt volym [tusen m ³ f ub]
Klentimmer	Stockmätning	2382,9
Sågbar kubb 2	Travmätning fv.	1122,2
Klentimmer	Travmätning fv.	858,3
Sågbar kubb	Travmätning fv.	761,2
Plywoodtimmer	Stockmätning	246,9
Pallkubb	Travmätning fv.	235,6
Svarvtimmer	Stockmätning	204,9

Mätmetodernas utveckling de senaste tre åren visas i Figur 27.



Figur 27. Volym m³f ub per mätmetod för ersättningsgrundande mätning av övriga sågbara sortiment, 2017–2019. Värdena har omvandlats till m³f ub från respektive måttslags ursprungliga enhet.

Volymen övriga sågbara sortiment som mäts med travmätning respektive vägning ökar. Volymen som stockmäts är relativt konstant, dock minskar stockmätningen relativt de övriga mätmetoderna (Tabell 14).

Tabell 14. Den relativa användningen av olika mätmetoder för ersättningsgrundande mätning av övriga sågbara sortiment för åren 2017–2019, sett till totalvolymen i m³f ub.

Övrigt sågbart, mätmetod [%]	2017	2018	2019
Stockmätning	54,2	48,9	45,9
Travmätning fv	45,3	50,6	50,8
Volymbedomning fv	0,3	-	0,0001
Vägning	0,2	0,5	3,2

Travmätning är den största mätmetoden för kategorin övriga sågbara sortiment. De sortiment inom kategorin för vilka störst volymer travmäts visas i Tabell 15.

Tabell 15. De fem största övrigt sågbara sortimenten inom travmätningen år 2019.

Travmätt sortiment	Travmätt snittvolym [tusen m ³ f ub]	Travmätt som andel av sortiments totalvolym [%]
Sågbar kub 2	1122,2	86,1
Klentimmer	858,3	26,7
Sågbar kub	761,2	97,5
Pallkub	235,6	93,8
Klentimmer 2	74,8	78,9

Att kub i så stor utsträckning travmäts grundas i att det är ett sortiment med fasta längder, vilket underlättar travmätningen. Klentimmer å andra sidan ger på grund av sina klara diameter stora rationaliseringsvinster vid mätning i trave, jämfört med att mäta varje stock. När det gäller utförandemetoder så uppskattas att fjärrmätning används vid ca 30 procent av travmätningen av sågbara sortiment, medan resterande mäts manuellt vid brygga (Torbjörn Näslund, personligt meddelande, 2019-09-02).

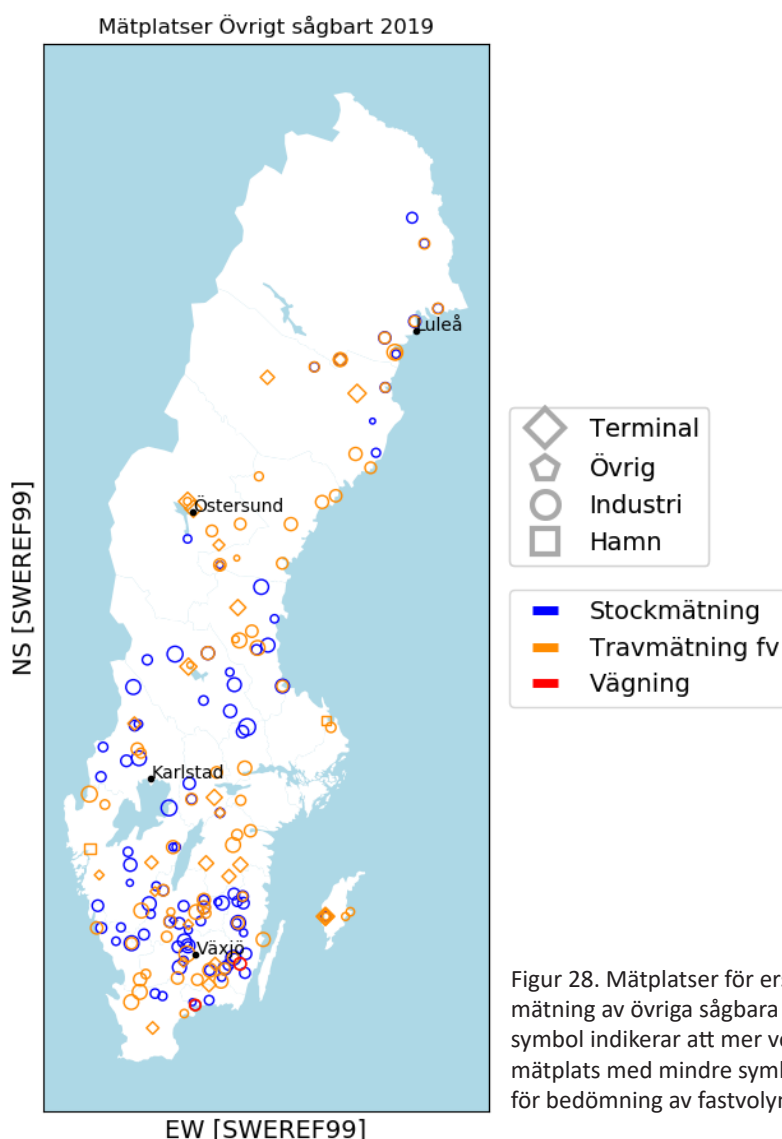
Mätmetoderna redovisas uppdelade på de största mätplatstyperna i Tabell 16.

Tabell 16. Procentandel volym som mättes med standardmätmetoderna vid ersättningsgrundande mätning av övriga sågbara sortiment för olika typer av mätplatser, baserat på totalvolym i m³f ub för åren 2017–2019.

Övrigt sågbart, mätmetod [%]	Industri	Terminal	Hamn
Stockmätning	56,0	-	-
Travmätning fv	43,6	99,9	100,0
Volymbedömning fv	0,08	0,001	-
Vägning	0,3	-	-
Snittvolym per år [miljoner m ³ f ub]	6,0	0,1	0,005

Liksom för sågtimmer består mätningen vid terminaler och hamnar i princip enbart av travmätning. Övriga sågbara sortiment travmäts dock mer vid industri jämfört med sågtimmer. Räkning eller volymbedömning används inte alls vid mätning av övriga sågbara sortiment.

Figur 28 visar den geografiska fördelningen av de mätmetoder som användes för övriga sågbara sortiment år 2019.



Figur 28. Mätplatser för ersättningsgrundande mätning av övriga sågbara sortiment år 2019. Större symbol indikerar att mer volym mäts in än för en mätplats med mindre symbol. Förkortningen fv står för bedömning av fastvolymprocent.

Jämfört med sågtimmer mäts övriga sågbara sortiment i mindre utsträckning i norra Sverige.

TRÄDBRÄNSLE

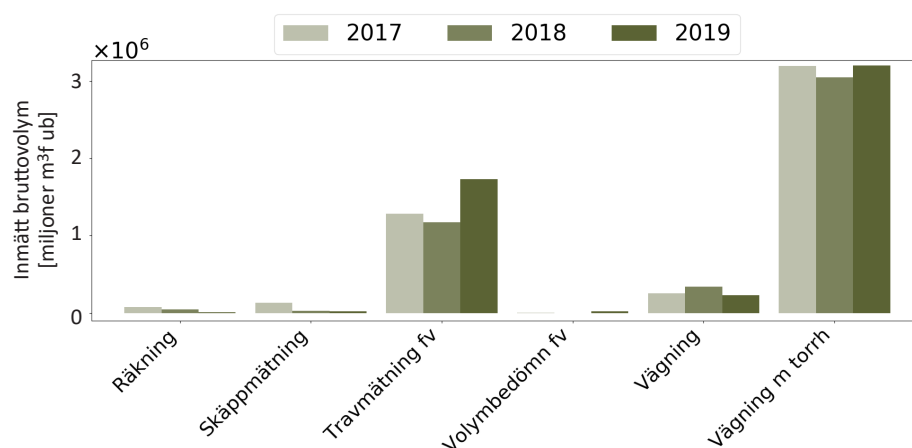
I VIOL 2 är bränslesortimenten en bred skara sortiment som förutom primära, sekundära och förädlade bränslen från skogen även innehåller sortiment som energitorv, avfallsrester och energigrödor. Analysen begränsades därför till oförädlade trädbränslen. I oförädlade trädbränslen ingår bland annat energiskog och returträ, men inte pellets, briketter eller träpulver. Den vanligaste mätmetoden för de tio största oförädlade trädbränslesortimenten visas i Tabell 17.

Tabell 17. De tio vanligaste kombinationerna av sortiment och standardmätmetod vid ersättningsgrundande mätning av oförädlade trädbränslesortiment år 2019. Den mätta volymen är omräknad från respektive mätmetods ursprungliga måttslag.

Sortiment	Mätmetod	Mätt volym [tusentals m ³ f ub]
Bränsleved	Travmätning fv	1728,5
Grotflis	Vägning m. torrh	1269,3
Returträ	Vägning m. torrh	764,8
Stamvedsflis	Vägning m. torrh	428,3
Grot	Vägning m. torrh	212,1
Träddelsflis	Vägning m. torrh	143,2
Blandbränsle	Vägning m. torrh	130,0
Sågverksflis, torr	Vägning m. torrh	128,9
Returträ	Vägning	119,4
Bränsleved	Vägning m. torrh	39,8

Om inte sågverksflis hade lyfts ut och redovisats som egen kategori hade sågverksflis varit det största sortimentet och vägning hade varit den dominerande mätmetoden sett till de volymer som mäts.

År 2015 ändrades Virkesmätningsslagen till att även inkludera primära skogsbränslen som grot och stubbar. Det innebar nya krav på systematisk och ändamålsenlig kontrollverksamhet. Det skulle kunna ha fått till följd att mätmetoder som är svårare att följa upp minskade i användning. Skäppmätning är ett exempel på en sådan metod, där kontrollmätning kan vara relativt omständligt. Förändringar till följd av nya Virkesmätningsslagen hade dock sannolikt redan skett innan startpunkten på det dataset som analyseras här, det vill säga januari 2017. Figur 29 visar den volym trädbränsle som mätts in med de olika mätmetoderna över de senaste tre åren.



Figur 29. Volym m³f per mätmetod för ersättningsgrundande mätning av trädbränsle 2017–2019. Värdena är omvandlade till m³f från respektive måttslags ursprungliga enhet.

