

ARBETSRAPPORT

FRÅN SKOGFORSK NR 651 2007



Utveckling av egenskapsbeskrivning med avverkningsmaskiner

– FOU-LÄGET NÅGRA ÅR EFTER MILLENNIUMSKIFTET

RAPPORTEN SAMMANSTÄLLT AV LARS WILHELMSSON, SKOGFORSK
BASERAT PÅ BIDRAG FRÅN:

Lars Wilhelmsson, Johan J. Möller & Jan Sondell, Skogforsk; Armas Jäppinen, Inst. för skogshushållning, SLU Uppsala; Sorin Shiorescu, Anders Grönlund, Luleå Tekniska Universitet, Inst. i Skellefteå.

Ämnesord: egenskaper, mätnoggrannhet, mätteknik, skördare, skördaraggregat, träegenskaper.

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.

Förord

Denna publikation är en sammanfattning av de slutsatser som kommit fram inom ramen för projektet ”Utveckling av egenskapsbeskrivning med skördare – en förstudie”. Förstudien finansierades av NUTEK. I titeln till denna rapport har vi valt att byta ut ”skördare” mot ”avverkningsmaskiner” för att göra framställningen mer generell avseende även nya maskintyper som t.ex. drivare. Syftet har varit att lägga grunden till prioriteringar och inriktning för FoU avseende beskrivning av det avverkade virkets egenskaper och ändamålsanpassad aptering med hjälp av avverkningsmaskiner. Arbetet har bedrivits i delprojektform som även resulterat i ett antal fördjupande publikationer.

För projektgruppen

Lars Wilhelmsson

Innehåll

Förord.....	1
Referat.....	3
Sammanfattning.....	4
Inledning.....	7
Beskrivning av råvaran – behovsanalys.....	8
Egenskaper av vikt för produktion av trävaror.....	9
Egenskaper av vikt för fiberbaserade produkter.....	10
Behov av mätnoggrannhet.....	11
Diameter och längdmätning för träprodukter med specifika mått.....	12
Diameter och längdmätning, noggrannhet och ekonomi.....	13
Beräkningsmodeller och apteringsdatorer.....	16
Prioriteringar av mätbehov.....	19
Bättre materialstyrning genom tidig information.....	22
Ett system för anpassade timmerleveranser.....	23
Information i planeringsstadiet före avverkning.....	23
Information vid skörd.....	24
Skördaren som informationskälla.....	25
Förutsättningar för inbyggnad av mätteknik i skördare.....	25
Dataflöden och kommunikation – industri – skog.....	28
Skördarförarnas miljö.....	29
Integration skördarmätning – skoglig planering.....	30
Slutsatser och rekommendationer.....	30
Referenser.....	32

Referat

Bättre information om råvarans egenskaper ger förutsättningar att utveckla hela skogsnäringen. I Sverige avverkas 60–70 miljoner m³fub virke varje år. Nästan allt avverkas med skördare. För detta arbete finns mer än 1 000 skördare, som fäller, kvistar och kapar stammar till stockar för leverans till sågverk, massa-/pappersindustrier m.fl. En genomsnittlig skördare tillreder 70 000 m³fub virke per år (2005), medan de mest produktiva skördarna under gynnsamma omständigheter kan tillreda 100 000 m³fub. Dessa produktionsnivåer motsvarar virkesvärden på 15–40 miljoner kr per maskin.

Förbättrad diameter- och längdmätning i skördaren är starkt motiverad, både för sågade trävaror och för massa-/pappersindustrin. Snabb tvärsnittsanalys som ger bl.a. antal årsringar i kapsnitten är också angelägen. Löpande diametermätning med hög precision och tvärsnittsanalys av antal årsringar, samt om möjligt även kemisk analys med NIR ger tillsammans goda möjligheter att indirekt beräkna en rad egenskaper, som kärnved, ungdomsved, kviststorlekar, kvisttyper, barktjocklek och fiberdimensioner med hjälp av modeller.

Densitet och fibervinkel är exempel på egenskaper som kan kräva direkt mätning för att den enskilda stocken ska bli väl beskriven. Skador, röta, sprötkvist och stamkrökar är andra exempel på egenskaper som bör mätas med genomlysningsteknik eller till viss del med detaljerad mätning av yttre form. Mätteknik för skördare måste vara robust, snabb- och kostnadseffektiv.

Skördarens informationssystem måste länkas till informationssystem som fungerar genom hela produktionskedjan skog-industri. För detta finns i dag en gränssnittsstandard, StanForD, som bör vidareutvecklas till att omfatta även egenskapsbeskrivningar av tillrett virke. För att bättre information ifrån skogen ska kunna nyttjas väl krävs också genomtänkta lösningar för kommunikation leverantör – kund, samt logistik och märksystem för den minsta enhet (stock, trave etc.) som ska beskrivas.

Sammanfattning

God kontroll över skogsråvarans egenskaper ger möjligheter att effektivisera tillverkningsprocesser och utveckla mer ändamålsenliga produkter. Redan på planeringsstadiet bör man upprätta översiktliga beskrivningar av råvaruegenskaperna för olika avverkningsobjekt. Då kan valet mellan tillgängliga objekt anpassas så att kundernas efterfrågan tillgodoses till lägsta möjliga kostnad. Beskrivningarna utgör också underlag för faktabaserade dialoger mellan köpare och säljare om skogens olika möjligheter och begränsningar, förväntad variation i virkesflödets egenskaper över tiden etc. Vid avverkningen av de utvalda objekten ger aptering och sortimentsindelning möjligheter att öka graden av anpassning i råvaruflödet redan från skogen.

En genomsnittlig skördare tillreder i dag ca 70 000 m³fub virke per år (2005), medan de mest produktiva skördarna under gynnsamma omständigheter tillreder 100 000 m³fub. Dessa produktionsnivåer motsvarar virkesvärden på 15–40 miljoner kr per maskin. Drivare beräknas som ett grovt genomsnitt kunna producera i storleksordningen 60–80 % av jämförbara skördare, eftersom drivaren också utför momenten lastning, skotning och lossning. Över 90 % av allt virke avverkas i dag med avverkningsmaskiner och med undantag av flerträdshanterande aggregat, avsedda främst för klen skog, hanteras varje träd och stock individuellt under kvistning och kapning. Det ger goda möjligheter att utnyttja mätteknik och beräkningsmodeller i skördare för att beskriva det avverkade virkets egenskaper. Information om de avverkade trädens egenskaper kan utnyttjas för att göra prognoser för närbelägna objekt med likartade förutsättningar. Vid gallring kan information om de avverkade träden inom objekt dessutom utnyttjas för att göra mer detaljerade beräkningar av det kvarstående virkets förväntade framtida egenskaper.

Olika egenskaper hos råvaran värderas olika beroende på den produkt som ska tillverkas och detaljer i de aktuella tillverkningsprocesserna. Vissa egenskaper bör mätas, medan andra kan predikteras med beräkningsmodeller, allt beroende på kostnader och intäkter för den information som kan erhållas med olika tekniker. I avsnittet egenskaper av vikt för produktion av trävaror har en modell för att beräkna egenskapernas sammanlagda ekonomiska prioritet beskrivits. Den utgår från att man uppskattar olika produkters betalningsförmåga, krav på egenskaper, samt bedömda andelar av den totala råvaruförbrukningen. Inom ramen för det här arbetet har indata till modellen bara kunnat bedömas grovt. Den resulterande prioriteringen av egenskaper ska därför endast ses som indikationer.

Vid en sammanlagd bedömning av olika mätbehov framstår en korrekt dimensionsmätning (löpande max/min diameter och längd) som särskilt viktig eftersom stockens form är avgörande för möjligheterna att såga ut måttbestämda trävaror och en bestämning av stockens vedvolym. Med dagens berörande mätsystem med givare kopplade till kvistknivar eller matarvalsar är standardavvikelsen för slumpmässiga (tillfälliga) fel beroende på kör- och mätteknik fortfarande runt 7 mm för tall och runt 5,5 mm för gran. Till detta kommer ytterligare 0–4 mm fel som beror på att systemen mäter ömsom på och ömsom under bark, samt 1,4 – 3,4 mm fel som beror på att stockarna inte är helt runda. Problemet med avskavd bark är större under vegetationsperioden då barkbindningsstyrkan är lägre än under vintern. Slutligen ger avvikelser mellan

verklig och beräknad barktjocklek ett ytterligare fel på mellan 0,5 och 9 mm för tall och 1–4 mm för gran. Utöver måttanpassning och volymbereäkningar behövs diameterinformationen till beräkningar av många ved-, fiber och kvistegenskaper som är starkt eller måttligt korrelerade med diametern eller variabler där olika diametermått ingår. Tillsammans med korrekt information om antal årsringar, stockens position i trädet och växtplatsens klimatläge kan ungefär halva den förekommande variationen i densitet och sommarvedsandel och det mesta av variationen i kärnvedsandel förklaras. Samma indata gör det också möjligt att förklara ca 3/4 av variationen i fiberbredd och fiberlängd. Många kvistegenskaper kan också förklaras med liknande precision. Detaljerade skillnader i konkurrensförhållanden, störningar från skadegörare och yttre påverkan, samt trädens genetiska egenskaper är huvudorsakerna till den återstående variationen.

Vid behov av högre precision för beskrivning av ovanstående egenskaper hos den enskilda stocken krävs förmodligen direkta eller indirekta mätningar av egenskaperna. För att få information om röta, skador, sprötkvistar, stamkrökar och andra oregelbundna fel hos enskilda stockar krävs också direkta eller indirekta mätningar, eller, då egenskaperna är tydligt synliga, eventuellt bedömningar i samband med apteringen. Strävan att ytterligare automatisera drivningstekniken och höja maskinernas produktivitet gör det dock särskilt angeläget att utveckla automatisk aptering och sortering baserad på tillräcklig information om de egenskaper som efterfrågas av viss kund, eller för vissa ändamål. Fibervinklar av betydelse för formstabilitet hos märgnära virke och kådlåpor av betydelse för bl.a. målningsegenskaper hos paneler, liksom förekomst av reaktionsved, är andra egenskaper som kan behöva mätas om informationen ska utnyttjas för hantering av enskilda stockar.

Från skogen levereras virke till sågverk, som i många fall säljer virket vidare utan ändamålssortering. Eftersom de egenskaper som avgör virkets processbarhet prioriteras utifrån de närmast efterföljande processerna är det ofta bara allmänna krav som återspeglas i sågverkens önskemål till råvaruleverantörerna. Andra egenskaper kan dock vara begränsande längre fram i flödet eller efter en viss tids slutanvändning. Det gäller t.ex. formfel och beständighet som båda varierar med fuktkvoten. Exempel på sådana förädlade träprodukter är t.ex. en takkonstruktion i limträ, ett fönster eller en möbel som alla genomgår en rad processer från skogen till färdig produkt.

Liknande förhållanden som för olika steg i förädlingen av trävaror gäller även för ved- och fiberegenskapernas inverkan på förädlingen till pappers- och kartongprodukter. Här påverkas först barkning, därefter flisning, impregnering, massaframställning och malning av den inkommande vedens egenskaper.

Oförmåga att hantera variationer i råvarans egenskaper kommer att påverka förutsättningarna även i de kommande produktionsleden då massan ska utnyttjas för olika pappersprodukter. Här finns det visserligen en del tekniker för att parera brister i massakvaliteten, men kostnaderna för sådana korrigeringar är betydande. Till exempel kan högre ytvikt och/eller högre andel massa och därmed större vedåtgång krävas, för att kompensera för brister i en kritisk styrkeegenskap. Ett annat exempel är krav på större blekmedelsinsatser för att utan kontroll av vedens egenskaper nå upp till kritiska ljushetsgränser för tidningspapper.

I en översikt sammanfattas olika försök att värdera bättre information om stockdimensioner, röta, ved- och fiberegenskaper, samt färskhet hos det avverkade virket. Den indikerar att det finns outnyttjade intäktpotentialer i olika moment inom olika produktionskedjor. Förutsättningarna för att tillgodogöra sig bättre information om virket varierar mycket mellan olika marknader, produkter, industrier och skogstillgångar. Intäktpotentialer från några få kr/m³fub vid bulkproduktion upp till kanske 100 kr/m³fub vid höga krav på specifika råvaruegenskaper, kan vara fullt realistiskt. Möjligheterna att realisera olika potentialer förutsätter dock att alla länkar i produktionskedjan från produkt till råvara är inkluderade och att det är det sammanlagda resultatet som ska optimeras.

