

# DEN STORE APTERINGSBOKA

Terje Birkeland, Erlend Nybakk og Knut Finstad



# Den store Apteringsboka

Terje Birkeland,

Erlend Nybakk

og

Knut Finstad



skog+  
landskap

Norsk institutt for skog og landskap



skog+  
landskap

Treteknisk 

## Forord

Den Store Apteringsboka omhandler verdi- og fordelingsaptering i hogstmaskiner, og forhold som påvirker apteringa og mulighetene vi har til å påvirke tømmerutfallet. Boka er skrevet i det brukerstyrte FoU- prosjektet «Kundestyrt tømmerleveranser» («KUL2»). Målet er å samle og framstille eksisterende kunnskap og erfaringer på norsk, og øke kunnskapen rundt de nevnte tema internt i prosjektet og i norsk skogbruk, virkesomsetning, sagbruksindustri og skogbruksutdanning. Med andre ord ei bok for alle med interesse for hvilken diameter, lengde og kvalitet tømmerstokken får ved hogst.

En stor takk til Johan J. Möller og John Arlinger (Skogforsk, Uppsala), Stefan Andersson (Mellanskog), Leif Orth (Södra Skog), Urban Blomster (Södra Timber Värö), Jukka Malinen (det finske skogforskningsinstituttet Metla), Veli-Pekka Kivinen (Universitetet i Helsinki), Håkon Toverud (Treteknisk), Tom Erik Holmstad (Viken Skog BA) og Øystein Dale (Skog og Landskap) for betydelige bidrag til innholdet. Takk også til Sigrun Kolstad og Kari Hollung ved Skog og Landskap for henholdsvis flotte tegninger og korrekturlesing.

Prosjektet «Kundestyrt tømmerleveranser» («KUL2») er finansiert av Norges Forskningsråd, Skogtiltakfondet og Skattefunn, og varer fra 2006 til 2008. Viken Skog BA er prosjekteier og representerer sammen med Haslestad Bruk og Begna Bruk brukersida. Disse tre har bidratt med en betydelig egeninnsats i prosjektet. «KUL2» er en naturlig oppfølger av utviklinga og arbeidet gjort på sagbruksorientert aptering i «KUL- prosjektet» i perioden 2001 til 2004.

Ås, april 2008

Terje Birkeland

Erlend Nybakk

# Customization of timber delivery

## Expanded Abstract and Acknowledgements\*

In this booklet we report state-of-art in bucking and customized timber delivery in Scandinavia. Our aim has been to present existing knowledge and experience. The last decades increased focus has been directed towards market-oriented timber delivery and bucking in the forestry and sawmill industry in Scandinavia. This mainly because of the possibility to affect the timber outcome by developing functional instructions for bucking, as well as correct use of these instructions. Functional instructions for bucking rely on the operating framework for harvesting, including log types, their pricelists and the requirements for dimension and quality. Both the criteria set by the saw mills and the characteristics of the timber vary. By proper bucking, we decide the processing potential of the log and the best way to utilize it.

Research has been important to describe the variation in wood quality. During the last 30 years, several studies in Europe concerning the relationship between the raw material and the end product, timber utilization, customized timber delivery, bucking, and modelling and mapping of wood quality have been performed (e.g. Näsberg 1985, Usenius 1996, 1999, Möller & von Essen 1997, Arlinger & Wilhelmson 1998, Möller 1998, Puumalainen 1998, Kellomäki *et. al.* 1999, Moberg 1999a, b, Wilhelmson *et.al.* 1999, Sondell *et. al.* 2004, Malinen *et. al.* 2007). These studies have identified a potential for increased exploitation of raw materials through a product- and market oriented timber production. Several Norwegian publications, mainly dealing with spruce and pine, confirm this potential (e.g. Vestøl 1998, Høibø *et. al.* 1999, Øyen 1999 and Birkeland & Øvrum 2005).

Mechanized logging and computerized bucking in the Nordic countries are based on two basic principles: Bucking-to-value and bucking-to-demand. Bucking-to-value imply to optimize the value of every log according to the current price matrix (Bergstrand 1994). Price affects the total timber value in and between log types. In other words, bucking-to-value is a one-sided value optimization where the intention is to optimize the value of each stem to obtain the most valuable log mix (Bergstrand 1994 and Kivinen & Uusitalo 2002). By bucking-to-value, the price and the price range between log types and dimensions are used to guide the bucking and log outcome. Different log types are differently priced, and have different minimum requirements for dimensions and quality. Different saw log types have fixed price lists and quality requirements. Thus, correct specification of the log types is decisive for a correct basis for calculation, and for the total log value as well as the forest owner's profit.

Bucking-to-demand is a system where the computer is permitted to deviate from a strict bucking-to-value, and instead guide the distribution towards demanded lengths and diameters (Möller & von Essen 1997). Near-optimal bucking-to-demand approach is today used more than the adaptive price matrix method. By near-optimal bucking-to-demand we start by defining the preferred log matrix. Maximum of accepted deviation is calculated from the highest value in the price matrix. While logging, the bucking system seeks to approach the dimensions preferred, working within the permitted value of discrepancy. The preferred log matrix can be expressed in different ways. The most common way is by a relative number or volume in different lengths per diameter class, or for the entire matrix. The price matrix is used for calculating value deviation and practicable bucking alternatives. In addition, the price matrix is necessary to describe the relative value between different log types and diameter categories, both by bucking-to-demand and bucking-to-value. Required dimensional distribution affects mainly the log lengths by using bucking-to-demand. Several studies concerning bucking-to-demand have been carried out in Sweden and Finland. The method has been used in these countries for the last 15 years (Bergstrand 1990, 1994, Larsson & Lidfeldt 1990,

Sondell 1991, 1993, Möller & von Essen 1997, Henriksson 2000, Kivinen & Uusitalo 2002, Kivinen 2004, Malinen & Palander 2004, Kivinen *et. al.* 2005 and Kivinen 2006). The bucking-to-demand approach was developed by The Forestry Research Institute of Sweden, and has been used in harvesters in Sweden since 1990. There has been increased use of this system in Sweden and Finland during later years.

The bucking-to-demand approach has some advantages compared to the bucking-to-value approach. It makes it easier for a buyer to order the desired log dimension. It also makes it easier for a saw mill to control the amounts of timber deriving from different harvesters and suppliers. It is simply a more efficient way to manage the log matrix towards the defined goal. Log dimensions that are in demand, but in shortage, will be prioritized, while logs with other dimensions, which are in surplus, will have less priority. Due to variations in geography and topography in Norway, there are great variations in the dimensions and qualities of timber. In this regard, an interesting question is how bucking-to-demand will suit such conditions, taking the different Norwegian value price matrices of the different saw mills into consideration as well.

OptApt (Finstad *et. al.* 2007) is a bucking simulator based on dynamic programming, as shown by Näsberg (1985), to compute the most profitable bucking of a stem into logs. While computing an optimal bucking pattern, quality, dimensions (log diameter and length) and the price of the logs are taken into account. During 2007 OptApt has implemented the near-optimal bucking-to-demand system. OptApt has also been adapted to a sawing simulator, Sawyer, which is a sawing pattern generator, planning tool and economic analyzer. All possible sawing patterns for each log class are automatically generated, and the eight best patterns are presented.

Provisional simulations with the bucking-to-demand system adapted in OptApt have shown that the approach is effective to obtain a customized timber production in south-east Norway. This again will increase the added value in Norwegian forestry, although not to the extent

observed on level of apportionment in some areas in Sweden and Finland. This is because of larger variations in forest conditions, geographically and topographically, which means smaller and more varied dimensions and qualities. This reduces the possibilities to optimize saw log dimensions, no matter what kind of bucking regime chosen.

A change in the Norwegian lumber market towards higher demand for fixed lengths, or more specific length distributions, can be met with the bucking-to-demand system developed in OptApt. OptApt is for several years implemented by the largest timber trader in Norway (the forest owner association Viken Skog BA).

The literature recommends a «length neutral» price matrix in a bucking-to-demand system, especially for timber traders delivering logs to several saw mills with different demands that change rapidly. However, saw mills with stable markets, together with a well-working basic price matrix, can profitably use their original matrix, also in a bucking-to-demand approach.

Lack of knowledge in Norwegian forestry and saw milling in general, and fear of reduced timber value, can explain that bucking-to-demand has not been interesting until now. One reason is that most lumber is sold on the home market and to lumber department stores. Another reason is that we might don't know these markets as well as we should. Countries like Sweden and Finland are significantly more export-oriented. During the 1990s, when bucking-to-demand appeared in Sweden and Finland, increasing focus on modifying and customisation of the traditional price matrices appeared in Norway. Because of a rather small-scale forest industry in Norway, and a smaller lumber export compared to Sweden and Finland, Norwegian saw mills operate in less demanding markets when comes to lengths in general. However, this should surely not be an excuse, as this study and several simulations during the 2007 indicate improved saw log outcome in relation to the defined demands by replacing bucking-to-value with bucking-to-demand. A maximum value discrepancy of about 3-5 % seems to be effective and suitable under our conditions.

This study was performed due to grants from The Research Council of Norway, Skogtiltaksfondet and Skattefunn through the project, «Customization of Timber Delivery». The authors would like to express gratitude to Johan J. Möller and John Arlinger (Skogforsk Sweden, Uppsala), Stefan Andersson (Mellanskog, Sweden), Leif Orth (Södra Skog, Sweden), Urban Blomster (Södra Timber Värö, Sweden), Jukka Malinen (Metla, Finland), Veli-Pekka Kivinen (University of Helsinki, Finland), Håkon Toverud (NTI, Norway), Tom Erik Holmstad (Viken Skog BA) and Øystein Dale (the Norwegian Forest and Landscape Institute) for help and feedback throughout the process with the report.

*\*) This chapter is a partly revised version of the conference paper presented at Forest Engineering Conference - Sustainable Forest Operations, p. 8. Mont-Tremblant, Quebec, October 1-4, 2007 (Nybakk et. al. 2007).*

# Innhold

<b>Forord</b> . . . . .	3
<b>Customization of timber delivery</b> . . . . .	4
Expanded Abstract and Acknowledgements* . . . . .	4
<b>Innledning</b> . . . . .	12
<b>Verdiaptering</b> . . . . .	15
Bakgrunn . . . . .	15
Hva er verdiaptering? . . . . .	16
Apteringsutførelsen . . . . .	18
Mekanismer i prislister . . . . .	18
Lengdenøytrale lister . . . . .	19
Stegvis aptering . . . . .	22
<i>Beregningslengde og avsmalingsprognose</i> . . . . .	23
Dataflyt . . . . .	24
Beregning av optimal aptering . . . . .	25
OptApt . . . . .	26
<b>Fordelingsaptering</b> . . . . .	27
Bakgrunn . . . . .	27
Hva er fordelingsaptering? . . . . .	29
Vanlige prislister eller lengdenøytrale lister? . . . . .	30
To typer fordelingsaptering . . . . .	32
<i>Næroptimal metode</i> . . . . .	32
<i>Adaptiv metode</i> . . . . .	34
<i>Næroptimal versus adaptiv</i> . . . . .	35
Apteringsgrad . . . . .	36
Fordelingsønske . . . . .	37
Tillatt verdiavvik og faktisk verditap . . . . .	38
Fordelingsgrad . . . . .	41
<i>Total fordelingsgrad</i> . . . . .	41
<i>Stykkveid diameterklassevis fordelingsgrad</i> . . . . .	42
Sammenhenger fordelingsønske – verdiavvik – fordelingsgrad . . . . .	44
Verdiaptering vs. fordelingsaptering. Fordeler og ulemper . . . . .	45
<i>Bedre og mer forutsigbart utfall</i> . . . . .	46
OptApt og Sawyer . . . . .	48
<b>Viken Skog - Haslestad Bruk</b> . . . . .	49
Et eksempel på verdi- og fordelingsaptering . . . . .	49
<b>Fordelingsaptering i Sverige, Finland og Norge</b> . . . . .	54
Svenske og finske undersøkelser . . . . .	54
Utvikling og bruk . . . . .	56
Sverige . . . . .	57
<i>Fordelingsaptering i Mellanskog</i> . . . . .	59
<i>Fordelingsaptering i Södra</i> . . . . .	60
<i>Praktisk i maskinen</i> . . . . .	63
<i>Södra Timber Värö</i> . . . . .	64
Finland . . . . .	64
Norge . . . . .	65
<i>Viken Skog</i> . . . . .	66
<b>Apteringsystemer og måleutstyr</b> . . . . .	67
Virkesvärdestest 2006 - Apteringsystemer . . . . .	71
Virkesvärdestest 2006 – Målenøyaktighet . . . . .	74
Virkesvärdestest 2006 – Virkesskader . . . . .	78
Forskjellige måleteknikker skog - sag . . . . .	80
Nye barkfunksjoner . . . . .	84
Framtidig tømmermåling i hogstmaskin? . . . . .	85
<b>StanForD - Skogstandard</b> . . . . .	87
Apteringsinstruks, produksjonsdata og stammedata - apt, prd og stm . . . . .	88
Kvalitetssikring av diameter- og lengdemåling - ktr . . . . .	89
Lassbærerens produksjon - prl . . . . .	89
Detaljerte hogstmaskindata - pri . . . . .	89
Hogstdirektiv og driftsoppfølging – ghd og drf . . . . .	90
<b>Referanser</b> . . . . .	91

## Innledning

Mer markedsretta og kundestyrte tømmerleveranser har fått økt fokus i skog- og sagbruksbransjen den seinere tid. Dette har i stor grad dreid seg om å påvirke tømmerutfallet ved utarbeidelse av hensiktsmessige apteringsinstruksjoner, og riktig bruk av dem i skogen. Med apteringsinstruksjonenes menes de rammer man opererer under ved hogst i form av sortimenter og deres prislister og krav til dimensjon og kvalitet. Behovene til sagbruka og tømmeret i norske skoger varierer, og det er ved aptering i skogen vi i stor grad avgjør videre utnyttelse og foredlingsmuligheter til en tømmerstokk og et tømmerparti. Aptering vil si økonomisk optimal oppdeling av stammen i stokker ut fra gjeldende prislister og toleransekrav (Birkeland 2003), det vil si beregning av beste kappede.

Den seinere tids forskning har gitt ny kunnskap om variasjon i virkesegenskaper. Også flere større norske forskningsprosjekter viser potensialet for økt råstoffutnyttelse gjennom en mer produkt- og markedstilpassa tømmerproduksjon. Aptering står her sentralt. Felles er at trelastas anvendelse og krav til dimensjon, lengde og kvalitet, i økt, men varierende grad, legges til grunn for prislister og apteringsinstruksjoner. Verdiskaping krever at man utnytter variasjonen i tømmerets egenskaper og dimensjoner. For å oppnå ønsket tømmerfangst bør sagtømmeret så langt som mulig prises etter foredlingsverdien (Vestøl 1999). Dette gir en riktigere prissetting i heile kjeden, bedre differensiering av virket og større sikkerhet for å få det man ønsker. Med utgangspunkt i standard prisforholdstabeller, er modifiserte og mer bedriftsspesifikke prislister og apteringsinstruksjoner tatt i bruk i Norge.

I Norden og i Europa forøvrig er det de siste 30 år arbeidet mye med sammenhenger mellom sluttprodukt og råstoff, og med tømmerutnyttelse, virkesstyring, aptering, samt modellering og kartlegging av virkesegenskaper

(for eksempel Näsberg 1985, Usenius 1996, 1999, Möller & von Essen 1997, Arlinger & Wilhelmson 1998, Möller 1998, Puumalainen 1998, Kellomäki *et. al.* 1999, Moberg 1999a, b, Wilhelmson *et. al.* 1999, Sondell *et. al.* 2004, Malinen *et. al.* 2007). Et stort modelleringsarbeid gjøres nå i Finland i et forskningskonsortium kalt PURO: «Optimization of the quantity and quality of wood raw material in forest management and industrial processes». Målet er gjennomgående økt forutsigbarhet og råstoffutnyttelse.

Det fins også flere norske publikasjoner som bekrefter mulighetene, og som omhandler gran og furu som de viktigste kommersielle treslag (Vestøl 1998, Gjerdrum 1999, Høibø *et. al.* 1999, Øyen 1999, Gobakken 2000, Øyen *et. al.* 2000 og Birkeland & Øvrum 2005). Høibø (1991) undersøkte skogbehandlings innvirkning på virkesegenskaper og tømmerkvalitet, som igjen påvirker sluttproduktet.

Å aptere tømmer av ulike dimensjoner og kvaliteter mest mulig optimalt er krevende og har vært studert siden starten av 1960-tallet. Kivinen & Uusitalo (2002) beskriver utviklinga i Finland og Sverige når det gjelder mekanisering og behov for differensierte prislister og apteringsinstruksjoner for å møte sagbrukenes og sluttbrukernes varierende krav. For å utnytte råstoffet best mulig er det viktig å aptere og kappe tømmeret riktig i forhold til gjeldende prislister og kvalitetskrav. Like viktig er det at prislister, prisspenn mellom dimensjoner og sortimenter og kvalitetskrav er hensiktsmessige og i samsvar med markedets reelle behov og betalingsviljen til ulike produkter. Tradisjonell aptering har i en del tilfeller gitt varierende resultater og gjort at sagbruksindustri og skogeiere i mange tilfeller ikke har tatt ut den potensielle verdien som ligger i råstoffet. Årsaken var bruk av standard prisforholdstabell og standard tømmerreglement over heile landet, med for dårlig sammenheng med trelastas anvendelse og krav til kvalitet, dimensjon og verdi.

To prinsipper brukes i Norden i dag i forbindelse med mekanisert hogst og datastyrt aptering: *Verdiaptering* og *fordelingsaptering* (Nybakk *et. al.* 2007). Verdiaptering vil si at man prøver å optimere verdien av hver stamme mot gjeldende prislister (Bergstrand 1994). Pris styrer tømmerutfallet i og mellom sortiment. Fordelingsaptering innebærer at man tillater



å awike fra høgste verdi og heller styre mot ei ønska fordeling av diame- tre og lengder (Möller & von Essen 1997). Det er gjort en rekke studier på effekter av fordelingsapting i Sverige og Finland, der metoden også er praktisert de siste 15 år (Bergstrand 1990, 1994, Larsson & Lidfeldt 1990, Sondell 1991, 1993, Drott 1996, Möller & von Essen 1997, Hen- riksson 2000, Nilsson 2001, Kivinen & Uusitalo 2002, Kivinen 2004, Malinen & Palander 2004, Kivinen *et. al.* 2005 og Kivinen 2006). Forde- lingsfunksjonen blei utvikla ved Skogforsk i Sverige, og tatt i bruk i hogst- maskiner som kjørte for skogkonsern (bolag) i Sverige ca. 1990. Bruk av metoden økte i svenske skogbolag ved apting til egen industri, og blei raskt også tatt i bruk i Finland. Nå brukes fordelingsapting i stort om- fang også ved salg av tømmer til ekstern industri, og i privatskogbruket. I Norge nyttes fortsatt verdiapting, men fordelingsapting testes ut under norske forhold i det pågående «KUL2- prosjektet.»

Det mangler et norsk samleverk på femaer knytta til apting og mest mulig optimal tømmerutnyttelse. Vi håper denne boka kan fylle denne rollen. Boka beskriver verdi- og fordelingsapting i teori og praksis, i Norge, Sverige og Finland. Status på aptingssystemer og målenøyak- tighet i hogstmaskiner, med stor betydning for aptinga og tømmer- utfallet, er også omtalt. Simuleringsprogrammene OptApt og Sawyer er kort nevnt i forbindelse med teknikker brukt ved modellering av apting. Skogstandarden (StanForD) med filtyper for kommunikasjon til og fra hogstmaskiner, er også beskrevet. Det vises også et eksempel (simulering) med effekter på tømmerutfall og trelastutfall ved bruk av verdi- og fordelingsapting på et parti sagtømmer fra Viken Skog til Haslestad Bruk. Målt mot definerte tømmerønsker fra sagbruka kan verdi - og fordelingsapting vurderes mot hverandre med hensyn til tekniske og økonomiske faktorer på tømmer og trelast.

Fordelingsapting har fått mest plass i boka, og temaet er i stor grad basert på svensk og finsk litteratur og annen informasjon fra fagfolk og brukere i Sverige og Finland. I tillegg til litteraturhenvisninger i tek- sten vises det også til personlige meddelelser, i form av kurs, samtaler/ intervjuer og e-poster. Type personlig meddelelse og dato framgår i personlige meddelelser under referanser.

## Verdiapting

### Bakgrunn

Fra 1987 da sentrale prisforhandlinger på sagtømmer opphørte, har utviklinga gått fra én norsk prisforholdstabell og ett kvalitetsreglement for prima - og sekunda sagtømmer, til mer eller mindre sagbrukstil- passa prislistor og kvalitetskrav. Verdiapting er så langt enerådende i Norge. De samme prislistene ligger normalt til grunn for apting og tømmeroppjør, men i en del tilfeller må listene modifiseres og foren- kles noe for å fungere effektivt i hogstmaskinene. Dette gjelder særlig ved bruk av mange sagtømmersortimenter med store og komplekse prismatriser. Da kan for eksempel diameter - og lengdeklasser slås sammen, så sant prisforhold og prishopp i listene ikke påvirkes.

Den tradisjonelle prisforholdstabellen blei fastsatt av Landbruksdepar- tementet etter forslag fra partene, og gjaldt for flere år av gangen (Ned- kvitne *et. al.* 1990). Den relative verdien for ulike dimensjoner (toppmål og lengder) kunne leses av i kroner per kubikkmeter. Under forhandlinger det enkelte år blei partene enige om prosentiske tillegg til tabellen for ulike treslag og kvaliteter. Basispriser for skurtømmer gjelder for en stakk 49 dm og 20 cm toppmål. Prisforholdstabellen blei sist endra i 1989 av myndighetene. I 1987 var det slutt på sentrale forhandlinger mellom kjø- per - og selgerorganisasjonene. Siden har skogeierforeningene m.fl. for- handla med industrien lokalt. I dag er den tradisjonelle prisforholdstabel- len med krone - og prosenttillegg lite brukt. Mer vanlig er det å forhandle fram prislistor basert på diameterpriser (toppmål) med lengdekorreksjo- ner, tilpassa det enkelte sagbruk. En del norske sagbruk har også gått over til kun ett sagtømmersortiment og ei prisliste, i motsetning til tidligere da man hadde flere sortimenter (spesial, prima og sekunda) med ulike tillegg til prisforholdstabellen. Andre har skreddersydd ulike nye sortimenter for bedre å utnytte kvalitetsvariasjoner i skogen og innen tre.

Bakgrunnen for begrepet verdiaptering er at tømmer av ulik kvalitet og ulike dimensjoner har ulik verdi for kjøper av virket, og dermed er prisa ulikt. Prisen på en tømmerstokk skal i størst mulig grad gjenspeile eller stå i stil med foredlingsverdien. Tanken er da at tømmerpris og prislister under aptering også skal gjelde som oppgjørsgrunnlag til skogeier. Tidligere apterte og kappa skogsarbeideren manuelt ut i fra kunnskap om prisspenn mellom sortimenter og om sortimentenes prioriterte dimensjoner og minstekrav til dimensjon og kvalitet. I dag gjøres den dimensjonsmessige optimeringa automatisk i hogstmaskinens apterings-system. Datastyrt aptering blei introdusert i hogstmaskinene på slutten av 1980- tallet, og først da fikk man gode forutsetninger for å kundetilpasse og optimalisere tømmerfangsten til et sagbruk (Sondell 1993). Ved bruk av fordelingsaptering øker mulighetene ytterligere.