Den olika standardmätmetodernas relativa användning över tid visas i Tabell 18. Skäppmätning minskar mycket riktigt, vilket kan vara en följd av den nya Virkesmätningsslagen, eller att fler och fler värmeverk vill handla bränsle baserat på ett mått som speglar energivärdet. Trenderna för de vägningsbaserade metoderna är dock oklara. Räkning av trädbränsle minskar. En djupare analys av datasetet visade att metoden i stort sett bara används för bränsleved, vilket gör det troligt att travmätning har ersatt en del av räkningen. Travmätning ökar både till mängden mätt volym och relativt andra mätmetoder.

Tabell 18. Den relativa användningen av olika mätmetoder för ersättningsgrundande mätning av trädbränsle för åren 2017–2019, sett till totalvolymen i m³f.

Trädbränsle [%]	2017	2018	2019
Räkning	1,5	1,0	0,2
Skäppmätning	2,7	0,6	0,4
Travmätning fv	25,9	25,3	33,2
Volymbedömning fv	0,04	0,01	0,4
Vägning	5,2	7,4	4,5
Vägning m. torrhhaltsbestämning	64,7	65,7	61,3

Det är främst bränsleved som travmäts (Tabell 19). Ökningen i travmätning skulle därför kunna indikera ökad nedklassning av massaved till bränsleved, på grund av exempelvis barkborreskador eller brand. Barkborreskador kan också förklara varför vägning med torrhhaltsbedömning minskade år 2019. Med mycket billig bränsleved på marknaden finns mindre incitament till att producera grotflis, som är det största sortimentet som mäts genom vägning med torrhhaltsbestämning.

Tabell 19. De tre största trädbränslesortimenten inom travmätningen år 2019. För övriga sortiment mättes mycket små volymer.

Travmätt sortiment	Travmätt volym [tusentals m ³ f ub]	Travmätt som andel av sortiments totalvolym [%]
Bränsleved	1728,5	96,3
Träd och bränsle	3,6	40,0
Stamdelar	1,0	100,0

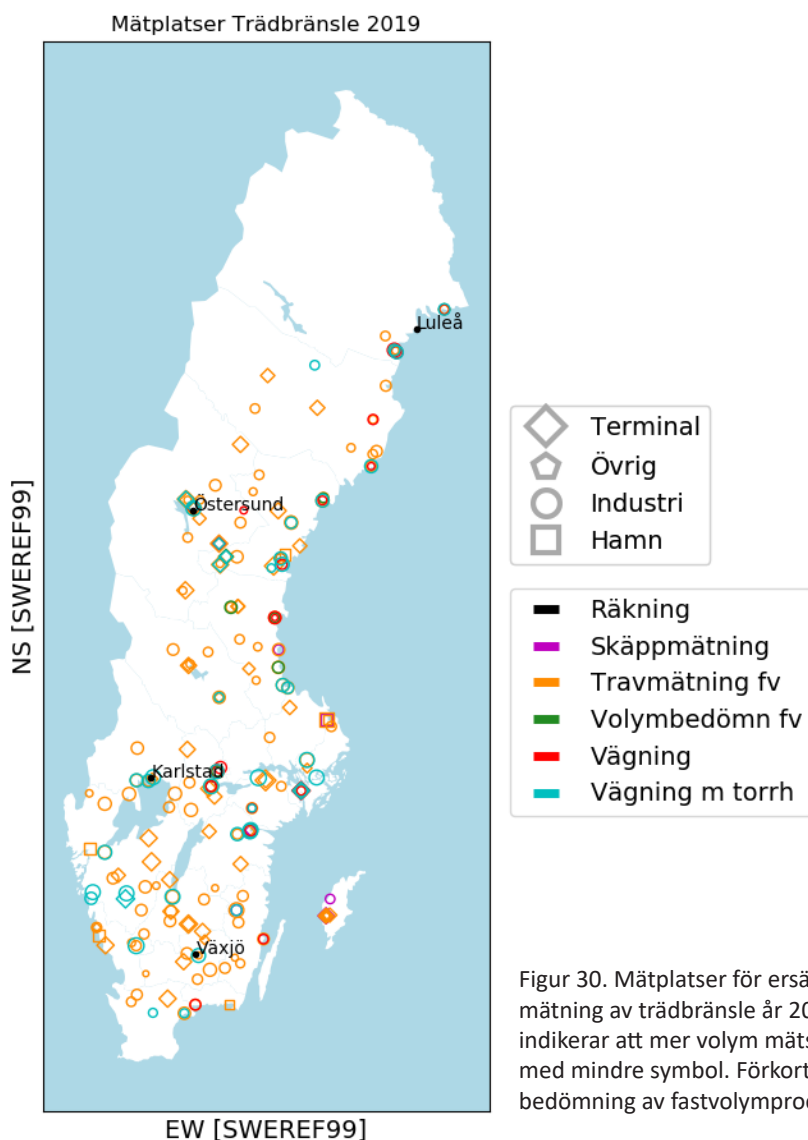
Tabell 20 visar mätmetodernas användning vid de största mätplatstyperna.

Tabell 20. Procentandel volym som mättes med standardmätmetoderna vid ersättningsgrundande mätning av trädbränsle för olika typer av mätplatser, baserat på totalvolymen i m³f ub för åren 2017–2019. Terminal inbegriper både typerna järnvägsterminal och virkesterminal/upparbetsningsplats.

Trädbränsle, mätmetod [%]	Industri	Terminal	Hamn
Räkning	0,6	3,0	-
Skäppmätning	1,2	1,3	6,8
Travmätning fv	22,8	71,6	90,7
Volymbedömning fv	0,2	0,1	-
Vägning	5,2	9,7	1,5
Vägning m. torrhhaltsbestämning	70,1	14,3	1,0
Snittvolym per år [miljoner m ³ f ub]	4,4	0,5	0,04

Resultatet visar att vägning med torrhhaltsbestämning dominerar vid industri, medan travmätning dominerar vid terminal och hamn. Djupare analys av datasetet visade att detta främst förklaras av att bränsleved utgör de största volymerna som mäts vid terminal och hamn. En annan faktor kan vara att hamnar och terminaler inte har tid att vänta de 24–48 timmarna som vägning med torrhhaltsbestämning tar, och därmed väljer snabbare mätmetoder för sönderdelat trädbränsle.

Figur 30 visar den geografiska fördelningen av de mätmetoder som användes för trädbränsle år 2019.



Figur 30. Mätplatser för ersättningsgrundande mätning av trädbränsle år 2019. Större symbol indikerar att mer volym mäts in än för en mätplats med mindre symbol. Förkortningen fv står för bedömning av fastvolymprocent.

Det är förväntat att industrierna (värmeverken) i stor utsträckning är belägna vid städer och tätorter. I övrigt syns en stor spridning av mätplatstyper och metoder.

Informationsflödet

Information och mätdata om virket inhämtas i många steg i värdekedjan från den stående skogen till den industriella processen. Idealt vore att ha möjlighet att ta med sig all information från tidigare led, att informationen finns i så hög upplösning som möjligt (stam/stocknivå) och att detta kan åstadkommas till samma eller lägre kostnad jämfört med idag. Då finns maximal flexibilitet i vad informationen kan användas till, exempelvis för att planera logistiska flöden, styra den industriella processen och prediktera produkt-egenskaper. I det här kapitlet synas olika steg i informationskedjan med fokus på vilken detaljnivå informationen finns och hur den lagras och förs vidare till nästa led.

STÅENDE SKOG

Information om den stående skogen lagras i en skogsbruksplan eller ett beståndsregister. Längre fram i värdekedjan fungerar Biometria som ett nav dit mätdata kan skickas in och samlas. För den stående skogen finns dock inget gemensamt nav, utan informationen lagras hos de olika aktörerna. För att underlätta utbytet av dessa data finns standarden Forestand (SIS 2016 m.fl. 2017). Forestand är uppbyggt i GML, en geografisk variant av markeringsspråket XML, som underlättar intagandet av bland annat fjärranalysdata. Jämfört med StanForD, den globala de facto-standarden för kommunikation med skogsmaskiner, är Forestand nationell och inte lika använd.

Inför avverkning kan viss information om den stående skogen anges i virkesorder eller traktdirektiv, exempelvis medelålder, medelbrösthöjdsdiameter och skattad trädslagsfördelning. Virkesordern fungerar som ett nav i resten av informationskedjan, dit exempelvis mätbesked kopplas.

Eftersom information om den stående skogen vanligen finns på beståndsnivå krävs det att olika bestånd märks eller hålls isär vid gallring och skörd om informationen ska kunna fortsätta användas på samma nivå.

SKÖRD

Vid både gallring och slutavverkning skickar de flesta skördare automatiskt in data till Biometrias informationssystem VIOL. Informationen skickas enligt standarden StanForD, som används i alla skogsmaskiner. StanForD är uppbyggt i markeringsspråket XML. Vid sidan av VIOL har en del företag egna databaser över gallrings- och skördar-data, där en vanligt använd informationstyp är stocknotan (en matris med längd vs. diameter).

Wilhelmsson (2007) noterar att förstagallringen kan fungera som ett stickprov av det stående beståndet, och att mätdata som registreras av skördare vid gallring bör kunna användas för att beräkna egenskaper hos den kvarstående skogen. Uppdateringar av skogsbruksplaner/beståndsregister efter skörd brukar dock inte ske automatiskt (John Arlinger, Skogforsk, personligt meddelande 2019-10-24).

Produktionsdata som trädslag, längd, diameter och volym skickas som standard för varje enskild stock vilket möjliggör tillämpningar som bygger på information om enskilda träd och stockar. Som tidigare nämnts skattas kvalitetsegenskaper av föraren men registreras inte, utan avspeglas istället i den satta sortimentskategorin för varje stock. Det är vanligt att data överförs en gång per timme eller när ett nytt arbetsskift börjar (Johan Möller,

personligt meddelande 2019-06-18). Produktionsdata sparas i äldre skördare i filformatet .pri, medan nyare skördare sparar i filformatet .hpr. Intresset för skördardata ökar, dock finns vissa oklarheter kring vem som äger informationen och vem ska få tillgång till den. Bland annat påpekas att produktionsdata kan vara av integritetskänslig natur.

I teorin kan skördardata användas av skotaren för att beräkna lastad volym. Som tidigare nämnts vet dock inte skotaren exakt vilka stockar de lastar på. Istället har många skotare kranvåg som används för att mäta lastens vikt. Den volym som kommer att finnas tillgänglig för upphämtning vid väg kan då antingen beräknas genom vikten eller skattas av skotarföraren. Skotaren rapporterar sedan sin produktion, antingen via Biometria eller direkt till företagets system. Rapporteringen kan göras enligt StanForD med ett fpr-meddelande eller med någon annan enklare tjänst.