Förutsättningarna för inbyggnad av mätteknik styrs hårt av att aggregaten ska medge hög produktivitet. De minsta skördaraggregaten är drygt en meter höga och har i hopfällt läge yttermått på drygt en halv meters bredd. De största vanligen förekommande aggregaten på den svenska marknaden är nära två meter höga och har en hopfälld bredd på ca 1,1 m.

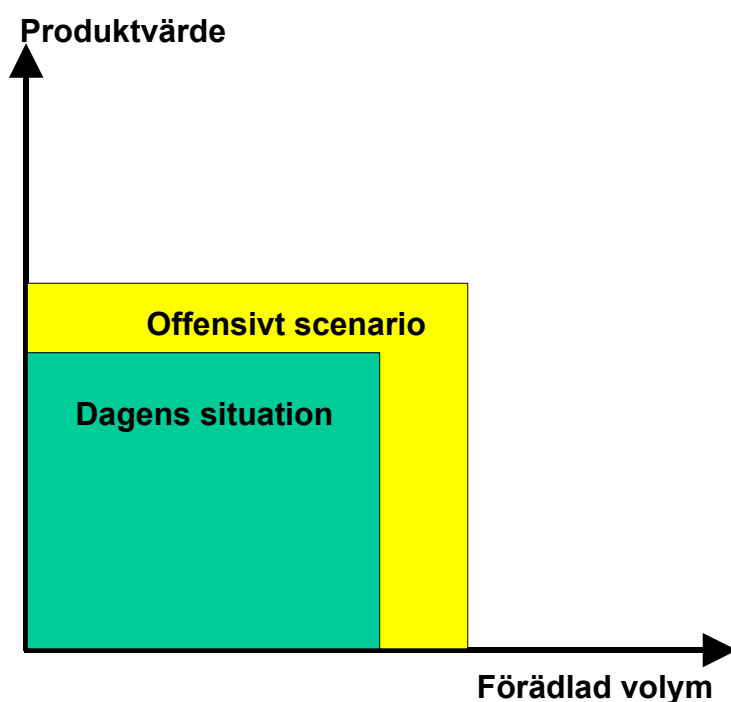
Skördarens informationssystem måste länkas till informationssystem som fungerar genom hela produktionskedjan skog-industri. För detta finns i dag en gränssnittsstandard, som bör vidareutvecklas. För att bättre information ifrån skogen ska kunna nyttjas, krävs också genomtänkta lösningar för kommunikation leverantör-kund, samt logistik och märksystem för den minsta enhet (stock, trave etc.) som ska beskrivas.

Skördarförarna upplever att ansvaret för längd- och kvalitetsfördelning, trädval, och apteringsbeslut är krävande. Resultatet kan lätt bli bristfälligt om skördarföraren försöker höja produktiviteten genom att påskynda bedömningen av eventuella fel på stammen, kvistgränser, bedömningar av trädens längd och diameter, samt anpassningar till ändrade längd-, diameter- och kvalitetskrav. Mer mät- och beräkningsstöd för aptering och kvalitetssättning skulle avlasta skördarförarna, samt kunna bidra till bättre råvaruanvändning och högre virkesvärdet samtidigt som det i många sammanhang kan ge förutsättningar för produktivitetshöjningar.

Våra slutsatser och rekommendationer sammanfattas längst bak i detta dokument.

Inledning

Skogsråvaran – virket – är en värdefull men också mycket variabel naturresurs. Ett offensivt scenario för skogsnäringen skulle enligt Eriksson, Hällgren & Rådström (1995) kunna innebära att överskottet i handeln med skogsindustriprodukter ökade med 25 miljarder kronor per år (figur 1). Mätteknik och information är en nyckel till förbättrat samspel mellan skog och industri. Bättre information om råvarans egenskaper ger förutsättningar att utveckla hela skogsnäringen. I Sverige avverkas 60–70 miljoner m³fub virke varje år. Nästan all denna ved avverkas med skördare. För detta arbete finns mer än 1 000 skördare, som faller, kvistar och kapar stammarna till stockar för leverans till sågverk, massa-/pappersindustrier m.fl. En genomsnittlig skördare tillreder (2005) ca 70 000 m³fub/år, medan de mest produktiva skördarna under gynnsamma omständigheter kan tillreda 100 000 m³fub. Dessa produktionsnivåer motsvarar virkesvärden på 15–40 miljoner kr per maskin.



Figur 1.
Ett offensivt scenario för skogsnäringen skulle kunna innebära att överskottet i handeln med skogsindustriprodukter ökade med 25 miljarder kronor per år. Till detta kommer potentialen för ökad bioenergiproduktion och nya produkter ur skogsråvara (efter Eriksson, Hällgren & Rådström, 1995).

Ändamålsanpassad varudeklaration av råvaran redan i skogen skulle innebära en påtaglig förändring jämfört med dagens i de flesta fall mycket schablonartade sortimentshantering. Ju mer specialinriktade och högfärdlade produkter som tillverkas och ju större kraven är på flexibilitet i produktionen över tiden, desto viktigare är sannolikt deklARATIONEN av egenskapsfördelningen i råvaruledet. Även i de industrier som inte är lika betjänta av en långtgående definition av råvaran, skulle kontroll och utjämning av egenskaperna hos råvaruflödet påverka resultatet positivt. Vidare är en god och allsidig varudeklaration av trä- och fibermaterial antagligen av stor vikt för att stimulera utveckling av helt nya produkter där trä och fiber ofta konkurrerar med andra mer väldefinierade material som plast, aluminium, konstfiber etc.

Med tanke på att svenska skogsprodukter genererar ett sammanlagt värde av ca 90 miljarder kr/år räcker det med förbättringar på tiondelar av promille för att ett FoU-projektet ska ge klara positiva nettoeffekter. Men en god varudeklaration av veden redan i skogen kan på sikt innebära ett ”systemskifte” och åtskilliga procents förbättringspotential av resultatet för hela kedjan från träd till slutprodukt. Ökade möjligheter till materialsnålare produktion och effektivare logistik minskar också den totala belastningen på miljön.

Beskrivning av råvaran – behovsanalys

Att få fram detaljerade och objektiva beräkningar från branschföreträdare om potentialer för förbättrad anpassning av virke till olika industrier är svårt, både på grund av problemets komplexitet och att på att det kan innehålla företags-hemligheter. Många industriföreträdare talar dock om behovet av ökad kund- eller ändamålsanpassning genom hela kedjan från önskad produkt bak till planeringen av råvaruflödet. I en intervju som presenterades i tidningen Vi skogsägare (Nr 6, 1999) uttalade Frode Alhaug koncernchef för Moelven ASA följande svar på frågan om det går att göra virkesanskaffningen effektivare.

– ”Olika kvalitetsförsämringar kostar runt 70 kr per m³. Det handlar om att timret inte är riktigt kundanpassat, exempelvis kan det vara fel dimension eller kräva onödiga lagringskostnader”.

Liknande synpunkter kommer från massa/-pappersindustrin. Per Engstrand vid Holmen Paper i Norrköping har framfört följande beskrivning av en papperstillverkarens perspektiv:

- ”Vid pappersmaskinen finner man ett kvalitetsfel (låg töjning, exempelvis från 1,15 % – 1,05 %).
- Man kontrollerar orsakssamband kring själva PM (PappersMaskinens torrhalter, drag mellan press- och tork m.m.), utan att finna orsaken.
- Man kontrollerar parallellt eventuella förändringar i retentionskemikalier, fyllmedeltillsatser (lera, m.m.), i DIP (returpappersmassan) och i TMP (mekmassan).
- Man ser att CSF-nivån (avvattningsmotståndet) på TMP legat konstant, men att medelfiberlängden enligt PQM minskat (exempelvis från 1,40 mm
- 1,25 mm) samtidigt som den specifika energin minskat något. I TMP-fabriken kontrollerar man primärraffinering, sekundärraffinering, silning och rejektraffinering, men finner ingen förändring som förklarar varför man har kortare medelfiberlängd och lägre specifik energi till viss CSF-nivå, (vilket man har som börvärde, online). I TMP-fabriken kontrollerar man även flissällning och hugginställningar, men kan bara konstatera att man haft lika inblandning av sågverksflis och egenhuggen flis. I detta läge skyller man på ”skogen” och det kan ju vara rätt, eller fel, i vilket fall kan man inte göra något åt saken. Många gånger hittar man fel vid PM eller i DIP, eller att man i TMP-processen kört fel i något processavsnitt, men då har man en klar och tydlig spårbarhet och dessutom en förmåga att åtgärda felet”.

Till skillnad från andra processpåverkande faktorer saknas således bra information om råvarans egenskaper. Utveckling av system som gör det möjligt att beskriva vedflödets egenskaper, helst redan i skogen, har därmed hög prioritet. Eftersom varje industri, har delvis unika förutsättningar är en beskrivning av virkesflödets egenskaper en mycket viktig förutsättning för att man ska kunna analysera potentialer och problem med variation i råvarans egenskaper.

EGENSKAPER AV VIKT FÖR PRODUKTION AV TRÄVAROR

Timrets egenskaper kan inverka på slutproduktens egenskaper och värde, men också på kostnader genom produktionskedjan från skog till kund. Eftersom likvärdiga slutprodukter kan tillverkas på olika sätt, måste hela kedjan analyseras för att egenskapernas totala ekonomiska betydelse ska kunna belysas. Någon sådan fullständig genomgång av hela tillverkningskedjor har inte varit möjlig inom ramen för detta arbete. Med hjälp av några exempel (limträ, reglar, samt dörrpost-, fönster- och möbelämnena) och bedömningar har Jäppinen (2000a) ändå försökt belysa värdet av olika egenskaper hos råvaran med avseende på effektivare tillverkning och önskvärda egenskaper hos olika slutprodukter. I brist på detaljerade fakta har sedan den relativa betydelsen för olika timmeregenskaper beräknats utifrån bedömningar av en mycket grov uppdelning av svenska träprodukters volymandelar och betalningsförmåga.

Värderingsmodellen bygger på multiplikation av produktvärden, produktionsvolymerna och egenskapskrav. Eftersom bra indata till viss del saknas blir utfallet beroende av osäkerheten i de bedömningar som krävts. Resultatet indikerar ändå att det är styrka, formstabilitet och dimensioner som är högst prioriterade när dagens svenska trävaruproduktion beaktas sammantaget. En del produkter ställer dock höga krav på helt andra egenskaper som beständighet, bearbetbarhet, färg/harmoni m.m. En utveckling av trävarubranschen bör därmed gynnas av att även sådana egenskaper kan mätas eller beräknas.

Synen på virkesegenskaper varierar också beroende på var i kedjan man befinner sig och med förändringar av olika trender över tiden. Detta är delvis relevant, men också beroende på att de system som styr klassning och prissättning av timmer inte är anpassade till detaljer som är aktuella först längre fram i en produktionskedja. Starkare länkar i kedjan råvara – färdig produkt innebär därför ökad efterfrågan på information om råvarans egenskaper.

För att skogsbruket ska kunna producera efterfrågat virke behöver man överföra de direkta kraven på virkesegenskaper från slutprodukter och tillverkningsprocesser till egenskaper som avser enskilda stockar (timmeregenskaper). Stocken är den minsta enhet som en skördare hanterar, men även egenskapsvariationen inom en stock kan ha stor relevans för bedömningen av lämpligheten för tillverkning av en specifik produkt. Ju bättre stocken kan beskrivas vid skördaren desto större är förutsättningarna att aptera den för en direkt anpassning till en eller flera slutprodukter.

Resultatet av Jäppinens beräkning av olika timmeregenskapers betydelse utgående från bedömningar av dagens trävaruproduktion i Sverige redovisas i tabell 1. Dock ska osäkerheten i resultatet understrykas med hänsyn till osäkerheten i utgångsförutsättningarna. Tabellen ska därför endast ses som en indikation på vilka egenskaper som förefaller viktiga när variationen i egenskaper i timmerflödet och en volym och värdeviktning för befintlig svensk trävaru-

produktion kombineras. Återigen vill vi dock betona att enskilda tillverkningsprocesser och produkter kan ställa helt olika krav på en viss egenskap eller kombinationer av egenskaper.