## Hva er verdiaptering?

Aptering vil si økonomisk optimal oppdeling av stammen i stokker ut fra gjeldende prislister og toleransekrav (Birkeland 2003). Målet er altså det samme ved manuell og datastyrt aptering: Å optimere verdien av hver stamme mot gjeldende prislister i form av en best mulig betalt stokkmiks (Bergstrand 1994 og Kivinen & Uusitalo 2002). En slik ensidig verdioptimering av stammen kalles *verdiaptering*. Ved verdiaptering er pris og prisspenn mellom sortimenter og dimensjoner styrende for apteringa og tømmerutfallet (Nybakk *et. al.* 2007). Ulike sortimenter prises ulikt og har ulike krav til dimensjon og kvalitet. Massevirke og energivirke har normalt en fast pris per kubikkmeter uavhengig av dimensjon, men ulike treslag og kvaliteter kan prises ulikt. Sagtømmer har gjennomgående høyere verdi enn massevirke og energivirke, og prises etter ei prislister eller prismatrise (figur 1) for toppmålt tømmer. I prislister prises ulike dimensjonsklasser (toppdiameter og lengde) ulikt. Ulike sagtømmersortimenter har bestemte prislister og kvalitetskrav. Riktig angivelse av type sortiment er derfor avgjørende for at det beregnes på riktig grunnlag under hogst, og for tømmerutfallet og skogeiers økonomi.

D/L	340	370	400	430	460	490	520	550	580
140	260	265	270	275	280	285	285	285	285
160	272	277	364	405	451	496	496	491	446
180	272	277	383	427	475	524	524	519	470
200	272	277	402	448	500	551	551	546	495
220	272	277	421	470	524	578	578	573	519
240	272	277	440	492	549	606	606	601	544
260	272	277	460	514	574	633	633	628	569
280	332	342	498	558	623	688	688	683	618
300	332	342	498	558	623	688	688	683	618
320	332	342	498	558	623	688	688	683	618
340	272	277	483	541	604	667	667	662	599
360	272	277	448	500	558	616	616	611	553

Mindre ønska  
 Ønska  
 Mest ønska

Figur 1. Eksempel på verdiprislister for et norsk sagtømmersortiment.

Figur 1 er et eksempel på ei moderne prislister for et sagtømmersortiment brukt ved aptering og tømmeroppgjør ved levering til et bestemt sagbruk. Toppmålsklasser (diameter) i mm er angitt vertikalt og lengdeklasser i cm horisontalt (enheter i tråd med StanForD). Prisene gjelder per kubikkmeter toppmålt virke under bark for den aktuelle stokkdimensjonen. Klasseinndelingen kan variere, og defineres etter behov. Angitt minste og største lengdeklasse i figuren svarer ofte til anvendte minste- og maksimal lengder på sagtømmer, mens største diameter angitt i prislister gjerne er mindre enn maksimalt tillatt (500-600 mm). Sistnevnte betyr at prisene angitt i diameterklasse 360 mm også gjelder opp til og med største tillatte diameter. I svenske prislister er normalt lengdeklassene angitt vertikalt, men dette kan variere mellom ulike foretak.

## Apteringsutførelsen

Sjølve apteringsutførelsen er avgjørende for tømmerutfallet og apteringsgraden. Det krever kalibrert og nøyaktig måleutstyr i hogstaggeregatet, et moderne og effektivt apteringssystem og en dyktig og våken maskinfører. Unøyaktig lengde- og diametermåling og feil angivelse av kvalitet betyr at datasystemet optimerer på feil grunnlag (Birkeland & Finstad 2006). Like viktig som riktig utført aptering, er det at apteringsinstruksen (sortimentenes prislister og krav til kvalitet og dimensjon) er hensiktsmessig og noenlunde tilpassa råstoffet og sagbrukets reelle behov. Tradisjonell aptering med standard prisforholdstabell og prima og sekunda tømmerreglement er i mange tilfeller lite forutsigbart med tanke på trelastkvalitet (Müller 1984, Dalen & Høibø 1985 og Haugen 1996). Særlig gjelder dette kvisttype (tørr eller frisk), som er avgjørende for hovedanvendelsene konstruksjon og interiør. Det samme gjelder treff på etterspurte lengder, og sammenhengen mellom verdi på trelast og det sagbruket betaler for tømmeret (Birkeland & Øvrum 2005). Disse erfaringene, og forskning på området de siste tjue år, har gjort at norsk skogbruk har forbedra sin verdiaptering, ved at apteringsinstrukser og prislister er mer kundeorienterte.

## Mekanismer i prislister

Prisforholdstabeller og prislister forutsetter en avsmaling på 1 cm per meter (Nedkvitne *et.al.* 1990). Sagtømmeret blir toppmålt, og volumet beregna etter et teoretisk midtmål. Dette påvirker apteringa. I skog med liten avsmaling lønner det seg derfor å kappe sagtømmeret langt, og ved stor avsmaling kortere. Prisforholdet mellom sagtømmer og massevirke vil sammen med avsmaling påvirke hvor langt man skal strekke sagtømmeret (Moen 1990).

I Sverige sleit man i stor grad med ujevn lengdefordeling ved overgang til mekanisert og dataassistert hogst (Andersson 1990). I motsetning til ved manuell hogst, der mellomlengder var overrepresentert, ga tradisjonelle prislister mye korte og lange lengder ved aptering i maskine-

nes datasystem, blant anna på grunn av brukte lengdekorreksjoner. Tidligere krevdes kraftige prispåslag for at hogger skulle kappe annet enn mellomlengder. Den tradisjonelle svenske måten å kubere tømmer på (toppsylindervolum) forsterka denne effekten sammenligna med norsk metode (volum basert på toppmål og forutsetning om fast avsmaling). I Norge ga maskinaptering med tradisjonell prisforholdstabell i starten svært mye lange lengder (ca 5 m) i alle diameterklaser, pluss noe korte lengder mot toppen av stammen. Dette fordi prisforholdstabellen gjennomgående premierte lengder rundt 5 m, og fordi man i for liten grad anga kvalitetsskiller og dermed regna på riktig grunnlag, og overstyrte datasystemet kvalitetsmessig. Dette gikk sjølsagt også på bekostning av sagtømmerkvaliteten. Dessuten strevde man i flere år før alle norske maskiner var omprogrammert fra svensk til norsk volumberegning, sjøl om prislister var konstruert for dette. Lengdekorreksjoner eller premieringer er nødvendig siden tømmeret betales toppmålt, og kortere stokklengder gir høgere toppmål. Dessuten etterspørres og premieres gjerne grove dimensjoner, og forsterker andelen korte stokker. Kun lengdepremiering øker stokklengdene, og praktiseres i så vel norske som svenske prislister.

## Lengdenøytrale lister

For å sikre jevnere lengdeutfall, tok man i bruk såkalt «lengdenøytrale» prislister i Sverige ved verdiaptering. Ei slik liste styrer utfallet mot omtrent like mange stokker i hver lengdeklasse i hvert diameterintervall (Andersson 1990). Lengdenøytrale lister krever dessuten små pristillegg for å styre mot ønska lengder sammenligna med tradisjonelle prislister, og er det beste utgangspunktet ved fordelingsaptering, der fordelingsønsket i hovedsak tar seg av lengdestyringa. Følgende bør være klart når man konstruerer ei prisliste (Andersson 1990): Ønska gjennomsnittspris på sagtømmer, massevirkepris, ønska prisspenn mellom ulike diameterklasser og kvaliteter, og ønska lengdefordeling per diameterklasse. Det trengs dessuten fleksible lengdekrav (flere lengdealternativer) på de minste dimensjonene for å unngå tap av sagtømmervolum til massevirke.

Grunnpris (kr/m<sup>3</sup>) per diameter og kvalitet

Kval.	16-	18-	20-	22-	24-	26-	28-	30-	32-	36-
1-3	450	480	500	520	535	550	560	565	570	400
4	325	325	330	340	340	340	340	340	340	200

Korrigerer (%) for lengde p.g.a. avsmaling og behov

D/L	34	37	40	43	46	49	52	55	58
16+	90	93	96	98	100	102	104	105	106
22+	93	95	97	99	100	101	102	103	104
26+	95	97	98	99	100	101	102	103	103

«Lengdenøytral» prisliste

D/L	34	37	40	43	46	49	52	55	58
16-	405	419	432	441	450	459	468	473	477
18-	432	446	461	470	480	490	499	504	509
20-	450	465	480	490	500	510	520	525	530
22-	484	494	504	515	520	525	530	536	541
24-	498	508	519	530	535	540	546	551	556
26-	523	534	539	545	550	556	561	567	567
28-	532	543	549	554	560	566	571	577	577
30-	537	548	554	559	565	571	576	582	582
32-	542	553	559	564	570	576	581	587	587
36-	380	388	392	396	400	404	408	412	412

Figur 2. Grunnpris \* lengdekorreksjon = prisliste. Denne vil gi en jevn lengdefordeling. Prisavdraget på korte stokker er større enn pristillegget på lange, og små dimensjoner krever større korreksjoner enn grovere (Andersson 1990).

Prislista i figur 2 har begrensa lengdedifferensiering, og er et eksempel på det svenske kaller «lengdenøytral» liste. I prinsippet er denne som andre prislistene et resultat av en grunnpris per diameter og kvalitet multiplisert med en lengdekorreksjon. På grunn av avsmaling må også «lengdenøytrale» prislistene lengdekorrigeres, for å hindre unormalt mye kort tømmer.

I grove trekk påvirker grunnprisen diameterfordelinga og kvalitetsutfallet, og lengdekorreksjonen styrer lengdeutfallet. Ei «lengdenøytral» prisliste krever en forholdsvis større prisreduksjon på korte lengder enn pristillegg på lange lengder (Andersson 1990). For å hindre at svært mange stokker med lite toppmål blir korte, og svært mange grove stokker blir lange, må lengdekorreksjonen spenne over et større intervall hos små dimensjoner enn hos større. Dette siden den relative avsmal-

lingen normalt er større på mindre dimensjoner enn på grovt tømmer. Ved stor prisforskjell mellom ulike diameterklasser trengs større lengdekorreksjoner for at prislista skal forbli «lengdenøytral».

For å kunne konkurrere med massevirke, kreves en viss pris på de minste sagtømmer- dimensjonene. Prisen på en kort stokk er i tillegg langt lågere enn det grunnprisen eller diameterprisen i figur 2 angir, på grunn av lengdekorreksjonen. Diameterprisene skal innbyrdes stå i stil med ønska diameterfordeling. Stor prisforskjell mellom kvaliteter betyr hard styring mot de høgste kvalitetene. I kombinasjon med en høg lengdekorreksjon på de mindre dimensjonene, blir styringa mindre hard, siden det ved aptering blir høgere netto av en lang stokk av lågere kvalitet. Med økt diameterpris motvirkes lengdekorreksjonseffekten.

Ei «lengdenøytral» prisliste gir alltid maksimalt volum, men gir kanskje ikke sagbruket de ønska dimensjoner (Drott 1996). Om alt tømmer kunne selges til samme dekningsbidrag, skulle man derfor aptere med «lengdenøytral» prisliste.

Angis lengdekorreksjon i kroner i stedet for prosent, får man prosentvis en lågere lengdekorreksjon for diameterklasser med høy pris, spesielt ved store prisforskjeller mellom ulike diameterklasser. Om dette er en grov dimensjon, får man altså en styring mot lengdenøytralitet bare ved å angi lengdekorreksjon i kroner i stedet for prosent. Effekten blir liten dersom prisforskjellen mellom diameterklassene er liten. Den aktuelle skogen som hogges vil alltid avvike noe fra «normalbestandet» som prislista er tenkt for (Andersson 1990). I et bestand med dårlig stammeform (stor avsmaling) får man flere kortlengder, og i et bestand med bedre stammeform (høyere høgdeklasse) får man flere lange lengder. Først ved avvirkning i flere bestand over tid vil man kunne få en samla lengdefordeling i tråd med prislista, dersom den er riktig utforma.

I følge Sondell (1993) er mulighetene til å endre tømmerets lengdefordeling gode. Mulighetene til å endre diameterfordelinga mellom ulike tømmerklasser er derimot begrensa. Andelen korte lengder i en grov tømmerklasse kan til en viss grad økes på bekostning av lengre lengder i klassen under, og motsatt, men mulighetene til forandringer er relativt små.

## Stegvis aptering

Når treet er felt, starter apteringsprosessen så fort aggregatet begynner å bevege seg oppover stammen. Måling av diameter og lengde gjøres kontinuerlig i hogstaggreatet. Diameter registreres normalt for hver desimeter, og etter få registreringer lager apteringssystemet en prognose for videre avsmaling. Optimalt kappepunkt beregnes på bakgrunn av denne prognosen og den kvalitet som er angitt av maskinfører. Ettersom aggregatet arbeider seg videre oppover på stammen og gir reell avsmaling, korrigeres avsmalingsprognosen. Eventuelt nytt kappepunkt beregnes, aggregatet stopper, og føreren må normalt bekrefte kapp. Også ved endring av kvalitet vil det foretas ny beregning av kappedet ut fra det nye sortimentets priser og dimensjonskrav. Angitt kvalitet forutsetter tilsvarende kvalitet på prognostisert lengde. Ved kvalitets-

skiller og tvangskappfeil må maskinfører overstyre den dimensjonsmessig optimale apteringa og skjønsmessig kappe manuelt, eventuelt bruke en tvangskappfunksjon i datasystemet. Ved tvangskapp kapper man for eksempel en sagtømmerstokk kortere enn optimalt, mot at man opprettholder kvaliteten og unngår nedklassing eller vraking. Ved kvalitetsfeil som ikke tolereres i sagtømmer, produseres massevirke eller energivirke etc. Ved alvorlige feil som ikke tolereres i noe sortiment, må feilen kappes ut (bult). Prisspenn mellom sagtømmer og øvrige sortiment påvirker i hvor stor grad man skal korte sagtømmer, produsere massevirke eller bulte ved kvalitetsfeil og tvangskapp. Sagtømmerreglementet og råstoffkvaliteten i Norge gjør at tvangskapphyppighet er høy, og dermed begrensende for optimering av tømmerfangsten.

Moderne hogstmaskinaptering som beskrevet over kalles *stegvis aptering* og betyr at apteringssystemet suksessivt får informasjon om stammen etter hvert som den opparbeides og måles, og deretter gjør en prognose for videre avsmaling på heile eller deler av stammen (Möller & Arlinger 2005). Alternativet er at programmet kjenner heile stammens utseende innen aptering, noe som normalt ikke er tilfelle under hogst.

## Beregningslengde og avsmalingsprognose

Apteringssystemet baserer beregningene på to sentrale parametere; *beregningslengde* og *innmålt lengde før prognose* (Nilsson 2001). Beregningslengde er den del av stammen som apteringsprogrammet til enhver tid beregner optimal aptering av, og kappepunkt beregnes på grunnlag av, med bakgrunn i avsmalingsprognosen (*pers. medd.* Möller 2007). Ulike maskinfabrikater med ulike datasystemer opererer med forskjellige beregningslengder. Ponsse og John Deere bruker heile treet, Dasa og Motomit ca. 15 m og Valmet anbefaler 11 m (*pers. medd.* Möller 2007). Beregningslengde er minst 9-11 m eller to stokklengder, dermed inngår normalt 70-90 % av trets verdi i kalkylen (Sondell *et. al.* 2004). Man har større mulighet til å aptere verdifulle stokker innen gjenstående beregningslengde om den er lang (Möller & Arlinger 2005). *Innmålt lengde før prognose* er den del av stammen

som er registrert innen resterende stammedel prognostiseres. Innmålt lengde og antall korreksjoner av prognosen før endelig kappepunkt avgjøres er enten fastsatt i maskinsystemet, eller kan bestemmes av maskinfører, avhengig av produsent (*pers. medd.* Möller 2007). Prognoselengde (avsmaling) er normalt lik beregningslengde, men kan også være kortere. Avsmalingsprognosen gjøres ved bruk av en adaptiv avsmalingsmodell. Programmet forandrer kontinuerlig prognosen slik at den skal stemme med bestandet man til enhver tid avvirker (Nilsson 2001). Prognosen baseres på de seinest avvirka stammene, gjerne per diameterklasse. Antallet stammer varierer, men kan være 10-20 stammer per 5 cm diameterklasse (*pers.medd.* Möller 2007).

Fra og med 2007 er funksjon for stegvis aptering tilgjengelig i OptApt i tillegg til beregninger på bakgrunn av heilstammemåling (stammens reelle avsmaling fra rot til topp). Også det svenske simuleringsprogrammet Aptan har funksjon for stegvis aptering. Begge program bruker heile trelengda som beregningslengde, som Ponsse og John Deere sitt apteringssystem.

## Dataflyt

Apteringsinstrukser, produksjonsresultater, stammedata og annen informasjon sendes til og fra hogstmaskinene via e-post eller web-løsninger (entreprenør-web etc.). De ulike filtypene (apt, prd, stm m.fl.) og tilhørende variabler brukes av alle moderne apteringssystemer etter StanForD, «Standard for Forestry Data and Communication». Det svenske programmet SilviA er et administrasjonsverktøy for apteringssystemer basert på StanForD (CC Systems AB 2007). Programmet brukes til å produsere apteringsinstrukser (apt), og til å vise og summere produksjonsdata (prd, pri) og andre data etter hogst. Ktr-filer (kontrollfiler) fra dataklave kan leses, og programmet har mulighet til å simulere tømmerutfall. SilviA er framstilt i samarbeid med maskintilvirkere og brukere. Mer om StanForD i kapittelet StanFord - Skogstandarden.

## Beregning av optimal aptering

De første forsøkene på å modellere optimal aptering av tømmer blei gjort ved hjelp av lineær programmering (LP). Modelleringen var vesentlig forenklet for å hindre at LP-modellene blei for store. En slik modell burde også være kontinuerlig. På grunn av dette har dynamisk programmering (DP) blitt den vanligste måten å beregne optimal aptering på (Puumalainen 1998). DP er en fleksibel, men kompleks matematisk programmeringsteknikk for å løse sekvensielle beslutningsproblem, og blei utvikla av Bellman (1954). I motsetning til statiske modeller, blir dynamiske modeller ofte brukt for avgjørelser som blir tatt over tid, men kan også brukes når tid ikke er en faktor (Näsberg1985). Følgelig vil en dynamisk modell være en mer realistisk beskrivelse av virkeligheten (Eppen 1998). Både lineære og ikke-lineære funksjoner kan løses med DP på samme måte som deterministiske eller stokastiske parametere (Puumalainen 1998). Dynamisk programmering kjennetegnes ved at problemet deles opp i stadier som hver antar at løsningen til forrige stadium er optimalt beregnet. Ved hvert stadium gjøres beslutning om optimal handling med utgangspunkt i tidligere stadier og tilstand til gjeldende stadium. Man kan for eksempel dele et tre som skal apteres, inn i stadier. Hvert stadium stiller et beslutningskrav der alternativene er kapp eller ikke kapp, og hvert stadium er assosiert med et antall tilstandsvariabler. En slik variabel kan for eksempel være stokklengde. Effekten av beslutningen ved hvert stadium er å overføre nåværende tilstand til en tilstand assosiert med neste stadium (Pnevmaticos & Mann 1972). Ved verdiaptering av tømmer vil man i hvert stadium kalkulere om kapping er optimalt eller ikke, uavhengig av hvordan stokken før er kappet.

Dynamisk programmering har lenge blitt brukt i forskningsmiljøet på Ås. Allerede på 1960-tallet blei det utvikla en modell for optimal aptering basert på en slik programmering. Da var det ikke mulig å ta hensyn til kvalitet (Strand 1968). Ti år seinere blei programmet videreutvikla til også å ta hensyn til råte (Gjølberg 1978). FoU-programmet «Euro-Tre» skapte et programbehov for mer detaljerte problemstillinger. Programmet «Optimus» blei koblet til en database. I 1999 blei

prosjektet «Optimal aptering og ajourføring av dataprogram» startet. Dette endte med programmering av et nytt program, kalt OptApt (Gobakken & Eikenes 1999).

Det er dynamisk programmering som i dag brukes ved beregning av optimal aptering i hogstmaskiner. Å beregne optimal aptering er komplisert, særlig med mange sortimenter og spesielle prismatriser. Ved hjelp av teknikken (DP) kan man på bestands/teignivå og totalt for en periode vurdere effekter av sortimenter, prislister, dimensjonskrav og skogens befatning på totalverdi og fordeling på sortimenter og dimensjoner. Videre kan man da si noe om hvilken apteringsinstruks og hvilken skogtype som best egner seg til kjøpers behov. Simuleringer er nyttige for å hjelpe oss til å bruke de beste forutsetninger ved praktisk aptering i hogstmaskin.

## OptApt

OptApt er et dataprogram som beregner optimal og eventuelt utført aptering for ett eller flere trær (Finstad *et. al.* 2007). Programmet bygger på en matematisk modell for å beregne optimal aptering (Näsberg 1985 og Bellman 1954). Arbeidet med utvikling av programmet blei starta av Gobakken (Gobakken & Eikenes 1999), og programmet er videreutvikla gjennom ulike prosjekter på Skog og landskap (og tidligere Skogforsk) i samarbeid med skognæringa. Her er programmet blant anna brukt for å simulere fram prislister som produserer et stokkutfall tilpassa det enkelte sagbruk. Programmet beregner optimal aptering for gitte trestammer med gitte sortimenter. Gjennom et prosjekt («KUL-prosjektet») i samarbeid med Viken Skog og Haslestad Bruk AS blei OptApt kobla til en skursimulator, Sawyer, slik at man kan se aptering og skur i sammenheng. OptApt kan benytte stammedata fra ulike kilder, men er mest tilpassa stammedata fra hogstmaskiner i StanForD-formatet. For beskrivelse av sortimenter kan man benytte apteringsinstruksjoner i dette formatet. I «KUL2-prosjektet» blei OptApt blant anna videreutvikla med funksjoner for stegvis aptering og fordelingsaptering.

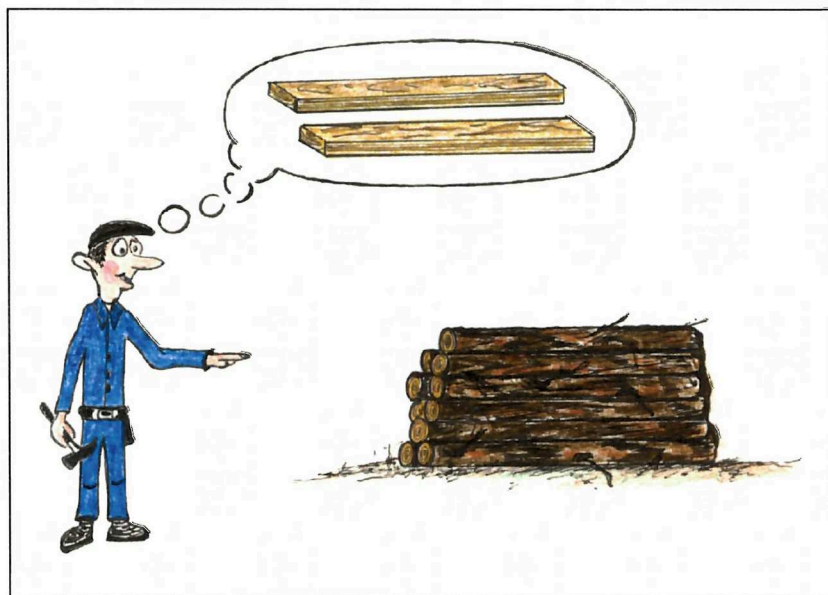
# Fordelingsaptering

## Bakgrunn

Ulike trelastkunder krever ulike dimensjonsfordeling, og endringene skjer hyppigere i takt med et mer krevende og turbulent marked. Sagbruksindustrien er generelt også blitt mer bevisste på hva de trenger for å oppfylle kundenes behov, og for å utnytte råstoffet best mulig. Svensk trelastindustri og skogbruk har for alvor merka det sterke fokuset på trelastlengder, særlig ved eksport. Trelasta skal leveres i bestemte og gjerne færre, dimensjonsavhengige lengder eller lengdeklasser. Det betyr at ulike trelastdimensjoner med ulike anvendelse skal ha bestemte lengdefordelinger, og ikke leveres i fallende lengder, som er normalt i Norge. Svenske sagbruk har kommet langt i å definere disse lengdekrava også til skogen. Først når lengdene produseres der, vil det for alvor bli lønnsomt å levere disse lengdene for sagbruket. Også flere norske sagbruk har endra prislister og slakka litt på tradisjonelle kvalitetskrav blant anna for å bedre dimensjonsutfallet. I stor grad har dette foreløpig dreid seg om å øke trelastas gjennomsnittslengde.