Varje trave som avläggs vid väg ska märkas med stämpel eller vätlapp, som kopplar traven till beståndet och säljaren. Stämplingen eller fästningen av vätlappen görs idag manuellt av skotarföraren. Stämpelkoden eller vätlappsinformationens förs sedan över till mätplatssystemet vid inmätning, i det senare fallet förutsatt att vätlappen inte har fallit bort.



Figur 31. Vänster: Exempel på vätlapp. Granmav står för granmassaved, F-vecka står för fällningsvecka. Källa: forna VMF Qbera. Höger: Manuell märkstämpel på ändyta. Källa: SDC.

Ju mer information som finns tillgänglig om virket innan det transporteras från skogen desto bättre kan planeringen styras så att det går till en industri som kan nyttja dess specifika egenskaper optimalt. Ett steg i den riktningen är digital leveransavisering, där chauffören redan i skogen kan skicka iväg uppgifterna samt bilens destination och beräknad ankomsttid till mätplatsen (SDC, 2018d). Det gör att mätplatsen tidigare kan planera utifrån inkommande volym och förväntat transportflöde vid mätplatsen. Denna data finns dock ännu inte tillgänglig för industrins processplanerare.

MELLAN AVVERKNING OCH INDUSTRI

Trädbränsle sönderdelas i vissa fall redan på avlägget. Generellt sker inga mätningar på virket innan flisning. Det sker heller inte mätningar på flisen vid avlägget, utan först vid den ersättningsgrundande mätningen vid industri. Motsvarighet till vätlapp finns normalt inte för trädbränsle som sönderdelats i skogen, utan information om exempelvis ingående träslag och färskhet fås endast om det är inkluderat i virkesordern (Lars Fridh, Mellanskog, personligt meddelande, 2019-10-31; Fredrik Hansson, Biometria, personligt meddelande, 2019-11-04).

Information om skördat virke brukar minst finnas på partinivå. Om rundvirke mäts in och lastas om vid terminal så kan olika partier blandas, vilket får konsekvensen att informationen inte längre kan användas på partinivå efter terminalen.

ANKOMST TILL INDUSTRI

När en virkestransport mäts in vid en mätplats ska leveransinformation om lastat sortiment och volym samt identitetsuppgifter för både bil och last finnas. Vanligast är att detta registreras manuellt av chauffören när den ankommer till mätplatsen, om inte digital leveransavisering gjorts i förväg. Leveransinformationen sparas i mätplatssystemet DORIS. Fordonsvåg och bildmätningssystem kan också vara kopplade till DORIS. I samband med ankomstmätningen, som ofta refereras till som inmätningen, skickas data vidare från DORIS till VIOL. För rundved registreras träslag och kvantitet i VIOL, men inte enskilda kvalitetsegenskaper. Istället är det den tilldelade kvalitetsklassen (prima/ sekunda/tall-sågtimmer 3/gransågtimmer 2, etc.) som registreras. Orsaker till kvalitetsnedklassning ska dock anges, till exempel att två sågtimmerstockar nedklassades på grund av kvistning.

En majoritet av trädbränslet mäts med metoden vägning med torrhhaltsbestämning. Då registreras först en ankomstmätning med råvikt i *ton* som måttslag, då torrhaltsvärdet inte är tillgängligt förrän tidigast ett dygn senare. När torrhaltsmätningen är klar skickas andra mätningen in som ersättningsgrundande, exempelvis med måttslaget *ttv*. För sönderdelade sortiment går det i VIOL enbart att registrera egenskaper som är relaterade till den ersättningsgrundande mätningen. Exempelvis kan inte torrhalt registreras om bränslet mätts in i *m³fub*, eller askhalt om det mätts in i *ttv* (Daniel Ivarsson, Jämtkraft, personligt meddelande 2019-11-21).

Att både skördardata och information från den ersättningsgrundande mätningen lagras i VIOL gör att stora mängder information finns i systemet. Informationen är dock inte alltid tillgänglig eller enkel för användare att ta ut. Maria Boman på massabruket Östrand ger ett exempel: ”De senaste fem åren [har jag] gjort en kvartalssammanställning över vedsammanställningen och sparat eftersom data i VIOL bara sparas i två år, vilket är en ganska kort tid. Det är ganska mycket jobb att göra detta, vore det enklare skulle det naturligtvis vara bättre att ha månads- eller veckovärden. Eller i en framtid löpande ha koll på virket som är på väg in.” (Maria Boman, SCA Östrand, personligt meddelande, 2019-06-27).

Vanlig upplösning för data från inmätningen är stocknivå för sågtimmer, travnivå för massaved och skäppnivå för trädbränsle. Om en stock, trave eller annat mätobjekt slumpas ut för kontrollmätning sparas resultatet av kontrollmätningen i mjukvaran KUPP hos Biometria.

VEDGÅRDEN

När rundved har mätts och eventuellt sorterats läggs det på vedgård i väntan på att bearbetas. Där kan olika virkespartier blandas, vilket gör att det blir svårare att följa både den partivisa informationen från inmätningen och data från tidigare led, exempelvis skördardata. Även enskilda sågtimmerstockars inmättningsdata blir svåra att nyttja då stockarna normalt inte kan identifieras efter inmätning. Det har utvecklats GPS-baserade spårnings- och informationshanteringssystem för vedgårdar med målet att överkomma denna informationsklyfta (GPS Timber 2019, Tieto 2019). Med GPS spåras timmertruckens från sorteringen till vältan och kombineras med inmättnings- och sorteringsdata. I vissa fall hanteras även viktdata från timmertruckens kranvåg.

För sågtimmer exemplifieras ett alternativt spårningssystem av Microtecs såglinjesystem kopplat till CT Log, där bildanalys används för att matcha bilderna tagna med CT-log vid justeringen med bilder tagna av mätramar vid positioneringen av stockarna och senare även torkningen och justeringen av brädorna (Microtec 2019b).

IN TILL PROCESSEN

Processmätning syftar till att säkerställa att materialet kan hanteras och transporteras mellan processerna och inte skadar processutrustningen samt till att styra processerna och prediktera slutprodukten. Som tidigare konstaterat kan mättningsbehoven och mätutrustningarna variera stort mellan olika industrier. Processmättningsutrustning behöver inte vara typgodkänd och data lagras inte centralt hos Biometria. Det finns ingen standard specifik för mätutrustningar, vilket gör att filformaten varierar mellan olika tillverkare. Det upplevs ofta som svårt att exportera data från mätutrustningar till egna datasystem. För sågverk erbjuder många tillverkare integrerade såglinjer där de levererar ett system av mätutrustningar och datasystem, vilket underlättar informationshanteringen. En komplett lösning kan dock vara mycket dyr.

Vid massaframställning görs processmätning på den egenhuggna flisen, exempelvis ett stickprov per dag för torrhalt och storleksfördelning (Maria Boman, personligt meddelande 2019-06-27). Den egenhuggna flisen blandas med inköpt sågverksflis. Därmed tillkommer en vederlagsmätning av sågverksflisen, då exempelvis storleksfördelning, torrhalt och barkhalt mäts. Maria Boman, Östrands massabruk, kommenterar: "Dessa data finns i VIOL på samma sätt som veddata. Även dessa data krävs det mycket jobb att få fram." (personligt meddelande 2019-06-27).

För sönderdelat bränsle är det ovanligt att ytterligare mätningar görs efter den ersättningsgrundande mätningen (Maria Iwarsson-Wide, Skogforsk, personligt meddelande 2019-11-05). Det förekommer att skattningar av torrhalt görs baserat på erfarenhet. Ibland kan torrhalten skattas via vikt när bränslet hämtas från lagringshögen, genom vågar monterade på fordonet. De allra största värmeverken kan också ha mätsystem för exempelvis torrhalt på transportbandet på väg in till förbränningen.

VAD MÄTS VAR OCH NÄR

I föregående avsnitt har mätningen av olika sortiment vid olika punkter i värdekedjan gåtts igenom. Tabell 21 till Tabell 23 sammanfattar och illustrerar typiska mättningskedjor för de tre kategorierna sågtimmer, massaved och sönderdelat trädbränsle.

Tabell 21. Mätning av olika egenskaper för sågtimmer i den skogliga värdekedjan. Då stockmätning är den vanligaste metoden för inmätning av sågtimmer används den som exempel här. SK = skattning, MÄT = mätning, BER = beräkning/ modellering.

Sågtimmer				
	Stående skog	Skörd	Ankomst till industri	Vid process
Trädslag	SK bestånd	SK stam	SK stock	–
Diameter	SK bestånd	MÄT stock	MÄT stock	MÄT stock
Längd/höjd	SK bestånd	MÄT stock	MÄT stock	MÄT stock
Volym	SK bestånd	MÄT stock	MÄT stock	MÄT stock
Bark	–	BER stock	MÄT stock	MÄT stock
Färskhhet	Ej relevant	(Registreras)	SK lass	–
Rotveck	–	SK stock	SK stock	–
Rotben	–	SK stock	SK stock	–
Röta	–	SK stock	SK stock	–
Krök	–	SK stock	SK stock	MÄT stock
Kvist	–	SK stock	(MÄT stock)	MÄT stock
Torrstock	–	SK stock	SK stock	–
Sprickor	–	SK stock	SK stock	MÄT stock
Stamskada	–	SK stock	SK stock	–
Lyra	–	SK stock	SK stock	–
Årsringar	–	–	SK stock	–
Blånad	–	–	SK stock	–
Insektsskador	(SK bestånd)	SK stock	SK stock	–
Förmål/smuts	Ej relevant	–	SK stock	MÄT stock

Tabell 22. Mätning av olika egenskaper för massaved i den skogliga värdekedjan. Då travmätning är den vanligaste metoden för inmätning av massaved används den som exempel här. SK = skattning, MÄT = mätning, BER = beräkning/ modellering. *Detektor för övergrovhet.

Massaved				
	Stående skog	Skörd	Ankomst till industri	Vid process
Trädslag	SK bestånd	SK stam	SK trav	–
Diameter	SK bestånd	MÄT stock	MÄT trav	(MÄT stock)*
Längd/höjd	SK bestånd	MÄT stock	MÄT trav	–
Volym	SK bestånd	MÄT stock	MÄT trav	–
Bark	–	BER stock	SK trav	(MÄT stock)
Färskhhet	Ej relevant	(Registreras)	SK trav	–
Röta	–	SK stock	SK trav	–
Krök	–	SK stock	SK trav	–
Kvist/klyka	–	SK stock	SK trav	–
Torrstock	–	SK stock	SK trav	–
Torrhalt	–	–	–	MÄT flis
Densitet	–	–	–	–
Förmål/smuts	Ej relevant	SK stock	SK trav	(MÄT stock)

Tabell 23. Mätning av olika egenskaper för sönderdelat trädbränsle i den skogliga värdekedjan.
SK = skattning, MÄT = mätning, BER = beräkning /modellering.

