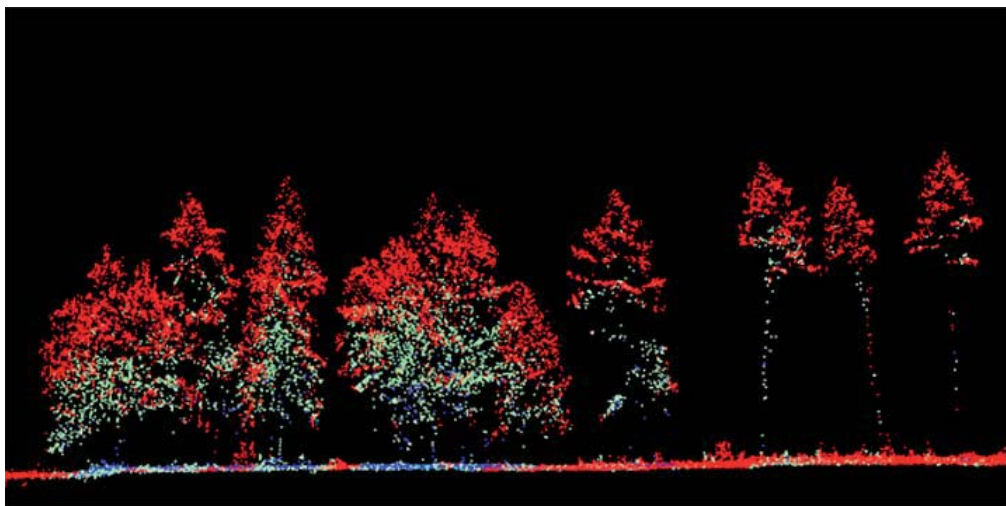


ARBETSRAPPORT

FRÅN SKOGFORSK NR 654 2008



Analys av potentiella mervärden i kedjan skog-industri vid användning av pulsintensiv laserscanning

Johan Sonesson, John Arlinger, Andreas Barth, Birger Eriksson, Mikael Frisk,
Petrus Jönsson, Johan Möller, Gunnar Svenson, Magnus Thor & Lars Wilhelmsson

Ämnesord: Datafångst, laserscanning, mervärden, planering.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiften, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter. Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Innehåll

Sammanfattning.....	2
Bakgrund	3
Syfte.....	3
Metod.....	3
Resultat och diskussion	4
Skogshushållning.....	4
Värdering vid försäljning.....	10
Skogsbränsle	10
Planering av skogsvård.....	11
Operativ planering.....	13
Planering för drivning	17
Vägprojektering.....	18
Kundnyttan av bättre information om skogen.....	19
Massa & pappersproducenter	28
Slutsatser.....	29
Total potential	29
Möjlig potential	30
Förslag på fördjupade studier.....	32
Referenser.....	33

Sammanfattning

FORAN Sverige AB har utvecklat en metod för att inventera skog med laserscanning med så hög upplösning att enskilda träd kan identifieras. För varje träd registreras trädslag, höjd, kronarea samt koordinater för lägesbestämning. Diameter och stamvolym beräknas utifrån mätningarna. Dessutom ger laserscanningen en detaljerad digital terrängmodell. Under 2006 började man på kommersiell bas laserscanna skog under varumärket Single Tree®. Verifiering av kvaliteten på de data som metoden levererar pågår.

Syftet med denna studie var att göra en bred sammanställning av befintlig kunskap för att beskriva de möjligheter som Single Tree® erbjuder skogsbruket. De områden där potentialerna bedömts som störst har identifierats. Potentialer i hela kedjan från strategisk till operativ planering i skogsbruket och vidare till kundnytta för industrin har belysts. I vissa fall har fördelarna kunnat kvantifieras men ej alltid.

Studien har genomförts genom sammanställning och analys av befintlig kunskap samt i några fall med kalkylexempel. Eftersom verifiering av metoden ej är slutförd har vi arbetat utifrån antagandet att Single Tree®-metoden levererar högupplösta data av god kvalitet.

En enkel sammanfattning av resultaten är att mervärdet av högupplösta laserdata, jämfört med de i dag vanliga datafångstmetoderna är:

- Optimering av nuvärde i strategisk planering 50–150 kr/ha
- Försäljning av rotstående skog 50 kr/ha
- Röjningsplanering 1–3 kr/ha
- Trakt- och drivningsplanering 35–50 kr/ha
- Virkesbyten 30 kr/ha
- Kundnytta framåt i produktionskedjorna 10–300 kr/ha
- Värde vid försäljning av fastigheter, uppskattning av skogsbränsleuttag, körplanering för markberednings- och avverkningsmaskiner och vägprojektering har identifierats men ej kunnat uppskattas.

Dessa mervärden baseras på att laserdata är användbart i fem år för den typ av planering som avses och avser mervärden fördelade på hela skogsmarksarealen. Det är inga exakt beräknade värden utan snarare grova uppskattningar som möjliggör jämförelse av storleksordningar mellan de olika områdena samt att sättas i relation till kostnaden för datainsamlingen. Kundnyttan framåt i produktionskedjorna är mycket svår att fastställa generellt. Värdet beror i mycket hög grad på hur informationen om den stående skogen utnyttjas för att nå effektiv integration av skogsbruket med tillverkningsprocesserna vid industrin. De uppräknade mervärdena är ej heller direkt summerbara eftersom de delvis överlappar varandra, t.ex. kan en del av mervärdet vid försäljning av rotstående skog vara att köparen kan genomföra en bättre planering av t.ex. maskininsats och sortimentsutfall, och därmed är beredd att betala mer för posten.

Slutsatsen är att datafångst med pulsentensiv laserscanning redan med dagens planeringsverktyg och rutiner ger mervärden som motiverar den kostnad som metoden medför. På något längre sikt kan mervärdena öka betydligt om metoder och planeringssystem utvecklas för att bättre nyttja högupplösta data.

Bakgrund

FORAN Sverige AB har utvecklat en metod för att inventera skog med laserscanning med så hög upplösning att enskilda träd kan identifieras. För varje träd registreras trädslag, höjd, kronarea samt koordinater för lägesbestämning. Diameter och stamvolym beräknas utifrån mätningarna. Dessutom ger laserscanningen en detaljerad digital terrängmodell. Under 2006 började man på kommersiell bas laserscanna skog under varumärket Single Tree®.

FORAN har gett Skogforsk i uppdrag att analysera de ekonomiska konsekvenserna för skogsbruket vid utnyttjande av Single Tree®-data.

Syfte

Syftet var att göra en bred sammanställning av befintlig kunskap för att beskriva de möjligheter som Single Tree® kan erbjuda skogsbruket. De områden där potentialerna bedömdes som störst skulle identifieras. Potentialer i hela kedjan från strategisk till operativ planering i skogsbruket och vidare till kundnytta för industrin skulle belysas. I de fall fördelarna redan fanns kvantifierade eller enkelt kunde beräknas skulle även kvantifiering av potentialer redovisas. Ett annat syfte är att identifiera viktiga områden där kvantifiering av fördelarna är genomförbar med fördjupade analyser.

Metod

Ett antal forskare inom olika områden vid Skogforsk har engagerats i utredningen. Metoderna i de olika delarna har skilt sig åt beroende på kunskapsläge och frågornas karaktär. Resultaten har erhållits genom sammanställning av litteratur, intervjuer med andra forskare och tjänstemän i skogsbruket och några ansatser med kalkylexempel.

För att kunna utvärdera nyttan av Single Tree®-data så har vi gjort antaganden om kvaliteten i de data som metoden levererar. I ett annat projekt på Skogforsk pågår validering av Single Tree®-metoden, men detta är ännu ej avslutat varför vi i föreliggande studie antagit att Single Tree®-metoden levererar skattningar på trädslag, diameter, höjd och volym med mycket liten bias och måttligt medelfel. Förutom data på enskilda träd levererar Single Tree® även rasteryte- och beståndsmedelvärden baserade på ”Stand average”-metoden som är väl dokumenterad och används bl.a. i Norge och som ger mycket bra skattningar.

Resultat och diskussion

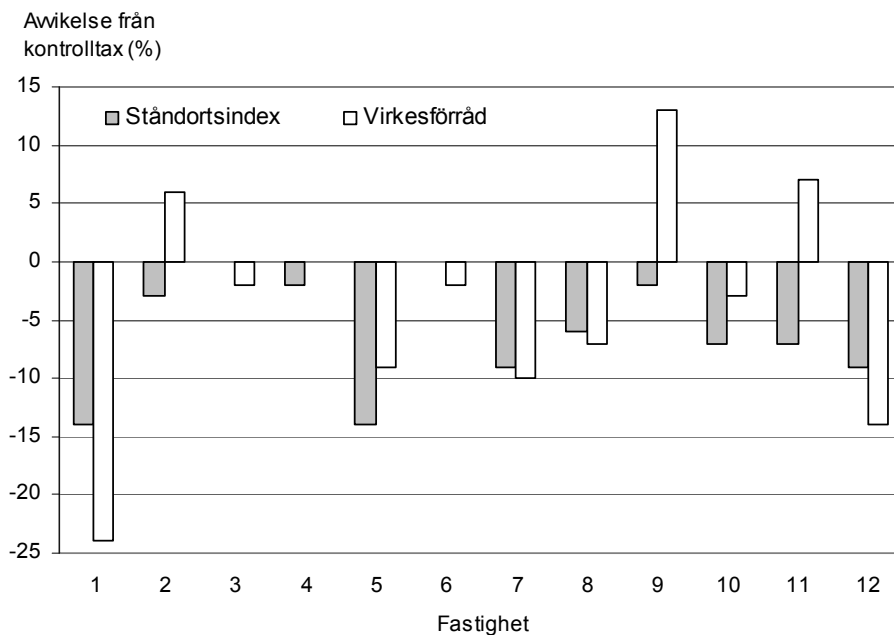
SKOGSHUSHÅLLNING

Inventering av den egna fastigheten är oftast en god investering. Som markägare är det lätt att se till kostnaden för datainsamlingen, men med ett osäkert beslutsunderlag riskerar markägaren att inte utnyttja fastighetens fulla ekonomiska potential.

Dagens beståndregister i skogsföretag och enskilda markägares planer baseras normalt på subjektiva inventeringar. På större skogsinnehav genomför man oftast en mer noggrann stickprovsinventering som ligger till grund för strategisk planering oftast med det s.k. ”Indelningspaketet”. Subjektiva skattningar är ofta behäftade med stora systematiska fel, vars storlek och riktning skiljer sig mycket mellan förrättningsmän. För skogshushållningen så utgör även data från laserscanning med ”Stand average”-metoden ett rejält lyft för tillförlitligheten i de analyser och strategier som utarbetas.

Subjektivitet och systematiska fel

Exempel på systematiska fel i beståndsregister baserade på subjektiva skattningar finns i flera studier. I samband med införandet av ”Indelningspaketet” gjordes jämförelser mellan subjektiva skattningar på 12 skogsinnehav och objektiva cirkelytetaxeringar. Innehaven var ett antal revir på Domänverket samt några mellanstora skogföretag (figur 1 från Jacobsson & Jonsson, 1989). I genomsnitt underskattas både virkesförråd och ståndortsindex. Figuren ger ändå en förskönad bild av verkligheten eftersom delar av beståndsregistren avvek betydligt mer från kontrolltaxeringen beroende på bl.a. stora systematiska fel för vissa förrättningsmän eller skogstyper som i medelvärdet jämnas ut.



Figur 1. Jämförelse mellan subjektiva data i beståndsregister och objektiv kontrolltaxering på 12 skogsinnehav.

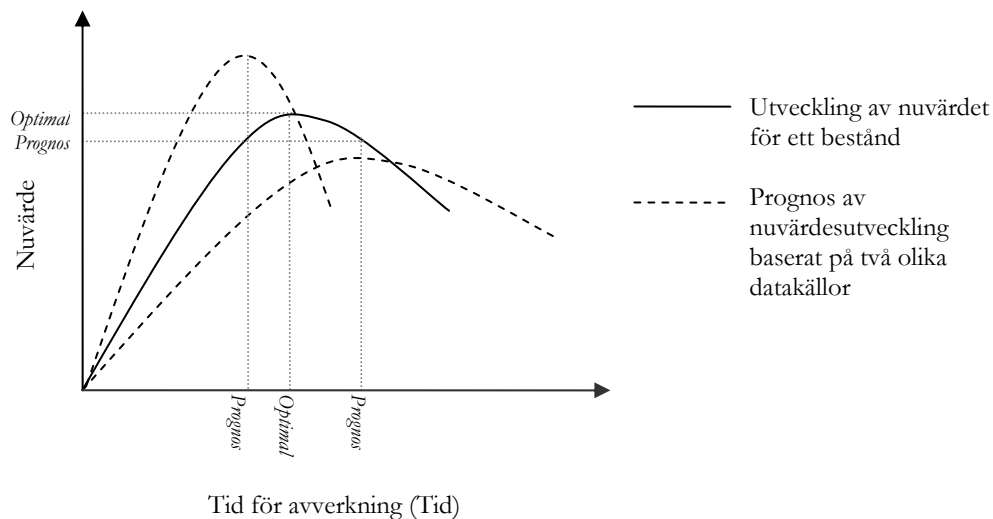
Ytterligare några exempel på jämförelser mellan subjektiva skattningar och objektiva kontrolltaxeringar kan nämnas. (Carlsson, Holmström & Kallur, 2001) studerade en fastighet med 15 avdelningar och fann att subjektiva skattningar i genomsnitt underskattade ståndortsindex med 9 % och virkesförråd med hela 28 %. Ålder skattades i genomsnitt korrekt men stora avvikelser åt båda hållen konstaterades mellan olika bestånd.