Tabell 1.

Indikation på viktiga timmeregenskaper utifrån en värderingsmodell där bedömda krav från trävaruprodukter / tillverkningsprocesser, produktvärden, produkternas andel av timmerförbrukningen, samt befintlig variation i egenskaperna inom timmerflödet vägts samman (Jäppinen, 2000a). Osäkerheten i resultatet understryks dock med hänsyn till stora osäkerheter i utgångsförutsättningarna. Observera att många av egenskaperna är korrelerade, vilket måste beaktas vid prioritering av mätbehov.

Timmeregenskaper

1. Diameter
 2. Kärnvedsandel
 3. Densitet
 4. Årsringar/ totalt respektive bredd
 5. Styvhet
 6. Tjurved
 7. Röta (som ej identifierats vid apteringstillfället)
 8. Stamform/ avsmalning
 9. Kådlåpor
 10. Kvistvarv, frekvens
 11. Fibervinkel
 12. Krökar/ Rakhethet
 13. Höjd från mark
 14. Kvist, storlek och typ
 15. Stocklängd (För vissa produkter är kombinationen av diameter och stocklängd avgörande)
 16. Ojämnhet/ Kvistbular
 17. Ovalitet/ Orundhet
 18. Barkmönster / Kvist
 19. Krongräns/ Barktyp
-

EGENSKAPER AV VIKT FÖR FIBERBASERADE PRODUKTER

Även inom massa- och pappersindustrin ställs höga krav på jämna och lämpliga egenskaper hos vedråvaran. Kraven beror på produkt och process. 30–40 % av variationerna hos slutprodukten kan bero på variationer i vedråvaran (tabell 2).

Egenskaperna hos papperet påverkas främst av fiberdimensionerna (tabell 3). Även andra egenskaper hos den inkommande veden påverkar dock kvalitet, körbarhet och ekonomi (tabell 4). Dessa egenskaper påverkar massaprocesserna (barkning, flisning, impregnering, kokning eller raffinering, silning, blekning) och därmed egenskaperna hos massan. Om jämna och lämpliga massaegenskaper uppnåtts har en bra grund lagts för effektiv produktion av slutprodukter med rätt egenskaper.

Tabell 2.

Relativ effekt av olika processteg på pappersegenskaperna, vid framställning av tryckpapper. (Efter Mohlin, 1997).

Processteg	Vedhaltigt papper Mekaniska massor	Vedfritt papper Kemisk massa
Ved	30	40
Massatillverkning	40	10
Mäldberedning	10	30
Pappersmaskin	20	20

Tabell 3.

Viktiga fibregenskaper för massa- och pappersproduktion. Observera att både medelvärden och variation inom vedsortimentet har betydelse. Flera av egenskaperna är korrelerade.

Fibregenskaper

Fibregenskaper (vedceller):

+ Väggtjocklek

+ Längd

+ Bredd (radiell, tangentiell)

+ Cellväggsstruktur

Kemi (Ligniner, cellulosa, hemicelluloser, extraktivämnen)

Tabell 4.

Vedegenskaper av betydelse för massa/pappersproduktion, med hänsyn till processer, produkter och befintlig variation inom dagens massavedsflöde. Observera att både egenskapens medelvärde och variation inom vedsortimentet har betydelse. Flera av egenskaperna är korrelerade.

Vedegenskaper

Färskhet

Antal årsringar

Andel vår- respektive sommarved

Röta (som ej identifierats vid apteringstillfället)

Densitet

Diameter

Kärnvedsandel

Tjurved

Barktjocklek och bindningsstyrka

Kåda, hartser etc.

Kvistar

Behov av mätnoggrannhet

En ekonomisk mätnoggrannhet bör utgå från en kostnads/intäktsanalys av genererad information. När egenskaper som inte mäts har samband med en eller flera av de egenskaper som mäts kan sambanden utnyttjas för att beräkna dessa egenskaper med olika typer av modeller. Vanligen utnyttjas då de statistiska sambanden, d.v.s. iakttagen kovarians mellan egenskaperna. Styrkan i de statistiska sambanden och mätfelet i de egenskaper som utnyttjas (indata) avgör då precisionen för de beräknade egenskaperna.

Om exakt information om enskilda stockar är väsentlig för särbehandling i produktionen minskar möjligheterna att beräkna egenskaper med tillräckligt hög noggrannhet ganska snabbt med sjunkande förklaringsgrad för beräkningsmodellerna. Om den detaljerade informationen är väsentlig för apteringen

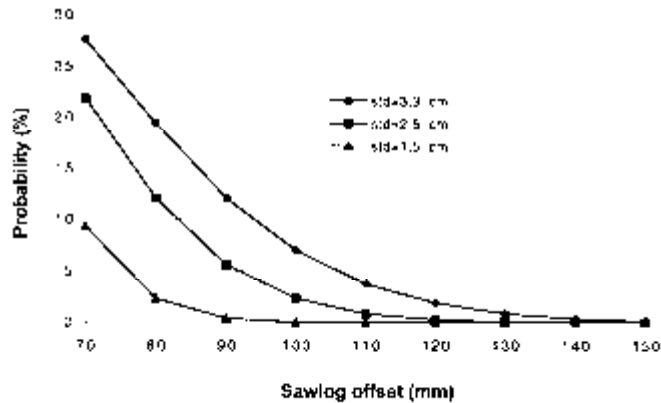
måste då mätningen ske redan ute i skogen, såvida inte även apteringen sker vid industrin, d.v.s. hela stammar eller timmer- respektive massavedsdelarna av stammar transporteras från skogen till industrin.

Med det svenska skogsbrukets nuvarande förutsättningar ger kortvirkessystem dock lägre kostnader än helstamsmetoder. Vidare är vägnätet inte helt anpassat för helstamstransporter. Detta talar för att apteringen ska göras i skogen. Om skördarna klarar apteringen enligt köparnas önskemål och till en rimlig kostnad, ger kortvirkessystem logistiska fördelar och en bättre totalekonomi än helstamsmetoder. Mätssystem som kräver stora investeringar och/eller en skyddad miljö är däremot mindre lämpliga för skördare än för virkesintag vid stora industrienheter. System för partiell genomlysning av stockar finns redan i kommersiell drift (Grundberg, 1999). Kombinationer av viss virkesinformation från skogen och fördjupad mätinformation vid industri är därför också av stort intresse.

Optimala lösningar beror på en rad förutsättningar som marknadssituation, produktinriktning, industristruktur, förädlingsgrad, förekommande variation i viktiga egenskaper hos skogen, precisionskrav, beräkningsmöjligheter med modeller, kostnader för nödvändig mätteknik, behandlad volym per skördare/-drivare mm Olika kombinationer av nyckelinformation från skogen och mer avancerade mätsystem vid industri. Om en anrikning av önskade egenskaper och en viss begränsning av variationen är tillräckligt för att ge positiva effekter på processer och produkter, kan dock beräkningsmodeller även med måttliga förklaringsgrader vara användbara.

DIAMETER OCH LÄNGDMÄTNING FÖR TRÄPRODUKTER MED SPECIFIKA MÅTT

För att tillverka sågutbyten med specifika mått (längd × höjd × bredd) blir en korrekt aptering efter önskvärd stocklängd och diameter i topp (min- och maxdiameter), en avgörande förutsättning för att undvika omfattande kassering och spill. Denna typ av kund- och ändamålsanpassade produkter antas kunna bidra till en utveckling mot högre förädlingsvärden och mer systemtänkande inom trävarubranschen. Därför har frågan genomgått en särskild analys i ett av studiens delprojekt rubricerat "Assessing the role of the harvester within the forestry-wood-chain" (Chioresco & Grönlund, 2000). Här har författarna simulerat produktion trävaror med fixerade längd- och dimensionskrav. Olika vankantstolerans för klasserna A-C (klassificeringsregler enligt "Nordiskt Trä") studerades. Skördarens mätfel sattes till 6 mm standardavvikelse för diametermätning och 3,3 cm för längdmätning (figur 2). Från 19–37 % (beroende av kvalitetsklass) av stockarna vrakades minst ett centrumutbyte av totalt 2–4 per stock p.g.a. för stor vankant och/eller otillräcklig längdjustermån. Det genomsnittliga antalet vrakade centrumutbyten var 9–18 %.



Figur 2. Sannolikhet för nedklassning av centrumutbyten vid olika övermål (sawlog offset) för stocklängd och olika längdmättningsfel, vid tillverkning av sågutbyten med specifika längdkrav (från Chiuresco & Grönlund, 2000).

DIAMETER OCH LÄNGDMÄTNING, NOGGRANNHET OCH EKONOMI

En väl fungerande löpande diametermätning är således mycket viktig om stockarna ska kunna kapas rätt i förhållande till efterfrågade dimensioner.

De flesta skördare på marknaden har diametermätning som bygger på lägesbestämning av två något parallellförskjutna kvistknivar (figur 3) givet att stocken trycks mot aggregatets insida. Det finns även lösningar som bygger på diametermätning med hjälp av matningsfunktionen. Eftersom skördaraggregatets matningsfunktion i kombination med kvistknivarna ibland skalar av bark under tillredningen mäts diametern ibland på, ibland under eller delvis under bark. Problemet är minst vid kyla på vintern huvudsak på bark vintertid och i olika utsträckning under bark vår, sommar och höst. Vid mätning med matarvalsar eller bandplattor kan motsvarande problem med avskavd eller medföljande bark uppkomma.



Figur 3. De flesta diametermätningssystem på skördare bygger på berörande mätning där diametern räknas ut genom mätning av kvistknivarnas läge (Bild: Skogforsk).

I dagens skördare finns diameter- och längdmätningssystem där kvistknivarna normalt utnyttjas för diametermätningen och där ett mätjul registrerar matad längd. De berörande givarna är kopplade till potentiometrar vars signaler bearbetas och filtreras med analysprogram som beräknar mätställets diameter och matad längd från föregående kap. Konstruktion och funktion i dagens diametermätningssystem kräver regelbunden kalibrering för att inte systematiska fel ska uppkomma. Väl underhållna och rätt kalibrerade diametermätningssystem i skördare ger mätvärden för medeldiameter i varje stocks toppände som ligger inom ± 4 mm på bark jämfört med referensvärdet (korsklavning) för i medeltal 60 % av alla studerade stockar (mellan 47 och 84 % i olika undersökningar) (Sondell, 1995; Löfgren & Wilhelmsson, 1998).

Tabell 5.

Olika felkällor vid diametermätning med skördare (Lundgren m.fl., 2000; bilden från Möller & Sondell, 2000).

Olika felkällor vid diametermätning med skördare (Lundgren et al)					
Standardavvikelse i mm per klass					
Tall	Toppdiameterklass, mm				Medel
Felkälla	125–175	176–225	226–275	276–325	
Kör- och mätteknik	6,3	7,2	7,1	6,7	7,0
Barkavskav					
sommar	2–4	2–4	2–4	2–4	2–4
vinter	0,5–2	0,5–2	0,5–2	0,5–2	1,5
Barktjocklek	0,5–2	2–5,5	2,5–9	2,5–9	3,2
Orundhet	1,8	2,1	2,5	3,4	2,3
Gran	Toppdiameterklass, mm				Medel
Felkälla	125–175	176–225	226–275	276–325	
Kör- och mätteknik	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Barkavskav					
sommar	2–3	2–3	2–3	2–3	2,5
vinter	0–1,5	0–1,5	0–1,5	0–1,5	1
Barktjocklek	1–2	1,5–2,5	2–3	3–4	2,4
Orundhet	1,4	1,5	1,7	2,3	2,1

Standardavvikelsen är ett statistiskt mått på spridningen i ett material.
Exempel: En standardavvikelse på 1,7 mm innebär att 2/3 av alla mätningar kommer att hamna inom ett intervall om $\pm 1,7$ mm från deras medelvärde, förutsatt att mätvärdena är normalfördelade.