Sönderdelat trädbränsle/cellulosafliis				
	Stående skog	Skörd	Ankomst till industri	Vid process
Trädslag	SK bestånd	SK STAM	–	–
Diameter	SK bestånd	MÄT stock	–	–
Längd/höjd	SK bestånd	MÄT stock	–	–
Volym	SK bestånd	MÄT stock	MÄT lass	–
Bark	–	BER stock	(MÄT lass)	(MÄT prov)
Torrhalt	–	–	MÄT lass	(MÄT prov)
Askhalt	–	–	(MÄT lass)	
Storleksfördelning	–	–	(MÄT lass)	(MÄT prov)
Föremål/smuts	–	–	SK lass	–
Radioaktivitet	–	–	–	–

För varje given egenskap finns flera relevanta frågor kring informationskedjan:

- Mäts egenskapen för många gånger, alternativt för få gånger?
- Mäts egenskapen vid rätt punkt i värdekedjan?
- Har informationen önskad detaljnivå (upplösning), exempelvis stock, trave eller parti?

En bra motivation till att mäta en egenskap flera gånger är att dess värde kan ha förändrats. Torrhalt är ett sådant exempel. En dålig motivation till att mäta en egenskap flera gånger är att information från tidigare i värdekedjan inte har kunnat användas, exempelvis för att partiet har passerat en terminal. Att mäta en egenskap för få gånger för att mätningen vore för dyr är inte en dålig anledning, men däremot en olycklig sådan. Det tyder på att utveckling av mer rationella mätmetoder för den egenskapen behövs.

Längd, diameter och volym hos rundved är de egenskaper som tydligast mäts flera gånger i värdekedjan. Informationen fås med hög detaljnivå vid skörd, och mäts sedan igen vid ankomst till industri (ersättningsgrundande mätning) med samma eller minskad detaljnivå. Det finns virkesaffärer där skördarmätningen används som vederlagsmätning, exempelvis vid det som kallas stampris. I detta fall kan ändå en ytterligare mätning behövas, för att bekräfta att den volym som mätts vid skörd och leveransaviserats faktiskt ankommer till industrin. För en sådan bekräftelsemätning kan dock mer rationella men mindre exakta metoder räcka. Att vederlagsmätning med skördardata inte är mer spritt beror bland annat på att skördarmätningen är en partsmätning.

Trädslag eller trädslagsfördelning är ett exempel på en egenskap som är relativt lätt att skatta vid skörd, men som kan vara svår att skatta senare i värdekedjan, exempelvis vid travmätning. Där skulle det kunna vara en stor vinst att använda skördardata, givet att stockarna eller trädslagsrena partier kan spåras. Industrier som processar flera trädslag kan idag behöva skatta trädslagsfördelningen utifrån erfarenhet av vad de brukar få in, snarare än data (Maria Boman, SCA Östrand, personligt meddelande 2019-06-27).

Som redan nämnts är torrhalt en egenskap som förändras och som därmed kan meritera fler mätningstillfällen. Noterbart är att torrhalt hos trädbränsle ofta mäts vid vederlagsmätning, för betalning i ton torrvikt, men inte efter lagringen då den ska in till förbränning. Det är därför tveksamt om informationen om torrhalt finns när industrin som mest behöver den.

Diskussion

STÅENDE SKOG OCH SKÖRD

Utvecklingen i skogsbranschen går mot ökad automatisering och större detaljnivå. För stående skog innebär det information om enskilda träd, snarare än om bestånd, till samma eller lägre kostnad än idag. Användningen av drönare och mobila laserskannare för att skatta volymen hos den stående skogen lär öka. Bland enskilda egenskaper framstår förbättrad trädslagsbestämning från satellit-, drönar- eller laserskanningsdata som ett efterfrågat utvecklingsområde.

I takt med att informationen om den stående skogen blir mer precis och mer tillgänglig är det sannolikt att denna kommer att kombineras med skördardata för användandet av modeller som skattar virkets inre egenskaper. Modeller har funnits tillgängliga under längre tid, dock har de inte kunnat valideras under produktionsförhållanden då de nödvändiga informationskedjorna inte har varit sammanlänkade. Detta håller dock på att ändras.

Beröringsfri längd- och diamettermätning i skördare fortsätter att vara av intresse för branschen då matningshastigheten skulle kunna ökas, och potentiellt även mätnoggrannheten. Samtidigt är det oklart om längd och diameter är där utvecklingsresurserna kommer att satsas, eftersom dessa egenskaper trots allt kan mätas idag. Björn Hannrup, forskare på Skogforsk, säger: ”Dagens mekaniska längd- och diametergivare är så noggranna och robusta att incitamenten för att ersätta dem har varit låga” (personligt meddelande 2019-06-03).

Vid helautomatisering av skördaren behöver de egenskaper som idag skattas av operatören, till exempel trädslag, stamfelsved, röta och krök, istället mätas. Detta kommer sannolikt att kräva beröringsfria tekniker. Återkommande i den forskning som gjorts på mätning i skördare är utmaningen dels i skördarmiljön, i form av smuts, skräp och vibrationer, dels i miljöfaktorer som variabel temperatur, ljusförhållanden och snöförekomst. Förutom den svåra miljön finns de ekonomiska aspekterna, som Wilhelmsson (2007) summerar som att ny mätteknik för skördaraggregat måste kunna byggas in i dagens aggregat, inte får öka ställtiderna för reparationer och underhåll, och att investeringskostnaderna bör kunna finansieras inom ett par år. Mätarna måste dessutom kunna mäta snabbt. Om de praktiska utmaningarna med framför allt kamerabaserad teknik i skördaraggregat överkoms kan dock bildanalysens mångsidighet öppna upp för mätning av flera olika egenskaper.

Ett alternativ är att ny mätteknik inte sätts i själva aggregatet utan vid sidan av, på kranspetsen eller på skördarhuven. Olle Gelin, forskare på Skogforsk, beskriver ett scenario: ”Vid automatiserad avverkning kommer det inte att finnas någon förare som kan bedöma virket. Därför måste trädslag och kvalitetsegenskaper som krök och utbuktningar mätas av sensorer och bedömas automatiskt. Vi tänker oss en uppsättning sensorer med stereokameror och LIDAR som sitter ovan hytten och övervakar skördaraggregatets rörelser. Genom att kombinera de olika sensorernas data, informationen från olika vinklar medan maskinen arbetar, och analys med AI, tror vi att det kommer gå att mäta trädslag och kvalitet” (personligt meddelande 2019-08-26). Förarlösa skördare, skotare och lastbilar öppnar också i teorin upp för strålningsbaserade mättekniker som idag anses vara olämpliga att använda i närvaro av mänsklig förare, till exempel röntgen, gammastrålning och neutroner.

Utvecklingen går även mot mer exakta positionsangivelser, vilket borde öka möjligheten att kombinera skördardata med data från stående skog, och även för skördaren och skotaren att hålla koll på enskilda stockar och var de läggs. Om noggrannheten i position blir tillräckligt hög kan detta leda till att märkning av individuella stockar blir överflödigt och att stocken istället kan spåras digitalt, även inuti en väla eller trave. Spårbarhet är överlag ett område där det sker mycket aktivitet och där det är svårt att förutsäga vilket spår som kommer att dominera i framtiden. Dagens spårbarhet ligger oftast på partinivå, medan teknikutvecklingen fokuserar på spårbarhet på stocknivå. Ett annat alternativ vore spårbarhet på travnivå. Vilken nivå av spårbarhet som är tillräcklig lär se ytterligare diskussion framöver.

MÄTNING AV KVANTITET

En övergripande fråga är var i värdekedjan som den ersättningsgrundande mätningen ska ske – med skördardata i skogen (så kallat stampris) eller vid industrin? För skogsägaren innebär stampris dels att få betalningen tidigt, dels att inte behöva oroa sig över yttre faktorer som de inte har någon kontroll över, exempelvis nedsmutsning och väderförhållanden. Att köparen tar en större risk med stampris brukar speglas i att ersättningen är något lägre än om virket mäts vid industri. Att volymen redan mätts tidigt ger dock köparen frihet att fokusera på andra mätningar vid industrin, som är mer relaterade till styrningen av processen. En utveckling mot ökad ersättningsgrundande skördarmätning kommer dock inte att ersätta nuvarande organisation av virkesmätningen. Det är troligt att affärsformen främst kommer att öka vid avverkningsuppdrag mot privata skogsägare. Ett system för mätning av virke från andra affärsformer kommer därför fortsatt att behövas, exempelvis leveransvirke eller partier som handlats mellan företag.

Det har varit relativt svårt att hitta information om utvecklingen inom sågverkens mätning av volym. Intrycket är dock att både diametermätningens och längdmätningens noggrannhet förbättras inkrementellt i takt med att nya mättramsmodeller släpps. Tidigare utredningar har pekat på stereokameramätning som ett potentiellt billigare alternativ till dagens mättramar. En sådan utveckling har hittills inte skett, men det är möjligt att kamerasystem liknande de som börjat användas för rotbensmätning kommer att utvecklas mot mätning av kvantitet.

Ett område där utvecklingen har gått och går snabbt är inom fjärrmätning. Här ses möjlighet till stora synergieffekter med utvecklingen av artificiell intelligens (AI). Att fjärrmätningen av kvantitet inom nära framtid kommer att ske med AI övervakad av människa är sannolikt. Fjärrmätningen förutspås även ge stora vinster inom kvalitetskontroll, då bilderna sparas och fjärrmätarna kan träna på en stor bildbank med kontrollmätta travar. Särskilt träning på ovanliga förhållanden och trädslag kan ge stora vinster i noggrannhet. Fördelarna med travmätning anses så stora att möjligheten till travmätning av sågtimmer lär utredas. Infrastrukturen för fjärrmätning av travar bör också kunna användas för fjärrmätning av skäppor. Därför framstår det som troligt att sådan utrustning snart kommer att typgodkännas.