Nordbrant 2002, studerade en fastighet med 10 bestånd och fann en underskattning av ålder med 8 %, diameter 7 % och virkesförråd 2 %. Vid en optimering av nuvärden med Indelningspaketet föreslogs andra åtgärder i tre av bestånden än de som föreslagits baserat på subjektiva data. Skillnaden i nuvärde mellan optimala åtgärdsförslag och de subjektiva uppgick till 664 kr per ha om man fördelade det över alla avdelningar.

De refererade studierna ger en uppfattning om storleken på de systematiska fel som finns i subjektivt skattade beståndsdata. Systematiska fel i storleksordningen 0–20 % underskattning av virkesförråd anses i dag vara normalt vid produktion av skogsbruksplaner med subjektiva metoder. Att sådana fel ger en dålig grund för bedömning av fastighetens avkastningsmöjligheter är självklart, men hur stora är dessa förluster?

Beslutsförluster vid optimering av nuvärde

Skillnaden mellan ett teoretiskt optimalt beslut och ett beslut baserat på prognoser utifrån verkliga data benämns beslutsförlust eller in-optimalförlust (figur 2).



Figur 2. Maximalt nuvärde ($Nuvärde_{optimal}$) för ett bestånd genereras genom att avverka skogen vid rätt tidpunkt ($Tid_{optimal}$). I praktiken fattas beslut om avverkningstidpunkt ($Nuvärde_{prognos}$) utifrån prognoser av nuvärdets utveckling baserade på beståndsdata. Felkällor i data resulterar i ett lägre nuvärde ($Nuvärde_{prognos}$). Beslutsförlusten motsvarar $Nuvärde_{optimal} - Nuvärde_{prognos}$.

Värdet av bra data om skogen går således att exemplifiera genom att beräkna beslutsförluster vid olika beslutsituationer baserat på data med olika kvalitet och egenskaper. Beslutsförlusten kan sedan summeras ihop med inventeringskostnaden och värdet av olika inventeringsmetoder kan rangordnas. Nedan följer en sammanfattning av vetenskapliga publikationer under senare år som kvantifierat värdet av data i skoglig planering.

Beslutsförlusten för slumpmässigt fel i olika ingångsvariabler har kvantifierats i en norsk studie från 2000 av Eid. Fel har simulerats i data för ett antal beståndsvariabler och beslutsförlusten har beräknats. Med en ränta av 3 % och med ett slumpmässigt fel på 15 % för respektive variabel blev beslutsförlusten för grundyta 1 NOK ha⁻¹, för medelhöjd 63 NOK ha⁻¹, för ståndortsindex 210 NOK ha⁻¹ och för beståndsålder 240 NOK ha⁻¹. Ett slumpmässigt fel på samtliga variabler inom ett bestånd resulterade i en beslutsförlust på 499 NOK ha⁻¹. Studien är intressant då den sätter värde av olika beståndsvariabler och visar tydligt vilken information som är värdefull med dagens beslutssystem vid långsikt skoglig planering. Eftersom scenarioanalysen är beroende av att göra bra prognoser är variabler som beskriver trädens tillväxt viktig. Alla variabler finns inte tillgängliga från flygburen laser men hög noggrannhet på trädhöjd är en fördel i prognosen och skapar bra förutsättningar för kompletterande mätning i fält av ålder och övrehöjdsträd. Studien visar också att minimera risken för skattningsfel i ett par variabler bör ha en ekonomiskt värde eftersom fel i flera variabler leder till stora beslutsförluster.

I en undersökning publicerad 2006 utvärderade Holopainen och Talvitie data för ett antal simulerade datafångstmetoder. Studien baseras på data från Helsingfors stadspark, ett 700 hektar stort område med förhållandevis gammal skog. Simuleringarna baserades på den förväntade medelavvikelsen för ett antal beståndsvariabler för respektive datafångstmetod. Resultatet av studien är att fältinventering, 3D digitala flygbilder och flygburen laser ger en betydligt lägre beslutsförlust än 2D digitala flygbilder. Beslutsförlusten för de bättre metoderna är strax under € 400 ha⁻¹ och för 2D över € 1 000 ha⁻¹ vid en ränta på 3 %. Inventeringskostnaden blir i sammanhanget låg men summerat blir då fältinventering mest lönsamma metod. Holopainen har räknat på en inventeringskostnad på € 18 ha⁻¹ för laser och € 8 ha⁻¹ för fältinventering eftersom området är litet. Det konstateras dock att för större områden att blir fjärranalys och flygburen laser desto mer intressant.

Eid och Holopainens studier baseras på simulerade data, studier finns som också utvärderar riktiga data från olika datafångstmetoder. I ett par av dessa ingår också laserbaserade datafångstmetoder.

I en studie av Eid m.fl. från 2004 utvärderas värdet av data från beståndsvis inventering. En nuvärdesoptimerande planering gjordes för två områden indelat i 77 avdelningar baserat på inventeringsdata från flygbilder respektive flygburen laser (1 puls m⁻²). En fältbaserad inventering fungerade som referens. Kostnaderna för inventering och beslutsförlusten summerades ihop till en total beslutsförlust. Resultat från de två områdena presenteras i tabell 1.

Tabell 1.

Kostnaderna (€ ha⁻¹) för inventering och beslutsförlust (nuvärde) summerat för de två norska områdena vid en ränta på 3 %.

	Våler		Krødsherad	
	Flygbild	Laser	Flygbild	Laser
Inventeringskostnad	5,5	11,4	5,5	11,4
Beslutsförlust	50,9	13,4	46,3	13,3
Total beslutsförlust	56,4	24,8	51,8	24,7

Resultatet ger en tydlig skillnad mellan de två inventeringsmetoderna som tydligt favoriserar laserdata. Siffrorna ger ett exempel på hur stora skillnaderna kan vara mellan data av olika noggrannhet och kan inte användas för att generellt kvantifiera nyttan. Sedan studien gjordes har kostnaderna för inventering förändrats, t.ex. har kostnaderna för laser nära halverats samtidigt som upplösningen har förbättrats. Oavsett kostnaderna för inventering ger bättre data ett högre nuvärde, skillnaden i båda fallen överstiger € 30 ha⁻¹.

I en liknande svensk studie från 2007 av Duvemo m.fl. utvärderas laser- och satellitdata som bärardata för skattningar av enskilda träd med imputering. Baserat på beståndsdata från fjärranalys skattas en lista med träd för varje enskilt bestånd. Data för drygt 60 bestånd baserat på fjärranalys används för beräkningar i Indelningspaketet. Nuvärdet för varje enskilt bestånd optimerades och beslutsförlusten redovisas i tabell 2. I studien har upprepningar gjorts på fältinventerat data medan fjärranalys endast har utvärderats på ett unikt set av data.

Tabell 2.

Beslutsförlust (SEK ha⁻¹) för respektive datafångstmetod och vid två olika räntor.

Metod	Ränta	
	2 %	4 %
IPAK 10 provytor	86	18
IPAK 5 provytor	133	33
Imputering Laser + SPOT	769	346
Imputering Laser	1 028	756
Imputering SPOT	1 850	1 925

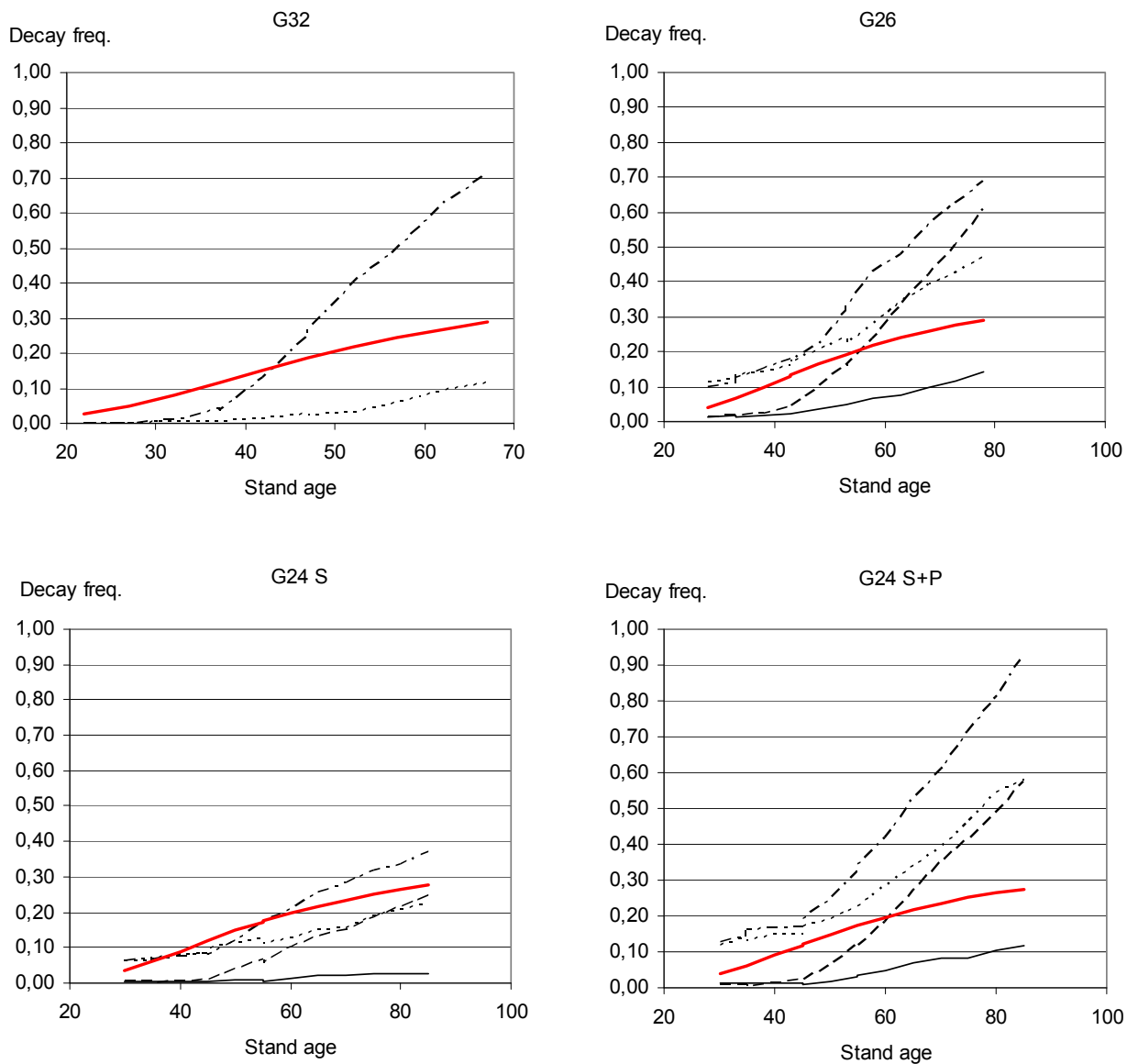
Högre noggrannhet i data skapar bättre beslutsunderlag och hjälper markägaren att få ut mer från sin fastighet. Utvärderingen visar att data från objektiv inventering enligt indelningspaketets principer ger lägst beslutsförlust, bland fjärranalysmetoderna är det en kombination av laser- och satellitdata som ger den lägsta beslutsförlusten. Även sett till kostnaderna är en kombination av laser- och satellitdata mest effektiv bland fjärranalysmetoderna. Till skillnad från de andra studierna ställer Indelningspaketet högre krav på indata med information om enskilda träd. Ett problem i analyserna var en för stor spridning på provytorna som lyftes in i varje bestånd, det var till exempel svårt att få trädslagsrena bestånd. Det är möjligt att högre upplösning på laserdata som möjliggjorde direkta skattningar av data för enskilda träd skulle prestera bättre i en motsvarande analys. Utifrån resultatet i studien kan vi konstatera att det finns stor potential att minska beslutsförlusten samtidigt som kostnader jämfört med objektiv provyteinventering redan är konkurrenskraftig. En slutsats i studien var också att den största potentialen finns i att förbättra metoden snarare än att minska kostnaden.

Det är svårt med stöd i forskningen att sätta ett belopp på hur mycket markägaren tjänar på bättre data. Tydligt är dock att markägaren tjänar på bättre data. Exakta beloppen varierar beroende på beståndens ålder (tid till nästa åtgärd), storlek och ränteläge. Ingen av studierna utvärderar laserdata med samma höga upplösning som FORAN Single Tree® då alla baseras på beståndsdata. Med data på enskilda träd finns också möjlighet till mer ingående prognoser. Strategier för gallring kan utvärderas och likaså prognoser av virkets egenskaper och värde möjliggörs. Baserat på resultatet från studierna, trots att dessa bara ger exempel, finns en kostandsmarginal för markägaren att samla in data med god kvalitet på ett par 100-lappar per hektar räknat för en hela skogsmarken. Det är tydligt att noggrannare data ger bättre beslutsunderlag som bättre tar till vara den ekonomiska potentialen på en fastighet. Vid varje beslut växer den samlade beslutsförlusten, ett felaktigt beslut i ett bestånd kan aldrig kompenseras av ett optimalt beslut i ett annat.