I två undersökningar (Möller, 2000a; Möller, 2000b) med kalibrerade mätvärden var standardavvikelsen för skördarnas toppdiametervärden jämfört med 3D-mättram 7,5 respektive 7,6 mm för tallstockar. Motsvarande siffror för granstockar var 7,0 respektive 5,7 mm. (tabell 5 och figur 4). Andelen diametermätvärden inom ± 4 mm på bark jämfört med referensvärdet (3D-mätramen) var i de båda studierna 38 respektive 40 % för tallstockarna och 45 respektive 62 % för granstockarna. Båda undersökningarna genomfördes på vintern. Problemen blir större när kvistknivarna, ibland skär på, och under vegetationsperioden, ibland under bark. Ett annat problem är att knivarna ibland inte håller fast stocken helt. Detta kan leda till överskattade diametrar. Vid bristfällig funktion eller felaktigt handhavande av systemen kan felen i värsta fall vara upp till flera centimeter i medeltal och då ofta med systematiska avvikelser. Berörande mätorgan är förhållandevis billiga, men känsliga för störningar, felak-

tigt handhavande och underhåll. Noggrann kalibrering och kontroll av funktionen hos systemen är mycket viktig. Här behövs en skärpning av rutiner och organisation med inslag av både morötter och piskor.

Längdmätningen med väl underhållna befintliga system gav enligt Sondell (1995) i genomsnitt 80 %, (68–89 %) av längdmätta stockar inom felmarginalen $\pm 2,5$ cm, vilket ofta är acceptabelt. I procent av stocklängden är ett normalt längdmättningsfel endast 0,4 – 0,7 % motsvarande samma volym, medan det genomsnittliga mätfelet för diameter kan motsvara mellan 2 och 9 % av volymen beroende på stockdimension. Framför allt i kombination med diametermättningsfel och litet övermål, kan ett sådant fel ge upphov till en del nedklassningar vid produktion av längd/dimensionsfixerade träprodukter (Chiorescu & Grönlund, 2000).



Figur 4.
Orsaker till tillfälliga fel vid diametermätning i skördaren. (Möller & Sondell, 2000).

Vid ren volymmätning av partier är dimensionsmättningsfelen dock acceptabla, (Möller, 1998; Virkesmättningsrådet, 1998) under förutsättning att felen inte är systematiska och att effekten av ett slumpmässigt diametermättningsfel ger en positiv bias för volymkattningen (vid 6 mm std.-avvikelse ca 1–3 % beroende på medeldiametern för apterade stockar).

Det finns vissa möjligheter att förbättra de konventionella diametermätningssystemen. Utformningen av kvistknivarna, en särskild givare för kontroll av stockens läge i förhållande till knivarna och en mer utvecklad signalbehandling är exempel på några detaljer. För att få fram diametermätningssystem med prestanda som helt fyller sågverkens behov kan det dock vara nödvändigt med skifte till beröringsfri mätning, eller utveckling av särskilda berörande givare av-

sedda enbart för diametermätning. Utöver medeldiametern är sågverken betjänta av max-/mindiametrar, d.v.s. i varje fall två diametermått per mätställe, helst med 90° vridning i förhållande till varandra.

Skogforsk och elektronikföretaget SVEP har med pengar från NUTEK och skogsbruket, arbetat med att utveckla ett beröringsfritt diametermätningssystem som bygger på visionkameror, oscillerande diodbelysning och avancerad signalbehandling. Prototypen gav bättre och säkrare information om stockens diameter, 75 % inom ± 4 mm, (Löfgren & Wilhelmsson, 1998) och yttre form än befintliga system. Även om systemets optik är förvånansvärt okänslig för störningar från spån och snö kan nedsmutsning av kameralinserna försämra mätnoggrannheten. En del förbättringar av systemet behövs innan det kan marknadsföras. De viktigaste är ökade kameravinklar (för närvarande endast 45° av utrymmesskäl), automatisk rengöring av kamerornas synfält samt utvecklad programvara för filtrering och tolkning av om systemet mäter på eller under bark. Vidare bör längdmätningssystemet byggas in i systemet. Tillverkaren har kalkylerat priset för ett färdigt system till ca 150 000 kr per aggregat. För närvarande (november, 2000) diskuterar Skogforsk även modifierade lösningar för bättre berörande dimensionsmätning med representanter för maskintillverkarna.

Uusijärvi (2000) redovisar en beräknad intäktspotential för korrekt dimensionsmätning hos enskilda stockar på totalt ca 15 kr/m³ timmer (ca 30 kr/m³ sågad vara). Beräkningarna som baseras på analyser av Usenius (1997) bygger på reduceringar av standardavvikelse på sågmått, av torkningsmån, av inläggningsfel, samt av avvikelser mellan önskad och erhållen stockfördelning.

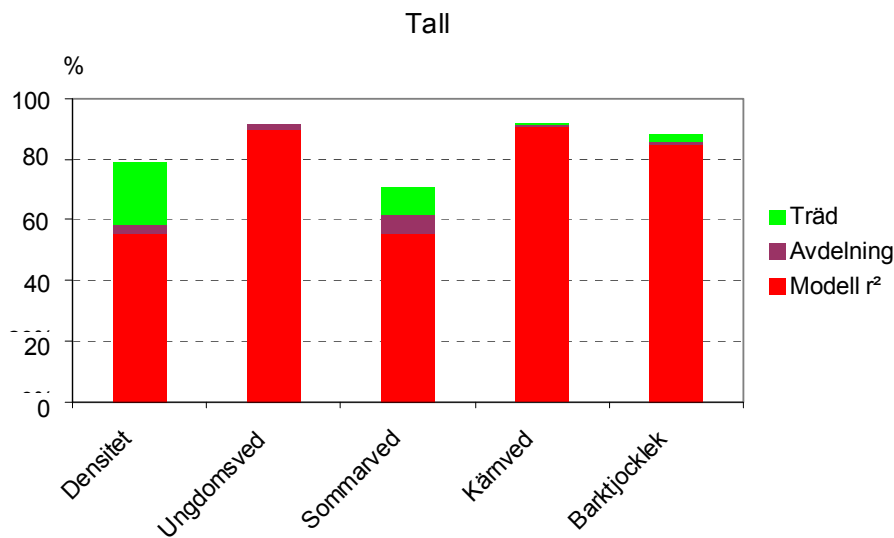
BERÄKNINGSMODELLER OCH APTERINGSDATORER

Många egenskaper kan beräknas med statistiska modeller. Noggrannheten för sådana enskilda prediktioner varierar med egenskap och precisionen i de indata som krävs till modellerna. Med hjälp av prediktionsmodeller kan önskvärda egenskaper hos råvara avsedd för en viss produkt eller produktmix anrikas till en låg kostnad från skogen. Modeller för prediktion av ved- och fiberegenskaper hos gran och tall anpassade för diametermätningssystemen i skördare redovisas från fortsatt analys av data från det NUTEK-finansierade projektet "Ved-sortering för bättre pappers- och kartongprodukter" (Wilhelmsson m.fl., 1999; 2000b) och från det NUTEK-finansierade projektet Skog-Massa-Papper, (Wilhelmsson m.fl., 2000a; 2001). Resultaten framgår av figurerna 5 och 6. Vidare redovisar Ekenstedt et al. (2003) preliminära modeller som förklarar ungefär 3/4 av variationen i fiberlängd och fiberbredd (figur 7).

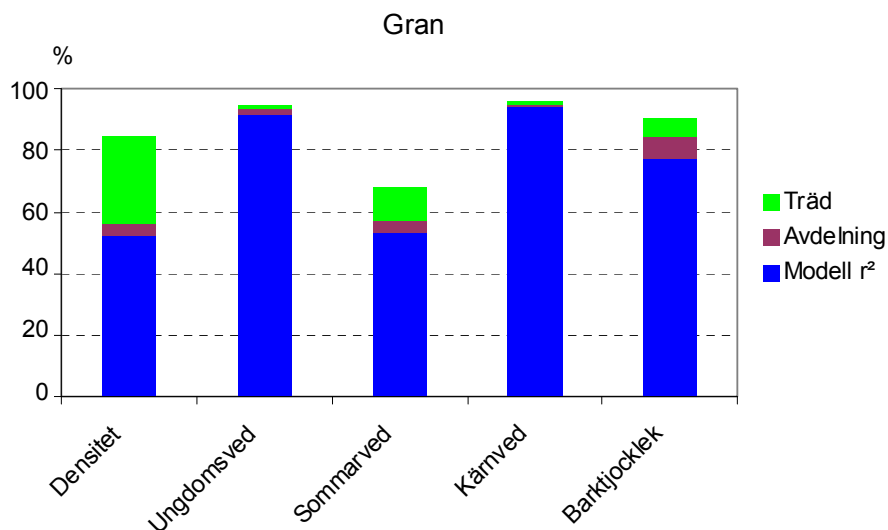
Väisänen et al. (1989); Leban et al. (1997); Björklund & Pettersson (1999); Björklund & Moberg (1999); Moberg (1999) (figur 8); Öyen & Höibö (1999); ger exempel på modeller som syftar till att prediktera kviststrukturer från bestånd- och trädinformation.

Jäppinen (2000b) visar på möjligheterna att med information från 3D-mätningar vid sågverk räkna fram en ganska detaljerad bild av stocken (figur 9). Resultatet kan sedan användas för att beräkna stockens sannolika position i trädet, kviststorlek och typ, krökar, ovalitet m.m. I skördaren kan en detaljerad mätning av yttre form ge mer information än vid sågen. Anledningen är att in-

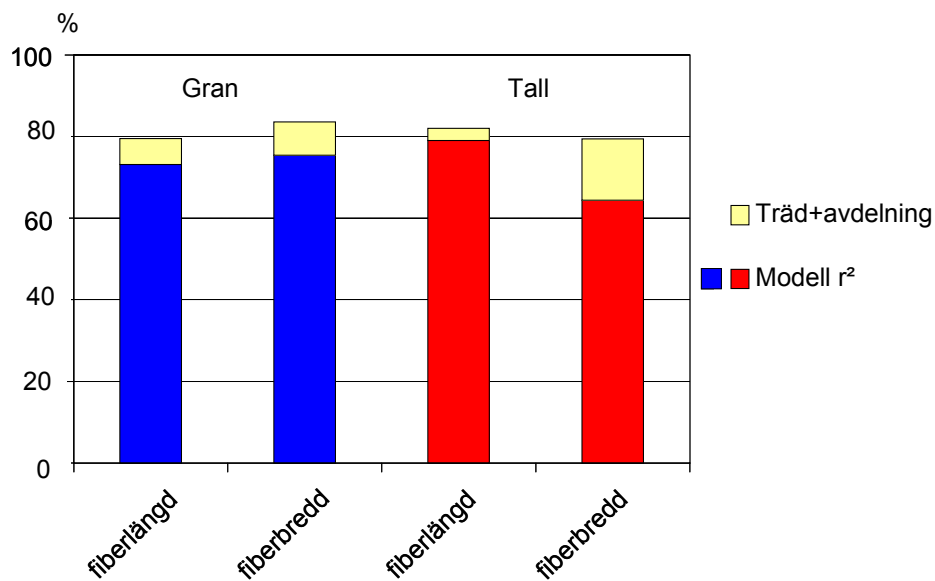
formation om stockens position i trädet, dess ungefärliga totalålder, dess diameter och höjd i förhållande till redan avverkade omkringstående träd, samt beståndets geografiska belägenhet och övriga växtplatsförutsättningar då kan tillföras beräkningsmodellerna. Vidare är många kvistar fortfarande synliga och både synlig och tidigare registrerad information om förekommande skador och fel kan sammantaget bidra till skarpare tolkningar av yttre form och andra informationskällor sammantaget. Det är därför av stort intresse att mäta stockens yttre form med god precision i skogen. Kombinationer av mät- och beräkningsinformation från skogen och information från virkesmätning vid industrin kan skapa ännu bättre möjligheter att beskriva och utnyttja virkets egenskaper effektivt.