Lengde og lengdefordeling blir framheva som en viktigere og viktigere faktor for sagbruksindustriens lønnsomhet. Kombinasjonen lengde og diameter er ifølge Birgitta Boström (2007) den viktigste kvalitetsparameter på grantømmeret til SCA Rundvik sågverk, siden de videreforlede produktene er 100 % lengdespesifiserte. SCA gjør kvartalsvise lengdebestillinger, og ved hjelp av fordelingsaptering oppnår selskapet svært gode treff på etterspurte lengder per diameterklasse. Eneste alternativet til å produsere sluttlengder i skogen, er å fingerskjøte. Peter Funck (2007) ved Bergquist Innsjön Trävaru KB sier at lengder er langt viktigere enn diameter, da kundeordren er lengdestyrt. Sagbruket leverer store volumer til krevende kunder i Japan, og sagbrukets bestillinger omfatter kun to eller tre bestemte dimensjonsavhengige

lengder. Tømmeret sorteres i *lengdeklasser* i tillegg til diameterklasser ved innmåling. Magnus Lindquist i Setra Group (2007) oppsummerte den moderne treindustriens krav til skogens produkter med at vi må gjøre så riktig som mulig så tidlig som mulig i kjeden. Södra Timber Värö sine erfaringer med verdi- og fordelingsaptert tømmer i forhold til kundenes lengdekrav (trelast) omtales i kapittelet Fordelingsaptering i Sverige, Finland og Norge. Ulike sagbruk har ulike kunder med ulike krav, og flere norske sagbruk vil nok mene at diameter fortsatt er viktigere enn lengde, men lengdekravene øker også her til lands. Økt lengdetilpassing i skogen trenger dessuten ikke være ensbetydende med mindre egna toppmål på sagtømmeret.



Figur 3. En viss mengde tømmer kappet i lengder tilsvarende snekkerens behov. Tegning: Sigrun Kolstad 2007.

Bakgrunnen for å utvikle fordelingsaptering var ifølge Drott (1996) nettopp ønske om å unngå aptering av uønska stokker på grunn av små verdiforskjeller mellom ønska og uønska stokker (verdiaptering),

og marginale forskjeller mellom ulike apteringssystem. Sverige og Finland har hatt vansker med å levere tømmer etter kjøpers ønske ved bruk av verdiaptering og tradisjonelle prislister (Kivinen & Uusitalo 2002). I hogstmaskin var resultatet gjerne stor overvekt av lange eller korte stokker (*pers. medd.* Kivinen 2006 og Andersson 1990). Dette førte til økt fokus på lengdenøytrale prislister og fordelingsaptering. Generelt kan man si at målet med fordelingsaptering er å redusere mengden av ukurante og tungsolgte dimensjoner, til fordel for mer etterspurte dimensjoner (lengder).

### Hva er fordelingsaptering?

Fordelingsaptering er aptering der datamaskinen tillates å gjøre avvik fra streng verdiaptering og heller styre mot ønska lengde - og diameterfordeling (Drott 1996 og Möller & von Essen 1997). Man definerer en ønska dimensjonsfordeling (fordelingsønske) til ulike sagtømmer-sortimenter, og legger dette ønsket til grunn for aptering sammen med prisliste. Man angir også maksimalt tillatt verdiavvik fra prislista, det vil si hvor mye man tillater å avvike fra verdiaptering. Under hogst søker apteringssystemet, innen tillatt verdiavvik, størst mulig tilnærming til etterspørselen i fordelingsønsket. Fordelingsønsket kan uttrykkes på ulike måter. Vanligst er relativt antall eller volum i ulike lengder per diameterklasse, eller per heil matrise. Prislista er et nødvendig verktøy også ved fordelingsaptering, ved beregning av verdiavvik og aktuelle kappealternativer. I tillegg er prisliste nødvendig for å beskrive relative verdier mellom ulike tømmer-sortimenter og diameterklasser (toppmål), enten man verdi - eller fordelingsapterer. Fordelingsønsket påvirker i første rekke lengdeutfallet, per diameterklasse og totalt (Nybakk *et. al.* 2007). Teoretisk går det også å fordelingsaptere med en lik pris for alle lengder og diameter i prismatrisa (*pers.medd.* Möller 2007). Da bør fastkubikk brukes som volumenhet, ikke toppmålt volum.

Også ved fordelingsaptering kan man operere med flere sortimenter. Som med prislister, kan ulike sortimenter ha ulike fordelingsønsker. Tillatt verdiavvik skal også kunne angis sortimentsvis (Sondell *et. al.*



2004). Videre skal det være mulig å fordelingsaptere over alle sortimentsgrenser, og det bør være mulig å angi per sortiment hvordan virke kan hentes fra ett sortiment til øvrige (tabell 1). Fortsatt må dette skje innen tillatt verdiavvik og forutsatt at det fins etterspørsel etter den aktuelle stokken.

**Tabell 1.** Eksempel på fordelingsaptering over sortimentsgrenser (StanForD var 197). Kvalitet 2 kan ikke hente virke fra kvalitet 3, og kvalitet 3 beskyttes mot virke fra kvalitet 2 (Sondell *et.al.* 2004).

	Prismatris					
	Kval_1	Kval_2	Kval_3	Kval_4	Kubb_5	Massa_6
Från	Ja	Nej	X	Ja	Ja	Ja

## Vanlige prislister eller lengdenøytrale lister?

Prislister brukt ved fordelingsaptering kan være vanlige verdiprislister med betydelig premiering av etterspurte lengder og diametre. Prioriteringene i prislister og fordelingsønske bør da være noenlunde samstemte. Dette for å sikre best mulig apteringsutfall og unngå unødvendig høge kostnader jamført verdiaptering. Alternativt kan man bruke ei «lengdenøytral» prislister i bunn med mindre styring mot spesifikke lengder. Dette vil gi større valgfrihet blant apteringsalternativene, og krever ingen større tilpasninger når industrien endrer kravene sine. Prislister fungerer da som et nødvendig verktøy i bunn, mens fordelingsønsket i større grad tar seg av lengdeutfallet. Ved mer «lengdenøytrale» prislister kan man konsentrere seg om justeringer i fordelingsønsket og effekter av disse, framfor å måtte justere prislisterne i tillegg. Dette er nyttig ved endringer i behov og skogtype, og ved levering til nye sagbruk med andre behov. «Lengdenøytrale» lister er da mer oversiktlige og effektive å jobbe med, og mer forutsigbare ved varierende skogtyper (*pers. medd.* Möller 2007). Gode erfaringer med

vanlig verdiprislister gjør likevel at en del sagbruk velger å legge denne til grunn også ved fordelingsaptering, særlig dersom tømmerønsket er stabilt over tid. En annen fordel med bruk av vanlig prislister er at den også kan brukes av skogeiere og andre som hogger manuelt. Alternativt må man operere med to lister, ei for maskin og ei for manuell hogst. Hvis hensiktsmessig, kan man også legge «lengdenøytrale» lister til grunn ved fordelingsaptering i noen sortiment, og normale prislister med større prisspenn til grunn i andre. Noen velger også å verdiaptere enkelte sortimenter, eksempelvis høgverdige furukvaliteter, mens resten fordelingsapteres.

Dekningsbidrag (DB) for ulike tømmerdimensjoner bør ifølge Drott (1996) i framtida ligge til grunn for hvor hard styring som aksepteres for å oppnå ønskene. Forskjeller i DB bør kobles mot det tillatte verdiavviket, som er avgjørende for fordelingsgraden (oppnåelsen av ønsket). Verdiavviket blir dermed produktavhengig, og kan variere med sagbrukets betalingsevne til den aktuelle dimensjonen. En utfordring er at et produkt ofte produseres fra ulike tømmerdimensjoner. Liten forskjell i DB mellom dimensjoner betyr liten effekt eller verdi av forbedra dimensjonsutfall. I lågkonjunktur er verdien av forbedra styring høg, siden kun ønska dimensjoner etterspørres, men betalingsevnen er også mindre, og svekker viljen til å gi bonuser. I høgkonjunktur fins rom for bonus, mens verdien av styring kanskje er mindre (Drott 1996). På sikt er det gunstig for alle parter å fokusere på målet ved fordelingsaptering, nemlig en langsiktig lønnsom utvikling i bransjen med fokus på sluttkunden. Prislister er et verktøy som må være tilstede enten man verdiapterer eller fordelingsapterer. Problemet med verdiaptering er at prislister alene sjelden gjenspeiler fasiten på optimal aptering eller tømmerets egentlige verdi (fordelingsverdi). Bestandsvariasjoner forverrer dette, da utfallet av ei prislister varierer betydelig med skogtypen.

## To typer fordelingsaptering

Man snakker om to typer fordelingsaptering eller fordelingsfunksjoner, *næroptimal* og *adaptiv*. Næroptimal metode er den klart dominerende metoden i Sverige og Finland. Den blei tilgjengelig i alle hogstmaskiner fra og med år 2006, da også Ponsse tok i bruk metoden i tillegg til adaptiv funksjon. Adaptiv fordelingsfunksjon er også tilgjengelig i John Deeres apteringssystem.

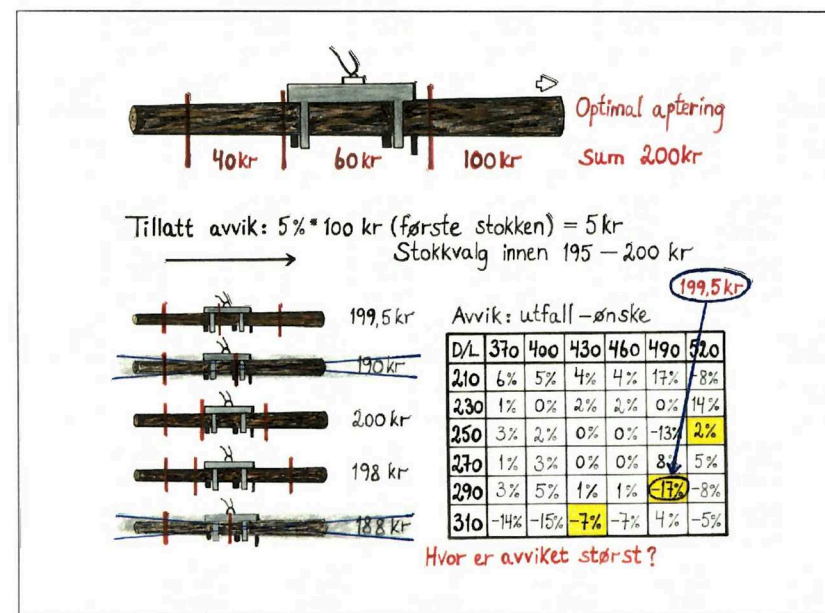
### Næroptimal metode

Næroptimal metode skal ifølge «Operativa krav vid fördelningsaptering med skördare» (Sondell *et. al.* 2004) brukes som grunnalternativ i alle hogstmaskiner. Kapping skal som hovedregel skje der den relative bristen i fordelingsønsket er størst, forutsatt at verdien ligger innen tillatt verdiavvik. De nevnte krav er utarbeida av Skogforsk i Sverige sammen med svenske brukere av fordelingsaptering, og skal være retningsgivende for utvikling av apteringssystemer og praktisk fordelingsaptering. Möller (*pers. medd.* 2006) ved Skogforsk i Sverige anbefaler også næroptimal metode ved fordelingsaptering.

Næroptimal metode bruker ei konstant prisliste, men avviker fra verdioptimering ved hvert kapp. Metoden velger ikke nødvendigvis høyeste verdi, men det alternativet som best stemmer med etterspørselen i fordelingsønsket og samtidig er innenfor angitt tillatt verdiavvik. På bakgrunn av kvalitet velger nå datasystemet automatisk det aktuelle sortimentets fordelingsmatrise, i tillegg til prisliste (se figur 4).

Figur 4 viser hvordan næroptimal fordelingsaptering fungerer. Først beregnes den oppdeling av beregningslengde som gir høyest verdi i prislista, som ved verdiaptering. Tillatt verdiavvik i prosent (5 %) beregnes av verdien i kroner på første stokken som ville blitt kappet ved verdiaptering (Sondell *et. al.* 2004). 5 % tillatt verdiavvik av første stokkens verdi lik 100 kr = 5 kr i dette eksempelet. Overført til beregningslengda må altså første stokken kappes slik at totalverdi på beregningslengde

ligger i intervallet 195 til 200 kroner. Alternativene 190 kr og 188 kr utelukkes. Blant de tre gjenstående alternativer er etterspørselen størst (avvik lik -17) etter stokken med diameter lik 29 cm og lengde 48 dm. Denne stokken produseres, og gir total verdi på beregningslengde lik 199,50 kr. Det vil si at det reelle avviket fra det optimale i prislista (50 øre) ved å fordelingsaptere i dette tilfellet faktisk kun er 10 % av det maksimalt tillatte (5 kr). Etter hvert som apteringsutfallet (stokknotaen) endres, oppdateres etterspørselen i fordelingsmatrisa.



Figur 4. Prinsippet ved næroptimal fordelingsaptering. Beregningslengde har totalverdi lik 200 kr i prisliste, men førstestokken lik  $D=290 \text{ mm}/L=490 \text{ cm}$  velges på grunn av størst etterspørsel blant de tre gjenstående alternativer. Dette gir verdi på beregningslengde lik 199,50 (etter Skogforsk 2006b).

I eksempelet er beregningslengde mindre enn total stammelengde, som i Dasa, Motomit og Valmet Maxi. Restverdien er verdien på heil stammelengde minus beregningslengde.

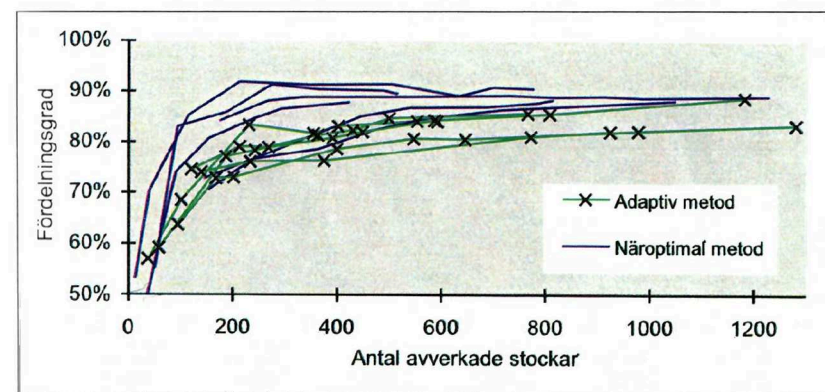
## Adaptiv metode

Ved adaptiv fordelingsapatering nyttes i utgangspunktet samme optimeringsteknikk som ved verdiapatering. Ved faste intervaller kontrolleres derimot foreløpig utfall mot ønske, og den adaptive prislista endres fortløpende for å styre tømmerproduksjonen mot ønska fordeling (Drott 1996 og Nilsson 2001). Prislista brukes dermed direkte heile tida, men med bakgrunn i fordelingsønsket justeres den i form av økt/reduert pris, innenfor angitt tillatt verdiavvik. Hogstmaskinen kapper den første stokken kun med utgangspunkt i hva som gir høyest verdi i prislista, og etter hvert som storkantallet øker, vil fordelingsønsket påvirke prislista og apateringa. For å hindre at man produserer tømmer av lågere verdi, blir justeringen av prisen vanligvis kontrollert av en såkalt adaptiv faktor. Uten denne begrensningen kunne man risikere å kappe en massevirkestokk av ren sagtømmerkvalitet ved stort nok overskudd av en dimensjon. En relativt «lengdenøytral» prisliste ligger til grunn (Drott 1996). En viss styring mot ønska lengder bør riktignok finnes, på grunn av at det kreves et visst antall apterte stokker før prislista endrer seg.

Ved bruk av adaptiv metode i Ponsse sitt apateringssystem sammenstilles utfall med ønske fortløpende i en «diffnota». Denne forteller om underskudd, fullstendig treff (0 %) eller overskudd av stokker i ulike celler. Ved underskudd økes prisen tilsvarende det maksimale verdiavviket (Skogforsk 2006a). Halvparten av cellene med størst overskudd senker prisen med 5 %, mens halvparten av cellene med lågest overskudd senker prisen med 2,5 %. Dette gir en ny, justert prisliste og «diffnota». At man senker og høyner prisen, kan føre til større reelt avvik enn tillatt. Man vet heller ikke om to celler med likt avvik har ulike ønsker. Adaptiv metode vil derfor gi mindre kontroll med hva som skjer undervegs.

## Næroptimal versus adaptiv

Næroptimal metode gir raskere en høg fordelingsgrad enn adaptiv, men etter tid oppnår begge tilnærma samme nivå (figur 5). For å oppnå en høg fordelingsgrad, kreves 200- 400 stokker per sortiment ved næroptimal metode. Adaptiv metode trenger flere stokker, ca. 1000, for å oppnå en stabil og høg fordelingsgrad på nivå med næroptimal metode (Möller & von Essen 1997 og Sondell *et.al.* 2004). Skiftende og små bestand er på grunn av tregheten en ulempe ved adaptiv metode. Fordelingsgrad er et mål på hvor godt faktisk stokkutfall stemmer med ønsket (mer om fordelingsgrad seinere i dette kapittelet).



Figur 5. Fordelingsgrad adaptiv og næroptimal metode. Gran, 2 % verdiavvik (Möller & von Essen 1997).

Fordelen med adaptiv metode kan være at den apterer et høyere tømmervolum enn næroptimal metode, på grunn av mjukere styring (Drott 1996). Ulempen er at prislista ikke apterer riktige dimensjoner ved oppstart eller ved bytte av bestand, fordi man starter med ei «lengdenøytral» prisliste. Denne må justeres i tråd med ønsket, noe som tar litt tid ved adaptiv metode.

For å starte med beste forutsetninger ved en ny avvirkning og sikre høyest mulig fordelingsgrad raskt, bør storknotaen (stokkutfallet) fra

foregående avvirkningsobjekt (oppdrag) kunne lagres og brukes som utgangspunkt ved neste (Sondell *et. al.* 2004). Dette gjelder både ved næroptimal og adaptiv metode. Malinen (*pers. medd.* 2006) sier at næroptimal metode i teorien fungerer bedre enn adaptiv fordelingsfunksjon, men at han er usikker på om dette er tilfelle i praksis. Næroptimal metode betyr isolert sett verditap til skogeier sett i forhold til verdiaptering. Adaptiv fordelingsaptering gir også et verditap da verdiprislista konstant endres i tråd med etterspørselen i fordelingsønsket (*pers. medd.* Möller 2007). Det betyr at prislista til en viss grad styrer mot mindre betalte dimensjoner sammenligna med den opprinnelige prislista. Vi minner igjen om at de nevnte verditap kun er av teknisk art som skal hjelpe oss til en bedre tømmerfangst, og vil neppe resultere i lågere tømmerverdi til skogeier.

Det følger her en forklaring av begreper som nyttes ved fordelingsaptering.

## Apteringsgrad

Apteringsgrad er forholdet mellom faktisk oppnådd virkesverdi og teoretisk optimal virkesverdi (optimal verdiaptering) ved aptering i simuleringsprogram (Möller 2007b, Möller & von Essen 1997 og Nilsson 2001). Beregning av apteringsgrad vises i figur 6. Ved 100 prosent apteringsgrad ivaretas skogens verdi fullt ut målt mot den aktuelle prislista. I motsetning til praktisk stegvis aptering ved hjelp av avsmalingsprognose, kjenner simuleringsprogrammet stammens form (høgde, avsmaling, kvalitetsgrenser) ved optimering, på bakgrunn av hvert tres stammeprofil (Möller 2007b). Simuleringsprogrammet bruker heller ikke lengdeovermål da det ikke har målefeil å ta hensyn til. Dette gir litt ulike apteringsgrader i teori og praksis.

Hogstmaskin	Simulering
Gran prima 513 cm	Gran prima 510 cm
Gran prima 394 cm	Gran prima 390 cm
Gran sekunda 452 cm	Gran sekunda 450 cm
Gran sekunda 483 cm	Gran sekunda 450 cm
Massevirke	Massevirke
= 361,20 kr/m <sup>3</sup>	= 365,80 kr/m <sup>3</sup>

→ **Apteringsgrad**  
361,20/365,80 = 98,7%

Figur 6. Eksempel på beregning av apteringsgrad.

I 1982 var apteringsgraden i Sverige ca. 90 %. I Virkesvärdestest 2006 var teoretisk apteringsgrad i gjennomsnitt 98,3 % ved aptering på maskinenes stm-filer og forutsetning om at maskinenes målinger av diameter og lengde var korrekt. Virkelig apteringsgrad basert på faktisk utfall i maskin og kontrolldata (klavedata) var 96,4 % (Arlinger & Möller 2007 og Möller 2007b). I begge tilfeller er oppfølging gjort ved bruk av simuleringsprogrammet Aptan. Utfallet er forbedra med noen tiendedeler fra tilsvarende test i 2001. Mer om Virkesvärdestest i kapittelet Apteringsystemer og måleutstyr. Under ellers like forhold er det naturlig at apteringsgraden blir noe lågere ved fordelingsaptering enn verdiaptering, fordi man til en viss grad tillater å avvike fra høyeste verdi.

## Fordelingsønske

Fordelingsønske er ønska fordeling på diameter og lengder for et sagtømmer Sortiment uttrykt i en fordelingsmatrise. I Sondell *et. al.* (2004) heter det at fordelingsønsket skal kunne uttrykkes diameterklassevis og for heile matrisen av lengder og diameter (figur 7). Ønskene skal som hovedregel angis som relative stykk tall, og bør også kunne uttrykkes som relativt volum. Tradisjonelt har svenske sagbruk uttrykt ønsker i stykk per diameterklasse (*pers. medd.* Möller 2007). Volum kan ikke ønskes i Dasa-systemet som brukes i Rottne, EcoLog

og Gremo hogstmaskiner. I øvrige system går begge varianter (stykk og volum). Utfallet blir noenlunde det samme, men det trengs litt større andel i lange lengder ved stykk enn volum for å få samme utfall. På grunn av at diameterutfallet i stor grad styres av treas dimensjoner, angis ønsket normalt diameterklassevis mot hogstmaskinen (*pers. medd. Möller 2007*). I tillegg utgjør standardavviket på hogstmaskinens målenøyaktighet (hogstmaskinens estimering minus måling under bark på sag) 5-7 mm under bark. Det er mer aktuelt å angi et ønske matrisevis mot tømmerleverandør, siden man fra skogen kan styre også dimensjonene gjennom valg av bestand og tynningsandel. Dette er imidlertid mer en oppgave for omsetningsledd enn skogeier. Skal fordelingsønsket bli et effektivt styringsverktøy, må det utformes i tråd med sagbrukets virkelige dimensjonsbehov, og skogen det skal brukes i. Diameterklassene brukt i prisliste og fordelingsmatrise bør av hensyn til målenøyaktighet ikke gjøres for små, i alle fall ikke hvis lengdeønskene er ulike i tilgrensende diameterklasser (Möller & Sondell 2000). Södra anbefaler 4-6 cm vide diameterklasser med samme lengdeønske, og at en stor andel av korte stokker bør ønskes i den minste tømmerklassen (Södra Skog). Generelt bør en også ha flere lengdealternativer i de minste dimensjonene for å unngå tap av volum til massevirke.