Trenden går mot att färre standardmätmetoder används, där framför allt räkning, bedömning av volym (utan bedömning av fastvolymprocent) och bedömning av volym och fastvolymprocent har minskat. Eftersom vägning är en rationell och billig metod prognosticeras den att bli vanligare för ersättningsgrundande mätning (Bjurulf m.fl. 2017), både som enskild mätmetod och i kombination med andra metoder. Lars Fridh, Mellanskog,

förutsäger: ”I framtiden kommer vi att kombinera vägning och flera sorters sensorer för att få vikt, volym, och fukthalt – till exempel laser och radar” (personligt meddelande, 2019-07-16).

Kvantiteten hos sönderdelat trädbränsle mäts idag i huvudsak genom vägning med torrhaltbestämning. Det ligger nära till hands att tro att mycket av det vägda virket sedan omvandlas till energivärde, med andra ord *MWh* som handelsmått. Värmeverken vill ha så torrt bränsle som möjligt och handel i råvikt eller volym ger inte incitament till att minska fukthalten i virket. Det kan dock upplevas som en nackdel för skogsägare när betalningen sker baserat på torrvikt, då torrhalten i bränslet påverkas av väder och lagring efter avverkning. Det gör att värdet på bränslet kan ändras av faktorer som skogsägaren har låg kontroll över.

Vid databearbetningen för denna rapport blev det tydligt hur utmanande det är att omvandla mellan måttslag, framför allt för trädbränslesortimenten. Att det går att omvandla bark mått i *ttv* till fastvolym under bark är kanske det mest illustrerande exemplet. Samtidigt behövs omvandling för transparenta prisjämförelser, inte minst för sågtimmer där det kan framstå som förvirrande för skogsägaren när samma parti betingar olika pris beroende på om den är toppmått eller topprotmått.

En del aktörer argumenterar för att allt virke bör mätas på bark, eftersom barken har ett högt bränslevärde som idag inte betalas för. Det skulle också ta bort behovet av barkandelsskattningar och barkfunktioner, som introducerar en betydande osäkerhet i mätningen. Ett sådant skifte lär inte ske i närtid, men om det gjordes skulle det få en stor inverkan på vilka mätmetoder och mätutrustningar som används.

MÄTNING AV KVALITET

Idag mäts och skattas många kvalitetsegenskaper av mänsklig mätare. Ju längre automationen går desto större behov finns att mäta kvalitetsegenskaper beröringsfritt. Många kvalitetsegenskaper ger vinster om de mäts redan i samband med skörd. Stammen kan apteras optimalt, klassificeras som rätt sortiment och levereras till rätt industri. Här framstår krök och skogsröta som de egenskaper där önskan att kunna mäta redan i skogen är som störst, och därmed motiverar mätteknisk utveckling. Med tanke på den svåra miljön i skördaren är ett alternativ att först utveckla och validera en ny mätmetod i sågverksmiljö, och sedan anpassa den till skördare.

Idag finns möjlighet till semiautomatisk mätning för ett sortiment, tallsågtimmer, där röntgenram används för att ge ett kvalitetsindex baserat på kvistegenskaper. Det finns även möjlighet att mäta utbytesförlust automatiskt, där både optiska ramar och röntgenramar kan användas. Det har dock inte gått att hitta någon sammanställning av hur dessa möjligheter används i industrin. Metodutveckling för automatisk mätning av enskilda kvalitetsegenskaper med sågverkens mätrammar lär fortsätta. Röntgenramar kan redan idag mäta många egenskaper men är inte ett ekonomiskt alternativ för många sågverk. Skillnaden i mätramarnas tekniknivå mellan olika sågverk lär öka, och därmed aktualisera frågan hur ett likformigt klassningssystem kan organiseras. Ett möjligt alternativ till röntgenklassning är att kvaliteten enbart baserar sig på de yttre egenskaper som går att mäta med optisk mätram, eventuellt kompletterat med skördarinformation och modeller för de inre egenskaperna. De optiska mätramarna kan kompletteras med färgkameror för att underlätta mätningen av yttre kvalitetsegenskaper. Troligt är också att nya studier görs kring analys av ändtyor i sågverksmiljö, för att undersöka om AI-metoder kan hantera smuts och isbildning bättre än klassisk bildanalys.

Då fjärrmätning sannolikt kommer att öka i användning uppstår möjligheten att undersöka om vissa kvalitetsegenskaper kan skattas via fjärrmätning. Analys med AI lär användas i ett sådant projekt. Hyperspektrala kameror, som mäter spektroskopiskt i många våglängder samtidigt, minskar i både storlek och kostnad och kommer sannolikt att se användning för mätning av vissa kvalitetsegenskaper. Röta, trädslag och färskhet är egenskaper med hög potential för att utvärderas med hyperspektral kamera av exempelvis VIS-NIR-typ. Både visuella (VIS) och när-infraröda (NIR) kameror kräver dock belysning. Av den anledningen kan det vara värt att undersöka om termiska infraröda kameror, som inte kräver belysning, skulle vara fördelaktiga i vissa mätningssituationer. Även dessa minskar i pris och ökar i prestanda.

Snabb och representativ mätning av torrhalt framstår som angeläget både för massaved, genom korrelationen till färskhet, och för trädbränsle. För sönderdelat trädbränsle är förbättrad sampling ett angeläget utvecklingsområde. De senaste decenniernas utveckling i form av provsonder och provtagningsborrar tycks ännu ha för höga kostnader för att se bred användning. Ett alternativ är mätprinciper som tränger igenom så pass mycket material att provtagningen blir mindre viktig, exempelvis radiovågsbaserade metoder. Radiovågstekniken borde även utvärderas för torrhaltsmätning av rundved, där effektiva mätmetoder idag saknas. Även för mätning av fraktionsfördelning hos sönderdelat trädbränsle saknas rationella metoder.

Som konsekvens av utvecklingen mot beröringsfri mätning kommer kvalitetsklassningarna att behöva förändras så att de enbart inkluderar egenskaper som går att mäta beröringsfritt, alternativt modellera med tillräcklig noggrannhet.

INFORMATIONSKEDJAN

När VIOL 3 är lanserat kommer den skogliga informationskedjan att förbättras på flera områden. Ett sannolikt exempel är information om färskhet. Eftersom färskhet är en parameter vid klassningen av massaved begränsar bristen på denna information idag möjligheten att automatisera fjärrmätningen av massaved.

Andra informationsglapp kommer inte att kunna lösas med VIOL 3. Två exempel är virke som passerar en terminal, och virke som legat på vedgård innan det tas in till processen. För terminalvirke tappas ofta möjligheten att använda skördardata, och efter vedgården tappas möjligheten att använda data från både skördardata och den ersättningsgrundande mätningen. Även för biobränsle finns flera områden där VIOL 3 åtminstone inte inledningsvis kommer att förbättra informationsläget.

AI/MASKININLÄRNING/NYA DATAKÄLLOR

Än så länge finns få publicerade studier och rapporter där AI har tillämpats på virkesmätningsrelaterade frågor. Det största undantaget är bildanalys, dels av satellit- och drönarbilder, dels inom tillämpningar som rötdetektion. Det speglar att AI anses särskilt kraftfullt för att analysera bilder. Att få exempel finns publicerade innebär dock inte en bristande aktivitet. Hos tillverkare av mätteknisk utrustning, exempelvis för fjärrmätning av travar, använder flera avancerad maskininläring. Inom Biometria pågår flera projekt och fler kommer sannolikt att rymmas inom deras Vinnova-finansierade datalabb. Ett exempel är AI för bestämning av skrymvolym hos fjärrmätta travar (Woodnet, 2019). Ett annat exempel är volymbestämning av rundved genom en kombination av AI, skördardata och vägning (Mittuniversitetet, 2019). Att skogsbruket har ett gemensamt och

etablerat informationsnav är en stor fördel, då många av AI-algoritmerna kräver stora mängder data. Särskilt för skördardata lär AI testas för olika analyser, då det är en stor och ständigt ökande datamängd.

I takt med att fler och fler fordon och verktyg förses med sensorer ("sakernas internet"/ "Internet of Things") kommer nya datakällor att uppstå. Ett exempel är röjsågar, där sensorer som ger GPS- och produktivitetsdata snart väntas vara integrerade. Även detta kommer att väcka nya frågeställningar kring personalens personliga integritet och kring ägandet av data.

MÄTNINGENS VILLKOR OCH FÖRUTSÄTTNINGAR

Denna rapport har huvudsakligen berört de tekniska aspekterna av virkesmätningen. Samtidigt går det inte att underskatta de mellanmännsliga aspekterna, där det är grundläggande att förtroendet för mätningen upprätthålls. Förtroende kan skapas genom transparens, likformighet och likvärdighet. Dessa faktorer är särskilt känsliga vid stora teknikskiften, då både skogsägare och mätningsspersonal behöver lära nytt. Automatiseringen riskerar också leda till rekryteringssvårigheter då intresserade kan ifrågasätta framtidspotentialen i yrket virkesmätare. Såväl kontrollmätare som teknikutvecklare har dock en given plats även i en automatiserad värdekedja.

Intervjuerna av skogsägare, virkesköpare och industrier visar dels på diversiteten i arbetssätt, dels på skillnaderna i nivå av teknik och digitalisering. Mätningens förutsättningar är med andra ord väldigt olika för olika aktörer. För skogsägare och virkesköpare är den positiva synen på fjärrmätning påtaglig. Att man kan gå tillbaka och kontrollera bilderna ses som ett mycket stort plus. På industrisidan är det noterbart att flera testat eller köpt in beröringsfria utrustningar men att dessa sedan inte har använts i längden, utan att man har gått tillbaka till mer traditionella mätmetoder. I intervjuerna med teknikutvecklare framkom viss frustration kring formerna för typgodkännande och tillgång till mätdata, samt kring en upplevd ovilja från både branschen och forskningsaktörer att stötta utvecklingen av en mindre mogen teknologi. En klar ambition från branschen att satsa på området virkesmätning finns efter drygt ett årtionde av lägre aktivitet, vilket borgar för en intressant tid framöver.

NÄSTA STEG

Ett av målen med denna rapport var att identifiera tre prioriterade områden för fortsatt mätteknisk utveckling. Ett sådant är automatisk kvalitetsklassning av sågtimmer, givet sortimentskategorins ekonomiska betydelse. Eftersom fjärrmätningen ökar i betydelse bör möjligheten att mäta ytterligare egenskaper vid fjärrmätningen, både med existerande kameror och hyperspektrala kameror undersökas vidare. Slutligen framstår rationella och noggranna metoder för att mäta torrhalt, framför allt på trädbränsle men på sikt även rundved, som prioriterat. På några års sikt bör det även vara dags att åter satsa på utveckling av mätteknik för skördare, med en öppenhet både för vilka egenskaper som ska mätas och var i eller på skördaren som mätutrustningen ska sitta.