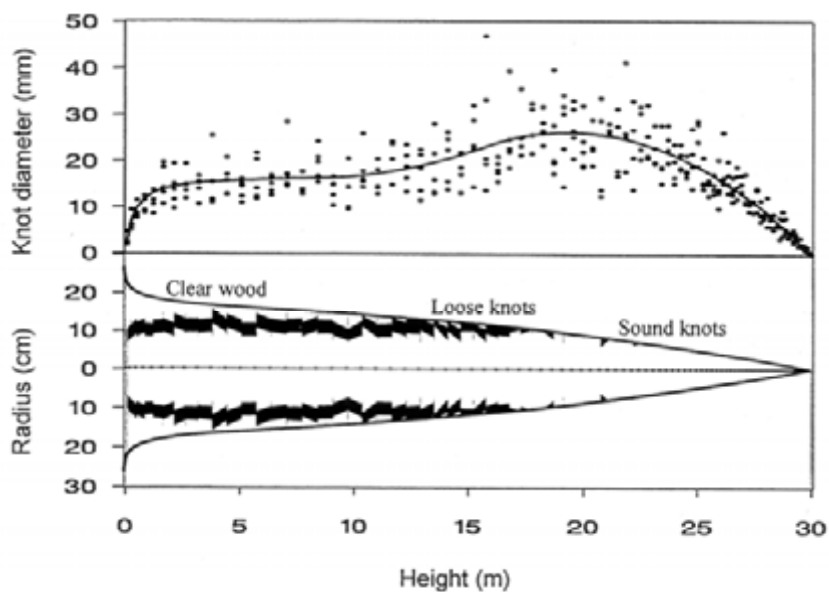
Figur 5. Tall. SMP-projektet. Andelar av total variation i vedegenskaper som kan förklaras genom löpande mätning av diameter- och antal årsringar i skördaren. (Wilhelmsson, et al., 2002).



Figur 6. Gran. SMP-projektet. Andelar av total variation i vedegenskaper som kan förklaras genom löpande mätning av diameter- och antal årsringar i skördaren. (Wilhelmsson et al., 2002).



Figur 7. Gran och tall. SMP-projektet. Resultat från utvecklingen av fibermodeller. Andelar av total variation i egenskaper som kan förklaras med diameter och antal årsringar. (Ekenstedt et al., 2003).



Figur 8. Kvistmodell för gran utgående från höjnutvecklingsfunktioner, avstånd mellan kvistvarv, ståndortsindex, brösthöjdsdiameter, grönkronlängd och brösthöjdsålder (efter Moberg, 1999).

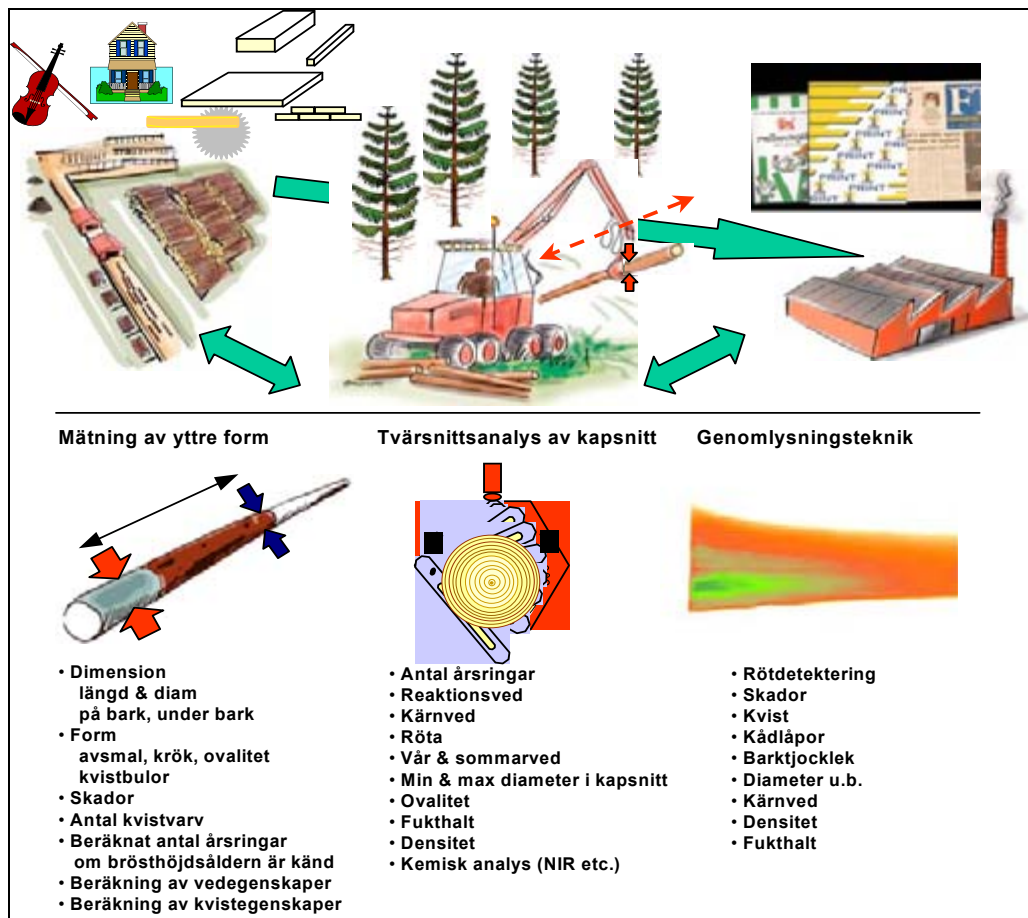


Figur 9.
Granstockar rekonstruerade från yttre form (geometriska data).
(Från Jäppinen, 2000b.)

PRIORITERINGAR AV MÄTBEHOV

Ju bättre mätteknik vid industrin, desto mindre angeläget kan det förefalla att mäta bra i skogen. Trots en alltmer utvecklad teknik för stockmätning vid sågverk kan inte alla viktiga egenskaper tolkas med tillfredställande säkerhet. De viktigaste argumenten för bra mätteknik i skogen är ändå att aptering, divergerande virkesflöden (virket ska till olika industrier och till olika sortiment per industri) och en effektiv produktionsplaneringen gynnas av bättre mätning redan vid tillredningen och att det är det enda stället i kedjan där varje massavedsbit faktiskt kan mätas individuellt.

De analyser som utförts inom ramen för denna förstudie och tidigare undersökningar med liknande syften visar att diameter-, men även längdmätningen bör förbättras. Förstudiens analyser av andra råvaruegenskapers betydelse för olika trä- och pappersprodukter är inte lika ingående, men översikten indikerar ändå betydande potentialer (tabell 1, 2, 3 & 4, samt Lundqvist et al. 1999). Vid ett försök till en samlad bedömning av egenskapernas betydelse för både trävaru- och pappersproduktion (exempel på värden ges i tabell 6) kan en lista över mätbehov (tabell 7) sammanställas. Eftersom egenskaperna är delvis korrelerade med varandra, finns det möjligheter att beräkna en del av dem med hjälp av mätinformation från andra. Detta behandlades under avsnittet ”Beräkningsmodeller och apteringsdatorer” ovan. Figur 10 ger en schablon över möjligheterna med några olika mätprinciper som kan vara aktuella för skördare.



Figur 10.
Skördaren levererar virke till olika industrier, med olika krav på råvarans egenskaper. Observera att information om timmeregenskaper kan vara värdefull även för massa-/papperstillverkare som har behov av att beskriva egenskaper hos flödet av sågverksflis. Den nedre delen av figuren visar möjligheterna med olika mättekniker. Teckningar Anna Marconi, Lars Wilhelmsson och MsClipArt. Foto röttdetekterad stock Lars-Göran Sundblad, samt pappersprodukter Carl-Henrik Palmér. (Wilhelmsson, 1999; 2000).

Tabell 6.

Exempel på kalkylerade värden av att redan vid avverkningsstillfället beskriva och utnyttja olika egenskaper hos virket på ett ändamålsenligt sätt. (Från Wilhelmsson 2000).

Egenskap/förutsättn./ användning	Jämförelsegrund	Värdeförändring	Referens
Diametermätning/Produktion av sågfallande längder med högre täckningsbidrag för vissa diameterklasser.	Apteringsvinster vid minskad standardavvikelse för diametermättet.	2 kr per millimeter och m ³	Wilhelmsson & Arlinger (1997)
Diametermätning/Leverans av sågtimmer efter inmätning med 3D-mättram vid sågverk och betalning enligt gällande prislistor. Gran och tall.	Apteringsförluster p.g.a. mätfel i skördaren värderat efter 3 olika prislistor.	1,2 – 6,0 kr/m ³	Möller (2000a)
Diameter- och längdmätning/Simulerad produktion trävaror med fixerade längder och dimensionskrav. Olika vankants-tolerans för klasserna A-C (klassificeringsregler enligt "Nordiskt Trä"). Skördarens mätfel 6mm std.avv för diametermätning och 3,3 cm för längdmätning.	Nedklassning av sågutbyten p.g.a. oplanerad vankant och otillräcklig längdjustermån. Jämförelse med korrekta mätvärden.	19–37 % (beroende av kvalitetsklass) av stockarna ger minst ett vrakat centrumutbyte, av tot. 2–4/stock. Genomsnittlig nedklassning av centrumutbyten 9–18 %.	Chiorescu & Grönlund (2000)
Diameter och längdmätning enl. exemplet från Chiorescu & Grönlund (2000) ovan.	1. Vrak betalas med flispris (217 kr/m ³ f), 50 % sågutbyte till 1 600 kr/m ³ sågad vara reducerat med 9–18 %.	1. 9–18 % vrakning => 13–34 % minskad betalningsförmåga för timret (vid 1 500–1 800 kr/m ³ sv).	Denna publikation (Wilhelmsson, kalkyl opublic.)
	2. Extra övermål 6 mm i diameter och 2,5 cm i längd kompenserar för mätfel. Ovanstående övermål beräknas reducera vrakningen till ca 1 %.	2. Vid kompensation genom extra övermål minskar betalningsförmågan i stället med 10–12 %. Tillkommer dock kostnader för krav på högre dimensioner från skogen.	
Diameter- och längdmätning/ Produktion av trävaror.	Möjlig reducering av std.avv på såg- mått, torkningsmån, inläggningsfel, samt minskad avv. mellan önskad och erhållen stockfördelning	15 kr/m ³ timmer för eliminerade jämfört med aktuella mätfel.	Uusijärvi (2000) utgående från Usenius (1997).
Rötdetektion/optimal aptering till timmer genom kännedom om rötans utbredning i trädet jämfört med "blind" kapning till 2,5 m bitlängd/gransågtimmer.	Rötfri ved nedklassad 200 kr/m ³ .	9 kr/m ³ för totalt 3,75 milj. m ³ per år = 34 milj. kr/år.	Sundblad (1995).
Tillräcklig drag och rivstyrka/Lägre materialåtgång genom ändamålsanpassade vedsortiment /Teoretisk kartongproduktion.	Sorterad jämfört med osorterad ved. Sorteringskostnaderna inräknade.	6 % lägre tillverkningskostnad för kartongen, eller 220 000 kr/dag för ett normalstort bruk.	Arlinger & Wilhelmsson (1998).
Färskhet/ Färsk (≤ 3 veckor) jämfört med sommarlagrad ved i intervallet 3–9 veckor från avverkning/ Sulfatmassa.	Lagringsförluster.	Upp till 0,9 kr/m ³ och dag (under de varmaste dagarna vår och sommar).	Kalkyl baserad på uppgifter från Söderstam m.fl. (1998); Arvidsson & Holmgren (1999). Innefattar ej ev. tillkommande kvalitetsstörningar på slutprodukten.

Tabell 7.

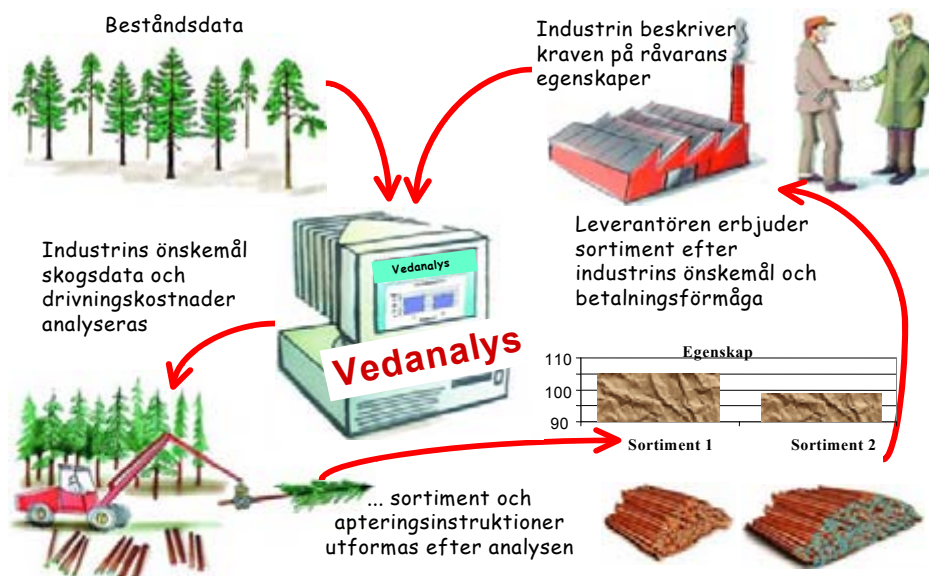
Mätvärda egenskaper med hänsyn till egenskapernas variation och betydelse för olika processer och produkter.