### Tillatt verdiavvik og faktisk verditap

Tillatt verdiavvik ved fordelingsaptering er maksimalt tillatt avvik fra høyeste verdi i prislista, eller avvik i forhold til verdien ved verdiaptering. Tillatt verdiavvik skal uttrykkes i prosent, promille eller kroner, og være relatert til verdien i kroner på første stokken aptert ved optimal verdiaptering (figur 4) (Sondell et. al. 2004). 2- 5 % tillatt verdiavvik er normalt i Sverige. Da beregningslengde er ulik fra et apteringssystem til et annet, kan et verdiavvik få ulik tyngde i ulike apteringssystemer. Problemet er riktignok begrensa da alle system regner på minst to stokklengder. Det betyr at minst 70-90 % av treets verdi inngår i kalkylen, mot 100 % i system som regner på heile stammen. Verdiavviket skal kunne angis per prismatrise (sortimentsvis) (Sondell et. al. 2004).

D/L	34	37	40	43	46	49	52	55	Σ
14	10	10	20	10	0	35	10	5	100
15	10	10	20	10	0	35	10	5	100
16	10	10	20	10	0	35	10	5	100
17	10	10	20	10	0	35	10	5	100
18	10	10	20	10	0	35	10	5	100
19	10	10	20	10	0	35	10	5	100
20	10	10	20	10	0	35	10	5	100
22	0	0	60	0	15	0	0	25	100
24	0	0	60	0	15	0	0	25	100
26	0	0	60	0	15	0	0	25	100
28	0	0	60	0	15	0	0	25	100
30	0	0	60	0	15	0	0	25	100

D/L	34	37	40	43	46	49	52	55	Σ	Σmatrise
14	8	8	17	8	0	29	8	4	83	1000
15	8	8	17	8	0	29	8	4	83	
16	8	8	17	8	0	29	8	4	83	
17	8	8	17	8	0	29	8	4	83	
18	8	8	17	8	0	29	8	4	83	
19	8	8	17	8	0	29	8	4	83	
20	8	8	17	8	0	29	8	4	83	
22	0	0	50	0	13	0	0	21	83	
24	0	0	50	0	13	0	0	21	83	
26	0	0	50	0	13	0	0	21	83	
28	0	0	50	0	13	0	0	21	83	
30	0	0	50	0	13	0	0	21	83	

Figur 7. Ett fordelingsønske- to uttrykksformer. Lengdefordeling per diameterklasse i % (øverst), og totalt i % for heil matrise (nederst). Stykk eller volum. Diameter (D) er oppgitt i cm og lengde (L) er oppgitt i dm (etter Skogforsk 2006a).

Verditapet er den reelle «kostnaden» jamført prislister ved å fordelingsaptere med et gitt tillatt verdiavvik, eller differansen mellom optimal verdi ved verdiaptering og oppnådd verdi ved fordelingsaptering (Skogforsk 2006a). I Sondell *et. al.* (2004) står det at selger av tømmer skal vite hvilke verdimeisige konsekvenser det har å aptere og levere etter fordelingsønske. Tilsvarende skal en kjøper på forhånd vite hva det koster å få et fordelingsønske oppfylt. Videre må kjøper kunne tilby et pristillegg dersom ønsket oppfylles, og redusert eller ikke noe tillegg dersom ønsket bare oppfylles delvis. Verditapet over tid er normalt lågere enn det tillatte verdiavviket, siden den mest etterspurte stoken ved fordelingsaptering kan være alle stokker fra null verdiavvik til maksimalt verdiavvik. Verditapet kan i enkelte tilfeller gå ut over maksimalt tillatt på grunn av stegvis aptering og adaptiv prislister, men erfaringer fra Sverige sier at den reelle kostnaden i gjennomsnitt er lik ca. halve det maksimalt tillatte verdiavviket (Bergstrand 1994, *pers. medd.* Möller & Arlinger 2006 og *pers. medd.* Orth 2006). Tross store variasjoner i skogens sammensetning med tanke på dimensjon og høgde, fant Bergstrand (1994) at verditapet var lite påvirka av skogens utseende.

Verditapet øker ved økt tillatt verdiavvik. Størrelsen på verditapet varierer også med skogens egenskaper og prislister utseende i forhold til fordelingsønsket (Drott 1996). Motstridende styring i fordelingsønske og prislister øker verditapet (Bergstrand 1994 og Skogforsk 2006a). «Lengdenøytral» prislister vil gi et middels stort verditap. Bruk av standard verdiprislister som avviker mye (prioriterer ulikt) fra fordelingsønsket vil gi stort verditap, mens god overensstemmelse mellom pris og ønske gir lågere kostnad eller verditap. Ved verdifulle ordrer med kort leveringstid bør man akseptere høgere verdiavvik enn ved lange ledetider. Tilnærma like ordre med jevne mellomrom betyr gode planleggingsmuligheter for sagbruket, og lågere verdiavvik anbefales. Sjø om ordet verditap synes negativt, må det et visst verditap til jamført prislister for å forbedre dimensjonsutfallet ved fordelingsaptering. Dette verditapet betyr jo at man prioriterer annerledes i tråd med fordelingsønsket enn det prislister greier å gjøre i den aktuelle skogen. Det er viktig at skogbruket formidler disse begrepene riktig og forklarer hva

fordelingsaptering innebærer for alle parter, slik at en ikke hindrer en positiv utvikling for begge parter (kjøper og selger) på grunn av misforståelser og psykologi.

## Fordelingsgrad

Fordelingsgraden er et mål på hvor godt fordelingsønsket oppfylles (Skogforsk 2006a, b) eller hvor godt virkelig apteringsutfall stemmer med ønsket. Fordelingsgraden uttrykkes i prosent og beregnes på heil matrise eller stykkveid per diameterklasse (Skogforsk 2006a, b og Ogemark *et. al.* 2000). Matriser for ønske og utfall må normeres til samme nivå (relative tall eller absolutte tall) før beregning av fordelingsgrad (Bergstrand 1994).

## Total fordelingsgrad

Total fordelingsgrad (figur 8) over heil matrise i prosent, **FG<sub>total</sub> = 1 - AvvTotal/2** (Skogforsk 2006b). AvvTotal er lik summen av alle avvik per diameter og lengdeklasse per celle i promille. Total fordelingsgrad beregner på heil matrise, og ønsket er angitt både for lengde- og diameterfordeling. Figur 8 viser fordelingsønske i promille over heil matrise til venstre, og faktisk utfall i antall stokker til høgre. Utfallet gjøres om til samme form som ønsket (promille), og avviket gis i absolutte tall i «utfall – ønske»-matrisen. Deretter beregnes total fordelingsgrad ved bruk av formelen gitt over.

Ønske, relativt i ‰							Utfall absolutt, regnes om til ‰						
D/L	340	370	400	430	460	490	D/L	340	370	400	430	460	490
140	33	33	17	0	58	25	140	8	5	9	2	12	7
150	33	33	17	0	58	25	150	5	3	7	3	10	6
160	33	33	17	0	58	25	160	9	7	10	1	14	16
170	33	33	17	0	58	25	170	9	7	10	4	14	16
180	33	33	17	0	58	25	180	3	1	0	0	0	4
190	33	33	17	0	58	25	190	0	3	3	4	1	3

Absolutt avvik (rel. utfall - rel. ønske)							
D/L	340	370	400	430	460	490	
140	4	10	25	9	3	7	
150	10	19	16	14	12	3	
160	8	1	30	5	6	49	
170	8	1	30	19	6	49	
180	19	29	17	0	58	6	3/216 = 14‰
190	33	19	3	19	54	11	0/216 = 0‰

14‰-33‰ = -19‰  
0‰-58‰ = -58‰

216: Totalt stokkantal

Total fordelingsgrad =  $FG_{total} = 1 - AvvTotal / 2 = 1 - (0,004 + 0,010 + 0,025 + \dots + 0,019 + 0,029 + 0,017 + 0 + 0,058 + 0,006 + \dots) / 2 = 1 - 0,613 / 2 = 69,5\%$

Figur 8. Beregning av total fordelingsgrad (etter Skogforsk 2006b). Total fordelingsgrad er 69,5 %.

### Stykkveid diameterklassevis fordelingsgrad

Stykkveid diameterklassevis fordelingsgrad (figur 9) i prosent,  $FG_{dki} = \frac{\sum [(1 - AvvDki / 2) * AntDki]}{\sum (AntDki)}$  (Skogforsk 2006b). AvvDki er lik summen av alle avvik per diameterklasse, og AntDki er lik antall per diameterklasse. Fordelingsgrad i hver enkelt diameterklasse veges med andel stokker i diameterklassen. Fordelingsønsket er ønska lengdefordeling per diameterklasse i prosent (til venstre i figur 9). Utfallet er i absolutte tall (til høyre), og regnes om til samme form som ønsket før man får avviksmatrise (utfall-ønske) i absolutte tall. Denne er grunnlag

Ønske, relativt i ‰ per diaklasse							Utfall absolutt, regnes om til ‰ per diaklasse						
D/L	340	370	400	430	460	490	D/L	340	370	400	430	460	490
140	20	20	10	0	35	15	140	8	5	9	2	12	7
150	20	20	10	0	35	15	150	5	3	7	3	10	6
160	20	20	10	0	35	15	160	9	7	10	1	14	16
170	20	20	10	0	35	15	170	9	7	10	4	14	16
180	20	20	10	0	35	15	180	3	1	0	0	0	4
190	20	20	10	0	35	15	190	0	3	3	4	1	3

Absolutt avvik (rel. utfall - rel. ønske)							
D/L	340	370	400	430	460	490	
140	1	8	11	5	7	1	
150	5	11	11	9	6	3	
160	4	8	8	2	10	13	
170	5	8	7	7	12	12	
180	18	8	10	0	35	35	3/8 = 38‰
190	20	1	11	29	28	6	0/8 = 0‰

38‰-20‰ = 18‰  
0‰-35‰ = -35‰

8: Totalt i klassen

Fordelingsgrad i diaklasse 180 =  $1 - (0,18 + 0,08 + 0,1 + 0 + 0,35 + 0,35) / 2 = 47\%$

Diaklasse	140	150	160	170	180	190
Fordelingsgrad	83%	78%	78%	75%	47%	52%
Andel stokker	20%	16%	26%	28%	4%	6%

Stykkveid diametervis fordelingsgrad  $FG_{dki} = \frac{\sum [(1 - AvvDki / 2) * AntDki]}{\sum (AntDki)} = 75,3\%$

Figur 9. Beregning av stykkveid diameterklassevis fordelingsgrad (Etter Skogforsk 2006b). 47 % er stykkveid fordelingsgrad i diameterklasse 180. Den stykkveide diameterklassevis fordelingsgraden for alle diameterklasser er 75,3 %.

for beregning av diameterklassevis fordelingsgrad, og dermed *stykkveid diameterklassevis fordelingsgrad* totalt etter formelen over. Når vi ellers i rapporten skriver om fordelingsgrad menes den totale *stykkveide diameterklassevise* fordelingsgraden. Det gjelder også eksemplet det vises til i figur 10 og tabell 2.

Normalt anbefales diameterklassevis fordelingsgrad til vurdering av utfallet i den enkelte maskin (*pers. medd.* Möller 2007), og det er denne som normalt brukes i praksis. Ved oppfølging av flere maskiners leveranser til et bestemt sagbruk, kan total fordelingsgrad være gunstig, siden sagbruket også er interessert i riktig diameterfordeling. I følge Bergstrand (1994) bør sagbruk som i første rekke ønsker å endre diameterfordelinga, og som vil kutte ut enkelte diameterklasser eller styre avvirkinga mot grov skog, bruke total fordelingsgrad som mål på utfallet. For sagbruk som derimot aksepterer det skogfallende diameterutfallet og kun har ønsker til lengdefordeling innen de ulike diameterklasser, er det aktuelt å bruke diametervise fordelingsgrader, som deretter regnes om til en total diameterklassevis fordelingsgrad. Fordelingsgraden vil avhenge av forutsetningene for apteringen. Med forutsetninger brukt i Virkesvärdestest 2006 nådde maskinene en fordelingsgrad (stykkveid diameterklassevis) på ca. 90 prosent (Arlinger & Möller 2007).

### **Sammenhenger fordelingsønske – verdiavvik – fordelingsgrad**

Fordelingsønske må i første rekke gjenspeile sagbrukets virkelige trelastproduksjon/marked, men også stå i stil med tilgjengelig skogtype og målenøyaktighet i hogstmaskinen. Først da kan man oppnå et fornuftig tømmerutfall og en høg fordelingsgrad med akseptable tillatte verdiavvik. Fordelingsgraden og verditapet bygger med andre ord på samspillet mellom skogen som skal hogges, prisliste, fordelingsønske og tillatt verdiavvik (Bergstrand 1994). Kjennskap til trelastsalget og utfallet av produksjonen er nødvendig. Videre må sagbruket greie å oversette sine trelastønsker til tømmerønsker med nødvendig overmål.

Det hjelper lite å ønske en stor andel langt og grovt tømmer i kortvokst skog. Høgt tillatt verdiavvik vil gi høg fordelingsgrad og høg oppfyllelse av fordelingsønsket, men kan også koste mer i form av verditap og sagtømmervolum. Likevel fordelingsapterer svensker og finner nettopp for å avvike fra prislista da den aleine ikke gir tilfredsstillende resultat.

Bergstrand (1994) undersøkte effekten av tillatt verdiavvik på fordelingsgraden, og anbefaler med gjeldende forutsetninger maksimalt 3-5 % verdiavvik. Fordelingsgrad lik 50-60 % ved verdiaptering økte til 80-90 % ved fordelingsaptering med 3 % tillatt verdiavvik. 6 % tillatt verdiavvik ga begrensa ytterligere økning i fordelingsgraden. Effekten av ulike verdiavvik vil variere med forutsetningene for hogsten (skogen, prisliste etc.). Kort skog gir ifølge Bergstrand (1994) færre apteringsalternativer, er vanskeligere å fordelingsaptere og gir også noen prosent lågere fordelingsgrad enn lengre skog.

### **Verdiaptering vs. fordelingsaptering. Fordeler og ulemper.**

Den store fordelene med verdiaptering i hogstmaskinens apteringssystem er mulighetene til å dimensjonsmessig optimere verdien på tømmerutfallet i tråd med prislista. Dette lar seg nå gjøre langt bedre enn ved manuell beregning av kappepunktet. Ved riktig bruk fører dette også til muligheter for økt tilpassing av tømmerfangsten til ulike kjøpere (Sondell 1993). Dersom man heile tida var sikker på å ha en optimalt konstruert og oppdatert prisliste i tråd med skogen og markedet, ville verdiaptering gi det perfekte tømmerutfallet. I praksis fins ikke slike prislister, da de er for krevende å konstruere til enhver tid.

Ved verdiaptering velges den mest verdifulle stokken ut fra ei konstant prisliste, sjøl om verdien bare marginalt avviker fra den stokken som sagbruket virkelig ønsker. Det fins ikke systematiske metoder for riktig tilpassing av ei verdiprisliste til et behov (Kivinen & Uusitalo 2002), man må prøve seg fram. Problemet med denne verdimaksimeringa er at stokken med høggest pris sjelden er den *virkelig* mest etterspurte.



Det fins alltid et utall apteringsalternativer med små verdiforskjeller, og den mest «verdifulle» stokken kan plutselig ha blitt mindre interessant siden det allerede er produsert et ukjent antall stokker i denne dimensjonen. Kanskje er det stokken som i prislista «er verdt» to kroner mindre, som virkelig burde vært produsert, tatt foreløpig produksjon og sagbrukets behov i betraktning? På grunn av vansker med å konstruere perfekte prislister, blir derfor verdiaptering til tider inoptimalt for sagbruket sjøl om skogeier får maksimalt ut av *den prislista*. På sikt vil dette slå negativt ut også for skogeier. Dessuten begrenses fleksibiliteten ved verdiaptering (Skogforsk 2006a). Ved verdiaptering er det ikke definert hva man ønsker til slutt - hvor store andeler som ønskes i ulike lengde - og diameterklasser. Prioriteringene i prislister påvirkes og endres derfor ikke som følge av hva som produseres undervegs i ei tømmerdrift. Kun pris styrer utfallet. Det krever derfor mye prøving og feiling i form av prisjusteringer for å bedre tømmerfordelinga og tilpasse apteringsinstruksene best mulig til en gjennomsnittlig tømmerfangst over tid. Slik blir utfallet av en apteringsinstruks ved verdiaptering relativt uforutsigbar og i stor grad påvirket av varierende råstoff.

### **Bedre og mer forutsigbart utfall**

Ved fordelingsaptering sammenlignes kontinuerlig målet (fordelingsønsket) med foreløpig produsert tømmerutfall (Kivinen & Uusitalo 2002). Fordelingsønsket justeres av utfallet undervegs, og et oppdatert fordelingsønske påvirker den videre apteringa. Stokker med størst manko eller minst overskudd prioriteres. Innen tillatt verdiavvik velges den mest etterspurte stokken, blant flere alternativer, til enhver tid. Dette gjør at fordelingsgraden øker, altså stemmer utfallet bedre med ønsket. Ved fordelingsaptering er kjente variabler i skog- og trelastbransjen (antall eller volum) definert og styrende. Ved verdiaptering vil man fortsette å produsere den best betalte tilgjengelige stokken uavhengig av hvor mye som allerede er produsert i ulike dimensjoner. Erfaringer viser at uønska stokker lettere unngås ved fordelingsaptering enn ved verdiaptering, og dermed reduseres andelen ukurante og tungsolgte lengder for sagbruket. Effekten av varierende råstoff dempes også ved

fordelingsaptering, og apteringsutfallet blir mer forutsigbart (Skogforsk 2006a og Drott 1996). Videre unngår man lettere forskjeller i tømmerutfall grunna ulike algoritmer i ulike apteringssystem.

Ved fordelingsaptering er det enkelt å raskt tilpasse lengdefordelinga til sagbrukets krav (Skogforsk 2006a). Ifølge Kivinen (*pers. medd.* 2006) er det ved fordelingsaptering lett for en kjøper å bestille ønska stokkdimensjoner, og lettere for sagbruket å kontrollere store mengder av tømmer som kommer fra flere ulike maskiner og leverandører, sammenligna med verdiaptering.

Verdimessig er fordelingsaptering isolert sett til ulempe for skogeiere siden man letter på kravet til rein verdiaptering. Dette innebærer et verditap for skogeier jamført med prislista (Skogforsk 2006a) som normalt ligger til grunn både ved aptering og oppgjør i Norge og Sverige. Tapets størrelse avhenger av flere forhold som omtales i forbindelse med tillatt verdiavvik og faktisk verditap tidligere i dette kapittelet. For at leverandører av sagtømmer skal se nytten av å velge riktig bestand og akseptere aptering med et visst verdiavvik, blei det i Sverige innført en viss bonus eller erstatning til skogeier (Drott 1996 og *pers. medd.* Orth 2006). Pris til skogeier og eventuelle bonussystem er uansett gjenstand for forhandlinger, der konjunktur, sagbrukets kunder og den oppnådde styringseffekten må vurderes (Drott 1996). For enkelt å beregne verditapet ved fordelingsaptering, kan man teoretisk (ved simuleringer) aptere en stamme eller et tømmerparti to ganger, med henholdsvis fordelings- og verdiaptering. Forskjellen i verdi utgjør da erstatningsbeløpet, og minner om den type erstatning svenskene bruker i dag. Denne «erstatningssummen» kan betales i ettetid, eller legges til prislista før hogst og tømmeroppgjør. Kjøpere av fordelingsaptert sagtømmer i Finland kjører gjennomgående en hardere linje, og straffer heller leverandører som *ikke* leverer fordelingsaptert, eller som ikke oppnår tilstrekkelig fordelingsgrad (*pers. medd.* Malinen 2006). Mer om praktisk bruk av fordelingsaptering i Sverige og Finland i kapittelet Fordelingsaptering i Sverige, Finland og Norge.

## OptApt og Sawyer

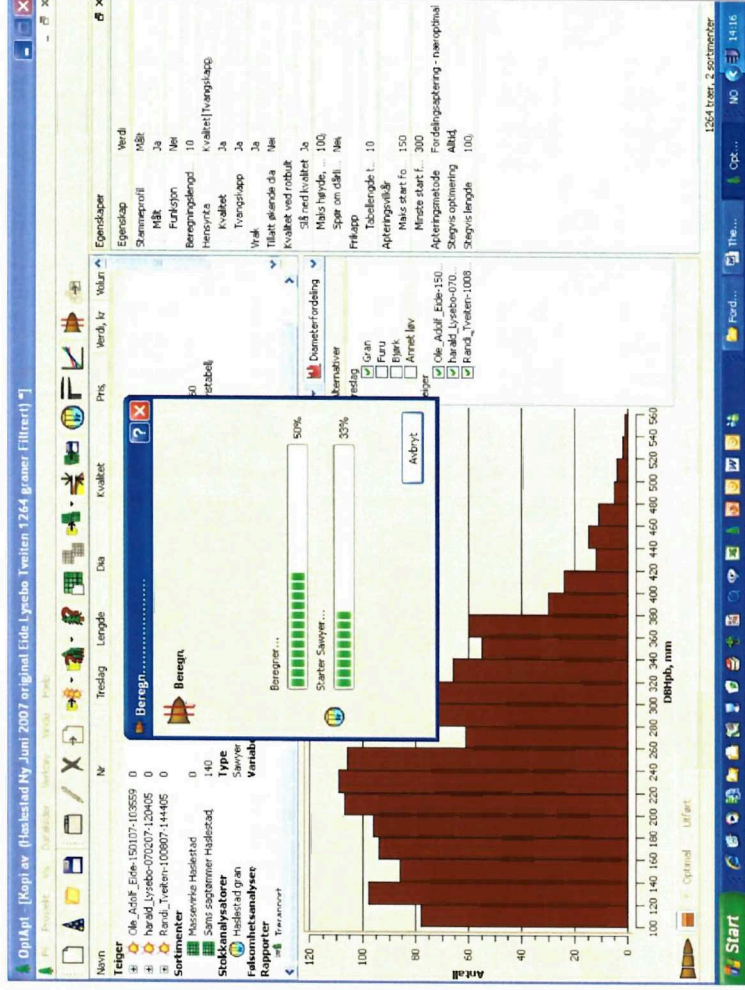
Sawyer er et skursimuleringsverktøy utvikla ved Norsk Treteknisk Institutt (Toverød 2006). Programmet er beregna for planlegging i sagbruk. På basis av informasjon om saga, dimensjoner og priser for produkter, og en tømmernota, beregner Sawyer verdien av all skurlast og biprodukter som produseres av tømmeret. Data lagres i ei fil som seinere kan brukes som sagbruksfil i OptApt. Den inneholder blant anna informasjon om tømmerklasser og postninger for et skurprogram. OptApt kjører Sawyer med sagbrukets data, og bytter ut stokknotaen med den som skal analyseres. Sawyer returnerer resultatet i form av ei resultatfil som kan analyseres av OptApt. Ved fordelingsapting er fokuset på skursimulering økt ytterligere, da man er avhengig av en velfundert ønskematrise for tømmer med utgangspunkt i det enkelte sagbruks behov.