Planering för mindre rotröta

Rotröta är vanligt förekommande i hela Sverige. Den vanligaste skadegöraren är rottickan. Rötan orsakar värdeförluster genom att potentiellt grantimmer blir nedklassat till massaved eller brännved, att yngre och medelålders tallar angrips och dör. Dessutom innebär svampangreppen att rotsystemen blir försvagade, vilket ökar risken för stormfällning och minskar tillväxten på angripna träd. Svampen sprids via sporer som angriper färsk blottlagd ved (framför allt färska stubbytor) och vegetativt genom rotkontakter.

Rötan sprider sig i rotsystem och stammar, d.v.s. både horisontellt och vertikalt. I ett kraftigt angripet bestånd kan värdetillväxten t.o.m. vara negativ. Kännedom om rötfrekvensen i ett bestånd är värdefull kunskap. Det säkraste sättet att skatta rötfrekvensen är att inventera, t.ex. genom att studera gallringsstubbar eller att använda detektionsinstrument (Rotfinder). Det går också att använda sig av sannolikhetsfunktioner för rötfrekvens i gran. Dessa funktioner bygger på ca 50 000 granprovträd från Riksskogstaxeringen. Vid rangordning av slutavverkningsbestånd kan sannolikheten för rotröta vara en viktig del av beslutsunderlaget. Nedanstående figur visar rötutveckling (andel träd med rotröta i stubbhöjd) i några olika beståndstyper och olika skötselalternativ. Som synes kan spridningshastigheten variera påtagligt. De röda linjerna visar utfallet av sannolikhetsfunktionerna i respektive beståndstyp.



Figur 3.
Utveckling av rotrot i olika bestånd.

Fördelar med pulsintensiv laserscanning vid planering för mindre rotrot

Den främsta fördelen ligger i en förbättrad noggrannhet och upplösning av data. Flera av de viktigaste ingångsvariablerna i rotfunktionerna, t.ex. diameter och granandel fångas med god precision. Övriga variabler kan erhållas på annat sätt.

I kombination med markbunden inventering bör detta kunna hjälpa till att prioritera mer rotangripna bestånd, där rotan dessutom sprider sig snabbare, vid val av slutavverkningsobjekt. Kännedom om rotfrekvens kan även vara ett bra underlag för beslut om t.ex. gallringsprogram.

VÄRDERING VID FÖRSÄLJNING

Vid försäljning av rotstående skog och hela fastigheter är korrekta uppgifter om skogstillståndet av högsta vikt. God kunskap om det man säljer eller köper är av stor betydelse både för säljare och köpare. Vid köp av rotstående skog kan köparen ha nytta av högupplösta data inte bara för att värdera beståndet utan även för att via utbytesberäkningar eller apteringssimulering bättre kunna planera drivning och vidaretransport. Denna information borde rimligtvis öka köparens betalningsförmåga något.

En icke obetydlig del av Sveriges skogsägare bedömer att de får ett högre pris vid försäljning av rotstående skog om de investerat i en totalstämpling av beståndet. Den information om beståndet som Single Tree® levererar uppfyller i princip samma krav som en stämplingslängd och skulle kunna ersätta totalstämpling. Kostnaden för totalstämpling utgör därför en skattning av vad Single Tree®-data är värt vid rotpostförsäljning. Enligt uppgifter från Skogsstyrelsen var kostnaden för totalstämpling 4–12 kr/m³sk under 2006 med 7:50 kr som medelvärde. Med en medelvolym om 205 m³sk/ha motsvarar detta ett värde av ca 1 500 kr/ha för den information som stämplingslängden ger.

På samma sätt borde tillförlitliga data vara värdefullt vid försäljning av hela skogsfastigheter. I dag värderas de flesta fastigheter utifrån en skogsbruksplan baserad på subjektiva skattningar som vi vet är behäftade med systematiska fel, oftast underskattningar. Huruvida kännedomen om svagheter i subjektivt skattade data redan är inräknade i marknadspriset på fastigheter går ej att säga. Tillförlitlig information om fastigheten ökar dock möjligheten för en köpare att lägga ett korrekt bud medan bristfälliga data torde få anbudsgivarna att vara återhållsamma och i genomsnitt lägga lägre bud av försiktighetsskäl.

SKOGSBRÄNSLE

Data på enskilda träd möjliggör prognoser av biobränsle baserat på befintlig beräkningsmodeller av exempelvis Marklund eller Repola. Prognoser på GROT baseras på indata av trädslag, höjd och DBH medan biomassa för stubbar baseras på trädslag och DBH. Noggrannheten för ett enskilda träd är låg men aggregerat för ett helt bestånd bör prognoserna bli tillförlitliga. Dessa data kompletterar bestandsregistret med ytterligare ett sortiment och gör den ekonomiska kalkylen än mer komplett inför beslut om avverkning. Prognoser av biobränsle kan användas som underlag i planering och prioritering av val av bestånd för avverkning. I dagsläget måste skogsbruket förlita sig på allmän bestandsdata för att subjektivt skatta möjligt biobränsleuttag vilket leder till generella urvalskriterier vid val av bestånd. Med bättre data kan exempelvis GROT-rika tallbestånd väljas ut i stället för GROT-fattiga granbestånd. Vilken ekonomisk vinst ett bättre dataunderlag kan tillföra är dock okänt. Vidare kan även utveckling av nya beräkningsmodeller för GROT vara intressant att testa. Två viktiga variabler för att skatta grenars volym är trädhöjd och kronandel vilka också mäts direkt i laserdata.

PLANERING AV SKOGSVÅRD

Planering av motormanuell röjning

Vid planering av röjning tas normalt följande steg:

- Bedömning av vilka delar av skogsinnehavet (bestånd) som kan vara i behov av röjning. Detta görs vanligtvis genom en studie av skogsbruksplan, indelningsregister eller motsvarande. Studien kan också kombineras med analyser av satellitbilder där lövrika bestånd kan identifieras.
- Besiktning av bestånden varvid beslut tas om hur stor del av bestånden (0–100 %) som skall röjas samt vid behov markering av de delar som skall röjas. Bedömning av när (år och årstid) röjningen skall utföras görs vanligtvis också. Besiktningarna och bedömningarna görs endera från mark, helikopter eller genom en kombination av dessa metoder.
- Beräkning av resursbehovet för röjningen. För att göra detta utförs mätningar i bestånden av bl.a. stamantal/ha, medeldiameter och medelhöjd. Vidare görs en bedömning av terrängförhållandena.

Fördelar vid planering av motormanuell röjning

Ekonomiska

Hur stor den ekonomiska vinsten blir med pulsintensiv laserscanning påverkas av en mängd faktorer t.ex.

- Kvaliteten på befintlig beståndsbeskrivning i skogsbruksplan, indelningsregister eller motsvarande. En dålig beståndsbeskrivning kan medföra många onödiga besiktningar av bestånd eller att nödvändiga besiktningar inte utförs.
- Arrondering. Långa avstånd mellan presumtiva röjningsobjekt ger höga planeringskostnader.
- Röjningsbeståndens täthet. Bestånd med många stammar/ha ger högre planeringskostnader än glesa bestånd.
- Kvaliteten på befintligt kartmaterial. Digitala kartor och användning av GPS minskar planeringskostnaderna.

En viss uppfattning om den ekonomiska potentialen för användning av pulsintensiv laserscanning i röjningsplanläggning kan dock fås när vi vet att:

- Varje hektar som kan undantas från röjning innebär en kostnadsbesparing på 2 000–2 500 kr.
- Helikopterbesiktning av röjning kan kosta 15–30 kr/ha (stort välarronderat markinnehav).
- Manuell röjningsplanering med avgränsning och beskrivning av de delar som skall röjas kostar ca 50–100 kr/ha.

Frigörande av personalresurser

Huvuddelen av skogsvårdsarbetet i Sverige utförs under barmarksperioden. Under denna period är tillgången på personal en trång sektor. Om ovanstående planering kan utföras helt eller delvis med laserscanning innebär det en fördel eftersom den personal som normalt utför röjningsplanläggningen kan användas för andra viktiga arbetsuppgifter.

Påskynda införandet av GIS och GPS vid röjning

Införandet av handdatorer, digitala kartor och GPS i röjning beräknas minska röjningskostnaderna med 50–100 kr/ha. Om resultaten från den pulsintensiva laserscanningen presenteras på digitala kartor som lätt kan överföras till röjarnas handdatorer kan detta påskynda införandet av GIS och GPS i röjning.

Planering av mekaniserad röjning

I dag är motormanuell röjning den klart dominerande metoden vid ungskogs-röjning. Många tecken tyder dock på att mekaniserad röjning kommer att utvecklas och bli en metod som används i vissa beståndstyper. Teoretiska beräkningar och praktiska försök har visat att mekaniserade metoder är konkurrenskraftigast i stamrika bestånd.

Vid införandet av mekaniserad röjning bör pulsintensiv laserscanning kunna användas för:

- Identifikation av stamrika bestånd. I dag görs detta genom besiktning av röjningsbestånd från mark (eller helikopter).
- Delar av detaljplanläggning och planering av körstråk (ytstruktur och lutning) Bärighet är dock ett problem. Sannolikt bör därför terrängmodellen kompletteras med andra data som kan ge mer information om markens bärighet.

Fördelar vid planering av mekaniserad röjning

Ekonomiska

Hur stor den ekonomiska vinsten blir med pulsintensiv laserscanning påverkas av en mängd faktorer (se ovan). En viss uppfattning om den ekonomiska potentialen för användning av pulsintensiv laserscanning vid planering av mekaniserad röjning bör dock nedanstående bedömningar ge.

- Identifikation av stamrika bestånd: Manuellt ca 15–30 kr/inventerad ha, helikopter 10–20 kr/inventerad ha. (Priset per identifierad ha blir högre eftersom alla inventerade ha inte skall röjas med mekaniserad metod).
- Kostnaden för manuell detaljplanläggning är inte undersökt för mekaniserad röjning på senare tid. Bedömningen hamnar på storleksordningen 20–30 kr/ha.

Frigörande av personalresurser

Se motorman röjning ovan.

Kontrolltaxering av utförda röjningar

I ”röjningsbranschen” är följande rutin vanligt förekommande. De som röjer lämnar efter utförd röjning en rapport till markägaren där de beskriver det röjda beståndet (kvarvarande st/ha, trädslagsblandning, medelhöjd medeldiameter etc.). Vissa markägaren utför sedan stickprovskontroller för att se att de uppgifter han/hon fått stämmer.

Fördelar vid kontrolltaxering av utförd röjning

Att vandra runt i tidigare röjda bestånd är det tids- och kostnadskrävande men totalkostnaden för kontrolltaxeringen påverkas kraftigt av stickprovsstorleken.

Planering av markberedning

En detaljerad terrängmodell kan vara till hjälp för att planera markberedningen. Att lokalisera lutningar som begränsar körslagsriktning är värdefullt. Ytstrukturen kompletterad med information om antal och storlek på stubbar är en viktig variabel för att uppskatta körhastigheten och därmed tidsåtgång per objekt. Ojämn ytstruktur sänker körhastigheten drastiskt. Ytstruktur har även betydelse för vilken markberedningsmetod man väljer och därmed vilken typ av maskin som skall användas.

OPERATIV PLANERING

Traktplanering

Traktplaneringen syftar till att identifiera och kartlägga avverkningstrakter och har en viktig roll i virkesförsörjningsprocessen. Då fattas beslut om hur trakten skall avverkas, om avverkningen skall följa befintliga beståndsgränser eller om nya skall definieras, om speciell hänsyn skall tas till exempelvis naturvårdsområden och kultur- och fornlämningar etc. Resultatet från traktplaneringen utgör underlag till planering av drivningsarbetet.

Kostnaden för traktplanering kan grovt skattas till ca 3–5 kr per avverkad m³fub. Det innebär att planeringens sammanlagda kostnad är ca 186–310 miljoner kr per år (med en avverkad volym på 62 miljoner m³fub). Det kan jämföras med kostnaden för avverkning som är ca 78 kr/m³fub (slutavverkning) och 142 kr/m³fub (gallring).

Med tillförlitliga uppgifter om bestånden kan planeringsarbetet rationaliseras med uppskattningsvis 20–30 % genom effektivare planering på kontoret och minskad tidsåtgång i fält. Besluten kan fattas på kontoret och en stor del av fältarbetet innebär i stället att kontrollera och fastställa besluten.

En större del av planeringsarbetet kan förläggas till vintersäsongen, vilket leder till bättre utnyttjande av barmarkssäsongen.

Identifiering och prioritering av avverkningsobjekt

Informationen i bestandsregistret ligger till grund för vilka bestånd som är tänkbara att avverka och således föremål för traktplanering. Tillförlitlig information medför dels att rutiner för att hitta avverkningsmogna bestånd förbättras, vilket leder till färre ”onödiga” fältbesök, dels att bestånden blir avverkade i rätt tid med avseende på nuvärdet.