Egenskap
Diameter
Stocklängd
Höjd i trädet
Antal årsringar
Krökar / Rakhet
Ojämnhet / Kvistbulor
Ovalitet / Orundhet
Fibervinkel
Kärnvedsandel
Röta
Densitet
Tjurved
Kådlåpor
Sommarvedsandel
Individuellt årsringsmönster
Fukthalt i splint & kärna
Kemisk analys

Snabb tvärsnittsanalys som ger bl.a. antal årsringar i kapsnitten är också angeläget. Löpande diametermätning med hög precision och tvärsnittsanalys av antal årsringar, samt kemisk analys med NIR ger tillsammans goda möjligheter att beräkna en rad egenskaper, som kärnved, ungdomsved, kviststruktur, bark-tjocklek och yttre fiberdimensioner med modeller. Densitet, cellväggstjocklek och fibervinkel är exempel på egenskaper som kan kräva mätning för att den enskilda stocken ska bli väl beskriven. Densitet kan mätas indirekt genom mekanisk penetrering (pilodyn), eventuellt med akustisk excitering eller direkt med NIR eller röntgen (rådensitet). Färska resultat från Nya Zeeland visar att fibervinklar eventuellt kan mätas med mikrovågsteknik. Skador, röta, sprötkvist och stamkrökar är andra exempel på egenskaper som bör mätas med genomlysningsteknik eller till viss del med detaljerad mätning av yttre form.

Bättre materialstyrning genom tidig information

Eftersom virkesflödet uppvisar stora variationer i många olika egenskaper av betydelse för både tillverkningsprocesser och slutprodukter ligger det en potential i att kunna beskriva, välja och anpassa råvaran till olika behov. Ju tidigare i produktionskedjan råvarans egenskaper är kända, desto bättre är förutsättningarna att kunna erbjuda och leverera den råvara som efterfrågas av industrin. Vidare är det viktigt att en dialog och stödd på fakta om råvaran och analyser av intäkter och kostnader när den utnyttjas på olika sätt kan föras mellan säljare och köpare. I figur 11 visas en principskiss över hur skogsbruket kan möta industrins råvarukrav.



Figur 11. Principerna för en anpassning av skogens egenskaper och sammansättning för att möta industrins krav och betalningsförmåga (från Arlinger & Wilhelmson, 1998).

ETT SYSTEM FÖR ANPASSADE TIMMERLEVERANSER

Information i planeringsstadiet före avverkning

Inventering av beståndsdata före avverkning är en nyckelfråga för att erhålla detaljkunskap om avverkningsobjekten i förväg. Skogforsk har gjort ingående analyser för att beräkna kostnaden och nyttan av att mäta vissa faktorer i fält i jämförelse med att använda enklare typbeståndsdata. I normala fall och i synnerhet då man avser att producera måttbeställda träprodukter är fördelningen på diametrar i brösthöjd den viktigaste informationen om avverkningsobjektet. Både medeldiametern och diameterfördelningarna varierar kraftigt från bestånd till bestånd, beroende på ålder, bonitet, skötselstrategier, trädslagsblandning etc. Den bör därför mätas eller beräknas med ändamålsenlig noggrannhet. I dag krävs normalt klavning tillsammans med att man gör en arealuppskattning och bedömer de allmänna förutsättningarna för drivningen. Eventuellt kan man också kontrollera trädhöjderna.

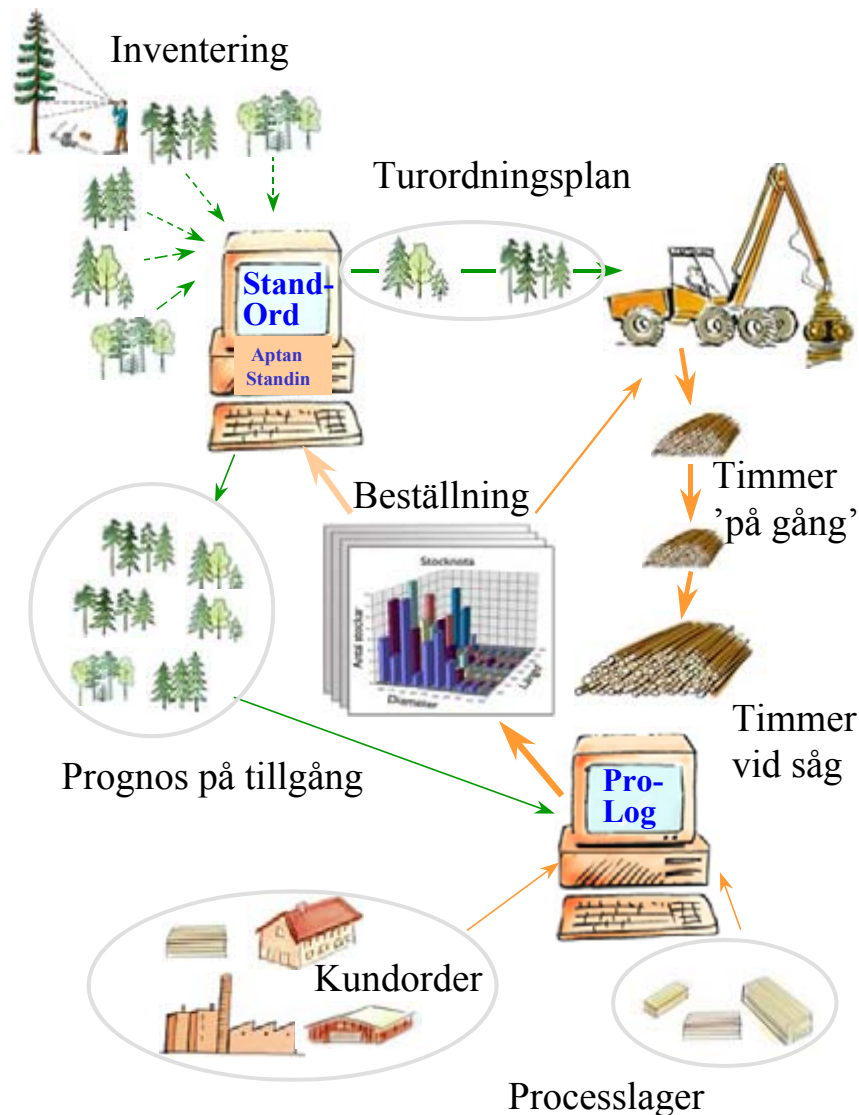
Brösthöjdsdiametern bör mätas på 75–100 träd, ett arbete som tar ca 30 minuter när man är på plats i beståndet (Hansson, 1999). Om skördardata tas tillvara vid gallringsingrepp kan de senare användas för att tillsammans med funktioner för tillväxtberäkningar, färsk högupplöst flygbildsinformation och/eller en fältkontroll. Om inte årtalen för beståndets etablering är kända genom indelningshandlingar, tidigare inventeringar etc. bör även ett stickprov på brösthöjdsåldrar samlas in från enskilda diameterbestämda träd. Övriga beståndsuppgifter (höjdkurva, kvalitetsfördelning, stamfel) kan när information från inventeringar saknas hämtas från typbestånd eller beräknas med höjdutvecklingskurvor och stamformfunktioner.

Med utgångspunkt i data från stickprov av enskilda träd genereras med ett särskilt program (Standin) en representativ stamfördelning för ett hektar per bestånd. Med hjälp av dessa stamfördelningar simuleras sedan apteringen med hjälp av programmet Aptan. Aptan körs under StandOrd (se nedan), som kan hantera ett större antal bestånd i samma körning. Resultatet är noga specificerat

på stockdimensioner per sortiment och kvalitetsklasser samt på virkesvärden enligt använd prislista. Genom att utveckla dessa verktyg så att fler egenskaper hos både timmer och massaved kan inkluderas både i apteringsbeslut och beskrivningar av det apterade virket kan kund- och ändamålsanpassning förbättras. I Sondell (2000) och Sondell m.fl. (2000) redogörs för ytterligare detaljer i ett system för kund- och ändamålsanpassade timmerleveranser (figur 12) och EU-projektet PROMOTE (FAIR CT 96 1837).

INFORMATION VID SKÖRD

I samband med avverkningen genererar skördaren detaljerade produktionsdata genom att varje kapad stamdel registreras i en produktionsdatafil enligt ett för alla skördarmärken standardiserat format (prd-fil enligt StanForD). I samband med mer detaljerad datainsamling för att t.ex. bygga upp typbestånd, kan man även generera stamfiler (stm-fil) där hela stammen längd och avsmalning registreras per 0,1 m.



Figur 12. Exempel på ett kundordersystem för beställning och leverans av sågtimmer (Sondell m.fl., 2000).

En utveckling är också påbörjad för att registrera produktionen i s.k. pri-filer, där varje kapad bit registreras individuellt till dimensioner, kvalitet och läge i stammen. På så sätt kan utifrån produktionsdata de avverkade beståndens kvalitets- och trådsammansättning rekonstrueras, vilket öppnar många nya möjligheter.

Det som för dagen sätter gräns för ändamålsenlig dataregistrering med skördarna är givarnas mätnoggrannhet. Speciellt viktig är då diametergivaren, som beskrivits ovan.

Skördaren som informationskälla

FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR INBYGGNAD AV MÄTTEKNIK I SKÖRDARE

En skördare (figur 13) kostar i dag runt 3 miljoner kr. En drivare (figur 14), som både skördar och skotar kostar troligen något mer. Vid sådana investeringar, och betydande kostnader för personal, drift- samt underhåll är det av stor vikt att produktiviteten (m^3/tim) hålls uppe på en hög nivå. För utvecklingen av mätteknik innebär det att det behövs ordentliga värdeökningar genom effektivare aptering och sortering för att det ska skapas ekonomiskt utrymme för produktivitetssänkningar. I praktiken innebär detta att ny mätteknik för att få genomslag inte ska sänka, utan helst höja produktiviteten, t.ex. genom effektivare aptering och automatisk sortimentsindelning. Vidare ska ny mätteknik kunna byggas in i dagens aggregat eftersom dessa utvecklats under flera decennier för att ge en smidig och driftssäker fällning och tillredning av träden. Ny mätteknik får inte heller öka ställtiderna för reparationer och underhåll och investeringskostnaderna bör kunna finansieras inom max ett par års driftstid.



Figur 13.

Nästan all avverkning sker med skördare. De allra flesta maskinerna har apteringsdatorer och diametermätningssystem. Foto: Skogforsk.

De minsta skördaraggregaten är drygt en meter höga och har i hopfällt läge yttermått på drygt en halv meters bredd. De största vanligen förekommande aggregaten på den svenska marknaden är nära två meter höga och har en hopfällt bredd på ca 1,1 m (se figur 15, 16, 17, 18).



Figur 14.

En drivare gör både skördarens och skotarens arbete. På hittills demonstrerade maskiner är aggregatet, som fäller kvistar och dimensionsmåtar, av liknande typ som för skördare. Lastmomentet ställer dock delvis nya krav på aggregatet som bl.a. försetts med grip. Virket läggs direkt på lastvagnen, som kan vara indelad i fack för olika sortiment. Om många olika sortiment ska tas ut delas avverkningen med fördel upp på ett begränsat antal sortiment i taget. (Foto: Skogforsk).

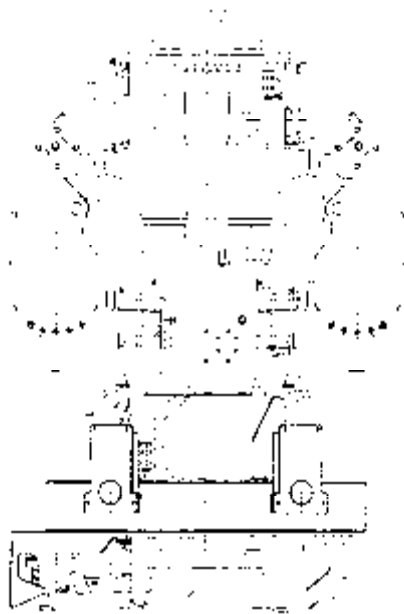
I ett tidigare genomfört utvecklingsprojekt ”Beröringsfri diamettermätning” stöttat av NUTEK har inbyggnad av beröringsfri s.k. vision-teknik testats med lovande resultat (Löfgren & Wilhelmsson, 1998).