## Viken Skog - Haslestad Bruk

### Et eksempel på verdi- og fordelingsapting

Under vises et eksempel og resultater fra simuleringer av verdi- og fordelingsapting og skur av tilhørende sagtømmer fra et parti grantømmer. Simuleringene er gjort i programmene OptApt (versjon 1.99.38) og Sawyer (versjon 1.2.13). Stammeutvalget er 1264 grantre, og kommer fra tre tømmerdrifter i regi av Viken Skog BA i produksjonsområde 4 (Vestfold) i perioden 2005- 2007. Haslestad Bruk er kjøper av sagtømmeret. De to klart viktigste sortimenter (sams sagtømmer og massevirke) og priser (sommer 2007) avtalt mellom Viken Skog BA og Haslestad Bruk AS ligger til grunn for beregningene. Med sams menes at tidligere prima og sekunda sagtømmer er slått sammen til ett felles sagtømmersortiment, gjerne med sekunda toleransekrav (kvalitet). Ved fordelingsapting ligger også Haslestad's foreløpige fordelingsønske (sommer 2007) til grunn og styrer sagtømmerutfallet. Skur av det apterte sagtømmeret beregnes i Sawyer (versjon 1.2.13). Dette gjøres ved en funksjon der Sawyer, med inndata for sagteknikk og trelastpriser for Haslestad, kjøres via OptApt.

Ved fordelingsapting er det brukt næroptimal metode med tillatt verdiavvik lik 3 % og 6 %. I alle tre tilfeller, ved 1) verdiapting, 2) fordelingsapting med 3 % tillatt avvik og 3) fordelingsapting med 6 % tillatt avvik, simuleres det på de samme stammene og med de samme sortimenter og forutsetninger ellers. Stegvis apting med beregningslengde lik heile stammelengda brukes for å gjøre beregningene mest mulig lik hogstmaskinens, som i dette tilfellet var en Ponsse Ergo med Ponsse Opti aptingssystem. Figur 10 viser det omtalte prosjektet i OptApt under apting og skur. Resultater ses i tabell 2.



Figur 10. OptApt under aptering, med Sawyer i «bakgrunnen». Anvendte teiger, sortimenter og sagbruksdata (Haslestad gran). Treas dimensjonsfordeling (DBH) nederst. Diverse forutsetninger til høgre.

Tabell 2. Resultater av simuleringen i OptApt (aptering) og Sawyer (skur sagtømmer). Verdi- versus fordelingsaptering.

		TØMMER					SKURPRODUKTER				
		Verdiaptering					Verdiaptering				
Sortiment	Antall	Verdi, kr	Volum, m <sup>3</sup>	Volumpris, kr/m <sup>3</sup>	Gj.lengde, cm	Volum, %	Ford.grad, %	Produkt	Verdi, kr	Volum, m <sup>3</sup>	
Massevirke	1776	34192	131,5	260	388	21	-	Trelast	344162	235,921	
Sagtømmer	2519	276234	500,4	552	455	79	68	Cellulose-flis	30739	133,679	
Vrak	248	0	4,8	0	32			Sagflis	6650	36,919	
<b>Totalt</b>	<b>4543</b>	<b>310427</b>	<b>636,7</b>	<b>488</b>	<b>406</b>			<b>Total</b>	<b>381551</b>	<b>450,993</b>	
<b>Fordelingsaptering, 3 % tillatt verdiavvik</b>											
Sortiment	Antall	Verdi, kr	Volum, m <sup>3</sup>	Volumpris, kr/m <sup>3</sup>	Gj.lengde, cm	Volum, %	Ford.grad, %	Produkt	Verdi, kr	Volum, m <sup>3</sup>	
Massevirke	1775	34227	131,6	260	389	21	-	Trelast	344784	236,267	
Sagtømmer	2527	275063	498,9	551	453	79	76	Cellulose-flis	30653	133,299	
Vrak	284	0	5	0	29			Sagflis	6629	36,809	
<b>Totalt</b>	<b>4586</b>	<b>309290</b>	<b>635,5</b>	<b>487</b>	<b>402</b>			<b>Total</b>	<b>382066</b>	<b>450,816</b>	
<b>Fordelingsaptering, 6 % tillatt verdiavvik</b>											
Sortiment	Antall	Verdi, kr	Volum, m <sup>3</sup>	Volumpris, kr/m <sup>3</sup>	Gj.lengde, cm	Volum, %	Ford.grad, %	Produkt	Verdi, kr	Volum, m <sup>3</sup>	
Massevirke	1759	33750	129,8	260	390	21	-	Trelast	339498	233,339	
Sagtømmer	2542	272941	497,9	548	451	79	80	Cellulose-flis	31293	136,068	
Vrak	438	0	6	0	24			Sagflis	6721	37,334	
<b>Totalt</b>	<b>4739</b>	<b>306691</b>	<b>633,7</b>	<b>484</b>	<b>389</b>			<b>Total</b>	<b>377513</b>	<b>450,836</b>	

Sagtømmerets fordelingsgrad (den stykkveide diameterklassevise fordelingsgraden for alle diameterklasser) øker betydelig allerede ved fordelingsaptering og 3 % tillatt verdiavvik (tabell 2). Sagbruket får altså en tømmerfangst mer i tråd med det definerte fordelingsønsket, det vil si en riktigere lengdefordeling per diameterklasse og totalt enn ved verdiaptering. Sagtømmerandelen er uforandra, og tømmerverdien (jamført prislista) går svakt ned fordi vi tillater å avvike fra høyeste pris. Nettopp det er jo vitsen med fordelingsaptering. Til tross for betydelig forbedra fordelingsgrad, er verditapet eller verdiavviket sammenligna med verdiaptering svært begrensa. Ved 3 % tillatt avvik er reelt verditap under 0,5 % både på sagtømmeret og totalt. Ved 6 % tillatt verditap er reelt verditap kun i overkant av 1 % på sagtømmeret og totalt. Fordelingsaptering gir altså stor effekt til låg kostnad, og betyr blant anna god overensstemmelse mellom prisprofil og fordelingsønske.

Markedsverdi av og konkurransefortrinn ved forbedra lengdefordeling (trelast og tømmer) vil komme i tillegg. Dette må vurderes ut fra hvert enkelt sagbruks produksjon og kundemasse. Sawyer beregner trelastproduksjonsdata ved bruk av tradisjonelle variabler (volum og pris per trelastdimensjon). Det betyr at en forbedra lengdefordeling på trelasta ikke påvirker verdiene rapportert under skurprodukter i tabell 2. Vi ser at volumet trelast, og dermed foredlingsverdien totalt, så vidt øker fra verdiaptering til fordelingsaptering med 3 % tillatt avvik, for så å gå ned igjen. Den svakt reduserte tømmerverdien jamført prislista betyr ikke nødvendigvis tilsvarende redusert tømmeroppgjør til skogeier. Derimot betyr det at fordelingsønsket har virket, man har i flere tilfeller aptert mer markedsretta enn den aktuelle prislista greier, noe økt fordelingsgrad beviser. Tømmerpris er uansett en forhandlingssak, og på sikt bør det for alle parter være positivt at sagbruket får en mer forutsigbar og produksjons/markedsretta tømmerfangst, med mulighet for økt foredlingsverdi. Det er jo dette som er målet ved fordelingsaptering, og årsaken til at det benyttes i våre naboland.

Det understrekes at resultatene i tabell 2 er fra et begrensa stamme-materiale. Gjentatte simuleringer tyder likevel på at man også under norske forhold, med vanlige prislistor eller mer lengdenøytrale prislistor,

og med våre skoglige variasjoner, effektivt kan påvirke tømmerfangsten ved bruk av fordelingsaptering. Det blir opp til brukerne å utforme ap-teringsinstruksjonen slik at tømmeret styres i riktig retning. Tabell 2 gir bare en oversikt over mulige effekter ved fordelingsaptering.

# Fordelingsapting i Sverige, Finland og Norge

## Svenske og finske undersøkelser

De siste 15-20 åra er det gjort flere undersøkelser på fordelingsapting i Sverige og Finland (for eksempel Bergstrand 1990, 1994, Larsson & Lidfeldt 1990, Sondell 1991, 1993, Drott 1996, Möller & von Essen 1997, Henriksson 2000, Nilsson 2001, Kivinen & Uusitalo 2002, Kivinen 2004, Malinen & Palander 2004, Kivinen *et. al.* 2005 og Kivinen 2006). Bergstrand (1990) konkluderer med at fordelingsapting er et godt verktøy til kundetilpassing av tømmer. Ved simuleringer økte utfallet i de mest etterspurte dimensjonsklassene med 70 % sammenligna med verdiapting. Utfallet i øvrige klasser blei mye jevnere og mer i tråd med ønsker enn ved verdiapting. En utfordring var å redusere antallet korte stokker i små dimensjoner (toppstokker med stor avsmaling), men også her var resultatet langt bedre enn ved verdiapting. Fordelingsapting ga apteringsgrad på 97 % og fordelingsgrad på 90 %. Sondell (1991) testa i praksis det Bergstrand (1990) gjorde, deriblant i Södra. Også han fant klart høyere fordelingsgrad ved fordelingsapting enn ved verdiapting, og uønska lengder blei i stor grad unngått. Verre var det å manuelt unngå uønska diameterklasser. Sondell (1991) påpekte viktigheten av å bruke gode og realistiske stammedata som simulering grunnlag.

Larsson & Lidfeldt (1990) fant at fordelingsønskene må tilpasses tilgjengelige tømmerdimensjoner, både for å bedre forutsi hva man kan få ut, og for å senke kostnadene. Drott (1996) fant at nytten av fordelingsapting øker med økende forskjeller i dekningsbidrag (DB) mellom trelastdimensjoner og -lengder, og at fordelingsgraden økte med 10 % og DB med 10,8 % jamført verdiapting. Nilsson (2000)

undersøkte fordelingsapting i SCA, et konsern som både kontrollerer skog og industri. Fordelingsapting ga klart bedre tilpassa råstoff. Økt tillatt verdiavvik økte fordelingsgraden betydelig, men samtidig steig kostnaden. Nilsson (2000) anbefaler maksimalt 3 % tillatt verdiavvik ved fordelingsapting, ellers risikerer man større tap på tømmer salg enn gevinsten ved industri innen SCA- konsernet.

Skogforsk og Mellanskogs undersøkelser av fordelingsapting i svensk privatskogbruk (Möller & von Essen 1997) er interessante med norske øyne. Simuleringer blei gjort i programmet Aptan, og praktisk hogst og apting utført i ulike hogstmaskiner og aptingssystemer. Fordelingsapting med lågt tillatt verdiavvik og en tradisjonell prisliste (ikke «lengdenøytral») som grovt gjengir fordelingsønsket, ga god effekt på fordelingsgraden, med lågt verditap. Fordelingsgraden økte med 10-15 % ved fordelingsapting sammenligna med verdiapting allerede ved 2 % tillatt verdiavvik. Simuleringene i Aptan stemte godt med resultatene i hogstmaskin. Fordelingsgraden var likevel noe høyere i Aptan enn reelt. Verditalet var noenlunde likt i Aptan og ved kontroll av maskinens resultat, ca ¼ av maksimalt tillatt avvik, eller 1-2 SEK per m<sup>3</sup>to (toppsylindervolum) ved 2-4 % tillatt verdiavvik. Möller & von Essen (1997) anbefaler å innføre fordelingsapting med lågt tillatt verdiavvik som standardmetode ved tømmeromsetning, også i privatskogbruket.

Kivinen har i sitt doktorarbeid (Kivinen & Uusitalo 2002, Kivinen 2004, 2006 og Kivinen *et. al.* 2005) bidratt betydelig til vitenskaplig dokumentasjon av effektene av fordelingsapting. Både Malinen & Palander (2004) og Kivinen *et. al.* (2005) beskriver ulike måter å vurdere utfall mot ønske på. I praksis er det kun enkle regresjonsmodeller som nyttes til måling av fordelingsgrad, da kun disse er implementert i maskinens aptingssystemer (*pers. medd.* Malinen 2006). Ellers fins det andre multiple regresjonsmodeller (X<sup>2</sup>) som ville fungert bedre og gitt et bedre bilde av den egentlige fordelingsgraden. Ulemper med fordelingsgrad som mål på fordelingsnivået er at alle stokkdimensjoner (diameter/lengder) er veid likt.

Av og til er det ikke mulig å møte et tømmerønske (*pers. medd.* Kivinen 2006). Dette kan skyldes begrensinger i skogen, eller stor pris-

forskjell mellom massevirke og sagtømmer. En annen grunn kan være målefeil i hogstmaskinen. Sjøl om fordelingsaptering kan gi bedre sammenheng mellom ønske og etterspørsel, vil sagtømmerandelen kunne gå litt ned på grunn av hardere dimensjonsstyring. Det er viktig å tilpasse fordelingsønsket til skogens dimensjonssammensetning, og å følge den enkelte maskin og dens utvikling i fordelingsgrad undervegs (*pers. medd.* Kivinen 2006). Vurderinger må gjøres på bakgrunn av større volumer i en produksjonsperiode, ikke enkelthogster. Videre må de faktiske leveranser til sagbruket/tømmermålinga følges opp.

## Utvikling og bruk

Fordelingsaptering blei utvikla ved Skogforsk i Uppsala, og første gang prøvd ut i 1989 sammen med Domänverket (i dag Sveaskog) (Möller 2006). Simuleringsprogrammet Aptan stod sentralt i utviklinga. Aptan har hatt næroptimal fordelingsfunksjonen tilgjengelig siden 1990.

Kortvirkemetoden (CTL- Cut To Length) eller hogst og terrengtransport av kappa tømmer ved bruk av hogstmaskin og lassbærer, er et nordisk prinsipp som nå i økende grad eksporteres til resten av verden. Sverige og Finland har gått i spissen, og er fortsatt verdensledende på utvikling og produksjon av maskiner, aggregater og apteringssystemer. Som følge av PC og apteringssystemer i hogstmaskinene, så datastyrt verdiaptering dagens lys i svenske og finske hogstmaskiner ca. 1985. Få år etter (1989-1990) var fordelingsfunksjon tilgjengelig i to apteringssystemer; HMA-15.3 i Rottne og Dapt 5721 i FMG-Ösa (seinere Timberjack og John Deere) (Bergstrand 1990). I Dapt-systemet brukte man adaptiv funksjon, og dette fortsatte Timberjack med i Timbermatic 3000 som kom i 1993. Fra 1997 var næroptimal metode også tilgjengelig her. I Timbermatic 300 fra år 2000 er både adaptiv og næroptimal metode tilgjengelig. Rundberget (*pers. medd.* 2006) i John Deere Forestry i Norge sier at det nesten utelukkende er næroptimal metode som brukes i Timbermatic 300 i Sverige og Finland. Ponsse tok i bruk næroptimal metode i tillegg til adaptiv fordelingsfunksjon i 2006 i sitt Ponsse Opti-system. Før det var kun adaptiv funksjon tilgjengelig.

I datasystemet Dasa4 som fins i EcoLog, Rottne, Besten og Gremø, er næroptimal metode eneste alternativ. Næroptimal metode brukes også i det finske systemet Motomit, som vi finner i maskinmerker som Profi, Sampo Rosenlew og Logset, og i Valmets Maxi system. Skogforsk i Sverige anbefaler næroptimal metode framfor adaptiv (*pers. medd.* Möller & Arlinger 2006), og har sammen med representanter i det svenske skogbruket laga retningslinjer for hvordan metoden skal benyttes i «Operativa krav vid fördelningsaptering med skördare» (Sondell *et. al.* 2004). Her heter det at næroptimal metode som hovedregel skal være tilgjengelig i alle hogstmaskiner. Fordelingsfunksjonen fins nå i alle hogstmaskiner nyere enn ca. 1990, og fungerer bra i alle apteringssystemer (Möller 2007b og Möller 2007d).

## Sverige

Fordelingsaptering blei introdusert og tatt i bruk på gran ca. 1990 til egne sagbruk hos Domänverket, SCA og Graninge (Möller 2006). Storskogbruket i regi av skogsbolag med egen industri var altså først ute, og på 1990-tallet økte anvendelsen av fordelingsaptering, særlig hos bolag på gran. Per 2006 bruker samtlige bolag fordelingsaptering ved avvirkning i egen skog, og siden 2000 er fordelingsaptering i stor grad brukt av bolag også ved kjøp av tømmer fra private skogeiere. Ved salg av tømmer til eksterne sagbruk bruker bolag fordelingsaptering i varierende grad, avhengig av hva kjøper krever.

Også i svensk privatskogbruk er fordelingsaptering nå kommet for fullt, men her kom det seinere i gang grunna små drifter og frykt for verditap for skogeier. Flere svenske skogeierforeninger, for eksempel Södra og Mellanskog, bruker i dag fordelingsaptering i varierende omfang ved kjøp av tømmer fra sine medlemmer. Andelen grantømmer som fordelingsapteres i Sverige per i dag er 50-75 % (Möller 2006). Alle sagtømmerkvaliteter av gran fordelingsapteres.

På furu tok man i bruk fordelingsaptering noe seinere siden kvalitetsgrenser (kviststruktur) og prisspenn mellom kvaliteter lenge har vært

viktigere enn lengder (Möller 2006). Bolag starta med fordelingsapting av furu på slutten av 1990-tallet, og volumet øker siden dimensjoner og lengder blir viktigere også på større deler av furuvolumet. Södra med flere skogeierforeninger begynte med fordelingsapting på furu ca i 2005. I 2006 blei ca 25 % av furuvolumet i Sverige fordelingsaptert. Ofte verdiapteres høgverdige furukvaliteter (kvalitet 1 og 3), mens lågere kvaliteter (kvalitet 2 og 4), fordelingsapteres.

Ved fordelingsapting ved kjøp av virke fra private skogeiere brukes i Sverige enten ei vanlig verdiprisliste eller ei «lengdenøytral» prisliste:

- 1) Vanlig prisliste som styrer mot de lengder som industrien etter spør. Fordelingsønske og et lågt tillatt verdiavvik på ca. 2 % brukes så for å få riktig fordeling mellom de ulike lengdene. Skogeier får ingen spesiell kompensasjon utover verdien i prislista.
- 2) «Lengdenøytral» prisliste i bunn, altså en prisliste der ulike lengder har omtrent samme pris. Man overlater lengdestyring til fordelingsønsket, og bruker normalt 3-4 % maksimalt verdiavvik. Skogeier kompenseres med 10-15 SEK/m<sup>3</sup>to (svensk toppsylinder), eller 8-12 SEK/m<sup>3</sup>f (fastmålt). Etter behov gjør man kun endringer i fordelingsønsket, ikke i prisliste.

Mest brukt i Sverige er næroptimal metode og en form for alternativ 2) over. Kompensasjonen dekker normalt godt og vel det reelle verditapet eller kostnaden ved å fordelingsaptere ved de gitte forutsetninger. Bolag som fordelingsapterer til egen industri er ofte mindre opptatt av å begrense det maksimale verdiavviket enn skogeierforeninger som kjøper tømmer fra private skogeiere (*pers. medd.* Möller & Arlinger 2006). Bolag kan være tøffere i å nå fordelingsønsket, og tåler større verditap (jamført prisliste), og gjerne også redusert sagtømmerandel (resultat av sterk dimensjonsstyring), bedre enn skogeierforeninger. «Lengdenøytral» prisliste gir gjerne større verdiavvik nærmere opp mot det maksimalt tillatte, men gjør det lettere å flytte volum mot ønska utfall uten å gå utover det maksimale verdiavviket (*pers. medd.* Möller & Arlinger 2006). Ved en mer tradisjonell prisliste i bunn (større prisforskjeller også mellom lengder) er det logisk at verdiavviket blir mindre, forutsatt at prislista styrer noenlunde i samsvar med fordelingsønsket.

Fordelingsapting ved bruk av lengdenøytral prisliste har i følge Möller & Arlinger (*pers. medd.* 2006) størst nytte lengst sør i Sverige, der sagbrukstettheten er stor, og en leverandør har mange kjøpere med ulike preferanser. Likevel er det viktig at fordelingsønsket ikke bare er basert på sagbrukets ønsker, men også tilgjengelig tømmerstoff. Skogens kvalitet og dimensjon legger begrensninger for tømmerutfall også ved fordelingsapting.

Mellanskog og Södra er to svenske skogeierforeninger som avvirker og omsetter fordelingsaptert tømmer. Bakgrunnen er at sagbruka (kjøpere) stiller stadig strengere krav til tømmerets lengdefordeling. Strategi, omfang og erfaringer er derimot noe ulike. Under følger en beskrivelse av erfaringer i de to skogeierforeningene. Det er lagt stor vekt på Södra-konsernet, som har en omfattende bruk av fordelingsapting til egen og ekstern industri.

### **Fordelingsapting i Mellanskog**

Mellanskog dekker midtre Sverige. Foreninga er delt i to regioner (nord og syd), som fordelingsapterer henholdsvis ca. 40 og 80 % av volumet (*pers. medd.* Andersson 2006). Ved fordelingsapting brukes i hovedsak vanlig verdiprisliste (ikke «lengdenøytral») i bunn og maksimalt 2 % verdiavvik. Det gis ingen kompensasjon til skogeier utover verdien i prislista. Mellanskog savner en bedre kommunikasjon med industrien, og ønsker bedre tilbakemeldinger fra sagbruka om tømmerutfallet gitt ulike apteringsinstrukser. Mellanskog og deres kjøpere av sagtømmer har trulig potensial til å utnytte mulighetene ved fordelingsapting bedre enn de gjør i dag (2006).

## Fordelingsapting i Södra

Södra eies av 35 000 private skogeiere i Sør-Sverige og er Sveriges største skogeierforening. Størstedelen av medlemmenes råstoff foredles i egen industri (Södra Cell, Södra Timber og Södra Skogsenergi), som i hovedsak selger produktene på eksportmarkedet. Södra Skog står for virkesomsetning og tilbyr medlemmer skoglige tjenester. Normalt avvirker Södra Skog 6,5 mill m<sup>3</sup>, og omsetter 8,5 mill m<sup>3</sup> (*pers. medd.* Orth 2006). Til dette trengs 150-200 hogstmaskiner og 175 tømmerbiler. Volumfordelinga er 80 % gran og 20 % furu. Stormen «Gudrun» i januar 2005 førte til avvirking på 23 mill m<sup>3</sup> i 2005. 475 hogstmaskiner og 400 tømmerbiler var da i drift store deler av 2005.

Södra fordelingsapterer bortimot 100 % av granvolumet, mens enkelte høge furukvaliteter (kvalitet 1 og 3), verdiapteres (*pers. medd.* Orth 2006). Andelen fordelingsapert furu øker (*pers. medd.* Orth 2007). Utviklinga går mot færre og mer spesifikke lengdekrav på trelast, og dermed blir det stadig viktigere å også tilby en produkt- og markedsretta tømmerfangst. Enkelte sagbruk har eksportkunder som kun kjøper to eller tre lengder (i UK, USA og Østerrike). Andre kjøpere av trelast (deriblant i Finland og innenlands) opererer normalt med flere lengder eller lengdeklasser, gjerne 8-10 stk., men også her stilles det stadig strengere krav til riktig fordeling lengdene imellom. Orth (*pers. medd.* 2006) sier at fordelingsapting gjør det mulig å levere de tømmerlengder sagbruket ønsker. Med prisliste (verdiapting) er dette vanskelig. Unntaket kan være om et sagbruk har en enkel og jevn bestilling som kan leveres over tid. Under stormoppyrdding blei det av praktiske hensyn brukt færre lengdeklasser enn normalt. Gode erfaringer hos kjøpere av tømmeret gjør at Södra vil fortsette i den retning.