Prioritering av avverkningsobjekt, som görs bl.a. utifrån stamantal och medelstamstorlek, blir också effektivare genom att tiden för fältbesök reduceras.

Val av avverkningsmetod

I samband med traktplaneringen bestäms bl.a. avverkningsmetod för respektive objekt. Högre precision i bestandsdata ger mer träffsäkra val och därmed bättre skötsel av skogen.

Utbytesberäkning vid förändrade avverkningsgränser

I samband med såväl traktplanering som drivning händer det att bestandsgränser ändras så att den avverkade arealen inte stämmer överrens med arealuppgiften i bestandsregistret. Följden blir att mängden virke som förväntas falla ut antingen överskattas eller underskattas, något som påverkar planeringen i den fortsatta virkesförsörjningskedjan. Med Single Tree®-data är det möjligt att utifrån nya gränsdragningar beräkna rätt mängd virke som kommer att falla ut vid avverkning. En tidig indikation på hur väl försörjningsplanerna kommer att följas underlättar och förbättrar planeringsarbetet och de negativa effekterna längre ner i försörjningskedjan kan minimeras.

Kostnaden för rundvirkestransporter uppgår till omkring 4 miljarder kronor per år för svensk skogsnäring. Även små detaljer som kan effektivisera virkesflödet har stor betydelse.

På större trakter är det svårt att bedöma hur utfallet fördelar sig över tiden då man inte vet hur trädslag och medelstam fördelar sig över ytan. Med detaljerad bestandsdata och kunskap om var skördaren börjar kan utfallet prognostiseras, vilket har betydelse för planeringen av vidaretransporten.

Skyddsdikning

I traktplaneringen kan även ingå att förbereda för skyddsdikning. En detaljerad terrängmodell kan utgöra grund för beslut om skyddsdikning skall genomföras och i så fall hur dikena skall planeras, något som skulle reducera tidsåtgången för arbetet i fält. Lutningsbedömning är generellt en svår uppgift i fält och därför bör terrängmodellen kunna ge värdefull information.

Förröjning

I traktplaneringen är kontroll av förröjningsbehovet en viktig parameter. Genom att förröja framför allt förstagallringar med högt stamantal blir avverkad medelstam högre och avverkningskostnaden lägre. Skillnaden i netto för skogsägaren (intäkter minus kostnader för röjning och avverkning) kan vara så hög

som 20 % mellan ett förröjt och ett icke förröjt bestånd. Om behovet kan identifieras med hjälp av laserdata kan tiden för fältplaneringen reduceras samtidigt som risken för att skicka maskingrupper till objekt som inte är lämpliga att avverka utan förröjning minimeras. Dessutom, vid beställning av eventuellt röjningsuppdrag är det en stor fördel att kunna beskriva vilka delar av trakten röjningen omfattar.

Underlag för virkesbyten

Potentialen för lägre transportkostnader genom virkesbyten mellan företag har i flera studier visat sig vara påtaglig, inte minst när det gäller timmersortiment. En studie i södra Sverige visade på en potential om 9 % lägre transportkostnad eller 6 kr/m³fub. Cirka 70 % av potentialen härstammade från timmersortiment. En förutsättning för byten av timmer är att råvaran är väl beskriven och att volymuppgifterna är korrekta. Single Tree®-data med hög precision skulle kunna vara en möjlighet att enklare ta tillvara potentialen. Framför allt skulle byte av rotstående skog underlättas och därmed kunna leda till effektivare utnyttjande av avverkningsmaskiner.

Operativ drivningsplanering

Den operativa planeringen syftar till att bestämma i vilken ordning planerade trakter skall avverkas, vilka maskiner som skall användas var och vilket avverkningsdirektiv som skall användas och i vilken trakt. Planeringen är beroende av information om varje enskild trakt och ju bättre den är desto bättre kan planeringen göras.

Turordningsplanering

Turordningsplaneringen, d.v.s. detaljplaneringen för i vilken ordning objekten skall avverkas samt vilken drivningsenhet (maskingrupp) som skall användas på vilket objekt, påverkas förutom av industrins efterfrågan och yttre faktorer som väderlek och vägförhållanden också av det förväntade utfallet från de avverkade trakterna. Ett problem vid turordningsplanering i dag är bristande kvalitet i underlaget för utbytes- och prestationsberäkningar. Mycket planeringstid läggs på att pussla ihop drivningsarbetet för de aktuella drivningsenheterna och samtidigt se till att få fram de volymer som ligger i industribeställningarna. När utfallet inte blir som planerat måste drivningsenheter omdirigeras, ibland med onödiga flyttkostnader som följd. Kostnaden för att flytta en maskin med trailerdragare beror bl.a. på avståndet men uppskattad till omkring 3 000 kr.

Ett sätt att motverka osäkerheten i utfallsberäkningarna är att bygga upp ett säkerhetslager vid bilväg, något som dock innebär kostnader för bundet kapital och kvalitetsförluster. Kostnaderna för lagring varierar starkt beroende på sortiment och tidpunkt på året men uppskattas till ca 0,25 kr per m³ och dygn. Med bättre precision i indata till utbytesberäkningarna skulle lagernivåerna kunna reduceras.

Turordningsplanering med optimering

Skogforsk har tidigare påvisat möjligheten att använda optimeringsmodeller för effektivare turordningsplanering. Modellerna bygger till stor del på det beräknade utbytet som matchas mot ett förväntat industribehov givet alla maskingrupper kapacitet och prestation på de olika objekten. Tester har visat att man med optimering kan skapa realistiska körscheman för avverkningslagen om tillförlitlig information finns tillgänglig. Det skapar förutsättningar att placera rätt maskin i rätt objekt vid rätt tidpunkt och därmed minimerar man kostnader för exempelvis resor till och från objekten och inoptimalförluster för fel maskinval. Att sätta in ”fel” maskin med avseende på lämplig medelstam kan ge en fördyrad avverkning med flera kronor per kubikmeter.

Genom att optimera turordningen kan tiden för planeringsarbetet reduceras, oförutsedd omplanering kan minimeras och maskingrupperna kan utnyttjas mer effektivt och därmed höja maskinernas utnyttjandegrad.

Hög precision i beståndsinformationen är en förutsättning för att använda optimeringsmodeller till turordningsplanering i praktisk drift.

Maskinförarens körplanering

Ytterligare en del i planeringen inför avverkning är den detaljerade drivningsplanering som maskinförare gör för att bestämma bas- och stickvägar. Tidsåtgång för denna typ av planering varierar stort mellan såväl maskinförare som objekt. Vissa objekt är enklare och kräver i princip ingen förplanering, medan andra objekt där variationen är stor (både mark och beståndsegenskaper) kräver mer planering för att drivningen skall bli effektiv. Bra kartunderlag med terrängmodell och detaljerad beståndsinformation ger möjlighet att i förväg planera körningen och därmed effektivisera drivningsarbetet då mindre tid går åt för planering.

Effektiv ruttplanering av skördarens arbete banar också väg för smartare skotningsarbete. Terrängtransporten står för halva skotningstiden och är en viktig del i skillnaden i produktivitet mellan förare. Med bra data om trakten kan skördarföraren anpassa körningen så att skotningsarbetet kan optimeras och utnyttjandegraden maximeras. Det gäller exempelvis när skördare och skotare arbetar samtidigt på samma trakt och skotaren riskerar onödig ställtid för att skördaren inte har tillräckligt hög produktion.

Stödfunktioner för maskinförarna blir allt viktigare i takt med att fler oerfarna förare tas in i produktionen samt att maskingrupper i större omfattning ökar sin aktionsradie och kör på okända marker. Med effektiva beslutsstöd som utnyttjar laserdata kan inlärningsprocesser kortas och produktiviteten bibehållas.

Löpande beräkning av gallringsuttag

I gallring är grundyteuttaget en avgörande parameter för det kvarvarande beståndets fortsatta produktion. Om man inför avverkning har bättre kontroll på grundytan och hur den fördelar sig inom beståndet går det att tillsammans med skördardata löpande beräkna grundyteuttaget i beståndet. En automatisk beräkning av grundyteuttaget minimerar tiden för manuella kontroller och kan därmed öka produktiviteten i avverkningen samtidigt som kvaliteten på gallringsarbetet blir bättre.

PLANERING FÖR DRIVNING

Planering/optimering av maskinresurser

I drivningsplaneringen fastställs vilka objekt som skall avverkas under den kommande perioden och beslut tas om vilka drivningsresurser som skall användas, baserat på bl. a. uppgifter om medelstam. Beroende på avverkningsform och medelstamvoly m matchas sedan maskinresurserna med avverkningsobjekten.

I drivningsplaneringen ingår någon form av taxering av avverkningsobjektet samt beräkning av resursbehovet för avverkningen. För att göra detta utförs mätningar i bestånden av bl.a. stamantal/ha, medeldiameter och medelhöjd. Vidare görs en bedömning av terrängförhållandena.

Optimering

Den främsta fördelen med laserscanning innebär en förbättrad noggrannhet. Detta möjliggör en optimeringsansats i drivningsplaneringen. Tidigare analyser visar att optimering av maskinvalet kan sänka drivningskostnaden med ca 5 %. Hur stor kostnadssänkningen blir på olika drivningsområden eller motsvarande beror på hur pass väl maskinparken är anpassad för aktuell traktbank. Med mer noggrann och exakt information om trakterna finns det möjlighet att spara ytterligare några procent.

Maskinparken i skogsbolag kan planeras mera långsiktigt då osäkerheten i taxeringen minskas avsevärt. Frågeställning vid maskinresurs-optimering:

- Hur bör den framtida maskinparken se ut med avseende på traktbanken?
- Vilka maskintyper är effektivast vid aktuell ”traktbank”?
- Vilken struktur bör maskinparken ha?
- Optimala stationeringsorter och aktionsradier?
- Kan sysselsättningsgraden höjas.

Frigörande av personalresurser

Huvuddelen av taxeringsarbetet utförs under barmarksperioden. Under denna period är tillgången på personal en trång sektor. Om ovanstående planering kan utföras helt eller delvis med laserscanning innebär det en fördel eftersom den personal som normalt utför drivningsplanering kan användas för andra viktiga arbetsuppgifter.

VÄGPROJEKTERING

Betydelsen av en högupplöst digital terrängmodell för vägprojektering varierar, bl.a. beroende på lokala topografiska förutsättningar. I starkt kuperade områden och i områden med varierande terräng är betydelsen större än i områden som är flacka och homogena. Effekten av en bra digital terrängmodell varierar således både mellan och inom företag.

Kostnaden för vägar i skogsbruket uppskattas till omkring 12 kr per avverkad kubikmeter och med en årlig avverkning på 62 miljoner m³ub blir den totala kostnaden för vägar nära 750 miljoner kr 2006 byggdes omkring 1 600 km nya skogsbilvägar.

Vid nybyggnation av skogsbilvägar och i synnerhet i planeringsstadiet är områdets topografi en viktig parameter där terrängens beskaffenhet, t.ex. lutning, har stor betydelse för var vägen skall dras. De data som normalt finns tillgängliga för projektering har inte den detaljnivå som krävs för att göra tillräckligt bra planering på kontoret. Den digitala terrängmodellen och höjdkurvor med 1 meters ekvidistans gör det möjligt att detaljplanera vägsträckning redan på kontoret. Dessutom får man ett bra underlag för att beräkna materialåtgång och identifiera lägen för vägtrummor.

Med bättre data går det att göra detaljerade profilritningar av planerade vägar, något som också är intressant i samband med planering av upprustning av befintliga vägar.

Uppskattningsvis kan tiden för planering i fält halveras. Det innebär t.ex. att planering i fält av 1,5 km väg kan göras på en dag i stället för som i dag på två dagar.

Vid projekteringen vägar är avrinningsmodeller viktiga för att identifiera hur vägen påverkar och påverkas av vattenflöden och var det kan finnas behov av vägtrummor. En detaljerad terrängmodell ger möjlighet att skapa dessa avrinningsmodeller. Då bör det även finnas möjlighet att dimensionera vägtrummor utifrån dessa data, något som ibland kan vara svårt och oftast grundar sig på erfarenheter och fältbesök.

Terrängmodellen kan, rätt använd, underlätta och effektivisera vägprojekteringsarbetet samtidigt som kvaliteten på arbetet förbättras och vägar som byggs blir billigare och mer anpassade till terräng och befintliga bestånd. Den detaljerade informationen ger ett mycket bra underlag i samband med anbudsupphandling.

Det normala underlaget för båtnadsberäkningar är i dag ett beståndsregister med information om trädslag och volym per bestånd. Tyvärr saknas information om hur volymen är fördelad inom beståndet, något som kan ha betydelse för hur en väg till och inom ett bestånd skall dras. Genom att ha tillgång till Single Tree®-data där planeraren kan se hur volymerna fördelar sig inom beståndet kan vägdragningen bli mer korrekt med tanke på att terrängtransportavstånd skall minimeras. En felaktigt dragen väg ger dyrare skotning än om vägen anpassats till beståndets spatiala volymfördelning.

För båtnadsberäkningen innebär Single Tree®-data dessutom att planeraren får en bättre skattning av hur mycket pengar (virkesvolym) som väginvesteringen skall mätas emot. En dålig skattning av virkesvolymen kan ge felaktiga och dyra väginvesteringar.