SLUTSATSER

Från det samlade materialet drar vi följande huvudsakliga slutsatser:

- Skördarens mekaniska mätning av längd och diameter är idag tillräckligt effektiv för att minska efterfrågan på ny mätteknik. Det är därför troligt att framtida mätteknisk utveckling för skördare fokuserar på kvalitetsparametrar som röta och krök. Skördaraggregatets svåra miljö gör det troligt att mätsensorer monteras på andra ställen i skördaren, exempelvis tillsammans med sensorer för fjärrstyrning.
- Den ersättningsgrundande mätningen går mot att använda sig av allt färre mätmetoder. Framför allt minskar räkning och volymbedomning (med eller utan bedömning av fastvolymprocent) till förmån för travmätning. Travmätningen ökar för massaved, sågtimmer och bränsleved.
- Den ökande användningen av travmätning kan delvis förklaras av fjärrmätningens framsteg. För fullständig automatisering av travmätningen behöver metoder utvecklas för att mäta trädslag och färsighet/fukthalt, antingen i bild eller med annan automatiserad utrustning.
- Mätrammar för sågtimmer har utvecklats mot 3D-mätning med allt högre upplösning för både optiska och röntgenbaserade rammar. Röntgenrammar kan idag mäta krök och kvistindex automatiskt. Den höga kostnaden för röntgenrammar är en barriär mot en automatisk kvalitetsklassning som baserar sig på stockens inre egenskaper.
- Vid sidan av mätramarna har flera utvecklingsförsök gjorts för automatiserad mätning av enskilda egenskaper hos sågtimmer, exempelvis trädslag, röta och årsringar. Vanligt är att mätprincipen har fungerat, men att mätmetoden inte nått upp till de högt ställda kraven på träffsäkerhet. Smuts eller snö/isbildning på ändytan har varit en annan svårighet. Rotbensmätning är en relativt ny kamera-baserad mättillämpning.
- För sönderdelat trädbränsle har beröringsfria mätmetoder haft relativt liten användning. Faktorer som utgjort nackdelar med olika utrustningar är liten provvolym, svårighet att mäta fruset bränsle, känslighet för metallföremål, samt hög kostnad. Ytterligare mätteknisk utveckling behövs därför om dagens manuella metoder ska ersättas.
- Två svaga punkter i den skogliga informationskedjan är terminal och vedgård, eftersom detaljeringsgraden i virkesinformation ofta går förlorad.
- Det är stor spridning i förutsättningar för och behov av mätning av skogens produkter hos branschens aktörer. Skillnaderna i tekniknivå lär därför fortsätta öka och ställa större krav på flexibilitet i mätningens upplägg.

Referenser

- Andersson, M., Hannrup, B., Larsson, W., Grönlund, A., Nyström, J., Johansson, S. & Oja, J. 2008. Slutrapport för projekt "Mätteknik för avverkningsmaskiner". Arbetsrapport 664, Skogforsk, 1-56 s.
- Andritz. 2019. ScanChip Optical chip analyzer. Andritz. URL: <https://www.andritz.com/products-en/group/pulp-and-paper/service-solutions/scanchip-analyzer> [Hämtad 2019-10-25].
- Arboreal. 2019. Arboreal Height of Tree. URL: <https://www.arboreal.se/en/> [Hämtad 2019-09-30].
- Arlinger, J., Möller, J., Eriksson, I. & Bhuiyan, N. 2017. Forestand – Skördardata Standardisering av: Skördardatabaserade beskrivningar av uttag och kvarvarande skog efter gallring. Skogforsk, 1-27 s.
- Axelsson, A., Lindberg, E. & Olsson, H. 2018. Exploring Multispectral ALS Data for Tree Species Classification. Remote Sensing, 10, 1-15.
- Bajpai, P. 2018. Biermann's Handbook of Pulp and Paper: Volume 1: Raw Material and Pulp Making, Amsterdam, Netherlands, Elsevier, s.
- Bestwood. 2019. Bestwood. URL: <http://bestwood.se/> [Hämtad 2019-10-07].
- Biometria 2019a. Bestämning av torrhalt och energiinnehåll på skogsråvara. Nationella instruktioner för virkesmätning, 1-20 s.
- Biometria 2019b. Ersättningsgrundande virkesmätning med skördare. Nationella instruktioner för virkesmätning, Biometria, 1-13 s.
- Biometria 2019c. Kvalitetsbestämning av massaved. Nationella instruktioner för virkesmätning, Biometria, 1-18 s.
- Biometria 2019d. Kvalitetsbestämning av trädbränslen. Nationella instruktioner för virkesmätning, Biometria, 1-11 s.
- Biometria 2019e. Tillämpningsanvisning till Mättningsinstruktion för travmätning av rundvirke. Biometria, 1-14 s.
- Bjurulf, A., Jansson, G., Thierfelder, T. & Nordström, M. 2017. Utvärdering av metoder för mätning av rundved i trave – mätnoggrannhet och kostnader. Arbetsrapport 934, Skogforsk, 1-65 s.
- Bjurulf, A. & Nordström, M. 2016. Kartläggning av dagens metoder för mätning av rundved i trave: Delrapport 1. Skogforsk, 1-56 s.
- Björklund, L. 2012. Hur kan vi mäta relevanta egenskaper? IVA - skogsnäringens teknik. SDC.
- Björklund, L., Grundberg, S. & Edlund, J. 2003. Slutrapport för projekt "Effektivare Sågtimmermätning". SDC VMR, 1-36 s.
- Björklund, L., Hesselman, J., Lundgren, C. & Nylinder, M. 2009. Jämförelser mellan metoder för fastvolymbestämning av stockar. SLU rapport 15, SLU Institutionen för skogens produkter, s.

- Björklund, L. m.fl. 2014. Mätning av skogsbränsle. SDC, 1-60 s.
- Björklund, L. & Rönnbäck, H. 2017. "Fjärrmätning ger inte sämre kvalitet". URL: <https://www.landskogsbruk.se/debatt/fjarrrmatning-ger-inte-samre-kvalitet/> [Hämtad 2019-08-19].
- Brunberg, B., Brunberg, T., Wilhelmsson, L., Duchesne, I., Spångberg, K. & Svensson, J.-O. 1996. Kostnader och effekter på ved- och fiberegenskaper vid sortering av massaved. SkogForsk Redogörelse, 1, 53-67.
- Chalmers. 2013. Mikrovågor spårar röta i träd. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. URL: <https://www.chalmers.se/sv/institutioner/e2/nyheter/Sidor/Mikrov%C3%A5gor-sp%C3%A5rar-r%C3%B6ta-i-tr%C3%A4d.aspx> [Hämtad 2019-10-16].
- CIND. 2019. Chipspect. CIND. URL: <https://www.cind.se/chipspect> [Hämtad 2019-10-25].
- Codator. 2019. Codator Modus2000. Codator Oy. URL: codator.fi/m2000.php [Hämtad 2019-10-08].
- Decelle, R., Ngo, P., Debled-Rennesson, I., Mothe, F. & Longuetaud, F. A New Algorithm to Automatically Detect the Pith on Rough Log-End Images. In: Wang, X., Sauter, U. H. & Ross, R. J., eds. 21st International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, 2019 Freiburg (DE). USDA, 518-523.
- Ding, F., Benaoudia, M., Bédard, P., Lanouette, R., Lejeune, C. & Gagné, P. 2005. Wood chip physical quality definition and measurement. Pulp and Paper Canada, 106, 27-32.
- Edlund, J. 2009. Mätramar för sortering och vederlagsmätning vid sågverken 2008. VMK, 1-3 s.
- Edlund, J. 2017. Skördarmätningen 2013-2016. SDC, 1-5 s.
- Edlund, J. 2019. Skördarmätningen 2015-2018. Biometria, 1-6 s.
- Ekenstedt, F., Grahn, T., Hedenberg, Ö., Lundqvist, S.-O., Arlinger, J. & Wilhelmsson, L. 2003. Variations in fiber dimensions of Norway spruce and Scots pine. Graphs and prediction models. STFI report, STFI, 1-38 s.
- Eskelinen, P. & Eskelinen, H. 2000. A K-Band Microwave Measuring System for the Analysis of Tree Stems. Silva Fennica, 34.
- Fontanini, F. B., Martin. Automatic Sweep Measurement, as Used for Payment of Logs in Sweden. In: Wang, X., Sauter, U. H. & Ross, R. J., eds. 21st International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, 2019 Freiburg (DE). Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 588-597.
- Fridh, L. 2012. Kvalitetssäkrad partsmätning av bränsleved vid terminal. Arbetsrapport 794, Skogforsk, 1-38 s.
- Fridh, L. 2015. Fukthaltsmätning. In: Palmér, C. H. & Iwarsson Wide, M. (eds.) Skogens energi - en källa till hållbar framtid. Uppsala: Skogforsk.
- Fridh, L., Vestlund Ekerby, K., Engberg, M. & Bäfver, L. 2015. Produkttegenskaper för skogsbränsle. Arbetsrapport 873, Skogforsk, 1-56 s.