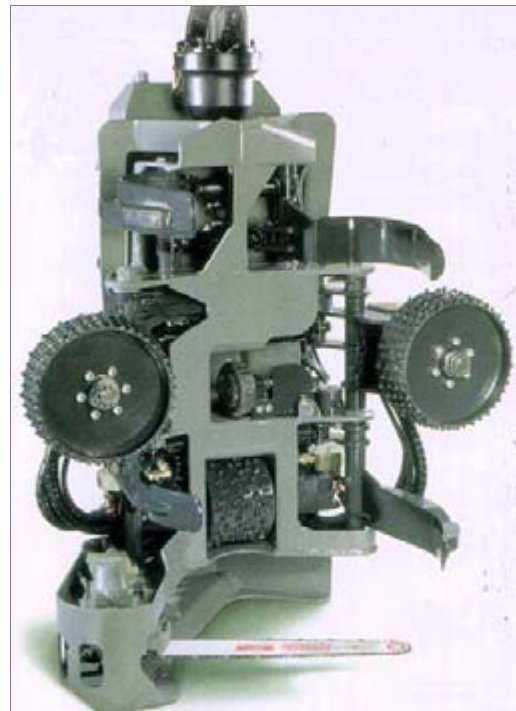
Figur 15.

Timberjack 762B med beröringsfri mätram. Aggregatets max-mått har inte påverkats (Bredd öppet 1,8 m, bredd hopfällt 1,1 m, höjd inklusive rotator 1,9 m). Foto: Björn Löfgren.

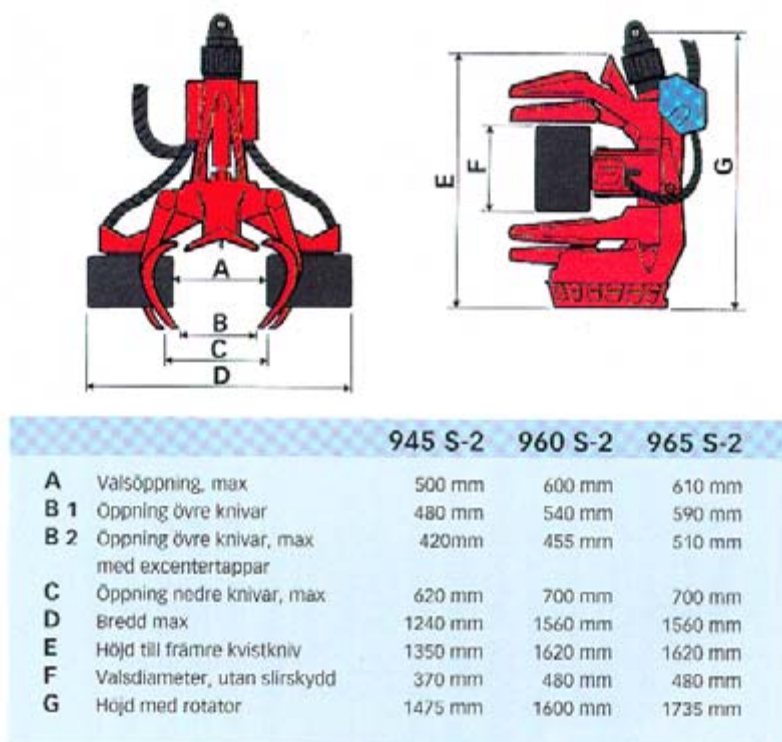
Resultaten från fälttester med ett prototypaggregat (figur 15) monterat på en skördare var att 75 % av de mätta värdena hamnade inom toleransintervallet ± 4 mm, vilket inte helt nådde upp till målet som var 90 % inom ± 4 mm. Systemet betecknades som mycket utvecklingsbart. Det främsta skälet till att målet inte helt kunde uppnås bedömdes vara vinkeln mellan linjekamerorna som var reducerad från optimala 90° till 45° för att rymmas i aggregatet Jämför Wilhelmsson & Arlinger, 1997).



Figur 16.
Exempel på placering av mätram för beröringsfri dimensionsmätning (gråskuggad zon) på engreppsskördaraggregatet Timberjack 762B. En högre placering av mätramen, ovanför matarvalsarna kan dock vara önskvärd med hänsyn till nedsmutsning från såg, barkavskav m.m. (Löfgren, m.fl., 1997).



Figur 17.
Detaljbild på skördaraggregat (Ponsse H73) där diametergivarna är kopplade till matarvalsarna (ej gummihjul) i stället för till kvistknivarna. I mitten syns längdmätningshjulet. (Aggregatets längd 1 515 mm, bredd öppet 1 440 mm).



Figur 18.

Exempel på viktiga måttuppgifter vid utformning av ny mätteknik för befintliga aggregattyper. Kompletta aggregatvikter 750, 1 155 respektive 1 255 kg. Matningshastigheter 0–4 m/s. (Foto: Valmet 945 S-2, 960 S-2 och 965 S-2).

DATAFLÖDEN OCH KOMMUNIKATION – INDUSTRI – SKOG

För att den industriella och den skogliga produktionsplaneringen och uppföljningen ska kunna inkludera möjligheterna att styra eller parera för variation i både volym och egenskaper hos virkesflödet krävs en väl fungerande informationskedja för tvåvägskommunikation industri ↔ skog. Många olika arbetslag, entreprenörer och maskinsystem (skördare & skotare) arbetar på många olika markinnehav med varierande planeringsrutiner och varierande tillgång till data om den stående skogen. Vidaretransporterna sköts normalt av flera olika frakt-företag och virkesbyten mellan företag görs ofta framför allt med syftet att minska transportavstånden till olika industrier. Ungefär 50 % av den timmer-volym som levereras till sågverksindustrier blir träprodukter. Resten blir flis och spån. Sågverksflisen är en viktig del i fiberflödet till massa-/pappersindu-strin. För att korrekt information ska kunna följa med hela vägen från den skogliga planeringen till den industriella förädlingen behövs systemlösningar med standardiserade gränssnitt. För detta ändamål har Skogforsk i samarbete med maskintillverkare, andra forskningsorganisationer och skogsbranschen utvecklat StanFord. Systemet är en öppen standard med utrymme för att till-föra ny information i takt med nya möjligheter och behov. För närvarande diskuteras möjligheterna att anpassa StanFord till den nya XML-standarden, som utvecklats för generell Web-baserad datakommunikation.

Ytterligare insatser för att effektivisera informationsflödet görs inom EU-projektet InforChain (se även nedan).

Vid sidan om flödet av data måste den fysiska identifieringen av travar eller eventuellt även enskilda stockar kunna göras. Färgmärkning, transponderteknik eller annan etikettering bör göras så säker att man kan återfinna de minsta enheter som man önskar hantera separat genom produktionskedjan. Dessa frågor hanteras till viss del inom EU-projektet LineSet ”Linking raw material characteristics with Industrial Needs for Environmental Sustainable and Efficient Transformation Process”.

SKÖRDARFÖRARNAS MILJÖ

Forsberg (2000) beskriver skördarförarnas synpunkter refererande till en finländsk undersökning (Tynkkynen, 2001). Maskinförarna upplever ansvaret för miljön och en dyr maskin som de mest krävande delarna av arbetet. Därefter kommer ansvar för längd- och kvalitetsfördelning, trädval, apteringsbeslut. Det som oftast gör att föraren fattar fel beslut i vid apteringen är enligt Tynkkynen svårigheten att:

- Se fel på stammen.
- Se stammens form.
- Se kvistgränser.
- Bedöma trädets längd och diameter.
- Ändra längd-, diameter- och kvalitetskrav.

I Tynkkynens studie tyckte förarna att de hade störst utbildningsbehov inom informationsteknologi, mät och kontrollsystemet samt mer kunskap om kvalitetsfaktorernas betydelse för slutanvändarna.

Vidare beskriver Forsberg: ”På ganska kort tid måste förarna fatta en rad beslut. Överensstämmelsen mellan kvaliteten på den sågade varan och kvaliteten på stocken är ganska låg. Ur ett kundperspektiv vet man inte om besluten blir rätt eller fel förrän paketen öppnas hos slutanvändaren. En del av de viktigaste kvalitetsparametrarna, t.ex. fibervinkeln och tjurved, varierar mer eller mindre slumpmässigt och är inte synliga för maskinföraren. Maskinförarna arbetar alltså med att klassificera ett material som egentligen är oerhört svårklassificerat, förmodligen helt omöjligt att klassificera helt rätt med dagens metoder.”

Forsberg fortsätter: ”Maskinen sägs vara ganska lätt att köra. Problemet är att göra det med hög hastighet, samtidigt som en mängd knapptryckningar ska göras. Förarna upplever att produktiviteten sjunker med ökat antal sortiment. Förarna upplever också att knapptryckningarna, hur ergonomiskt riktiga de än må vara, är för komplicerade. Ibland måste föraren titta ner på armstödsplanet för att hitta rätt knapp, och kanske också släppa minispaken för att nå kontrollknapparna.”

Väl utformad mät- och beräkningsteknik som ger beslutsstöd och avlastar skördarföraren kan således både ge bättre information om virket och högre produktivitet för skördarlagen.

INTEGRATION SKÖRDARMÄTNING – SKOGLIG PLANERING

Den information som en skördare samlar in vid t.ex. ett gallringsingrepp kan tillsammans med beräkningsmodeller, analysprogram som Aptan (se ovan) och lokala erfarenhetsbanker användas för att ställa bra prognoser om utfallet vid kommande avverkningstillfällen i det aktuella eller liknande bestånd. I synnerhet vid förstgallring utgör stickvägsuttagen ett bra stickprov på genomsnittsegenskaperna hos skogen vid tidpunkten för gallringsingreppet. Med hjälp av GPS-mottagare kan sedan variationen inom ett objekt följas i detalj och mätinformationen om de uttagna träden bredvid stickvägarna jämföras med träden i stickvägarna. Därigenom kan den kvarstående skogens egenskaper också beräknas.

SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Om skogsbranschen ska kunna förbättra lönsamheten bör man arbeta med både kostnader och intäkter genom hela kedjan produkt <—> skog. För traditionella trävaru- och pappersprodukter kan man förvänta sig en generell prispress i takt med ökad internationell konkurrens. Mätteknik och beräkningsmodeller som gör det möjligt att sönderdela, sortera och rikta råvaruflödet från skogen, så att det anpassas bättre till användning och olika processer längre fram i kedjan bör därför utvecklas. Här kan effektivare processer och effektivare materialanvändning minska kostnaderna för att tillverka produkter med oförändrade egenskaper, alternativt höja produktkvaliteten till oförändrad kostnad.

Vid utveckling av nya produkter som kan ge ökad betalningsförmåga och förbättrad lönsamhet åt skogsbranschen är goda kunskaper om virket från ett makroperspektiv ner till fiberns ultrastruktur och vedens kemiska sammansättning av stor vikt.

Om en översiktlig information om egenskaperna hos virket kan tas fram till en låg kostnad och som standard redovisas för alla virkespartier av visst slag (timmer, massaved, skogsbränslen) så kan virkesmarknaden stimuleras till en större följsamhet efter industrins behov och en bättre virkesanvändning åstadkommas.