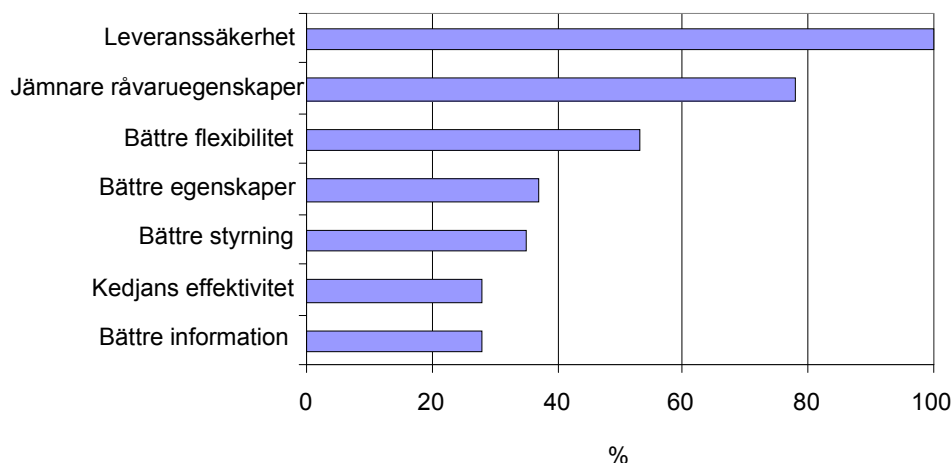
För att kunna utnyttja laserdata maximalt i vägprojekteringen krävs att användaren har tillgång till enkel och effektiv programvara som kan visualisera data och göra beräkningar. Det handlar exempelvis om:

- Lutningskartor.
- 3D-simulering genom skuggläggning.
- Profilirning av såväl nya som befintliga vägar.
- Avrinningsmodeller.
- Etc.

KUNDNYTTAN AV BÄTTRE INFORMATION OM SKOGEN

Introduktion – kundnytta och kundkrav

I det här kapitlet behandlar vi kundnyttan av information om den stående skogen. Rätt information är en bland flera viktiga grunder för att skogsbruket skall kunna möta industrikundernas högst prioriterade krav, d.v.s. leveranssäkerhet, jämnare råvaruegenskaper och flexibilitet (figur 4). Leveranssäkerhet och jämna råvaruegenskaper både i tiden och upplöst på sortiment och dimensioner kan dock betyda ganska olika krav beroende på kund. Kraven på virkesflödet per tidsenhet kan variera från total volym barrsågtimmer, volym per trädslag, volym inom trädslag och diameterklasser, volym inom trädslag diameter- och längdklass, och fördelning på kvalitetsklasser, stocktyper etc. Beroende på försäljnings- och lagerstrategier, tillgång på alternativa virkesleveranser och produktionsprocesser varierar tidsenheten för flödeskraven, t.ex. mellan rätt specifikation per kvartal ner till rätt specifikation per vecka.



Figur 4.
Rangordning av olika områden för bättre kundanpassning enligt intervjuer med företrädare för massindustrier, sågverk, skogsbolag och skogsägareföreningar (Forsberg, 2003).

Utbytesberäkningar

Tillförlitlig information om trädslag, diameter, höjd, kronstorlekar och åldrar, samt eventuellt även position för enskilda träd ger förutsättningar för träffsäkra utbytesberäkningar med prognoser för sortiment, dimensioner och andra egenskaper (Wilhelmsson et al., 2002; Moberg & Nordmark, 2006; Moberg m.fl., 2006). Dessutom behövs en prognos för frekvensen nedklassning av timmer per trädslag till massaved eller bränsle, granmassaved till barrmassaved, respektive barrmassaved till bränsle på grund av skador och fel, s.k. ”stamfelsesved”. Den spatiala variation i höjd och diameter inom respektive mellan trädslag, inom objekt, stamantal och trädslagsfördelningar kan troligen utnyttjas för förbättrade prognoser av frekvensen stamfelsesved, men här behövs ytterligare FoU-insatser. Dock kan t.ex. förväntad andel granar med rotröta beräknas med lite högre noggrannhet om andelen gran, granarnas diametrar och åldrar, samt markens textur är kända (Thor et al., 2005).

Tillförlitliga utbytesberäkningar ger bättre förutsättningar att selektera och destillera råvara från varje objekt med syftet att löpande kunna uppfylla olika leveransorder. Utan tillförlitlig information om träden på de avverkningsbara objekten kan beräkningen av flödet bara baseras på statistik och erfarenhetstal. Vid låga krav på specifika egenskaper och acceptans för långa tidsperioder för att uppfylla volymkraven kan statistisk flödeskontroll eventuellt ge tillräcklig noggrannhet. I sådana fall blir kundnyttan av bättre information före avverkning mer begränsad och koncentrerad till den kostnadsbesparing som kan uppnås genom effektivare drivning och logistik. En sedan länge ökande andel trävaruproducenter ställer krav och önskemål på timrets fördelning på diameter och längdklasser, men intresset ökar även för andra egenskaper som t.ex. kviststruktur, hållfasthet, kärnvedsandel och formstabilitet.

Styrning, flödeskontroll och integration industri-skog

Utvecklade styr- och kommunikationssystem för avverkningsmaskiner med produktionsrapportering till industri har stor potential att förbättra flödeskontroll och integration industri-skogen. Bättre information om aktuella avverkningsobjekt ger förutsättningar att öka flödeskontrollen ytterligare. Det bör dock understrykas att kundens perspektiv är fokuserat på att flödet uppfyller leveanskraven, inte att de enskilda objekten gör det. Vidare är det flera faktorer, som t.ex. objektens tillgänglighet och kostnader för drivning och transporter som skall vägas samman med möjligheterna och betydelsen av att kunna uppfylla mer långtgående leveranskrav. Med dålig information om skogsråvaran, men bättre kontroll och fokus på kostnaderna för drivning och transporter finns det en uppenbar risk att skogsbruket lägger för liten vikt vid möjligheterna att utveckla kundanpassningen.

Långtgående integration slutprodukt-industri-skog handlar om att göra rätt från början till slut. Varje procent i ökat förädlingsvärde värderat genom den befintliga mixen av slutprodukter i grossistledet motsvarar ca 10 kr per m³ stamvirke (Wilhelmsson, 2006). Vid en total virkesvolym på 200 m³fub per ha slutavverkning motsvarar detta omräknat till skogsbruksledet en total potential på 2 000 kr/ha och procent ökat förädlingsvärde.

Baserat på en rad exempel inklusive ovanstående uppskattade Wilhelmsson (2006) att den sammanlagda potentialen för att göra rätt från början och utnyttja effekterna genom alla led i produktionskedjorna har en potential på storleksordningen 10 % ökat förädlingsvärde, eller ca 100 kr per m³fub för slutprodukterna. Det bör förstås understrykas att teoretiska potentialer aldrig nås fullt ut och att skogsbruket naturligtvis måste dela en sådan förbättringspotential med aktörer i olika led framåt i kedjan.

Några exempel för att konkretisera kundnyttan

Hur beräknar vi kundens nytta av data med hög noggrannhet i dimensionsfördelningar, trädslagsfördelningar och kvalitetsutfall före avverkning?

Frågan kan inte besvaras generellt därför att nyttan är beroende av en rad specifika förutsättningar. För att belysa dynamiken redovisar vi några exempel på ekonomiska scenarier med inriktning på olika typer av trävaruproducenter.

(A) Bulkproducent

– *Billiga ospecificerade produkter, låga produktionskostnader, rörliga kundrelationer.*

I det första fallet, producent (A), beskriver vi ett sågverk som producerar och säljer sågfallande trävaror med i princip samma marknadsförutsättningar och täckningsbidrag för alla förekommande sågklasser och längder. Affärsidén är ospecificerade bulkprodukter till konkurrenskraftiga, relativt ändamåls- och kundanpassade produkter. Fokus ligger på låga produktionskostnader inkluderande tillgång på virke till låga priser. Köparen försöker sätta priset (fritt industri) för timmer av olika diameter och längd med hänsyn till deras inverkan på teknisk produktivitet och sågutbyte. Bättre information om diameterfördel-

ningar före avverkning ger då inte en uppenbar ökning av vinsten för produktionsprocesser, produkter och försäljning. Virkesköpen är starkt inriktade på objekt nära industrin eftersom produkterna inte kan bära höga transportkostnader.

Då marknaden normalt skiljer på tall och gran och trädslagen processas separat, ofta vid olika enheter, är kunskap om såväl trädslagsblandning som totala volymer/antal stock i olika diameter och längdklasser i det inkommande flödet ändå av värde för att (A) skall kunna styra och optimera produktionen. Vidare kan andelen timmer, massaved och bränslesortiment i destinerade avverkningar variera så mycket att det skapar fördyrande fluktuationer i både flödesvolymer och transportkostnader. Utan god kunskap om kommande leveranser behövs även en större lagerbuffert. Detta lager kan värderas utifrån kostnader för lagerutrymmet, bevattning, hanteringskostnader, samt kostnader för kapitalbindning och eventuell inkurans.

För att strategin i fall (A) skall lyckas måste den angivna prissättningen ge tillräckliga volymer timmer. Det förutsätter att det inte finns en för stark konkurrens från trävaruproducenter som har högre betalningsförmåga, eller att betalningsförmågan är så låg att skogsägare avstår från att avverka i avvaktan på bättre priser. Det är sannolikt att industrin i fall (A) arbetar ”spotmarknadsinriktat” med kortsiktiga kundrelationer och har stora svängningar i lönsamhet över konjunkturcykler. (A)s försäljning sker ofta via agenter som är vana vid att arbeta med de generella modulsystemen. Även om producenter av typ (A) kan uppvisa god lönsamhet är trenden avtagande för företag med denna inriktning.

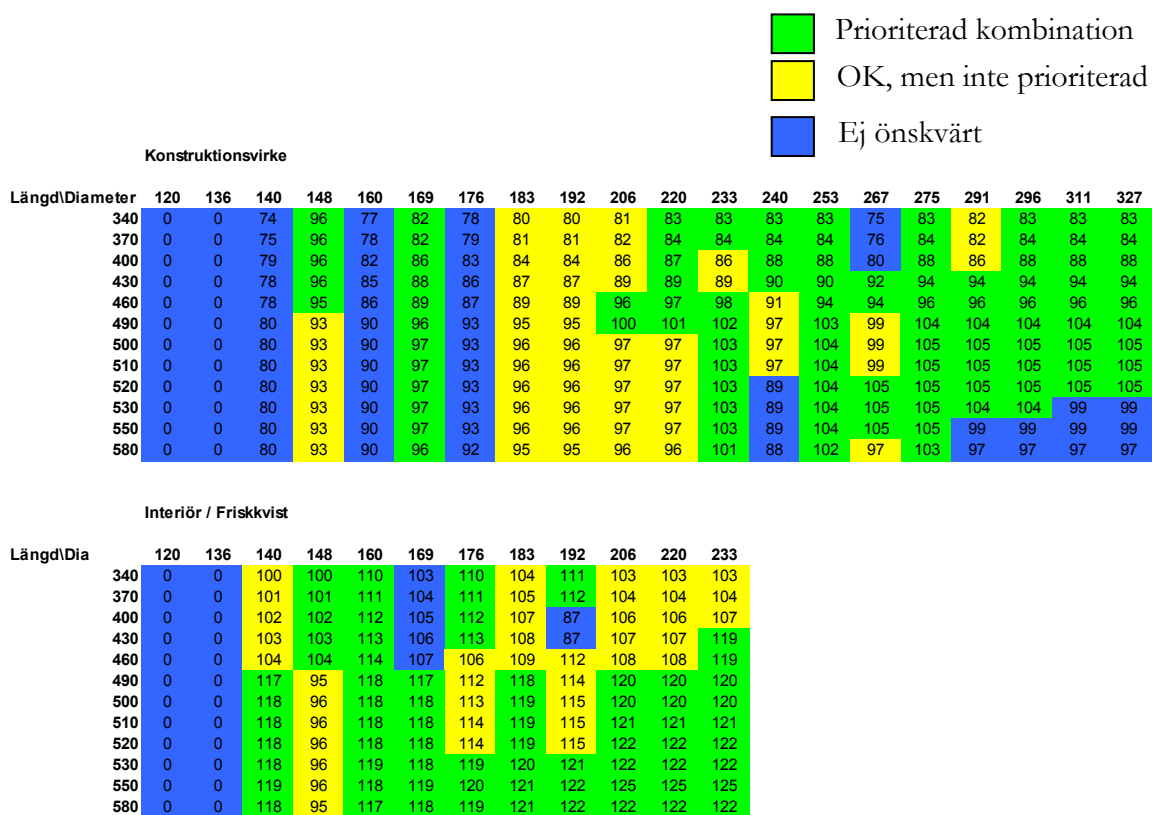
(B) Storkundsanpassade produkter och kompletterande bulkproduktion

– Varierande priser och leveranskrav för olika sortiment, högre förädlingsgrad och något högre genomsnittspriser än (A), låga produktionskostnader. Jämnare avsättning och lägre konjunkturkänslighet än (A).