- Fundova, I., Funda, T. & Wu, H. X. 2018. Non-destructive wood density assessment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using Resistograph and Pilodyn. PLOS ONE, 13, 1-17.
- Goh, C. L., Rahim, R. A., Rahiman, M. H. F., Masturah, T. M. T. & Tee, Z. C. 2018. Sensing wood decay in standing trees: A review. Sensors and Actuators A: Physical. Elsevier.
- GPS Timber. 2019. GPS Timber Products. GPS Timber. URL: <https://www.gpstimber.se/products> [Hämtad 2019-10-25].
- Grundberg, S. 1999. An X-ray LogScanner - a tool for control of the sawmill process. Doctoral Thesis, Lunds Tekniska Universitet, 1-229 s.
- Gunnarsson, C., Anerud, E., Wide, M. I., Jonsson, N. & Segerborg-Fick, A. 2016. Optimerad lagring av biomassa. JTI-rapport Lantbruk & Industri, JTI, 1-32 s.
- Gustafsson, S. 2016. Provtagning på sönderdelade trädbränslen - med jordborr. SDC, 1-16 s.
- Haglöf. 2019. Tillämpningar - Virkesmatning. URL: <http://www.haglofsweden.com/index.php/se/applications-2/458-log-scaling-2> [Hämtad 2019-09-03].
- Hanigan, M. 2018. Volumetric yield sensing in a combine harvester. Master thesis, Iowa State University, 1-102 s.
- Hannrup, B., Andersson, M., Bhuiyan, N., Wikgren, E., Simu, J. & Skog, J. 2011. Slutrapport för projekt "Beröringsfri diametermätning i skördare – utveckling av mät-system och tester i produktionsmiljö". Arbetsrapport 742, Skogforsk, 1-88 s.
- Hannrup, B., Andersson, M., Bhuiyan, N., Wikgren, E., Simu, J. & Skog, J. 2011. Slutrapport för projekt "Beröringsfri diametermätning i skördare – utveckling av mätsystem och tester i produktionsmiljö". Arbetsrapport 742, Skogforsk, 1-88 s.
- Hannrup, B., Andersson, M., Larsson, J., Sjöberg, J. & Johansson, A. 2013. Slutrapport för projektet: "Beröringsfri diametermätning i skördare" – Utveckling av skräpreducerande skydd. Arbetsrapport 815, Skogforsk, 1-85 s.
- Hannrup, B., Andersson, M. & Sondell, J. 2007. Slutrapport för projekt "Beröringsfri diametermätning för praktiskt bruk i skördare - en förstudie". Skogforsk, 1-137 s.
- Hartmann, H., Böhm, T., Daughjerg Jensen, P., Temmerman, M., Rabier, F. & Golser, M. 2006. Methods for size classification of wood chips. Biomass and Bioenergy, 30, 944-953.
- Hauglin, M., Hofstad Hansen, E., Næsset, E., Even Busterud, B., Omholt Gjevestad, J. G. & Gobakken, T. 2017. Accurate single-tree positions from a harvester: A test of two global satellite-based positioning systems. Scandinavian Journal of Forest Research, 32, 774-781.
- Heinonen, J. 2019. Forest chips quality measurement methods and development needs at power plants. Master thesis, Lappeenranta-Lahti university of Technology LUT, 85 s.
- Hellström, L. 2010. On the wood chipping process - A study on the basic mechanisms in order to optimize chip properties for pulping. Phd Thesis, Mittuniversitetet, 1-46 s.

- Henriksson, K. 2014. Mätramar för vederlagsmätning och timmersortering på sågverk. BSc thesis, SLU Sveriges Lantbruksuniversitet, 1-39 s.
- Holmgren, J., Tulldahl, H. M., Nordlöf, J., Nyström, M., Olofsson, K., Rydell, J. & Willén, E. Estimation of tree position and stem diameter using simultaneous localization and mapping with data from a backpack-mounted laser scanner. *Frontiers in Spectral imaging and 3D Technologies for Geospatial Solutions*, 2017 Jyväskylä (FI). 59-63.
- Inx. 2012. ScanLog 2D log scanner. URL: <http://inx.fi/en/log-handling> [Hämtad 2019-09-06].
- Iwarsson Wide, M., Johannesson, T., Jonsson, H. & Jägbrant, S. 2019. Produktifiera för optimal bränslebas. *Energiforsk*, 1-80 s.
- Johansson, J., Lundgren, C. & Björklund, L. 2013. Vägning för vederlag. SDC, 1-32 s.
- John Deere. 2019. Kranspetsstyrning IBC (Intelligent Boom Control). URL: <https://www.deere.se/sv/skogsmaskiner/ibc/> [Hämtad 2019-08-30].
- Jokinen, O. 2009. Automated measuring of trunk shape from a sequence of image pairs. *The Photogrammetric Journal of Finland*, 21, 35-49.
- Klensmeden, U. Mätning - en länk i försörjningskedjan. In: Hedberg, Ö., ed. *Konferensen Vedförsörjning, energi och mätning*, 2006 Borlänge. STFI-Packforsk.
- Krizan, P., Matu, M., Soos, L. & Beniak, J. 2015. Behavior of Beech Sawdust during Densification into a Solid Biofuel. *Energies*, 8, 6382-6398.
- LandSkogsbruk. 2019a. Travmätningen av timmer blir säkrare. URL: <https://www.landskogsbruk.se/skog/travmatningen-av-timmer-blir-sakrare/> [Hämtad 2019-12-16].
- LandSkogsbruk. 2019b. Vrak i massaveden på väg bort. URL: <https://www.landskogsbruk.se/skogsskotsel/vrak-i-massaveden-pa-vag-bort/> [Hämtad 2019-10-17].
- Lindroos, O., Ringdahl, O., La Hera, P., Hohnloser, P. & Hellström, T. 2015. Estimating the Position of the Harvester Head – a Key Step towards the Precision Forestry of the Future? *Croatian Journal of Forest Engineering*, 36, 147-164.
- Lindström, S. 2010. Detektor på skördare för utsortering av träd med metallskrot. MSc thesis, Umeå Universitet, 29 s.
- LMI Technologies. 2016. Structured Light vs. Laser Triangulation for 3D Scanning and Inspection. URL: https://www.visiononline.org/vision-resources-details.cfm/vision-resources/Structured-Light-vs-Laser-Triangulation-for-3D-Scanning-and-Inspection/content_id/6071 [Hämtad 2019-09-06].
- LMI Technologies. 2019. Chromascan 3D Wood Scanners. URL: <https://lmi3d.com/products/chroma-scan> [Hämtad 2019-09-30].
- Loadmon. 2019. Introduction. Tallinn: Loadmon. URL: <https://loadmon.com/contact/> [Hämtad 2019-10-08].
- Logscom. 2019a. Logscom Inkjet - Logscoms virkesmärkningssystem. Logscom. URL:

- <http://www.logscom.com/> [Hämtad 2019-06-04].
- Logscom. 2019b. Märka virke. URL: <https://np2.logscom.com/> [Hämtad 2019-12-12].
- Lundqvist, S.-O., Hedenberg, Ö., Wilhelmsson, L. & Arlinger, J. 2003. Data och modeller för bättre utnyttjande av gran och tall. Slutrapport för projektet Skog-massa-papper. STFI rapport, STFI, 1-47 s.
- Mabema 2019. Mabema GPV. 1-8 s.
- Mantex. 2019a. Biofuel Analyzer. Mantex. URL: <https://www.mantex.se/products/biofuel-analyzer/features/> [Hämtad 2019-12-19].
- Mantex. 2019b. Flow Scanner. Mantex. URL: <https://www.mantex.se/products/flow-scanner/features/> [Hämtad 2019-10-25].
- Marjanen, K., Ojala, P. & Ihalainen, H. 2008. Measurement of annual ring width of log ends in forest machinery. Image Processing: Algorithms and Systems. San Jose (USA): SPIE.
- Melkas, T. 2019. Wood measuring methods used in Finland 2018. Metsäteho Result Series 9-EN/2019, Metsetäho, 1-13 s.
- Melkas, T., Miettinen, M., Hämäläinen, J. & Einola, K. 2014. Puukarttajärjestelmä hakkuun tehostamisessa. Metsätehon raportti, Metsäteho, 1-43 s.
- Microtec 2019a. CT Log brochure. 1-8 s.
- Microtec. 2019b. Sawmill 4.0 - Gapless traceability. Microtec. URL: <https://microtec.eu/fr/company/news/ligna/> [Hämtad 2109-11-04].
- Miettinen, M., Kulovesi, J., Kalmari, J. & Visala, A. 2010. New Measurement Concept for Forest Harvester Head. In: Howard, A. (ed.) Field and Service Robotics. Cambridge, Massachusetts: Springer.
- Mittuniversitetet. 2019. Fördelar med AI för virkesmätning. Mittuniversitetet. URL: <https://www.miun.se/kontakt/press/nyhetsarkiv/2019-2/fordelar-med-ai-for-virkesmatning/> [Hämtad 2019-11-12].
- Mongeau, J.-P., Beauregard, R. & Harless, T. E. G. 1993. Softwood log shape modelling with shadow scanners. Wood and Fiber Science, 25, 261-277.
- Möller, J., Arlinger, J., Wilhelmsson, L., Sondell, J. & Moberg, L. 2007. Modell för automatisk kvalitetsbestämning vid virkesmätning med skördare. Arbetsrapport 642, Skogforsk, 1-28 s.
- Möre, H. & Hubbard, L. M. 2005. Kommentarer och vägledning till föreskrifter och allmänna råd om hantering av aska som är kontaminerad med cesium-137. SIS Statens Strålskyddsinstitut, 1-34 s.
- Nilsson, D. 2005. Prediction of wood species and pulp brightness from roundwood measurements. PhD thesis, Umeå Universitet, 127 s.
- Nilsson, R. 2014. Kundnöjdhet hos privata skogsägare som använt Södras uppdragsform "skördarmätning med stampris". Master thesis, SLU Sveriges lantbruksuniversitet, 50 s.

- Nordström, M. 2013. Kalibrering av skördarens mätsystem – En kartläggning av nuläge och utvecklingsbehov. Arbetsrapport 792, Skogforsk, 1-20 s.
- Nordström, M. & Hemmingsson, J. 2015. Håll måttet! – på väg mot bättre dimensionsmätning i skördare. URL: <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2015/hall-mattet---pa-vag-mot-bättre-skordarmatning/> [Hämtad 2019-12-14].
- Norell, K. 2010. Automatic Analysis of Log End Face Images in the Sawmill Industry. PhD thesis, Uppsala University, 119 s.
- Norell, K. & Borgefors, G. 2010. Årsringsmätning med bildanalys. Fakta skog, SLU Sveriges Lantbruksuniversitet, 1-4 s.
- Nowell, T. C. 2019. Detection and Quantification of Rot in Harvested Trees using Convolutional Neural Networks. MSc thesis, Norwegian University of Life Sciences, 1-105 s.
- Nyström, J. & Hagman, O. 2007. Barkmätning baserat på trakeideffekt. TräCentrum Norr, 1-16 s.
- Oja, J. 1997. Measuring Knots and Resing Pockets in CT-images of Norway Spruce. Licentiate Thesis, Luleå Tekniska Universitet, 1-78 s.
- Orvär, M. 2002. Stickprovsmätning av skogsråvara - en praktisk handledning. SLU rapport 5, SLU Sveriges Lantbruksuniversitet, 1-73 s.
- Ostovar, A., Talbot, B., Puliti, S., Astrup, R. & Ringdahl, O. 2019. Detection and classification of Root and Butt-Rot (RBR) in Stumps of Norway Spruce Using RGB Images and Machine Learning. Sensors, 19, 1579.
- Otmetka. 2019. Beprövad märkningsteknik i modern tappning. URL: <https://otmetka.com/beprovad-teknik/?lang=sv> [Hämtad 2019-08-20].
- Ottosson, P. 2014. Stockmätning med radar. Radarbolaget, 1-5 s.
- Ottosson, P., Andersson, D. & Fridh, L. 2016. Radarteknik för fukthaltsmätning – en förstudie. Arbetsrapport 915, Skogforsk, 1-32 s.
- Persson, E. & Engstrand, P. 2006. Skogsindustriella behov av mätdata. In: Hedenberg, Ö. (ed.) STFI-Packforsks Rensarikonferens. Borlänge: STFI-Packforsk.
- Persson, E., Sjöström, M., Sundblad, L.-G., Wiklund, S. & Wilhelmsson, L. 2012. Färskt virke – en utmaning för skogsbruk och virkesmätning. Skogforsk Resultat, Skogforsk, 1-4 s.
- Prediktor. 2019. Spektron Biomass. Prediktor. URL: <https://www.prediktorinstruments.com/wood-industry/> [Hämtad 2019-11-04].
- Prometec. 2016. Automated Sampler. Prometec. URL: https://prometec.fi/en/automated_sampler/ [Hämtad 2019-10-16].
- Päiviö, S. 2009. Neutroniaktivaatio puun kosteuden mittauksessa. Licentiate thesis, Jyväskylän Universitet, 1-73 s.
- Ross, R. J. 2015. Nondestructive Evaluation of Wood, USDA, 1-176 s.