Södra har utarbeida interne retningslinjer til bruk ved fordelingsapting (Södra Skog). Det skal brukes næroptimal metode, og maksimalt tillatt verdiavvik skal ifølge retningslinjene være høgst 3 %. I 2007 var praksis å tillate 4 % verdiavvik på grunn av overgang fra toppsyndervolum til fastkubikk (m<sup>3</sup>fub) (*pers. medd.* Orth 2007). Bestilling av fordelingsønsket skal gjøres av kjøper, og bestilling til skogen skal være andel stykk

per lengde og diameterklasse. Summen skal være 100 % per diameterklasse. Dette er i tråd med operative krav i Sondell *et. al.* (2004).

Södras retningslinjer (Södra Skog) sier også at prislista skal være så «lengdenøytral» som mulig ved fordelingsapting. Man starter med én grunnprisliste, og følger opp apting utfallet i ulike områder for å se om det er behov for lokale «lengdenøytrale» lister. Alternativt kan fordelingsapting kombineres med vanlig verdiprisliste («styrprisliste») forutsatt at prioriteringer i fordelingsønske og prisliste samsvarer. «Styrprisliste» bruker Södra ved fordelingsapting eller verdiapting mot svært stabile kunder med stabile lengdekrav.

Forutsetningen for å bruke fordelingsapting på en bra måte er ifølge Orth (*pers. medd.* 2006) «lengdenøytrale» prislister, som gir samme pris per m<sup>3</sup> ved normal avsmaling uavhengig av om det er en kort eller lang stokk. Dette gjør det mulig å bruke et lågt tillatt verdiavvik på 3-4 % under apting. Samtidig kan fordelingsønsket endres uten at det påvirker verdien mot skogeier. Pris til skogeier er prislista med et påslag på 8 SEK/m<sup>3</sup>f (fastkubikk). Verditapet ved fordelingsapting med disse forutsetninger kan være 1-1,5 % eller 5 SEK/m<sup>3</sup>f, altså mindre enn kompensasjonen. Alternativt til tillegg per kubikkmeter skal det gå fram at tillegget er lagt til verdiene i prislista.

Ved «lengdenøytral» prisliste kan man vente til avvirkningsdag med å bestemme om man kapper til det ene eller andre sagbruket, og legger ved hogststart da kun inn det aktuelle sagbrukets fordelingsønske (*pers. medd.* Orth 2006). Avtale med skogeier om tømmerleveranse kan være inngått lang tid i forvegen. Ved kontraktsinngåelse avtales da et prisnivå, og skogeier kan velge mellom gjeldende pris ved kontraktsinngåelse eller den pris som gjelder ved avvirking. Slike lister og kun endring av fordelingsønske har særlig stor nytte sør i Sverige med mange kjøpere (høg sagbrukstetthet) med ulike og stadig endra krav (*pers. medd.* Orth 2006 og *pers. medd.* Möller & Arlinger 2006). Dessuten reduseres effekten av målefeil og korting ved bruk av «lengdenøytrale» prislister.

Fordelingsønsket kan i følge Orth (*pers. medd.* 2006) baseres på de postningsklasser sagbruket bruker. Innen disse kan lengdeønskene



oppgis. Jo færre lengder som ønskes i et diameterintervall, desto lågere fordelingsgrad oppnås (Södra Skog). Med ulike lengdeønsker i tilgrensende diameterklasser bør imidlertid klassebredde (diameter) være minst 4 cm og helst 6 cm, eventuelt bør samme lengdefordeling ønskes i flere nærliggende og smalere diameterklasser. Dette av hensyn til usikkerhet knytta til målenøyaktighet. Orth (*pers. medd.* 2006) anbefaler å ta høyde for spredning på diameter (standardavviket) grunna måleuøyaktighet ved simuleringer og utarbeidelse av apteringsinstrukser. Dette er mulig i Aptan, og fra 2007 også i OptApt.

På grunn av at fordelingsaptering innebærer et verditap i forhold til tradisjonell verdiaptering, var også sør-svenske skogeiere skeptiske til fordelingsaptering i starten. Orth (*pers. medd.* 2006) mener det er viktig å informere skogeiere om hensikten ved fordelingsaptering og om fordelene man kan oppnå ved det. Södra Skog og Södra Timber bruker programmet Aptan til simuleringer på ulike prislister og fordelingsønsker, og til utarbeidelse av apteringsinstrukser.

Bildet viser Vida Sågverks gigantiske «flyplasslager» av sagtømmer (960 000 m<sup>3</sup>) i Småland. Södra Skog fordelingsapterte heile volumet etter stormen «Gudrun», og bidro sterkt til dette volumet. Viken Skog BA og Havass Skog BA bisto med folk og maskiner i vindfallhogsten, og fordelingsapterte sagtømmeret til svenske sagbruk, og verdiapterte etter norske «KUL-lister» til norske sagbruk.



960 000 kubikkmeter «Gudrun-tømmer».  
Foto: Terje Birkeland 2006

## Praktisk i maskinen

Under oppholdet hos Södra Skog besøkte vi en Valmet 941 hogstmaskin. Maskinen hogde vindfelt gran og produserte massevirke og tre sagtømmersortiment (sams klass 1-3, klintimmer og kubb). Apterering blei gjort ved næroptimal fordelingsaptering og lengdenøytral prislister. Ifølge maskinfører medfører ikke fordelingsaptering ekstra arbeid. Derimot blir apteringsutførelsen gjerne enklere siden kvalitet og sortiment i en del tilfeller slås sammen, grunna mer fokus på dimensjoner (lengder). Som normalt angis kvalitet i tråd med gjeldende sortimenter, og man overstyrer som ellers ved tvangskapp. Orth (*pers. medd.* 2006) meiner det er viktig at maskinfører kjenner teorien bak fordelingsaptering og det aktuelle fordelingsønsket som brukes. Dette for å ha en viss visuell kontroll med utfallet. I tillegg til prislister legges fordelingsmatriser og eventuelle begrensninger i begrensingsmatriser inn i apteringssystemet via tilsendt apt-fil.

Praktisk fordelingsaptering i Södra Skog. Kun beregningsgrunnlaget er annerledes.  
Sortimenter med prislister og fordelingsønsker tilsendt via apt-fil  
Avsmaling prognostiseres og korrigeres + kvalitet angis.

Automatisk valg prislister og fordelingsmatrise.

Valg stokkdimensjon med størst manko (foreløpig utfall - ønske) innen tillatt verdiavvik (3 %).

Foto: Terje Birkeland 2006.



## Södra Timber Värö

Södra Timber Värö sør for Göteborg produserer årlig ca. 250 000 m<sup>3</sup> trelast (*pers. medd.* Blomster 2006). Ca 85 % av volumet er gran. Tømmeret sorteres i tømmerklasser, i tillegg brukes individuell postning per stokk. Sagbruket har meget gode erfaringer med fordelingsapting, og kjøper alt tømmer (bortsett fra furu rotstokk) fordelingsaptert. Det brukes «lengdenøytrale» prislister i bunn. Ved salg av trelast fra verdiaptert tømmer klarte ikke sagbruket å levere i samsvar med kundenes lengdespesifikasjoner. Nå stemmer derimot stokkutfall meget bra med tømmerønsket, og spill og andel tilfeldige og uønska lengder er redusert. Flere kunder har svært strenge lengdekrav til trelast, og enkelte eksportkunder opererer kun med tre dimensjonsavhengige lengder. 70 % av volumet eksporteres til UK/Irland. Ellers går mye til Japan og innenlands. Södra Timber Värö leverer mer og mer direkte til sluttbruker. Også dette gjør at lengdekrav og nytten av fordelingsapting øker.

«Lengdenøytrale» prislister gjør det mulig å bruke et lågt tillatt verdiavvik på 3-4 % under apting (*pers. medd.* Orth 2006). Samtidig kan fordelingsønsket endres uten at det påvirker verdien mot skogeier. Pris til skogeier er prislista med et påslag på 8 SEK/m<sup>3</sup>f (fastkubikk). Verditalet ved fordelingsapting med disse forutsetninger kan være 1-1,5 % eller 5 SEK/m<sup>3</sup>f, altså mindre enn kompensasjonen. Alternativt til tillegg per kubikkmeter skal det gå fram at tillegget er lagt til verdiene i prislista.

## Finland

Ifølge Malinen (*pers. medd.* 2006) ved skogforskningsinstituttet Metla er fordelingsapting av gran svært utbredt også i Finland. De tre største konserna tar hånd om 90 % av granvolumet, og fordelingsaptinger hvis fordelingsfunksjonen er tilgjengelig i maskinen. I praksis betyr det så godt som heile volumet. Normalt brukes næroptimal metode, og ifølge Kivinen (*pers. medd.* 2006) ved universitet i Helsinki er maksimalt verdiavvik fra 2 til 7 % vanlig. Enkelte entreprenører som hogger tømmer for mindre og mellomstore sagbruk med egne prislister,

braker fortsatt verdiapting også på gran. På grunn av kvalitetsskiller og større prisspenn mellom kvaliteter, er tradisjonell verdiapting mer utbredt på furu enn gran. Ved fordelingsapting av furu brukes gjerne en mer aktiv overstyring kvalitetsmessig.

Det fins varierte erfaringer med fordelingsapting i Finland (*pers. medd.* Malinen 2006). Største hinder er industriens evne til å definere hva de vil ha av tømmerfordelinger basert på sin trelastproduksjon. I Finland tas det normalt ikke hensyn til verditap i form av bonus eller erstatning til skogeier ved levering av fordelingsaptert tømmer. Skogeier får heller redusert pris dersom ikke tømmeret er fordelingsaptert eller dersom kravet til fordeling ikke er tilstrekkelig oppfylt. I Finland kan ikke skogeiere (heller ikke store som Metsähallitus som kontrollerer statlig eid skog) egentlig påvirke aptinga, og de kjenner heller ikke det totale verditapet jamført med den aktuelle prislista som nyttes under hogst. Malinen (*pers. medd.* 2006) sier at i Sverige har prislistene en virkelig betydning, siden skogeier er betalt etter dem. Kivinen (*pers. medd.* 2006) sier også at listene ikke betyr noe for skogeiere i Finland, som vanligvis er betalt etter volum og bestemte minimumskrav til kvalitet og dimensjon per produkt. Volumprisen innen et sortiment er normalt fast, altså ikke dimensjonsavhengig.

## Norge

Manglende kunnskap om industriens nytteeffekter og frykt for redusert tømmerverdi kan forklare hvorfor fordelingsapting ikke er tatt i bruk i Norge. Sagbruksindustrien har ikke etterspurt fordelingsaptert tømmer. Her til lands gjorde daværende NISK (nå Skog og Landskap) og Mjøsén tidlig på 1990-tallet et praktisk pilotforsøk med fordelingsapting av gran på Toten, i samarbeid med Lunde Skog AS. Hogst og apting ble gjort med en togreps Ösa med datasystemet HMA og næroptimal fordelingsapting. Man la vanlige prima og sekunda prislister til grunn, og definerte spesifikke krav til lengdefordeling i fordelingsmatriser tiltenkt et sagbruks behov. Resultatene var gode med hensyn til treff på etterspurte lengder. Volumtapet var begrensa og kostnaden liten.

Terje Rundberget (*pers. medd.* 2006) hos John Deere Forestry i Norge kan fortelle at fordelingsfunksjonen så vidt er testa i deres maskiner i Norge. Dette har gitt like mange spørsmål som svar, da fordelingsfunksjon kun har vært en liten del av mer omfattende tester. Rundberget viser til stort omfang og gode erfaringer med fordelingsaptering i John Deere og Timberjack maskiner i Sverige og Finland. Han mener likevel det er nødvendig med grundigere tester av fordelingsfunksjonen i John Deere og Timberjack maskiner under norske forhold.

### Viken Skog

Viken Skog BA har siste tiår bevisst jobba for en bedre og mer kunde-styrt utnyttelse av tømmeret, blant anna gjennom forskningsprosjekter i samarbeid med diverse sagbruk og forskningsmiljøet. I følge partene har man økt tømmerverdien og forbedra tømmerets dimensjonsfordeling ved å tilpasse prislister til bruk ved aptering til sagbrukets råstoff og marked. «KUL-listene» som Viken bruker ved produksjon av sagtømmer i dag er et resultat av den kunnskapen man fikk i prosjektet. OptApt har i flere år blitt brukt av Viken i det daglige arbeid ved forhandlinger med industrien og ved utforming av prislister og apteringsinstrukser. Fordelingsaptering blir (2008) prøvd ut for ytterligere å forbedre tømmerleveranser fra Viken Skog med hensyn til dimensjonsfordeling til sagbruka.

I 2007 jobba Viken Skog også med et prosjekt der fokuset var økt oppfølging av entreprenører og skogsmaskiner og de data apteringssystemet gir under tømmerproduksjonen (*pers. medd.* Holmstad 2007). Prosjektet hadde som mål å øke kompetansen hos alle som jobber med tømmer og som påvirker tømmerverdien. Dette for å sikre en hensiktsmessig og høg utnyttelse av virket. Den endelige verdien påvirkes av prislister/apteringsfilene, bestandsvalg, og ikke minst hvor flinke entreprenørene er til å kalibrere utstyret og kombinere apteringssystemets forslag med god tømmerkunnskap. Mye tyder på at økt kompetanse hos aktørene og bedre systemer for oppfølging gjør det mulig å få ut større verdier. Viken Skog satser ytterligere på dette området framover.

## Apteringssystemer og måleutstyr

Et godt og effektivt apterings- og styringssystem er sammen med pålitelig målenøyaktighet og en dyktig maskinfører avgjørende for resultatet. Først da er kappeforslaget til å stole på. Bildene under viser apteringsinformasjon i dag og i framtida (HUD- Head-up display).

Apterings-forslaget her lyder på sagtømmer med diameter 221 mm og lengde 520 cm. Det er foreløpig produsert 128,9 m<sup>3</sup> fordelt på 223 stammer (øverst). Her apteringsinformasjon i John Deeres Timbermatic-system.

Foto: Terje Birkeland 2007.





Jagerflyteknologien HUD eller Head-up display, prøves ut i skogsmaskiner i Sverige. Informasjon projiseres på frontruta i passende posisjon, for samtidig å kunne holde fokus på terreng, tre, kvalitetsfeil, aggregat etc. Målet er mindre belastning for operatør og økt produksjon (Järrendal et.al. 2007).

Tre ganger siden 1996 har Skogforsk i Sverige testa ulike maskinutrustninger med hensyn til apteringssystemer, målenøyaktighet og virkesskader i sine Virkesvårdetester, sist i 2006 (Sondell & von Essen 1996, Sondell *et. al.* 2001, Arlinger & Möller 2007, Möller & Arlinger 2007 og Jönsson & Hannrup 2007). I 2006 inngikk sju moderne maskiner, deriblant fem ordinære sluttavvirkningsmaskiner, prototypen Besten (førerløs) og en tynningsmaskin (Profi). Alle apteringssystemer (fem ulike) var av siste versjon og følger StanForD. Maskinene (figur 11) er testa i en sluttavvirkning i grandominert skog i nordre Uppland i Sverige.



#### Eco Log

Basmaskin: Eco Log 590  
 Aggregat: Log Max 6000  
 Apteringsdata: Dasa4  
 Matevalser: Flex Drive  
 Diametermåling: Matehjul (2 punkter)  
 Lengdemåling: Målehjul



#### John Deere

Basmaskin: John Deere 1470D  
 Aggregat: H480  
 Apteringsdata: Timbermatic 300  
 Matevalser: Moipu  
 Diametermåling: Øvre kvistekniver (3 punkter)  
 Lengdemåling: Målehjul



#### Ponsse

Basmaskin: Ponsse Ergo  
 Aggregat: H73e  
 Apteringsdata: Opti 4  
 Matevalser: Piggvalser  
 Diametermåling: Matehjul + fast kniv (3 punkter)  
 Lengdemåling: Målehjul



#### Rottne

Basmaskin: Rottne H20  
 Aggregat: EGS 700  
 Apteringsdata: Dasa4  
 Matevalser: Rottne stålvalser  
 Diametermåling: Nedre kvistekniver (3 punkter)  
 Lengdemåling: Målehjul



#### Valmet

Basmaskin: Valmet 941  
 Aggregat: 370.2  
 Apteringsdata: Maxi 3  
 Matevalser: Moipu  
 Diametermåling: Øvre kvistekniv (3 punkter)  
 Lengdemåling: Målehjul



#### Besten

Basmaskin: Besten RH96 (førerløs prototyp, styres fra lassbærer)  
 Aggregat: Fibercut 290  
 Apteringsdata: Dasa4  
 Matevalser: LE gummihjul  
 Diametermåling: Øvre kvistekniv (3 punkter)  
 Lengdemåling: Målehjul



#### Profi (tynningsmaskin)

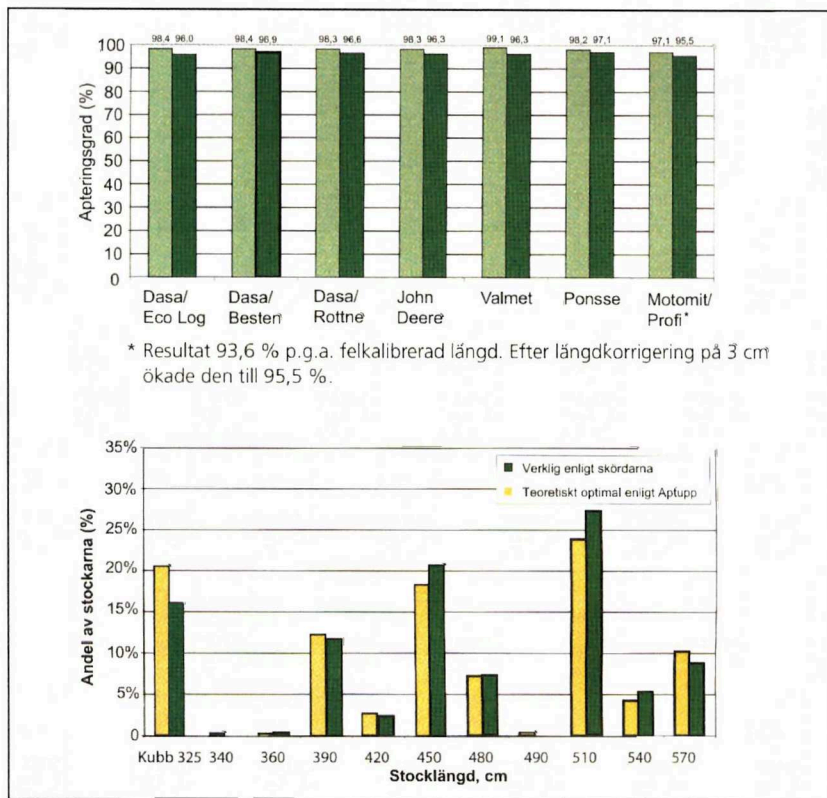
Basmaskin: Profi 50  
 Aggregat: Keto 100 Supreme  
 Apteringsdata: Motomit PC  
 Matevalser: Band  
 Diametermåling: Band og fast kniv (3 punkter)  
 Lengdemåling: Bandmåling

Figur 11. Deltagende maskiner i Virkesvårdestest 2006 (Möller & Arlinger 2007).

## Virkesvårdestest 2006 - Apteringsystemer

I apteringstesten var testmaterialet 30 graner og 10 furuer per maskin, og man undersøkte hver maskin og dens datautrustning med hensyn til verdiaptering, lengdefordeling, kvalitetshåndtering, begrensninger, korting, friskkvistaptering, filtyper, kommunikasjonsmuligheter og barkfunksjoner (Arlinger & Möller 2007 og Möller 2007b). I tillegg fordelingsaperte samtlige maskiner 800 stokker hver. John Deere, Ponsse og Valmet har sine egne datasystemer, mens Dasa og Motomit er frittstående produsenter som i testen blei brukt av Eco Log, Rottne, Besten og Profi (figur 11).

Hogstmaskinenes datasystemer (alle Windows-baserte per 2006) blir stadig bedre, raskere og mer omfattende i form av nye funksjoner. Optimering, kvalitetshåndtering, fordelingsfunksjon, begrensingsfunksjon og øvrige beregningsfunksjoner fungerte bra i alle system. Går man ut fra maskinmålte lengder og diametre, blei apteringsgraden ca. 98 %, det vil si teoretisk apteringsgrad på stm-filer og der man forutsetter at maskinenes målinger er riktige (figur 12). Med manuelt målte (kontrollmålinger ved hjelp av klave) dimensjoner som grunnlag, blei virkelig apteringsgrad 96-97 %. Raskere datamaskiner og bedre funksjoner gjør at apteringsgraden har økt med noen tideler siden 2001 (Arlinger & Möller 2007 og Möller 2007b). Apteringsgraden kan likevel forbedres ved bedre kalibrering av måleutstyr og ulike teknikker for avdekking av virkesfeil. Tabell 3 viser kommunikasjonsmuligheter i apteringsystemene.

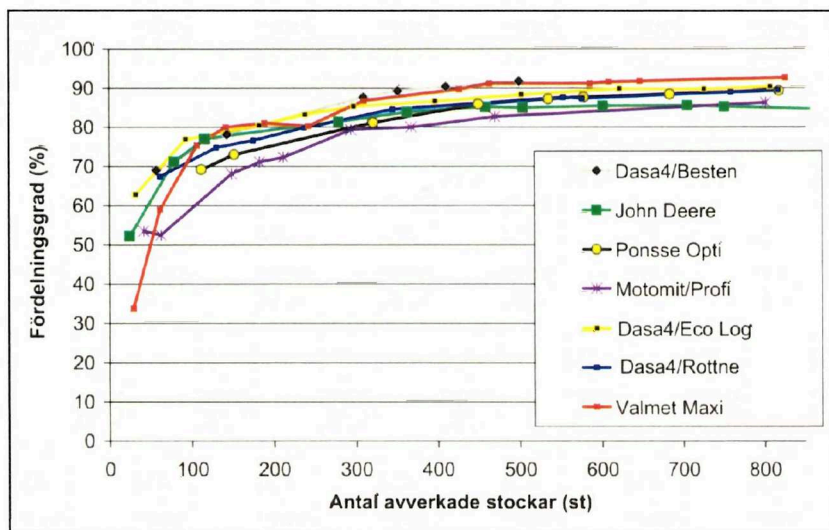


Figur 12. Virkesvärdestest 2006. Oppnådd teoretisk (lys) og virkelig apteringsgrad (mørk), og oppnådd gjennomsnittlig lengdefordeling (grønn) og teoretisk optimal lengdefordeling (gul), alle maskiner (Arlinger & Möller 2007).

Tabell 3. Datakommunikasjon hos de ulike produsentene (Arlinger & Möller 2007).

	Dasa4	Ponsse	Timbermatic	Valmet	Motomit PC
Diskett	Tillval/USB	Ja	Tillval/USB	Tillval	Tillval/USB
CD	Tillval/USB	Ja	Tillval	Ja	Ja
Lediga com-portar	3	1	1 (inklusive GPS, klave, telefon)	1 (övriga upptagna av, telefon, GPS)	1 (övriga upptagna av GPS, telefon, klave)
Lediga USB-portar	4	4	4	4	2
Innbygt e-post-program	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Hållare med dragen kabel för dataklave	Ja (beror på fabrikat)	Ja	Ja	Ja	Ja (beror på fabrikat)
Skrivare	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
GPS-anslutning med splitter	Nej	Nej (2007)	Ja	Nej	Ja
Koppling GPS-data/produksjon	Nej	Ja	Ja	Nej	Ja

Næroptimal fordelingsaptering fungerte i alle system, og alle oppnådde et godkjent fordelingsnivå. Tillatt verdiavvik lik 4 % ga reelt verditap på 1 % og en fordelingsgrad på ca. 90 % (Arlinger & Möller 2007 og Möller 2007b). Figur 13 viser fordelingsgradens utvikling i testen for de deltagende maskiner. I motsetning til tilsvarende test i 2001, brukte nå alle næroptimal fordelingsfunksjon.