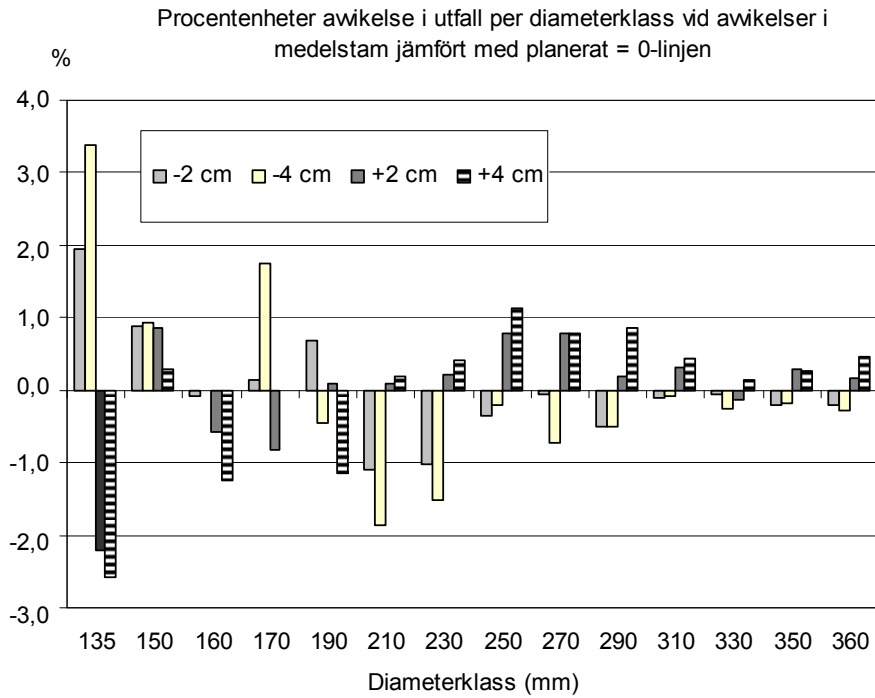
I fall (B) är den högst prioriterade delen de storkundsanpassade produkterna, medan bulkproduktionen är ett nödvändig komplement för att inte utbytet av trävaror per kubikmeter timmer skall bli för lågt. Sågverkets inköpare försöker sätta priset (fritt industri) för timmer av olika diameter och längd med hänsyn till dess lämplighet för de prioriterade produkterna (figur 5). Exempelvis kan diameterklassen 210 mm i topp och 490 cm längd vara väl anpassad till en högt prioriterad produkt, i några fall är rätt diameterklass viktig, men de flesta längder kan accepteras, medan många kombinationer av diameter och längder bara kan användas till bulkprodukter. Liksom för (A) värderas även inverkan på teknisk produktivitet och sågutbyte. Bättre information om diameter- och trädhöjdsfördelningar före avverkning ger ökade möjligheter att beräkna och styra utfallet till en högre andel prioriterade produkter och lägre andel ej önskade. Känsligheten för avvikelser mellan diameterfördelningar enligt plan och verklig drift illustreras i figur 6–9. Om sågverket inte har en väl anpassad fördelning av stockar med hänsyn till kundernas krav på trävarornas dimensioner uppstår ett behov av att antingen såga inoptimala diametrar- och eller längder och/eller öka timmer-

lagrets storlek eller minska andelen order med specifika krav. Alla alternativen leder till inoptimalförluster jämfört med att få ett produktpassat timmerflöde. Exempel på sådan kostnader ges i figur 10 och 11.

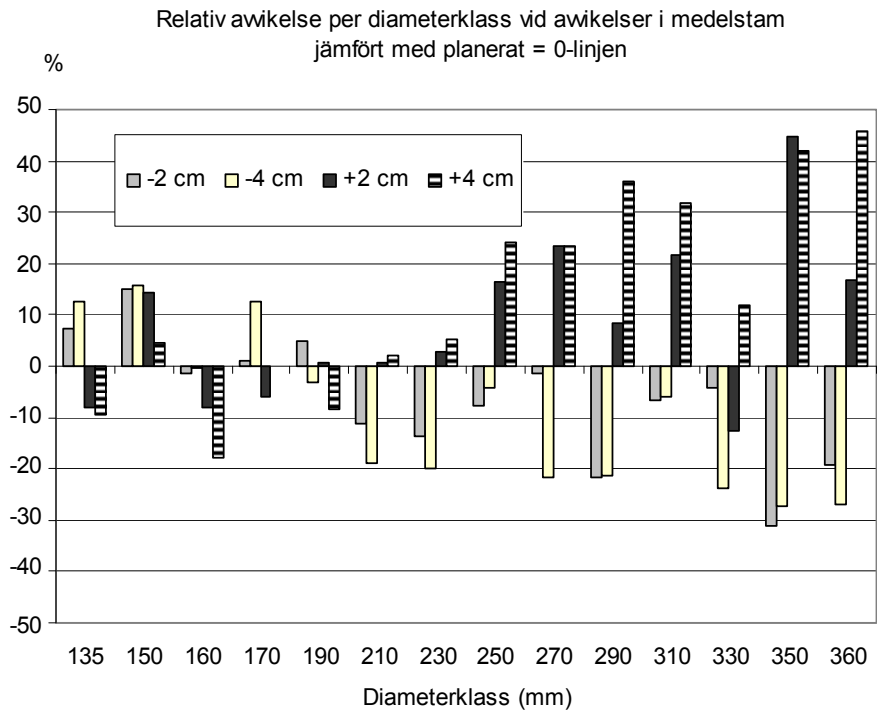
Försäljningen baseras till en betydande andel av långa kontrakt med bundna leveransåtaganden. Stora volymer säljs till ett begränsat antal kunder. Virkesköpen är starkt inriktade på objekt nära industrin eftersom produkterna inte kan bära höga transportkostnader, men för att klara leveransåtaganden hämtas en del av råvaran från mer avlägsna objekt. Järnväg och båt kan därmed utgöra alternativ till lastbilstransporter. Ju längre transportavstånd och ju högre anskaffningskostnad, desto viktigare blir det naturligtvis att de levererade volymerna stämmer överens med industrins krav.



Figur 5. Exempel på styrprislista för skördare med tydlig prioritering av de mest ändamålsanpassade kombinationerna av stockdiameter och längd (Ref. SilviNova).

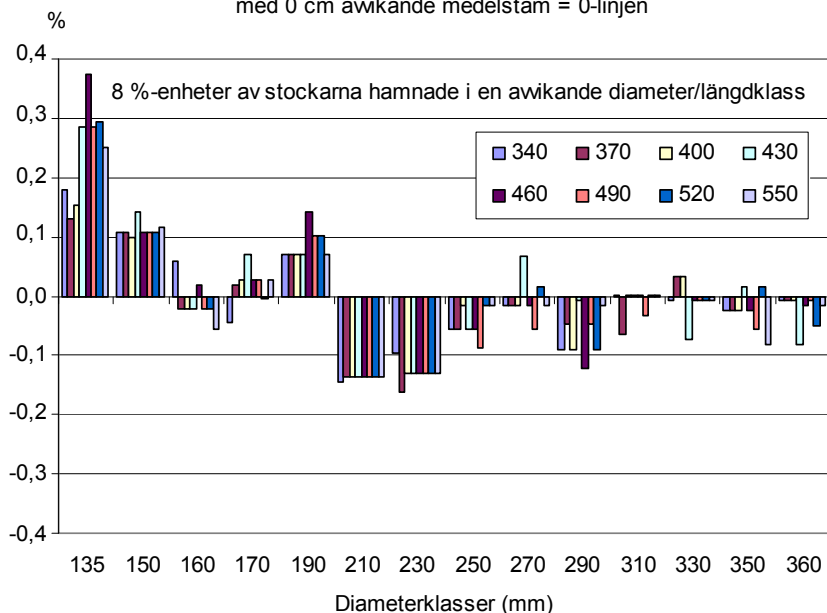


Figur 6. Avvikelser i fördelningen på stockdiametrar på grund av avvikelser i trädens medeldiameterar +/- 2 till 4cm, vid fördelningsaptering där minsta möjliga skillnad i stockdiameter (135–360 mm) eftersträvs i förhållande till 0%-linjen. Procentvärden på y-axeln avser procentenheter av totalproduktion.



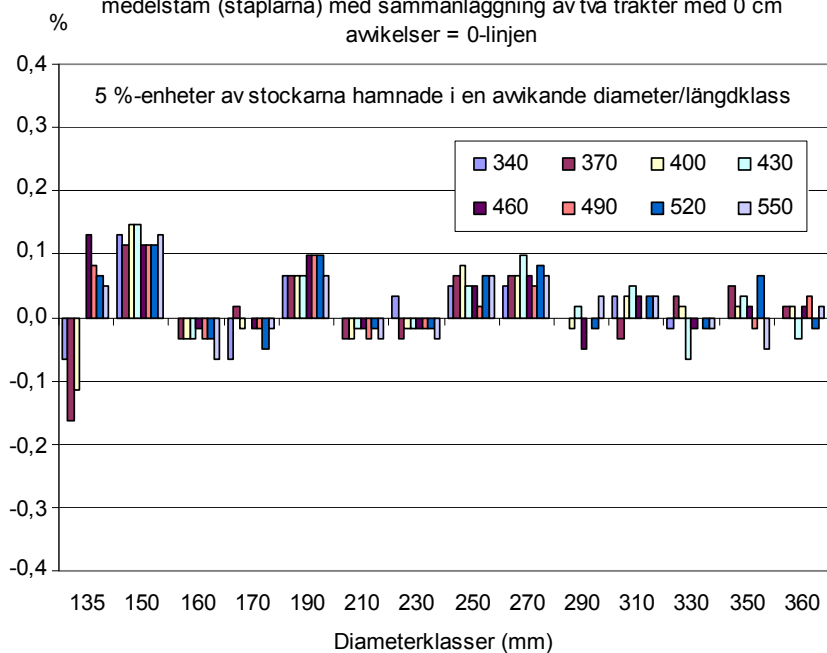
Figur 7. Avvikelser i fördelningen på stockdiametrar på grund av avvikelser i trädens medeldiameterar +/- 2 till 4cm, vid fördelningsaptering där minsta möjliga skillnad i stockdiameter (135–360 mm) eftersträvs i förhållande till 0%-linjen. Procentvärden på y-axeln avser relativ förändring av diameterklassen.

Förändringar av sågtimrets utfall på längd (340-550cm) och diameterklasser:
Sammanläggning från en trakt med -2 cm avvikande medelstam (staplarna)
med 0 cm avvikande medelstam = 0-linjen



Figur 8.
Utfall vid fördelningsaptering där minsta möjliga skillnad i både stockdiameter (135–360 mm) och längd (340–550 cm) eftersträvs i förhållande till 0%-linjen. Procentvärden på y-axeln avser procentenheter av totalproduktion.

Förändringar av sågtimrets utfall på längd (340-550cm) och diameterklasser:
Sammanläggning från en trakt med -2 cm och en med +2 cm avvikande
medelstam (staplarna) med sammanläggning av två trakter med 0 cm
avikelser = 0-linjen



Figur 9.
Exempel på effekter vid ett försök att kompensera oönskade effekter av en negativt avvikande diameterfördelning med en positivt avvikande. Utfall vid fördelningsaptering där minsta möjliga skillnad i stockdiameter (135–360 mm) och längd (340–550 cm) eftersträvs i förhållande till 0%-linjen. Procentvärden på y-axeln avser procentenheter av totalproduktion.

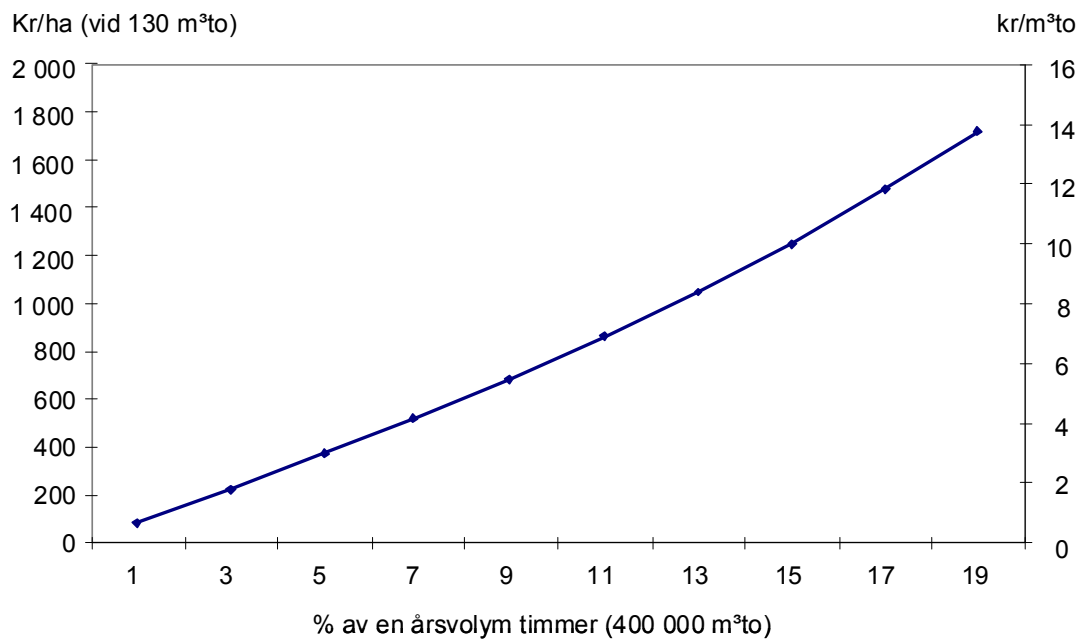
Kostnad för att såga stockar från "fel" diameter- eller längdklass för att kunna fylla kontrakterade order

- Virkespris 600 kr/m³to, nettoflisvärde 25 % av timmervärdet.
- Gå upp en modul (30 cm) i längd kostar 40 kr/m³to.
- Gå upp en diameterklass kostar 26–112 kr/m³to.
- (diameterklassgränser avgör).
- Vid 400 000 m³to och genomsnittskostnad på 50 kr/m³to ger varje procent stockar som sågas från "fel klass" en total kostnad på 200 000 kr.
- Behövs det 3 000 ha avverkning för denna volym timmer blir kostnaden 67 kr/ha per procent stockar ur fel klass.
- 3–10 % fel per år kostar då 200–670 kr/ha slutavverkning.