- Sandak, J., Sandak, A., Marazza, S. & Picchi, G. 2019. Development of a Sensorized Timber Processor Head Prototype – Part 1: Sensors Description and Hardware Integration. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 40, 25-337.
- Sandberg, D. 2017. Innovawood - Luleå University of Technology, Skellefteå. URL: <http://www.innovawood.com/LinkClick.aspx?fileticket=2G6BkDMEgho%3D&tabid=494&mid=2325> [Hämtad 2019-10-02].
- SCAN-CM 40:01 2001. Wood chips for pulp production. Size distribution. Stockholm: SCAN.
- SCAN-CM 43:95 1995. Basic density - Wood chips for pulp production. Stockholm: Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee.
- SDC 2016. Travmätning av rundvirke. SDC, 1-12 s.
- SDC 2017a. Mätning av stocks volym under bark. Nationella instruktioner för virkesmätning, SDC, 1-19 s.
- SDC 2017b. VIOL Koder v 7.6. SDC, 1-54 s.
- SDC 2018a. Kvalitetsbestämning av cellulosafilis. Nationella instruktioner för virkesmätning, SDC, 1-8 s.
- SDC 2018b. Kvalitetsbestämning av sågtimmer av tall och gran. Nationella instruktioner för virkesmätning, SDC, 1-10 s.
- SDC 2018c. Mabema-premiär på VIDA Alvesta. SDC Login, 18-21 s.
- SDC 2018d. SDC Login. SDC, 1-28 s.
- Siekański, P., Magda, K., Malowany, K., Rutkiewicz, J., Styk, A., Krzesłowski, J., Kowaluk, T. & Zagórski, A. 2019. On-Line Laser Triangulation Scanner for Wood Logs Surface Geometry Measurement. *Sensors*, 19, 1074.
- SIS 2016. Geografisk information – Data om skog och brukande av skog. SIS.
- Sjölander, H. 2003. Ändamålsanpassad TINA-sortering av sågtimmer. MSc thesis, SLU Sveriges Lantbruksuniversitet, 1-30 s.
- Skog, J. 2013. Characterization of sawlogs using industrial X-ray and 3D scanning. Doctoral thesis, Luleå Universitet, 1-162 s.
- Skog, J. 2014a. New Forest Industry Production Systems Based on High-speed CT Scanning. WoodWisdom-Net Research Programme Final Report. SP Trä, 1-17 s.
- Skog, J. 2014b. Röntgentomografibaserad hållfasthetsoptimering. Trä, S., 1-14 s.
- Skog, J. & Hagman, O. 2013. CT-Pro Slutrapport. TräCentrum Norr, 1-13 s.
- Skog, J., Oja, J., Johansson, E., Lundgren, N. & Fredriksson, M. 2010. Förbättrad stock-sortering genom att kombinera 3D- och röntgenteknik. TräCentrum Norr, 1-56 s.
- Skogsindustrierna 2019. Så går det för skogsindustrin. Skogsindustrierna, s.
- Skogsstyrelsen 2014. Skogsstyrelsens föreskrifter om virkesmätning. Skogsstyrelsens föfattningssamling, Skogsstyrelsen, 1-9 s.
- Skutin, S.-G. & Arvidsson, P.-Å. 2002. Slutrapport för förstudien "Det färska virket". Skogforsk, 1-13 s.

- SS-EN ISO 17827-1 2016. Bestämning av partikelstorleksfördelning för "uncompressed fuels" - Del 1: Metod - Oscillerande såll med hålstorlek 3,15 mm och större. Fasta biobränslen. ISO.
- Strandgard, M. 2015. Development of a Log Scanner Best Practice Guideline. URL: https://www.fwpa.com.au/images/webinars/2016/FWPA_PRC251-1415_log_scanner_study_Strandgard.pdf.
- Strömngren, M. 2015. Mätramar för sortering och ersättningsgrundande mätning vid svenska sågverk 2015. VMU rapport, SDC, 1-6 s.
- Strömngren, M. 2017. Noggrannare längdmätning av sågtimmer. SDC, 1-25 s.
- TAPPI 2016. Basic density and moisture content of pulpwood. TAPPI standard. TAPPI.
- Taylor, J. A. & Whelan, B. M. 2007. On-the-go grain quality monitoring: A review. 4th International Symposium on Precision Agriculture. Vicosa, Brazil.
- Teknosavo 2016. Expert's opinion Smart and sustainable development in forest industry. Woodchip, Teknosavo's customer magazine 06/2016, 1-4 s.
- Teknosavo. 2019. Chip quality surveillance. URL: <https://tekosavo.fi/en/chip-quality-surveillance/> [Hämtad 2019-12-18].
- Tieto. 2019. ROCS Roaming Object Coordinating System. Espoo (FI): Tieto. URL: <https://www.tieto.com> [Hämtad 2019-11-04].
- Timbeter. 2019. Truck Measurement. Tallinn: Timbeter. URL: <http://www.timbeter.com/truck-measurement/> [Hämtad 2019-10-08].
- Tracy. 2019. Tracy aut(TM). Tracy of Sweden. URL: <https://tracyofsweden.com/tracy-forestry-e/tracy-aut/> [Hämtad 2019-06-04].
- Trestima. 2019. Trestima Products. Tampere (FI): Trestima, . URL: <https://www.trestima.com/w/en/products/> [Hämtad 2019-10-24].
- Uusijärvi, R. 2010. Indisputable key - Final report. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 1-62 s.
- Valmet. 2019. Valmet MR Moisture Analyzer. Valmet. URL: <https://www.valmet.com/automation/analyzers-measurements/analyzers/mr-moisture/> [Hämtad 2019-11-04].
- Walsh, D., Strandgard, M. & Carter, P. 2014. Evaluation of the Hitman PH330 acoustic assessment system for harvesters. Scandinavian Journal of Forest Research, 29, 593-602.
- Westerlund, L. & Bergström, D. 2018. Calibration of handheld moisture meter for forest fuelsw. Infosheet, SLU Sveriges Lantbruksuniversitet, 1-3 s.
- Wilhelmsson, L. 2007. Utveckling av egenskapsbeskrivning med avverkningsmaskiner. Arbetsrapport 651, Skogforsk, 1-37 s.
- Wilhelmsson, L., Möller, J. & Arlinger, J. 2019. Betalningsgrundande eller betalningsstödande virkesmätning med skördare. Arbetsrapport 1032, Skogforsk, 1-92 s.
- Wilhelmsson, L., Persson, E. & Persson, T. 2005. Prognoser för virkets uttorkning efter avverkning. Skogforsk Resultat, 1-4.

- Willén, E. & Söderberg, J. 2017. Mobilappar ger bra skogsuppskattning. URL: <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2017/mobilappar-ger-bra-skogsuppskattning/> [Hämtad 2019-09-30].
- VMF Nord 2017. Instruktion för mottagningsmätning enligt mätmetod 5, vid 3-respektive 2-stegskollektiv. Nord, V., 1-3 s.
- VMF Qbera 2012a. MAS – Mobil Automatisk Stockmätning. 1-8 s.
- VMF Qbera 2012b. Mätning av massaved. 1-8 s.
- VMF Qbera 2012c. Stickprovsmätning med MAS. Qrumeluren, 1-12.
- VMK 2016. Kontroll av automatisk bestämning av utbytesförlust. VMK:s anvisningar för kontroll av virkesmätning, SDC, 1-8 s.
- VMK 2018a. Kontroll av automatisk metalldetektering med röntgen. VMK:s anvisningar för kontroll av virkesmätning, SDC, 1-4 s.
- VMK 2018b. Kontroll av röntgenklassning av tallsågtimmer. VMK:s anvisningar för kontroll av virkesmätning, SDC, 1-5 s.
- VMK 2019a. Allmänt om typgodkännande av utrustning och metoder för ersättningsgrundande virkesmätning. VMK, 1-5 s.
- VMK 2019b. Lista över typgodkännanden. VMK, 1-4 s.
- VMK 2019c. Protokoll VMK föreningsstämma 2019-05-29. VMK, 1-46 s.
- VMR 2000. Kompendium i virkesmätning, DEL VIII: Automatmätning. 1-21 s.
- VMU 2018. Skogsindustrins virkesförbrukning samt produktion av skogsprodukter 2013-2017. SDC, 1-22 s.
- von Hofsten, H. 2018. Vägning av hela fordonsklass - möjligheter och felkällor. Arbetsrapport 974, Skogforsk, 1-16 s.
- Woodnet. 2019. Virkesmätning med artificiell intelligens. Woodnet. URL: https://www.woodnet.se/article/view/667993/virkesmatning_med_artificiell_intelligens [Hämtad 2019-11-12 s].
- Woodtech. 2019. Woodtech Products. Santiago: Woodtech. URL: <http://www.woodtechms.com/> [Hämtad 2019-10-08].
- Ågren, K., Arlinger, J., Hannrup, B., Möller, J., Nordström, M. & Wilhelmsson, L. 2017. Utvecklingsbehov i gränssnittet skog-såg – en förstudie baserad på intervjuer. Arbetsrapport 952, Skogforsk, 1-28 s.