**Figur 13.** Virkesvårdestest 2006. Fordelingsgradens utvikling ved avvirking av ca. 800 stokker. Alle maskiner har brukt næroptimal metode (Arlinger & Möller 2007).

## Virkesvårdestest 2006 – Målenøyaktighet

God målenøyaktighet er først og fremst nødvendig for å sikre en mest mulig økonomisk og markedsretta aptering. Blant aggregatene i testen gjøres diametermålingene med øvre eller nedre kvistekniver, med matehjul med eller uten en fast kniv, eller med et band og en fast kniv (figur 11 og 14). Lengde måles med et målehjul som ruller langs stammen under opparbeiding, eventuelt med et band.

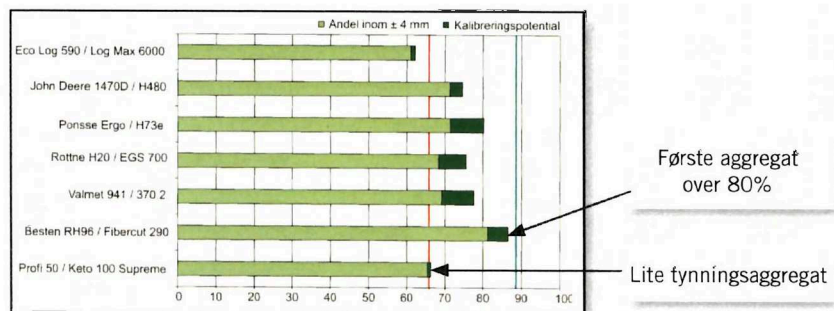


**Figur 14.** Ponsse H8-aggregat med opparbeidings- og måleustyr. Foto: Terje Birkeland 2008.

I Virkesvårdestest 2006 er målenøyaktigheten til hvert aggregat vurdert ved kontrollmåling av 30 grantre (Möller & Arlinger 2007). Treas brysthøgdediameter var mellom 25 og 40 cm, med tilnærma lik diameterfordeling for alle system eller aggregater. Det svenske skogbrukets krav til målenøyaktighet er at 90 % av stokkene skal ligge innen +/- 4 mm på bark jamført kontrollmålt diameter, og +/- 2 cm jamført kontrollmålt lengde (Sondell *et. al.* 2001, Möller 2007a, d og Möller & Arlinger 2007). Heller ikke kontrollmåling vil kunne utføres 100 % riktig, derfor vil 90 % innen de nevnte krav være et meget bra resultat. Hogstaggatene målenøyaktighet blei forbedra fra 2001 til 2006. Tross dette, oppfylte heller ingen det svenske kravet til nøyaktighet på diameter i 2006, og kun ett aggregat greide kravet til lengdemåling (Logmax). Fiber-cut-aggregatet nærmer seg både på diameter og lengde, særlig ved perfekt kalibrering (figur 15 og 16). Besten (førerløs prototyp) og Profi (tynningsmaskin) med tilhørende aggregater (Fiber-cut og Keto) inngår ikke i middelverdverdiene (rød linje) i figur 15 og 16.

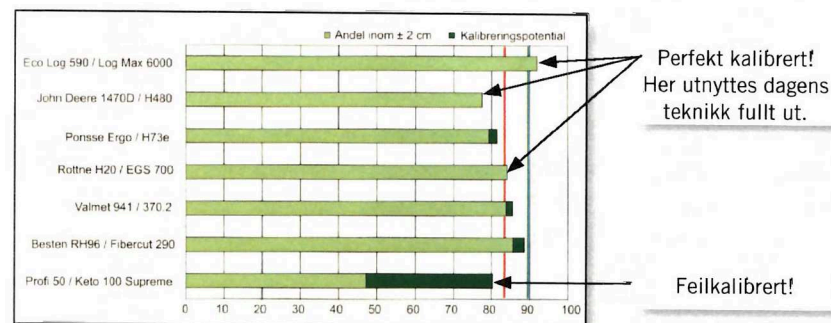
Ved diametermåling var middel for de fem sluttavirkningsaggregatene 68 % av stokkene innen +/- 4 mm (figur 15) (Möller 2007a, d og Möller & Arlinger 2007). Hadde aggregatene vært korrekt kalibrert, ville

dette økt til 74 %. Andelen stokker innen +/- 4 mm (diameter) har økt fra 59 % i 1996 til 64 % i 2001, og videre til 68 % i 2006. Forutsatt at aggregatene var perfekt kalibrert, ville økningen vært noe mindre i samme periode. Dette vitner om bedre måleutrustning, men også om bedre kalibrering av utstyret i skogen i dag enn i 1996 og 2001. Middeldifferansen per aggregat ved diametermåling (maskin - kontroll) lå i 2006 i intervallet - 1,5 til + 2,0 mm for alle sju aggregatene i testen, og standardavviket varierte fra 3,4 til 5,6 mm (Möller 2007a).



**Figur 15.** Virkesvårdestest 2006. Andel diametermålinger innen +/-4 mm. Rød linje er middelnivå for de fem øverste (normale sluttavvirkningsmaskiner). Grønn linje er skogbrukets mål, det vil si 90 % av stokkene innen +/- 4 mm (Möller & Arlinger 2007).

Ved lengdemåling var middel for de fem sluttavvirkningsaggregatene 84 % av stokkene innen +/- 2 cm (figur 16) (Möller 2007a, d og Möller & Arlinger 2007). De fleste aggregatene var velkalibrerte med hensyn til lengde, og kalibreringspotensialet er derfor lågt. Ved lengdemåling gikk nøyaktigheten ned fra 1996 (83 %) til 2001 (77 %), mens den økte tilsvarende igjen fra 2001 til 2006. En raskere opparbeiding i aggregatet har bidratt negativt. På den annen side har en utvikling av mer nøyaktig (bedre mekanikk, hydraulikk, styring) og kalibrert lengdemåling bidratt positivt. Rygging og sluring under mating ved for eksempel grov kvist reduserer nøyaktigheten. Dette igjen krever sterke aggregat, alternativt gode regneverktøy. Kjøreteknikk og type matervalser spiller også inn her. Middeldifferansen ved lengdemåling (maskin - kontroll) varierte fra -1,0 til 2,2 cm, og standardavviket fra 1,6 til 2,6 cm (Möller 2007a).



**Figur 16.** Virkesvårdestest 2006. Andel lengdemålinger innen +/- 2 cm. Rød linje er middelnivå for de fem øverste (normale sluttavvirkningsmaskiner). Grønn linje er skogbrukets mål, det vil si 90 % av stokkene innen +/- 2 cm (Möller & Arlinger 2007).

I studiet sammenligna man også maskinenes volumberegning med en kubering basert på manuelt innsamla klavedata. Alle maskiner havna innen +/- 1,5 % jamført kontroll (Möller & Arlinger 2007). Med korrekt kalibrerte maskiner fungerer volummålinga bra, sjøl ved litt unøyaktige diametermålinger. Spredning på stokknivå er størst hos maskiner med stor diameterunøyaktighet.

Gode kalibreringsrutiner og god maskinoppfølging er avgjørende, særlig ved diametermåling. Også i testen var flere av maskinene dårlig kalibrert, og derfor er det grunn til å tru at det slurves ytterligere med dette til daglig i skogen. Ellers må nye måleteknikker til for å nå skogbrukets krav til diameter (Möller 2007d og Möller & Arlinger 2007). Med dagens teknikk for lengdemåling kan man oppnå 85-95 % innen +/- 2 cm (Möller 2007a), forutsatt riktig oppfølging. Utover det trengs nye berøringsfrie teknikker også her. For å utnytte dagens teknikk maksimalt bør man kalibrere rotstokker og øvrige stokker separat.

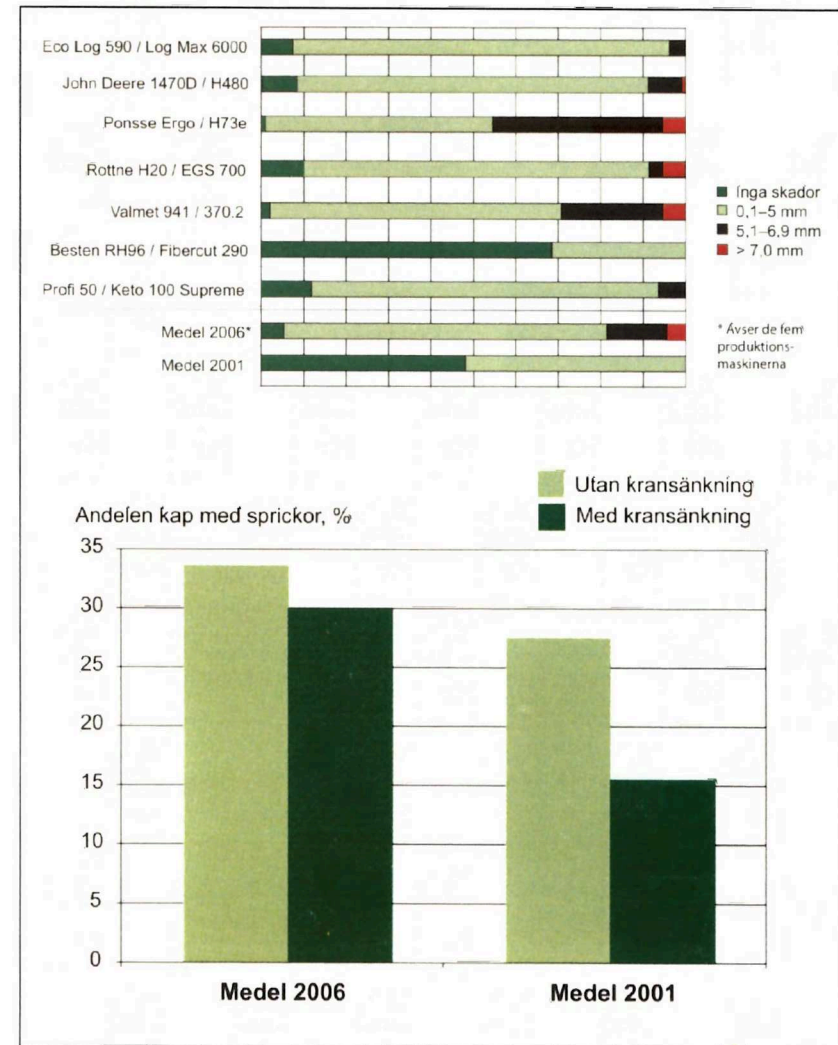
Löfgren & Wilhelmson (1998) undersøkte berøringsfri diametermåling ved bruk av kamera- teknologi montert på aggregatet. Systemet hadde svakheter, men likevel et betydelig potensial til forbedra målenøyaktighet og verdiskaping. Prosjektet «Mätteknik för avverkningsmaskiner» er et nytt (2006) svensk prosjekt på berøringsfri måleteknikk i hogst-



maskiner (Hannrup 2007). Hensikten er å utvikle og teste berøringsfrie teknikker til måling av lengde og diameter, og avdekking av egenskaper som krok og fibervinkel. Dette skal gjøres med mikrobølger/laser/ultral lyd (diameter og lengde), med kameraer/bildeanalyse (krok) og laser/kamera/bildeanalyse (trakeideeffekten - til bestemmelse av fibervinkel). Et Valmet-aggregat er ombygd med givere for berøringsfri måling av diameter, lengde, krok og fibervinkel. Resultatene fra dette studiet kommer i løpet av 2008.

### Virkesvårdestest 2006 – Virkesskader

Tross bedre aptering og økt nøyaktighet har avvirkningsskadene (kappesprekker, matevalueskader, barkskader) økt i omfang siden 2001 (Jönsson & Hannrup 2007 og Möller 2007d). Matevalueskader skyldes økt bruk av piggvalser (stålvalser) nettopp for å sikre rask opparbeiding uten sluring. Så mye som hver femte stokk i testen hadde kappesprekk større enn 5 cm i rotenden. Dessuten hadde kransenkning en mindre positiv effekt på kappesprekker (omfang og djup) nå enn i 2001. Barkskader bør begrenses av hensyn til virkeskvalitet (uttørking), målenøyaktighet (diameter) og barkens økonomiske verdi som brensel (Jönsson & Hannrup 2007). Figur 17 viser omfanget av matevalueskader og kappesprekk i Virkesvårdestest 2006 og 2001.



Figur 17. Virkesvårdestest 2006. Andel stokker med matevalueskader (over) og andel kapp med sprekk (under) (Jönsson & Hannrup 2007). Middeler verdier er for de fem normale sluttavvirkningsmaskinene (ekskl. Besten og Profi).

Hallonborg *et. al.* (2004) har undersøkt og beskriver matevalser av stål og gummi med hensyn til stammegrep, trekraft og virkes- og barkskader. Ved gjennomsnittlig piggvaldsedybde på 3 mm (svenske undersøkelser), er det samla verditapet på sagtømmer innmålt av Norsk Virkesmåling i 2004 (3,9 mill m<sup>3</sup>) beregnet til ca. 13 mill kr (Norsk Virkesmåling 2006). For dimensjoner over 14 cm er verditapet per kubikkmeter 2,00 kr til 4,00 kr for gran og 2,50 kr til 5,00 kr for furu.

## Forskjellige måleteknikker skog - sag

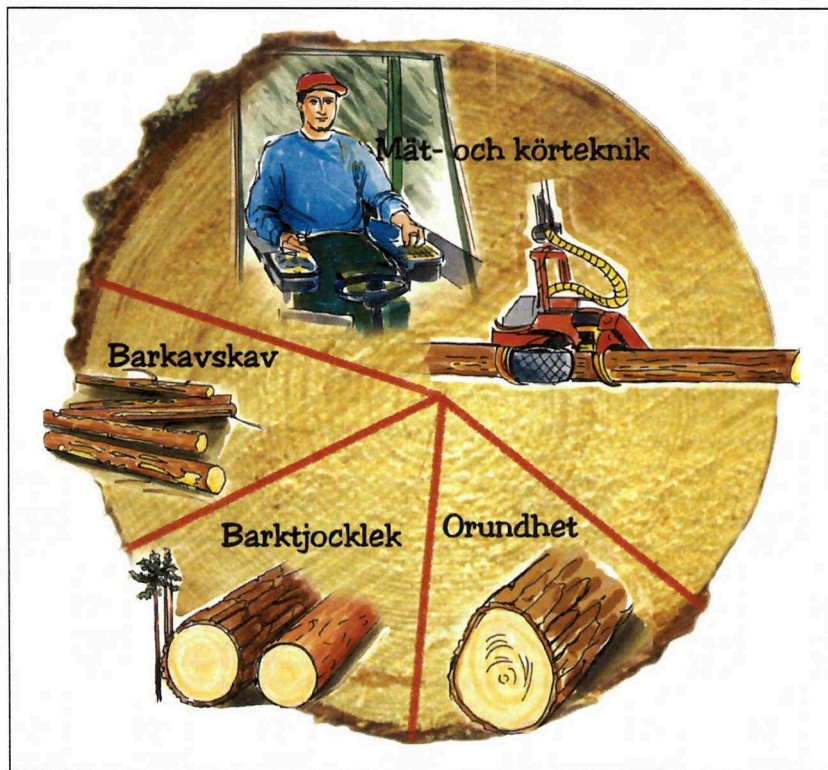
På grunn av kontinuerlige diametermålinger under hogst er *volumbestemmelsen* bedre i dagens hogstmaskiner enn ved toppmålsbasert tømmermåling ved industri (Möller 2007a). Overgang fra envegs (1D) og tovegs (2D) målerammer til tverrsnittsramme (3D) ved industri, bedrer målenøyaktigheten og gir målinger som mer ligner dagens registreringer i hogstmaskin (Sondell & Möller 2000). *Diamettermålingene* i maskin er bedre eller på nivå med 1D- innmåling, men mindre nøyaktig enn en 3D-ramme, og også mindre nøyaktig i praksis enn Virkesvårdestesten viste (Möller 2007a). Lengdemålingene er mindre nøyaktige i hogstmaskin enn ved innmåling (industri), men i praksis fungerer lengdemåling i skogen like bra som i testen. En tilsvarende norsk undersøkelse på målenøyaktighet i hogstmaskin og ved industri omtales seinere i dette kapittelet.

En stokk som apteres til en viss diameter og lengde i skogen havner ofte i en annen diameterklasse på saga (Möller & Sondell 2000). Dette kan gi en lengdefordeling i forhold til diameter som er uheldig, særlig ved ulike lengdeønsker i to tilgrensende og smale tømmerklasser. Årsaken er delvis at hogstaggregat, tømmermåling og tømmer-sortering måler stokkenes diameter med ulike teknikker. Andre årsaker er som nevnt manglende vedlikehold og kalibrering av hogstaggregatets måleutstyr, og dårlig kjøreteknikk. I tillegg er tømmer et naturprodukt med store variasjoner. Barkfunksjonene fanger ikke opp at kvisteknivene skjærer i gjennom barken (særlig sommerstid), at barken er borte eller om det er snø og is på stammen. I tillegg er det alltid knytta en viss

usikkerhet til sjølve barkfunksjonen, og kanskje nyttes ikke den barkfunksjonen som burde vært brukt. Ovalitet gjør også diameterbestemmelsen høyst usikker og avhengig av måleteknikk. Unøyaktig måling i hogstmaskinen koster penger i form av uriktig aptering. All måling i skogen bør være minst like bra som ved industri: «En kapad stock i skogen er för alltid kapad» (Möller 2007a). Ved sagbruket er årsakene til unøyaktighet først og fremst barkavskav, anvendte barkfunksjoner og feil bedømming av barktype (Möller *et. al.* 2002 og Möller & Sondell 2000). Gjerdrum & Høibø (2000) råder sagbruk som ikke er fornøyde med nøyaktigheten i sin tømmer-sortering til å utføre diame-termåling etter barking.

En ny måferamme til måling av diameter under bark og sortering ved industrien, Rema LogBark, nytter trakeidé-prinsippet og laserlysets ulike spredning i bark og ved. Man får da automatisk stokkens virkelige form under bark. I Sverige er denne type måleramme også godkjent for automatisk oppgjørsmåling, uten bruk av barkfunksjoner. RemaLog Bark er satt i drift ved minst to norske sagbruk til tømmer-sortering.

Den tilfeldige diameter-målefeilen svarer til et gjennomsnittlig standardavvik (skog - industri) på ca. 8 mm på furu og ca. 6 mm på gran (Möller & Sondell 2000 og Skogforsk 2006c). Sannsynligheten for at en furustokk som måles til 200 mm under bark i skogen skal få eksakt samme mål på saga, er da kun ca. 5 %. Ved 10 mm vide tømmerklasser havner kun halvparten av stokkene i samme klasse ved innmåling som i hogstaggregatet. Ved ulike lengdeønsker i tilgrensende diameterklasser sier Möller & Sondell (2000) at klassevidden bør være ca. 30 mm. Først da havner ca. 80 % av stokkene i samme diameterklasse som de var tiltenkt ved hogst. I tillegg kommer systematiske feil som slitt og feilkalibrert måleutrustning. Figur 18 illustrerer fordeling på tilfeldige feilkilder ved måling av diameter i hogstmaskin.



**Figur 18.** Fordeling på ulike *tilfeldige* feilkilder ved diametermåling i hogstmaskin (Möller & Sondell 2000). Måle- og kjøreteknikk har meget stor betydning, deretter kommer problemer ved estimering av bark, og ovalitet.

I programmet Aptan fins en funksjon for simulering av stokkens spredning i dimensjon ved måling i hogstmaskin og industri. Man kan da beregne hvordan stokker som apteres til en viss diameter og lengde vil måles inn ved sagbruket (Möller & Sondell 2000). Fordelinga er normalfordelt, og grunnverdiene stammer fra en studie fra en tovegs måleramme. En tilsvarende funksjon er også implementert i OptApt.

Lengdeovermålet bør av hensyn til måleunøyaktighet være 3-5 cm. I tillegg kortes mellom 5-10 % av stokkene ved tømmermåling på grunn

av kvalitetsfeil, og 30 % av disse kortes mer enn 30 cm. Dette gir kortere nettolengder, og betyr at særlig de lengste lengdene må økes med minst 10 % i skogen. Lengdeutfallet i skogen påvirkes ellers i stor grad av tvangskapp og anvendte sortimenter og kvalitetskrav. Avkapp på saga (tørresortering) er betydelig og skyldes bl.a. tørkesprekk. En studie ved Mönsterås-saga i Sverige ga i gjennomsnitt 44 cm avkapp på furu trelast (Skogforsk 2006c), og økt kapp med økte lengder. Altså er det flere forhold man bør ta høyde for ved utforming av prislister og fordelingsønsker for å sikre en hensiktsmessig aptering.

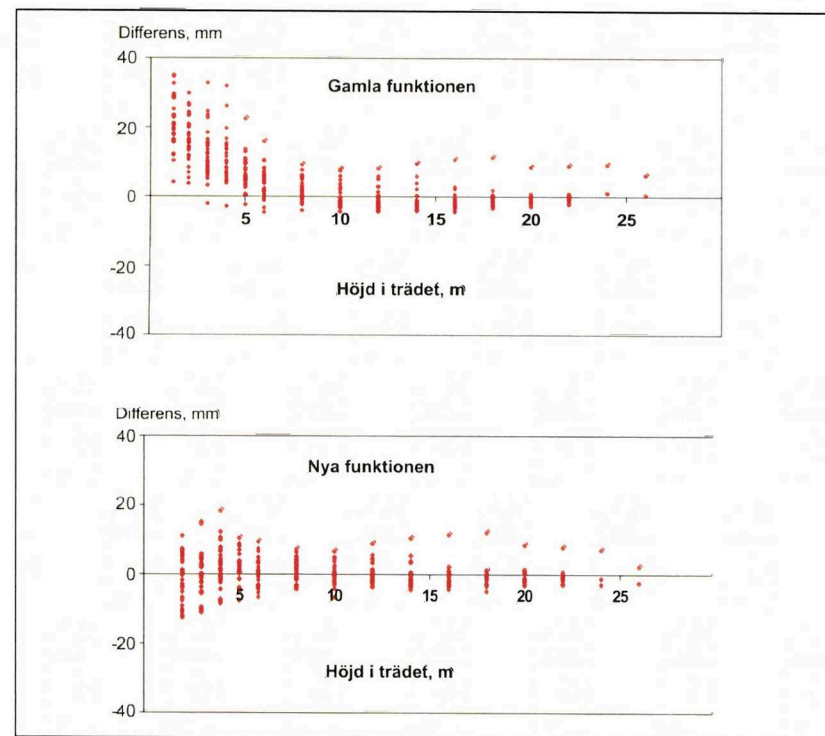
Under norske forhold blei kvaliteten på diameter- og lengderegistreringer i hogstmaskin kontrollert ved seksjonskubering av 512 granstokker fra 4 maskiner på Østlandet (Dale & Nitteberg 1999). For stokkdiametre 300 mm var middeldifferansen for diameter 3 mm, og forskjellen var signifikant. Kalibrering på store diametre var dårligere utført enn på mindre, da de er arbeidskrevende å gjennomføre på grunn av større spredning og lågere frekvens av grove stokker. For lengde var middeldifferansen mellom maskinmålt og kontrollmålt 0,87 cm, men forskjellen var ikke signifikant. Sammenlignet med automatmåling på sagbruk er diameternøyaktigheten på de undersøkte hogstmaskinene på samme nivå for diametre < 300 mm, men med en større spredning. For større diametre er nøyaktigheten dårligere, men kan forbedres ved mer nøyaktig kalibrering. På 11 drifter av til sammen 5479 m<sup>3</sup> var avviket på 0,7 % mellom registrert volum hos tømmermålingen og det maskinregistrerte volumet (Dale & Nitteberg 1999).