Figur 10.

Kostnad för att såga stockar från "fel" diameter- eller längdklass för att kunna fylla kontrakterade order.

Kostnader för timmerlager



Figur 11.

Exempel på kostnader för olika nivåer på timmerlagret uttryckt för ett sågverk med en årsproduktion på 400 000 m³to. Kr/m³to till höger och omräknat till kr/ha slutavverkningsskog med 130 m³to/ha till vänster.

Kostnader för avvikelser mellan verkligt och planerat virkesflöde

- Avvikande trädslagsblandning i avverkningarna ger volymavvikelser/sortiment.
- Avvikande medelstam och diameterfördelningar ger volymavvikelser/sortiment.
- Avvikande medelstam och diameterfördelning ger avvikande diameter- och längdfördelningar (volymer och antal stock).

Detta medför

- För låg volym/antal stock vilket kostar mycket i ojämnt utnyttjad kapacitet och/eller motåtgärder som ger:
 - Kostnader för inköp och lagerhållning av ett större buffertlager av stockar.
 - Kostnader för överproduktion för oplanerade dimensioner till färdigvarulager.
 - Prisreduktioner för att kunna sälja oplanerade dimensioner.
 - Kostnader vidareförsäljning av ej önskvärda dimensioner/längder till annan Trävaruproducent.
- Ev. effekter på producerade flismängder och fliskvaliteter.
- Kostnader för ouppfyllda leveransavtal.

(C) Trävaruproducent med stark inriktning på kund- och ändamålsanpassade specialprodukter och komponenter.

- *Höga priser på anpassade och prioriterade produkter med hög förädlingsgrad. Hög leveranssäkerhet vad avser både volym och kvalitet. Högre produktionskostnader än i (A) och (B). Lyhördhet och produktutveckling viktigt. Arbetar direkt mot vidareförädlade företag eller har enbeter för egen vidareförädling.*

Denna typ av trävaruproducent arbetar med långtgående anpassning till uttalade behov för olika kunder eller ändamål. I en undersökning av olika sorteringsstrategier framme vid sågverk, uppskattade Waller (2002) att försortering av stockar för snickeri-, möbel- respektive konstruktionsvirke gav en förväntad ökning av intäkterna med 4–7 %. Den kunde åstadkommas genom ett bättre kvalitetsutfall när varje grupp sönderdelades för sig. Om styrningen görs redan från avverkning går det även att påverka fördelningen mellan grupperna och längdfördelningen inom grupperna. I sin doktorsavhandling uppskattade Nordmark (2005) att bättre kännedom om trädstammarnas yttre form och inre kvistegenskaper ger potentialer att öka intäkten med 10–13 % genom produktstyrd aptering, sortering och sönderdelning. I figur K9 listar vi ytterligare kostnadsposter som bör beaktas vid en bedömning av nyttan av bättre information.

MASSA & PAPPERSPRODUCENTER

Massa & pappersindustrin är beroende av både volymer och kvalitetssammansättning i massavedsflödena. Virkesanskaffningen sker i hög grad genom köp av på en marknad där timmer skall säljas eller fördelas på egen trävaruproduktion, men massavedsflödet har högsta prioritet. Korrekta trädslagsblandningar, dimensionsfördelningar, frekvenser stamfelsesved och stamantal är viktigt både för massavedens andel av volymen, leveransåtaganden till sågtimmerkunder, möjligheterna att förbättra underlagen för virkesbyten på rot samt flödets volym, densitet (påverkar bl.a. utbytet per kubikmeter) och fiberegenskaper (Arlinger & Wilhelmsson, 1998; Wilhelmsson et al., 2002; Moberg & Wilhelmsson, 2003). Eftersom förädlingsvärdet för pappersprodukter är större än för många sågade trävaror är den ekonomiska vikten av att ha kontroll på virkesflödets fiberegenskaper större än vad som indikeras av massavedspriset.

Köpformer

Hög upplösning och tillförlitlighet i inventeringsdata om träden på potentiella köp-/säljobjekt ger mervärden både för köpare och säljare. Skogsbruksföretag/-logistikföretag kan öka konkurrenskraften genom tillförlitligare förhandsbesked-/lägsta garanterade pris vid köp av objekt med t.ex. stampris som affärsform (Möller, m.fl., 2005).

Kundnytta av ett effektivare skogsbruk

Bättre information om förutsättningarna för drivning, terrängtransport, placering av avlägg och förutsättningarna för vidaretransport kan användas för att effektivisera skogsbruket. Samma sak gäller bättre planeringsunderlag för gallring, röjning, markberedning och föryngringsåtgärder. De här aspekterna behandlas mer ingående på annan plats i detta dokument. Under rubriken kundnytta kan det ändå vara värt att påpeka att lägre kostnader genom ökad effektivitet i skogsbruket ger skogsföretag och entreprenörer ökad konkurrenskraft och enskilda skogsägare starkare ekonomiska incitament att avverka. En sådan utveckling gynnar i förlängningen även skogsbrukets kunder genom högre utbud och/eller dämpad prisutveckling på råvaran.

Entreprenörer som vill kunna göra bättre underlag för offerter och utveckla sina tjänster och öka konkurrenskraften bör också kunna dra nytta av tillförlitligare data om trädens på ett objekt. Nyttan av bättre information för effektivare drivning, vidaretransport mm beskrivs mer ingående under andra avsnitt i denna rapport.

Några invändningar

Vi har visat på en rad potentiella fördelar av att ha bättre data om skogen redan före avverkning. För att kunna utnyttja informationen i linje med våra beskrivningar behövs dock i många fall även förändrade arbetssätt, nya system, ändrade strategier, attityder mm. För att sådan förändringar skall kunna komma till stående tror vi det är mycket viktigt att företrädare för de olika länkarna i kedjan ökar kommunikationen om både problem och möjligheter och driver ett öppet

och konstruktivt kunskapsutbyte. Det är också av största vikt att olika aktörer vågar ta initiativ till nytänkande och skapar erbjudanden för sina kunder, inte bara passivt avvaktar att kunderna skall efterfråga något de kanske inte ens känner till att det finns eller är möjligt.

Slutsatser

TOTAL POTENTIAL

En summering av de totala potentialerna som beskrivits ovan sammanfattas i tabell 3.

Tabell 3.
Potentialer till ökade intäkter eller minskade kostnader vid användning av laserdata i skoglig planering.

Aktivitet	Potential
Skogshushållning, optimering av nuvärde	Ca 200 kr/ha total areal
Planering för rotträ	?
Försäljning av rotstående skog	1 500 kr/ha till försäljning
Försäljning av fastigheter	?
Skogsbränsleuttag	?
Motormanuell röjning	20–100 kr/ha kontrollerad areal
GPS och GIS vid röjning	50–100 kr/ha röjd areal
Mekaniserad röjning	30–60 kr/ha kontrollerad areal
Markberedning	??
Traktplanering	3–5 kr/ avverkad m ³ fub
Rätt maskin i rätt objekt	1–3 kr/ avverkad m ³ fub
Körplanering i drivning	?
Optimering av maskinpark	5 % av avverkningskostanden
Vägprojektering	2 kr/m väg
Vägar, båtnadsberäkning	?
Frigörande av personal under barmark	?
Virkesbyten	6 kr/m ³ fub (södra Sverige)
Sågning för att fylla beställningar av trävaror med specificerade dimensioner	200–670 kr/ha slutavverkning
Minskad lagerbuffert för att kunna uppfylla leveransorder	Ca 70 kr/ha slutavverkning för 1 % minskad lagervolym
Kundnytta för industri	2 000 kr/ha avverkad areal för 1 % ökat förädlingsvärde

MÖJLIG POTENTIAL

I tabell 3 anges potentialer i olika enheter och för olika andelar av den totala skogsmarksarealen. För att bättre kunna jämföra behöver man uppskatta den möjliga potentialen fördelad över hela skogsmarksarealen. Nedan följer ett försök att uppskatta värden av ökade intäkter och eller minskade kostnader som bedöms möjliga att uppnå. Det skall dock poängteras att en del av dessa värden kräver utveckling inom andra områden för att kunna realiseras.

Optimering av nuvärde i strategisk planering

Ovan har potentialen skattats till ”ett par hundralappar per ha”. Detta är vid jämförelser mellan det faktiska skogstillståndet och data med simulerade fel. I realiteten kommer vi inte att kunna beskriva skogen utan fel, men om vi antar att vi kan minska både slumpmässiga och systematiska fel med 25–75 % så skulle detta kunna innebära ett ökat nuvärde på skogsmarken med 50–150 kr/ha.

Försäljning av rotstående skog

Om detaljerad information motsvarande en stämplingslängd kan erhållas så bedöms den av många markägare vara värd ca 1 500 kr/ha. Denna siffra baseras på genomförda stämplingar i bestånd och områden där virkesmarknaden ger extra premier för denna typ av försäljning varför vi minskar värdet till 1 000 kr/ha. Om vidare vi antar att en procent av arealen avverkas per år och laserdata är användbart för detta ändamål i fem år så innebär det att värdet är ca 50 kr/ha fördelat över hela arealen.

Röjningsplanering

Kostnaden för urval och detaljplanering av röjningsobjekt uppgår i dag till 20–100 kr/ha inventerad areal. Om vi antar att detta arbete kan effektiviseras med 30 % och att laserdata är användbart i upp till fem år för detta ändamål och varje bestånd inventeras en gång så innebär det en besparing på 0:50–1:50 per ha skogsinnehav. Vidare finns en ungefär lika stor potential vid införande av GIS och GPS i röjningsarbetet. Totalt bedöms alltså de minskade kostnaderna i röjningen till ca 1–3 kr/ha skogsmark.

Trakt- och drivningsplanering

Traktplanering kostar i dag ca 3–5 kr per avverkad m³fub. Om vi kan effektivisera detta arbete med 25 % så innebär det 2–4 kr/ha skogsmark och år. Att välja rätt maskin i rätt objekt kan minska den totala drivningskostnaden med 1–3 kr/m³fub. Om vi lyckas utnyttja hälften av denna potential så innebär det ytterligare 2–4 kr/ha skogsmark och år. Om vi dessutom utnyttja 20 % av potentialen att optimera vår maskinpark så innebär det ungefär 3 kr/ha skogsmark och år. Om vi summerar dessa tre samt antar att laserdata håller i fem år för detta ändamål så är värdet ca 35–50 kr/ha.

Virkesbyten

Potentialen för virkesbyten i södra Sverige var i en studie 6 kr/m³fub i södra Sverige. Om ca 30 % av denna potential kan utnyttjas genom bättre information om traktbanken och byte av stående skog skulle detta under fem år motsvara en besparing på ca 30 kr/ha skogsmark.

Kundnytta för industrin

Om vi antar att vi genom bättre information om traktbanken kan höja förädlingsvärdet i industrin med 1 % innebär detta ca 2 000 kr/avverkad ha. Om vi avverkar 1 % av skogsmarken per år och antar att laserdata kan användas för detta syfte i fem år så innebär det en värdeökning på ca 100 kr/ha.

Övriga möjligheter

En rad användningsområden för laserdata som identifierats ovan har ej kunnat kvantifieras i ekonomiska termer. Dessa är bl.a. Värdet vid försäljning av fastigheter, planering av skogsbränsleuttag, planering av markberedning, körplanering vid drivning och effektiviserad vägprojektering.

Sammanfattning av potentialer

En enkel sammanfattning är att mervärdet av högupplösta laserdata fördelat på hela skogmarksarealen är:

- | | |
|--|--------------|
| • Optimering av nuvärde i strategisk planering | 50–150 kr/ha |
| • Försäljning av rotstående skog | 50 kr/ha |
| • Röjningsplanering | 1–3 kr/ha |
| • Trakt- och drivningsplanering | 35–50 kr/ha |
| • Virkesbyten | 30 kr/ha |
| • Kundnytta framåt i produktionskedjorna | 10–300 kr/ha |

Dessa mervärden baseras på att laserdata är användbart i fem år för den typ av planering som avses. Det är inga exakt beräknade värden utan snarare grova uppskattningar som möjliggör jämförelse av storleksordningar mellan de olika områdena samt att sättas i relation till kostnaden för datainsamlingen. De uppräknade mervärdena är ej heller direkt summerbara eftersom de delvis överlappar varandra, t.ex. kan en del av mervärdet vid försäljning av rotstående skog vara att köparen kan genomföra en bättre planering av t.ex. maskininsats och sortimentsutfall, och därmed är beredd att betala mer för posten. Kundnyttan framåt i produktionskedjorna är mycket svår att fastställa generellt. Värdet beror i mycket hög grad på hur informationen om den stående skogen utnyttjas för att nå effektiv integration av skogsbruket med tillverkningsprocesserna vid industrin.