För specifika behov bör ytterligare information av speciellt värde kunna tillföras. Då detta medför ökade mätkostnader bör en systemanalys innehållande en kostnads/intäktsanalys avgöra om och var i kedjan skog <—> industri som mätningen ska utföras. När man kommer in på mer detaljerade och specifika informationsbehov är det med andra ord inte självklart vilka egenskaper som ska mätas och var eller på vilka ställen i kedjan som mätningarna ska utföras. Kostnader och intäkter för olika lösningar bör studeras från fall till fall. I kortvirkessystem och i synnerhet vid divergerande virkesflöden och ändamåls- eller kundanpassad aptering finns det stora fördelar med att ha god information om virkets egenskaper redan i planeringsstadiet och maximal information senast vid tillredningstillfället. I skogen finns också maximalt med information om

trädens tillväxtförhållanden. Å andra sidan måste systemen kunna föra med informationen från skogen genom hela tillverkningsprocessen till färdig produkt, en fråga som kräver speciell uppmärksamhet och till viss del hanteras inom EU-projektet LINESET. Egenskaperna hos enskilda stockar och partier kan också förändras från tillredning till den industriella bearbetningen. Det bör också framhållas att ju större virkesflöden som hanteras vid en mätpunkt desto bättre är förutsättningarna för att investera i mer avancerade mätsystem. Slutsatserna av resonemangen är att det kan finnas goda motiv för att mäta både i skogen och vid industri.

Utveckling av mätteknik, drivningsteknik, transportteknik och industriell processteknik går stadigt framåt. Det som var omöjligt eller för dyrt i går kan vara fullt realistiskt och ekonomiskt försvarbart i dag. Det finns starka argument för att utveckla olika mättekniker för att de ska kunna fungera antingen i skördare eller vid industri men även för rationell informationsinsamling på planeringsstadiet. För att skogsnärings löpande ska kunna fatta bra beslut om var och hur man ska mäta, respektive beräkna egenskaper hos virkesflödet behövs en aktiv och mångsidig mät- och beräkningsteknisk utveckling med inriktning på såväl planering, skörd och vid industri. Forskning och utveckling inom detta strategiskt viktiga område bör därför stimuleras. Den omedelbara ekonomiska betydelsen och den framtida potentialen av att beskriva och påverka virkesflödets egenskaper med hjälp av bättre information om olika egenskaper bör dock vara vägledande för prioriteringarna.

Utvecklingen av mätteknik för skördare bör därför i synnerhet inriktas på:

- Förbättrad diametermätning. De systematiska felen bör elimineras och de tillfälliga felen halveras. Diametermätning bör ske i två riktningar med 90° vridning i förhållande till varandra, så att orundheten och max- mindiametern hos stockarna kan beskrivas bättre. Det är tveksamt om givare kopplade till kvistknivar, som dessutom är förskjutna i förhållande till varandra i längsled, ger tillräckligt goda förutsättningar för att ge tillfredsställande lösningar på problemet. Andra givare bör studeras.
- Utveckla beröringsfri dimensionsmätning i skördare så att den kan ge en precision i nivå med 3D-mätarna vid sågverk. Systemet ska klara mätning och tolkning av bulighet, orundhet samt synliga stamskador och krökar, samt avgöra om mätningen sker på eller under bark.
- Tvärsnittsanalys (synligt spektra eller NIR). Mätning av antal årsringar i tvärsnitt. Ev även kapyta, orundhet, densitet, årsringsmönster (vår- och sommarved), kärnved/splint (fukthalt vid avverkningstillfället), röta, reaktionsved, kemisk analys.
- Förbättrad längdmätning. Särskilt viktigt vid samtidiga krav på specifik diameter och längd. Kalibreringsfritt. Standardavvikelse ≤ 15 mm.
- Mätning av fibervinkel och densitet hos ytveden.
- På lite längre sikt kan genomlysningsteknik bli aktuell för skördare. ska ge möjligheter att mäta stockarnas inre egenskaper, som diameter under bark, kärnved, densitet, kviststorlek och typ, utbredning av röta, övervallade

stamsår, större kådlåpor, kemisk analys. Delar av dess funktioner finns redan i den s.k. logscan.

Utvecklingen av praktiskt fungerande mätsystem för att beskriva egenskaper hos virke bör samordnas mellan industri och skogsbruk så att olika aktörer talar samma språk och gör rätt prioriteringar med hänsyn till behoven. Här bör målet vara att skapa maximal lönsamhet för hela kedjan från slutanvändare, slutprodukt genom olika tillverkningsprocesser och ut i den växande skogen. Därför är det mycket viktigt att olika forskargrupper, tillverkare och praktiker för en tät dialog och vid behov arbetar med gemensamma utvecklingsprojekt. Det mättekniska nätverk som NUTEK stöttat har varit ett viktigt forum för sådana diskussioner och projektidéer.

Referenser

Publikationer helt eller delvis producerade med stöd från detta projekt

- Chiorescu, S. & Grönlund, A.. 2000. Assessing the role of the harvester within the forestry-wood-chain. Luleå Tekniska Universitet, Inst i Skellefteå. 25s.
- Chiorescu, S. 2000. Measurement Accuracy in the Forestry-Wood Chain. Licentiate Thesis — Luleå University of technology, Skellefteå Campus, Sweden. 2000:29. ISSN:1402—1757.
- Jäppinen, A. 2000a. Utveckling av egenskapsbeskrivning med skördare. Delprojekt — Egenskaper av vikt för produktion av trävaror.
- Lundqvist, S-O. Grahn, T. Hedenberg, Ö. Olsson, L. 1999. End-user requirements on wood for pulp and paper and variability in wood and fiber properties. In: Proceedings of Third Workshop "Connection between silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation software" organised by IUFRO Working Party S5.01—04. Biological improvement of Wood Properties. La Londe-Les-Maures, France, 5—12 September. Editor Nepveu, G. INRA, Nancy. pp 600—609.
- Möller, J. J. Sondell, J. 2000. Kundenpassning kräver bättre diamettermätning-möjligheter i skogen. Resultat 15. Skogforsk. 4 s.
- Möller, J.J. 2000a. Mätnoggrannhet i kedjan skog-såg. Mellanskog->Heby sågverk. Arbetsrapport 461. Skogforsk. 15 s.
- Möller, J.J. 2000b. Mätnoggrannhet i kedjan skog-såg. Stora Enso, Ludvika->Valåsens sågverk. Arbetsrapport 462. Skogforsk. 16 s.
- Sondell, J. 2000. Ett system för kundanpassade timmerleveranser. Stencil. Skogforsk. 5 s.
- Wilhelmson, L. 1999. Skördaren – Nyckeln till att beskriva råvarans egenskaper effektivt. I: Framtidens skogsteknik. Skog & Forskning nr Nr 3. s 38—40.
- Wilhelmsson, L. 2000. Skördaren – Nyckeln till att beskriva och utnyttja råvarans varierande egenskaper effektivt. Arbetsrapport 465. Skogforsk. 15 s.
- Wilhelmsson, L., Arlinger, J. & Spångberg, K. 1999. Modeling *Pinus sylvestris* and *Picea abies* within and between tree variation in some wood properties – Functions based on annual rings and diameters for applications at the

planning. Proceedings of Third Workshop "Connection between silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation software" organised by IUFRO Working Party S5.01–04. Biological improvement of Wood Properties. La Londe-Les-Maures, France, 5–12 September. Editor Nepveu, G. INRA, Nancy. pp 186–194.

Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spångberg, K. & Lundqvist, S-O. 2000. Operative wood property predictions by combining diameter measurements from the harvester, tree age information and wood property models. In: Proceedings from: third workshop on: measuring of wood properties, grades and qualities in the conversion chains and global wood chain optimization. 19th – 21st June, 2000. Dipoli, Espoo, Finland. Editors: Usenius, A. Kari, P. VTT (Espoo). pp 167–168.

Övriga referenser

- Arlinger, J. & Wilhelmsson, L. 1998. Vedanalys — ett hjälpmedel för att möta industrins råvarukrav. Resultat nr Nr 19. Skogforsk. 4s.
- Arlinger, J., Spångberg, K., Wilhelmsson, L., Lundqvist, S-O, Hedenberg, Ö., Jonasson, J. & Jansson, U. 2000. Vedegenskaper för massaindustrins behov. I: Redogörelse nr Nr 2. Utvecklingskonferens. Skogforsk. Ss. 23–30.
- Arvidsson, P.-Å. & Holmgren, M. 1999. Vägstandardens inverkan på skogsnäringens transportarbete och försörjning av högkvalitativa råvaror. Skogforsk. Arbetsrapport 433 Uppsala. 59 s.
- Björklund, L. & Moberg, L. 1999. Modelling the inter-tree variation of knot properties for *Pinus sylvestris* in Sweden. Studia Forestalia Suecica No 207. pp 23.
- Björklund, L. & Pettersson, H. 1999. Predicting Knot Diameter of *Pinus sylvestris* in Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research 14. pp 376 – 384.
- 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 PUB13, STFI (Stockholm), 37pp.
- Eriksson, L., Hällgren, J-E. & Rådström, L. 1995. Ökat värdeutbyte och industriellt utnyttjande av skogsråvara. Rapport från Träfibergruppens utredning på uppdrag av SJFR. SJFR, STFI, Skogforsk. 51s.
- Forsberg, D. 2000. InForChain. Behovsanalys. Skogforsk. (www.Skogforsk.se)
- Grundberg, S. 1999. An X-ray LogScanner: a tool for control of the sawmill process. Luleå University of Technology (Luleå). ISSN 1402–1544 / ISRN LTU-DT--99/37--SE / Doctoral thesis. No 37.
- Hansson, F. 1999a. Inventering före avverkning — metoder och resursåtgång. Skogforsk, Arbetsrapport 434.
- Hansson, F. 1999b. Inventering före avverkning – metodval och resursåtgång. Skogforsk. Resultat Nr 15, 4 s.

- Jäppinen, A. 2000b. Automatic Sorting of Sawlogs by Grade. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Slivestra 139. 91pp.
- Löfgren, B. & Wilhelmsson, L. 1998. Beröringsfri diamettermätning – rapport från ett utvecklingsprojekt. Skogforsk. Resultat Nr 13, Uppsala. 4 s.
- Löfgren, B., Wilhelmsson, L., Hummel, H. & Ericson, M. 1997. Beröringsfri diamettermätning. Slutrapport. Arbetsrapport 365. Skogforsk. 33s.
- Mohlin, U. B. 1997. Fiberns roll i papperet. Material utdelat till ”Forskarskolan Trä & träfiber” v.35. STFI (Stockholm). 49s.
- Möller, J. J., Ogemark, T., Sondell, J., Hansson, F. and Orth, L. 1999. Sawmill order systems on-line with harvesters in Sweden. PromotE, Task 3.5.2, Milestone Report.
- Sondell, J. Möller, J.J. & Ogemark, T. 2000. Nya hjälpmedel för marknadsanpassad virkesproduktion. I: Utvecklingskonferens 2000. Redogörelse 2. Skogforsk. s 31–36.
- StanForD. Skogsstandard för data och kommunikation. Skogforsk. 1999–06–21. 65s.
- Sundblad, L-G. 1995. Ansökan till NUTEK:s OPTITRÄ-program; Röttdetektion (95-04-21)., Skogforsk, Sävar. 8 s.
- Söderstam, G., Öman, M. & Olofsson, J. 1998. Färsk ved till sulfatmassa-bruken – varför det? I: Renseriokonferens: Råvaruförsörjning och vedförädling – en process under utveckling. STFI, Stockholm. s 17–30.
- Tynkkynen, M. 2001. Assessing Harvester Operators' Mental Workload Using Continuous ECG Recording Technique. International Journal of Cognitive Ergonomics, 2001, Vol. 5, No. 3, s. 213–219.
- Usenius, A. 1997. Kostnads-/intäktsanalys vid tillämpning av märk- och identifieringsteknik (KIM). Nordic Wood, projekt: Spårbarhet. VTT (Statens tekniska forskningscentral). Esbo, Finland. Intern rapport. 55s.
- Uusijärvi, R. 2000. Automatisk spårning av trä. Doktorsavhandling. Inst. för Produktionssystem, Avd. för Träteknologi, Kungliga Tekniska Högskolan. Stockholm. 170s.
- Wilhelmsson, L. & Arlinger J. 1997. Hur mycket är det värt att mäta diametern ”rätt” i skördaren? Arbetsrapport nr Nr 366. 1997. Skogforsk. 11s.
- 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. J. For.Res. 17:4, pp. 330–350.
- Väisänen, H. Kellomäki, S. Oker-Blom, P. Valtonen, E. 1989. Structural Development of *Pinus sylvestris* Stands with Varying Initial Density: A Preliminary Model for Quality of Sawn Timber as Affected by Silvicultural Measures Scandinavian Journal of Forest Research (4). pp 223–238.

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 skogsnäringsen – 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	Wählberg, 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. Flerträdshantering 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 kvalitetssättning 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.