Förslag på fördjupade studier

Under arbetet har ett antal områden där dagens kunskapsläge motiverar fördjupade studier.

- **Mervärde** av information om enskilda träd, vid långsiktig skoglig planering.
- **Detaljerad traktplanering** (genom kartläggning och tidsstudier kontrollera hur mycket tid som kan sparas i fältplaneringen).
- **Val av avverkningsmetod samt vilken betydelse avverknings-tidpunkten har för skogens produktion** (genom räkneexempel testa olika alternativ, räkna på produktionsbortfall/produktionsvinster).
- **Värdering av Single-tree data för bedömning av gallringsbehov.**
- **Val av gödslingsobjekt** med Single-Tree data.
- **Skattning av skogsbränsleuttag med Single-Tree.**
- **Riskanalys för skador**, framför allt storm och röta.
- **Lägre lager p.g.a. bättre koll på utfallet från resp. avverkning** (räkna på vad lägre lager har för ekonomiska konsekvenser och vad som är ett minimilager för att kunna ha en effektiv transport-apparat).
- **Turordningsplanering med optimering** (detta kan vi troligen testa senare under året men inte riktigt än, det handlar om att jämföra verkligt utfall med utfall från optimering).
- **Maskinförarens körplanering** (kartläggning av hur mycket tid som kan sparas i planering).
- **Löpande beräkning av gallringsuttag** (kartläggning/tidsstudier/beräkningar).
- **Vägprojektering** (kartläggning och tidsstudier av planeringsarbetet).
- **Hur väl kan förekomst av skador/stamfelsesved predikteras** med hjälp av Single-tree och annan beståndsinformation.
- **Värdering av varkatigheten och nuvärden av Single-tree data** för kommande avverkningar.
- **Potentialerna för kunderna av att tillgå Single-tree data.** Med sikt på systematisk integration industri-skog (djupare analys och gärna en case-study).

Referenser

- Arlinger, J. & Wilhelmsson, L. 1998. Vedanalys – ett hjälpmedel för att möta industrins råvarukrav. Resultat 19, Skogforsk (Uppsala), 4s.
- Carlsson, T., Holmström, H. & Kallur, H. 2001. Indelningspaketet – nu ett kraftfullt analysverktyg även för mindre fastigheter. Skogforsk Resultat nr 18.
- Duvemo, K., Barth, A. & Wallerman, J. 2007. Evaluating sample plot imputation techniques as input in forest management planning. *Canadian Journal of Forest Research.*; 37(11): 2069–2079
- Eid, T., Gobakken, T. & Naeset, E. 2004. Comparing stand inventories for large areas based on photo-interpretation and laser scanning by means of cost-plus-loss analyses. *Scandinavian Journal of Forest Research.*; 19(6): 512–523
- Eid, T. 2000. Use of uncertain inventory data in forestry scenario models and consequential incorrect harvest decisions. *Silva Fennica.* ; 34(2): 89–100
- Flisberg, P. & Rönnqvist, M. 2006. Optimization based planning tools for routing of forwarders at harvest areas. *Can J For Res* *In press*.
- Forsberg, M. 2003. Behov av informationssystem för kundorienterad virkesstyrning. Skogforsk, Arbetsrapport nr 530. 18 s. Uppsala.
- Forsberg, M., Frisk, M. & Rönnqvist, M. 2005. FlowOpt – a decision support tool for strategic and tactical transportation planning in forestry. *International Journal of Forest Engineering.* 16(2): 101–114.
- Frisk, M., Karlsson, J. & Rönnqvist, M. 2006. RoadOpt – a decision support system for road upgrading in forestry. *Scand J For Res.* 21(7): 5–15.
- Holopainen, M. & Talvitie, M. 2006. Effect of data acquisition accuracy on timing of stand harvests and expected net present value. *Silva Fennica.* 40(3): 531–543.
- Jacobsson, J. & Jonsson, B. 1989. Indelningspaketet. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift nr 1.
- Karlsson, J., Rönnqvist, M. & Bergström, J. 2004. An optimization model for annual harvest planning. *Can. J. For Res.* 34(8) 1747–1754.
- Moberg, L. 2006. Predicting knot properties of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* from generic tree descriptors. *Scand J For. Res.* 21:Supplement 7, pp 49–62.
- Moberg, L. & Nordmark, U. 2006. Predicting lumber volume and grade recovery for Scots pine stems using tree models and sawmill conversion simulation. *Forest Products Journal* 56:4, pp 68–74.
- Moberg, L., Nordmark, U., Möller, J.J. & Sondell, J. 2006. Prognoser för bättre sågtimmerleveranser. I: Utvecklingskonferens, Skogforsk, Redogörelse 2. s. 76–80.
- Moberg, L. & Wilhelmsson, L. 2003. Nya beräkningsmodeller för vedegenskaper – ett verktyg för bättre utnyttjande av massaveden. Resultat nr 3. Skogforsk, 4s.
- Möller, J.J., Arlinger, J., Moberg, L. & Wilhelmsson, L. 2005. Automatisk kvalitetsklassning och stampris – framtidens affärsform? Resultat 22. Skogforsk, (Uppsala). 4s.
- Nordbrant, A. 2002. Analyser med Indelningspaketet av privata skogsfastigheter inom Norra Skogsägarnas verksamhetsområde. SLU, Inst. för skoglig resurshushållning och geomatik. Arbetsrapport 101.

- Nordmark, U. 2005. Value recovery and production control in bucking, log sorting and log breakdown. *Forest Products Journal* 55(6): 73–79.
- Söderstam, G., Öman, M. & Olofsson, J. 1998. Färsk ved till sulfatmassabruken – varför det? I: Hedenberg, Ö. STFIs Renserikonferens Karlstad/Gruvöns Bruk, mars 1998. Råvaruförsörjning och vedförädling – en process under utveckling, s. 17–30.
- Thor, M., Ståhl, G. & Stenlid, J. 2005. Modelling root rot incidence in Sweden using tree, site and stand variables. *Scandinavian Journal of Forest Research* 30:2, pp 165–176.
- Waller, S. 2002. Strategier för lönsam kvalitetssortering av furutimmer. Inst. för skogens produkter och marknader, Examensarbete nr 1. SLU (Umeå), 40 s.
- Wilhelmsson, L. 2006. Virkets värde är frukten av ditt arbete. I: Åkerman, L. (ed.): Utvecklingskonferens 2006. Redogörelse nr. 2, 2006, Skogforsk (Uppsala). pp. 74–78.
- Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spångberg, K., Lundqvist, S-O., Grahn, T., Hedenberg, Ö. & Olsson, L. 2002. Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scand. Journal of Forest Research* 17:4, pp 330–350.

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2007

År 2007	
Nr 629	Brunberg, T. 2007. Bränsleförbrukningen hos skördare och skotare vecka 13 och 39, 2006. 11 s.
Nr 630	Brunberg, T. 2007. Ekonomin hos extra stor skördare tillsammans med stor skotare. 5 s.
Nr 631	Eriksson, B. 2007. Tillväxt i skogsvårdsföretag. 13 s.
Nr 632	Frisk, M. & Ekstrand, M. 2007. Vilka vägar används av skogsnäringen – Visualisering av skogsbrukets virkesflöden. 23 s.
Nr 633	Furness-Lindén, A. 2007. Affärsutveckling i relationen. Stor kund: liten leverantör – vad kan skogsbruket lära? ”Version 2 – utan intervjureferat – för allmän distribution” 54 s.
Nr 634	Järrendal, D. & Tinggård Dillekås, H. 2007. Head-Up Display i engreppsskördare – Utvärdering i simulator och i fält. 153 s.
Nr 635	Wahlberg, A. 2007. Trafiksäkerhetseffekter av ökad storlek på lastbilar. 21 s.
Nr 636	Jönsson, P. & Löfroth, C. 2007. Vibrationsmätningar på provbana – Ponsse Elk. 11 s.
Nr 637	Bergkvist, I. 2007. Flertrådshantering i granbestånd – Pilotstudie av John Deere 754 med modifierade kvistknivar för flerträdsavverkning samt provkörning av flerträds-hanterad granved i renseriet på Hallsta massabruk. 8 s.
Nr 638	Ekstrand, M. 2006. Reseberättelse – Tunga virkesfordon – Nya Zeeland och Australien. 12 s.
Nr 639	Sonesson, J., Almqvist, C., Andersson, B., Ericsson, T., Högberg, K-A., Jansson, G., Karlsson, B., Persson, T., Rosvall O., Stener L-G. & Westin J. 2007. Lägesrapport 2006-12-31 för förädlingspopulationer av tall, gran, björk och contortatall. 21 s.
Nr 640	Rosvall, O., Simonsen, R., Elfving, B., Rytter, L. & Jacobson S. 2007. Tillväxthöjande skogsskötselåtgärder i privatskogsbruket – underlag för lönsamhetsberäkningar. Slutrapport – Lönsam tillväxtökning. 62 s.
Nr 641	Möller, J. J. & Moberg, L. 2007. Stambank VMF Qbera. 14 s.
Nr 642	Möller, J.J., Arlinger, J., Wilhelmsson, L., Sondell, J. & Moberg L. 2007. Modell för automatisk kvalitetsbestämning vid virkesmätning med skördare. 24 s.
Nr 643	Möller, J.J. & Arlinger J. 2007. Praktisk test av automatisk kvalitetsättning vid betalningsgrundande skördarmätning hos Södra skogsägarna i Götaland och Sveaskog i Bergslagen. 44 s.
Nr 644	Jönson, P., Löfroth C., Berger, R. & Mörk, A. 2007. Bränslebesparande och vibrationsdämpande skotning. 18 s.
Nr 645	Möller, J.J. 2007. Stambank VMF Qbera VMR 1-07. 20 s.
Nr 646	Möller, J.J. 2007. Stambank VMF Syd. VMR 1-99 & VMR 1-07.
Nr 647	Bergkvist, I. & Lundström, H. 2007. Studier av Cranab Access i förstagallring av tall. 14 s.
Nr 648	Stener, L.-G. 2007. Studie av klonskillnader i känslighet för askskottsjuka. 14 s.
Nr 649	Stener, L.-G. 2007. Utvärdering av sydsvenska avkommeförsök med klibbal. 44 s.
Nr 650	Stener, L.-G. 2007. Tidig utvärdering av fyra sydsvenska försök med olika lärkarter av olika genetiskt ursprung. 22 s.
Nr 651	Wilhelmsson, L. 2007. Utveckling av egenskapsbeskrivning med avverkningsmaskiner – FoU-läget vid millenniumskiftet. 34 s.

År 2008	
Nr 652	Löfgren, B., Nordén, B. & Lundström H. 2008. Fidelitystudie av en skogsmaskin-simulator. 30 s.
Nr 653	Norén J., Rosca, C. & Rosengren, P. 2008. Riktlinjer för presentation av apterings-information i skogsskördare. 70 s.
Nr 654	Sonesson, J. 2008. Analys av potentiella mervärden i kedjan skog-industri vid användning av pulsentensiv laserscanning. 34 s.
Nr 655	Jönsson, P. & Nordén B. 2008. Skotare med ALS och tredelade stöttor – Studier av prestation och helkroppsvibrationer i gallring. 14 s.
Nr 656	Persson, T., Almqvist, C., Andersson, B., Ericsson, T., Högberg, K.-A., Jansson, G., Karlsson, B., Rosvall, O., Sonesson, J., Stener, L.-G. & Westin, J. 2008. Lägesrapport 2007-12-31 för förädlingspopulationer av tall, gran, björk och contortatall. 21 s.
Nr 657	Stener, L.G. 2008. Study of survival, height growth, external quality and phenology in a beech provenance trial in southern Sweden. 11 s.
Nr 658	Almqvist, C. & Eriksson, M. Ökad produktion i plantage 501 Bredinge – försök med rotbeskärning och gibberellinbehandling. 13 s.
Nr 659	Rytter, R.M. 2008. Detektion av röta i bok med 4-punkters mätning av resistivitet. 14 s.
Nr 660	Bergkvist, I., Iwarsson Wide, M., Nordén, B. & Löfroth, C. 2008. Jämförande prestationsstudier – Röjsåg med klinga kontra kedjeröjsåg. 21 s.
Nr 661	Johansson, K. Snytbaggen – kunskapsläget 2008. 18 s.
Nr 662	Österman. Öd. D., Rimquist, L. & Hanson, M. 2008. Geststyrning för engrepps-skördare – en första undersökning – Projektarbete Ergonomi och Design VT-2008.
Nr 663	Westlund, K. & Andersson, G. 2008 Vägstandardens inverkan på skogsnäringens transportarbete.