Gjennom et mindre prosjekt med flere skogeierforeninger blei dataverktøyet AptControl utvikla for apteringsoppfølging og opplæring av hogstmaskinførere. Dette verktøyet deler sjølve apteringssimulatoren med OptApt. Programmet er tilpassa bruk av dataklave for innsamling av data fra apterte stammer med kvalitetsangivelse og dimensjonsmålinger. Dermed kan man avdekke og se hva et eventuelt avvik i stammeverdi skyldes.

## Nye barkfunksjoner

De barkfunksjoner som lenge er brukt i hogstmaskiner i Norge og Sverige, er opprinnelig utvikla til innmåling av tømmerstokker ved sagbrukas målestasjoner (Nybakk & Steffenrem 2005, Jönsson & Hannrup 2007 og Hannrup 2004). Funksjonen for furubark har fungert dårlig under hogst og systematisk underskatta barktjukkelsen, særlig nederst på stammen. Skogforsk i Sverige har i samarbeid med SP Träteknik utvikla nye barkfunksjoner for gran og furu til bruk i hogstmaskiner (Jönsson & Hannrup 2007 og Hannrup 2004). Alle apteringssystemer i Virkesvärdestest 2006, med unntak av Valmets Maxi system, hadde innført de nye barkfunksjonene innen testen. Målinger av barktjukkelse på furu bekrefta at den nye funksjonen ga en vesentlig forbedring. Den nye funksjonen overvurderte prøvetreas volum under bark med kun 0,02 %, den gamle med 3,8 % (figur 19).

I samarbeid med Norsk Virkesmåling utvikla også Skogforsk i Norge (nå Skog & Landskap) i 2005 nye norske barkfunksjoner for sagtømmer av gran og furu til bruk i hogstmaskiner (Nybakk & Steffenrem 2005). Funksjonene er basert på ca. 9000 granstokker og 5000 furustokker fra 30 sagbruk i Norge. Diameter før og etter barking blei registrert, samt om stokken var rotstokk eller ikke, og hvor i landet tømmeret var hogd. Informasjon om rotstokk er spesielt viktig for estimering av furubark. En rotstokk har større sannsynlighet for skorpebark enn en stokk høgere opp på stammen, og rotstokk/øvrige stokk brukes som variabel i den nye furubarkfunksjonen. For gran er geografisk beliggenhet av større betydning for estimering av barktjukkelse. Det er derfor utvikla forskjellige funksjoner for granbark som tar hensyn til beliggenhet, som sør og nord for Dovre. I et framtidig datamateriale er det ønskelig også å registrere bonitet som forklaringsvariabel. Videre vil trulig avstand fra rotenden være en bedre parameter for bestemmelse av barktjukkelse enn stokktype, særlig på furu. Svakheter i norske funksjoner, og usikkerhet rundt de nye svenske funksjonenes egnethet i Norge, gjør at det trulig bør jobbes videre med barkfunksjoner til bruk i hogstmaskiner i Norge. Det samme gjelder oppfølging av bruken av funksjonene i skogen. I OptApt er nå ulike norske og svenske barkfunksjoner tilgjengelige for ulike treslag. Kun svensk funksjon (Hannrup 2004) har avstand fra rotavskjær som inngangsvariabel på furu.



Figur 19. Differansen mellom målt og beregna dobbel barktjukkelse, gammel og ny svensk funksjon (furu) (Jönsson & Hannrup 2007).

## Framtidig tømmermåling i hogstmaskin?

For å effektivisere tar våre naboland i øst i bruk hogstmaskinens målinger ved oppgjørsmåling (*pers. medd.* Möller 2007). Kontrollrutiner og målenøyaktighet må imidlertid utvikles videre. I Sverige måles 0,5 - 1 mill. kubikkmeter kun i hogstmaskin, og volumet er økende. I Finland er hogstmaskinmåling den dominerende metoden, og oppgjørsgrunnlag på 70 % av volumet som kjøpes fra private skogeiere. Alt dette tømmeret blir riktignok målt en gang til ved industrien, men langt mer rasjonelt enn tradisjonelt. Om og når oppgjørsmåling i Norge

vil skje i skogen, diskuteres. Enkelte aktører har allerede starta med å teste det ut i praksis. Bruk av hogstmaskinens målinger som grunnlag for oppgjørsmåling kan gi raskere betaling og bedre og mer effektiv virkesflyt og virkesmottak (Möller 1998 og Möller & Sondell 2003). Dessuten åpner det for nye prissettingsmodeller, uavhengig av hvordan kjøper deler opp treet i sortiment. I følge Möller (1998) lå alle måleresultat innen +/- 4 % jamført virkesmålingas volumresultater.

Også Gjerdrum (2001) utreda hogstmaskinenes målenøyaktighet med bakgrunn i et ønske om bruk av måleresultatene i tømmeromsetningen, spesielt ved tømmeroppgjør. Hogstmaskinmåling synes å ha potensial til å oppnå tilsvarende nøyaktighet for måling av diameter på bar ved og lengde som tradisjonelle målerammer (Gjerdrum 2001). Til bestemmelse av skurtømmerkvalitet vil man i hogstmaskin ha en annen karakteristikk enn ved tradisjonell kjerratmåling. Straffing, vrak og utlegg utgjør et spesifikt problem. Erfaringer så langt viser at det er nødvendig å følge fordelinga gran - furu og skurtømmer - massevirke med spesiell oppmerksomhet. Dette særlig siden virket håndteres gjentatte ganger av forskjellige personer (hogstmaskin, lassbærer, lastebil), og at det ikke alltid ligger til rette for å holde en fysisk atskilt vareflyt for hver kjøper.

## StanForD - Skogstandarden

StanForD, Standard for Forestry Data and Communication, blei etablert i 1986 av Skogforsk i Sverige (Möller 2007c). Hensikten var å lage en felles kommunikasjonsplattform som grunnlag for alle typer apteringsystemer, for slik å standardisere og lette kommunikasjon til og fra skogsmaskiner uavhengig av fabrikat og datautrustning. I 1987 blei den første kommunikasjonsstandarden bestemt, og i 1988 kom de første filstrukturene (apt, prd, stm) på plass. Standarden har tre hovedavgrensninger; resultater fra dataklaver, styring av skogsmaskiner og resultater fra skogsmaskiner. Standarden inneholder per dags dato (2007) nesten 1000 variabler (var) til beskriving og lagring av infor-

Informasjonsflyt, tømmerflyt og logistikk er alle sider av samme sak. StanForD sørger for en mest mulig ensarta og effektiv kommunikasjon til og fra skogen. Dette øker leveringspresisjonen mht tid, volum, dimensjonsfordeling og kvalitet inn til industri.

Foto: Terje Birkefeldt 2006



masjon til bruk under hogst og aptering. Hver variabel hører inn under en kategori eller filtype, og har sin unike ID og sitt navn, og kan bestå av flere typer. Prislister defineres for eksempel i var 162, og fordelingsønsker i var 191. Informasjon om aptering mellom sortimenter lagres i var 197. Både ved verdi- og fordelingsaptering kan man stille visse begrensninger, som lagres i ei begrensingsmatrise (var 190) i form av koder (Sondell *et. al.* 2004, Skogforsk 2006a og *pers. medd.* Möller 2007). Dette kan være begrensninger i form av at stokker ikke ønskes, stokker er forbudte eller kun tillatt å produsere manuelt, eller at man begrenser utfall av stokker per sortiment, diameterklasse, lengdeklasse eller celle. I hogstmaskinen skal systemet tydelig signalisere når fører manuelt forsøker å kappe forbudte lengder.

Blant hovedoppgavene til Skogforsk er vurdering av nye variabler og oppdatering av forklaringer (Möller 2007c). Maskintilvirkere og brukere har egne ønsker og mål, og er også med og påvirker standarden. Informasjon om standarden og variablene får du ved å søke på StanForD via Skogforsk Sverige sine websider. Filtyper beskrives under.

### **Apteringsinstruks, produksjonsdata og stammedata - apt, prd og stm**

Apteringsinstruksen eller apt-fila inneholder beskrivelse av sortimentenes prislister, fordelingsønsker og dimensjonskrav, samt andre forutsetninger for apteringa. Produksjonsfilen eller prd-fila viser blant anna produksjonsdata per sortiment i et avvirkningsoppdrag. Ei stm-fil inneholder stammedata, med data om den enkelte stammens avsmaling (stammeprofil), kvalitetsskille, kappsteder, kappårsak, stammelengde etc. Ved bruk av disse standardiserte filtypene i simuleringsprogrammer kan vi effektivt teste effekter på tømmerutfallet ved å gjøre endringer i apteringsinstruksen, og vurdere effekter av ulike tømmerparti på utfallet gitt samme apteringsinstruks.

Mye har skjedd også de siste fem år i skogsmaskinene, og nye variabler og filtyper utvikles og standardiseres i tråd med StanForD:

### **Kvalitetssikring av diameter- og lengdemåling - ktr**

ktr-fil (kontrollfil) er utvikla for å kvalitetssikre maskinenes målinger av diameter og lengde. De fleste apteringssystemer er nå tilpassa dette (Arlinger & Möller 2006). ktr bygger på et tilfeldig utvalg av prøvetre i maskinens datasystem. Maskinfører kontrollmåler de utvalgte stokkene manuelt med dataklave. Måleresultatet fra dataklave og hogstmaskin rapporteres til kjøper og selger av tømmeret og til Skogbrukets Data-Central (SDC, tilsvarende SkogData) via ktr-fila, og sammenlignes. Er avviket over et gitt nivå må maskinfører sette i verk tiltak (kalibrering). Dette skal bidra til bedre oppfølging av maskiner, aggregatyper og maskinførere, påskynde teknikkutvikling og dermed forbedre målenøyaktigheten og verdien på råstoffet.

### **Lassbærerens produksjon - prl**

For å bedre logistikken mellom skog og industri kan også ei ny prl-fil (produksjon per lass) installeres i lassbærere til rapportering av lassbærerens produksjon (Möller & Arlinger 2006 og Arlinger 2007). Ulike maskinprodusenter jobber nå med tekniske løsninger for enkelt å overføre data fra lassbærerens produksjon til den nye standardfila. Dette for å tidligere og mer detaljert få informasjon om virkesflyten fra skog til veg, for så å styre transport til industri mer optimalt. Systemet krever PC i lassbæreren. Til nå er rapporteringen skjedd manuelt ved hjelp av telefon eller papir. prl-fila overføres elektronisk og sikrer overføring av lik type data. På sikt jobbes det med at overføring skal skje automatisk. prl-fila beskriver transportobjektets posisjon, innhold og volum etc. Ved å koble en GPS til lassbærerens PC kan man utnytte mulighetene ved filtypen ytterligere.

### **Detaljerte hogstmaskindata - pri**

De siste åra har flere produsenter gjort det mulig å lagre detaljerte produksjonsdata i hogstmaskinen i form av ei pri-fil (Arlinger 2007).

Her kan man summere stokker i de lengde- og diameterklasser man ønsker, uten å være bundet til prd-filas klasser, som styres av apt-fila. Videre holder pri-fila orden på hvilket tre de ulike stokkene hører til og stokkenes plassering i stammen. Man kan også bruke pri-fila til å beregne et bestands kvalitetsutfall ved hjelp av kvalitets- og egenskaps-funksjoner.

## Hogstdirektiv og driftsoppfølging – ghd og drf

Det er også utvikla en ny standard for sending av avvirkningsdirektiv (ghd-fil) direkte til skogsmaskinen (Arlinger 2007). Hovedtanken er å gjøre det mulig for oppdragsgiver å bestemme hvordan ulike geografiske objekter presenteres for maskinføreren via GIS-applikasjoner. Også driftsoppfølgingsfila (drf-fil) er de siste åra oppdatert innen rammene for StanForD (Arlinger 2007). Målet er å analysere tekniske og organisatoriske faktorer påvirkning på maskinenes effektivitet. For eksempel for å sammenligne og følge opp ulike maskinsystem, årsaker til reparasjoner, ulike organisasjoner/bedrifter, ulike typer avvirkningsobjekter samt avdekke variasjoner over tid.

Arbeidet med StanForD finansieres av Skogforsk og produsenter av skogsmaskiner/apteringssystemer. Mot 2010 skal standarden utvikles videre med ny informasjon og nye variabler.

## Referanser

- ANDERSSON, L. 1990. Att analysera och konstruera en timmerprislista. Resultat nr 5 1990. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Sverige.
- ARLINGER, J. 2007. Nyheter på gång i skogsmaskinerna. Foredrag Virke 2007, Sverige.
- ARLINGER, J. & Möller, J. J. 2006. Kvalitetssäkring av skördarnas mätning. Resultat nr 20 2006. Skogforsk, Sverige.
- ARLINGER, J. & MÖLLER, J. J. 2007. Virkesvärdestes 2006 - skördardatorer. Resultat nr 6 2007. Skogforsk Sverige.
- ARLINGER, J. & WILHELMSON, L. 1998. Vedanalys- ett hjälpmedel för att möta industrins råvarukrav. Resultat nr 19 1998. Skogforsk, Sverige. ISSN: 1103-4173. 4 s.
- BERGSTRAND K. G. 1990. Fördelningsapatering- ett sätt att tilgodose sågverksönskemål. Resultat nr 11 1990. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- BERGSTRAND, K. G. 1994. Fördelningsapatering. Inoptimalförlust och fördelningsgrad. Dokument. Skogforsk Sverige.
- BELLMAN, R.E. 1954. The theory of dynamic programming. Bull. Amer. Math. Soc. 60:503- 516.
- BIRKELAND, T. 2003. Nytenking på apteringsfronten - mulighetene tas i bruk. Glimt fra skogforskningen. Nr. 9/2003.
- BIRKELAND, T. & ØVRUM, A. 2005. Apering i faste lengder - effekt på trelastkvalitet, trelastutbytte og lønnsomhet. Rapport fra skogforskningen 3/05.
- BIRKELAND, T. & FINSTAD, K. 2006. Gir kortere massevirke mer sagtømmer? Effekter på sagtømmervolumet av kortere minstelengde til massevirke. Viten fra Skog og Landskap, 02/2006.
- BOSTRÖM, B. 2007. Virkesvärden från kundperspektivet. SCA Forest Products. I Dokumentation Virke 2007, Skogforsk Sverige.
- CC SYSTEMS AB. 2007. SilviA - det breda administrationsprogrammet inom området apterings och virkestyrning. SilviA gör administrationsarbetet enkelt och snabbt för dig som användare. CC systems AB Alfta, Sverige.
- DALE, Ø. & NITTEBERG, M. 1999. Målenøyaktighet for diameter og lengderegistreringene på hogstmaskiner. Rapport fra skogforskningen 4/99: 24 s.
- DALEN, R. & HØIBØ, O. A. 1985. Sammenhengen mellom kvalitetsmålt skurtømmer og skurlastkvaliteten. Inst. for treeteknologi, NLH. Hovedoppgave.
- DROTT, C. 1996. Ersättningsformer för fördelningsapert timmer. Utvärdering av ersättningsform och betalningsförmågan vid fördelningsapatering av timmer. Arbetssrapport 224, 1996. Sveriges Lantbruksuniversitet 1996.
- EPPEN, G.D. 1998. Introductory management science: decision modelling with spreadsheets. Upper Saddle River, N.J. : Prentice Hall. ISBN: 0-13-906439-7

- FINSTAD, K., GOBAKKEN, T. & NYBAKK, E. 2007. OptApt, Versjon 1.99.23. Skog og Landskap, Ås, Norge.
- FUNCK, P. 2007. Hur klarar skördarna sågverkets krav? Bergkvist-Insjön Trävaru KB. I Dokumentation Virke 2007, Skogforsk, Sverige.
- GJERDRUM, P. 1999. Prediction of heartwood in *Pinus sylvestris*. Workshop IUFRO 1999 S5.01-04- La Londe- Les- Maures, September 5-12, 1999: Topic 3: 145.
- GJERDRUM, P. 2001. Målenøyaktighet ved hogstmaskinmåling. Norsk institutt for skogforskning. Oppdragsrapport 8/01: 27 s.
- GJERDRUM, P. & HØIBØ O.A. 2000. Diametersortering gjøres best etter barking. Skogindustri 54(10): 20-22.
- GJØLBERG, R. 1978. Et EDB-program for analyse av verdiutviklingen for enkelttrær ved råteangrep. Notat nr 2/1978, Norges landbrukshøgskole, Institutt for skogøkonomi.
- GOBAKKEN, T. & EIKENES, B. 1999. Sluttrapport for prosjektet «Optimal aptering og ajourføring av dataprogram» (Del I). Utskrift av hjelpefil for OptApt (Del II). Norsk institutt for skogforskning. Oppdragsrapport 18/99: 31 s.
- GOBAKKEN, T. 2000. The Effect of Two Different Price Systems on the Value and Cross-cutting Patterns of Norway Spruce Logs. Scandinavian Journal of Forest Research. Agricultural University of Norway.
- HALLONBORG, U., GRANLUND, P. & NORDEN, B. 2004. Skördarnas matningssystem behöver utvecklas. Resultat nr 2 2004. Skogforsk, Sverige.
- HANNRUP, B. 2004. Funktioner för skattning av barkens tjocklek hos tall och gran vid avverkning med skördare. Arbetsrapport nr 575, Skogforsk Sverige.
- HANNRUP, B. 2007. Beröringsfri mätteknik i skördare. Foredrag Virke 2007, Sverige.
- HAUGEN, J. V. 1996. Sammenhengen mellom skurtømmerkvalitet og trelastkvalitet. Inst. for tekniske fag, NLH. Hovedoppgave.
- HENRIKSSON, R. 2000. Beståndsanalys vs. verklig utfall, stand analysis vs. real result. Skogsingenjörprogrammet 97/00, 2000.
- HØIBØ, O.A. 1991. Virkeskvalitet til gran (*Picea abies* (L.) Karst) plantet med forskjellig avstand. The quality of wood of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) with different spacing. Doctor scientarum theses 1991:13. Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole. Ås 1991. ISSN: 0802-3220. ISBN: 82-575-0141-7.
- HØIBØ, O. A., VESTØL, G. & ØYEN, O. 1999. Modelling sound knot length in Scots pine. Workshop IUFRO 1999 S5.01-04- La Londe- Les- Maures, September 5-12, 1999: Topic 1: 35-41.
- JÖNSSON, P. & HANNRUP, B. 2007. Virkesvårdestest 2006 - virkesskador. Resultat nr 7 2007. Skogforsk Sverige.
- JÄRRENDAL, D., DILLEKÅS, H. T. & LÖFGREN, B. 2007. Heap-up display kan ge lägre arbetsbelastning och högre produktion. Resultat nr 16 2007. Skogforsk, Sverige.
- KELLOMÄKI, S., PELTOLA, H. & IKONEN, V. P. 1999. Modelling the structural growth and timber quality of Scots pine related to silvicultural management. Workshop IUFRO 1999 S5.01-04- La Londe- Les- Maures, September 5-12, 1999: Topic 8: 565- 570.
- KIVINEN, V.-P. 2004. A genetic Algorithm Approach to Tree Bucking Optimization. Forest Science 50 (5) 2004.
- KIVINEN, V.-P. 2006. A forest-level genetic algorithm based control system for generating stand-specific log demand distributions. Can. J. For. Res. 36 2006.
- KIVINEN, V.-P. & UUSITALO, J. 2002. Applying Fuzzy Logic to Tree Bucking Control. Forest Science 48 (4) 2006.
- KIVINEN, V.-P., UUSITALO, J., & NUMMI, T. 2005. Comparison of four measures designed for assessing the fit between the demand and output distributions of logs. Can. J. For. Res. 35 2005.
- LARSSON, C. & LIDFELDT, A. 1990. Fördelningsapatering. Examens- och seminariearbeten. Skoglig marknadsinriktning, Sveriges lantbruksuniversitet Uppsala.
- LINDQUIST, M. 2007. Modern träindustris krav på skogens produkter. Setra Group. I Dokumentation Virke 2007, Skogforsk, Sverige.
- LÖFGREN, B. & WILHELMSSON, L. 1998. Beröringsfri diametermätning - rapport från ett utvecklingsprojekt. Resultat nr 13 1998. Skogforsk, Sverige.
- MALINEN, J. & PALANDER, T. 2004. Metrics for Distribution Similarity Applied to the Bucking to Demand Procedure. International Journal of Forest Engineering, Volume 15 No. 1, January 2004. University of Joensuu, Finland.
- MALINEN, J., KILPELÄINEN, H., PIIRA, T., REDSVEN, V., WALL, T. & NUUTINEN, T. 2007. Comparing model-based approaches with bucking simulation- based approach in the prediction of timber assortment recovery. Forestry, Vol. 80, No 3, 2007. The Finnish Forest Research Institute, Joensuu, Finland.
- MOBERG, L. 1999a. Models of knot properties for Norway Spruce and Scots Pine. Doctoral thesis. Department of Forest Management and products. Swedish University of agricultural Sciences. Uppsala, Sverige. ISSN: 1401- 6230. ISBN: 91- 576-5855- 2. 24 s.
- MOBERG, L. 1999b. Models of knot properties for Norway Spruce and Scots Pine. Doctoral thesis. Study IV: Models of internal knot properties for *Picea abies*. Department of Forest Management and products. Swedish University of agricultural Sciences. Uppsala, Sverige.
- MOEN, K. R. 1990. Skognyttning. 2. utgåve. Landbruksförlaget 1990. ISBN: 82-529-1322-9.
- MÜLLER, M. 1984. Sammenhengen mellom kvalitetsmålt skurtømmer og trelastkvaliteten. Arbeidsrapport. Norsk Treteknisk Institutt.
- MÖLLER, J. J. 1998. Kvalitets- eller längdaptering. Redogörelse nr 5 1998, Skogforsk, Sverige.
- MÖLLER, J. J. 1998. Virkesmätning med skördare. Resultat nr 16 1998. Skogforsk, Sverige.
- MÖLLER, J. J. 2006. Fördelningsapatering - Användning 2006 i Sverige. Notaf. Skogforsk, Sverige.
- MÖLLER, J. J. 2007a. Mätnoggrannhet - diameter/längd. Foredrag Virke 2007, Sverige.
- MÖLLER, J. J. 2007b. Optimering i skördare. Foredrag Virke 2007, Sverige.
- MÖLLER, J. J. 2007c. Informationsstandard 2010. Foredrag Virke 2007, Sverige.
- MÖLLER, J. J. 2007d. Virkesvårdestest 2006: Bättre mätning och aptering - men mer skador. Nytt från skogforsk nr 2 2007. Skogforsk, Sverige.
- MÖLLER, J. J. & ARLINGER, J. 2005. Övning - behovsanpassad timmerproduktion. Skogforsk, Sverige.
- MÖLLER, J. J. & ARLINGER, J. 2006. Standard för skotarrapportering - viktig lenk i skogsbrukets logistik. Resultat nr 9 2006. Skogforsk, Sverige.



- MÖLLER, J. J. & ARLINGER, J. 2007. Virkesvärdestest 2006 - mätnoggrannhet. Resultat nr 5 2007. Skogforsk Sverige.
- MÖLLER, J. J. & SONDELL, J. 2000. Kundenpassning kräver bättre diametermätning- möjligheter i skogen. Resultat nr 15 2000. Skogforsk, Sverige.
- MÖLLER, J. J. & SONDELL, J. 2003. Betalningsgrundade skördarmätning. Resultat nr 10 2003. Skogforsk, Sverige.
- MÖLLER, J. J., SONDELL, J. & ARLINGER, J. 2002. Virkesvärdestest 2001- apteringsfrågor. Redogörelse nr 7 2002. Skogforsk, Sverige.
- MÖLLER, J. J., SONDELL, J., LUNDGREN, C., NYLINDER, M. & WARTENSJÖ, M. 2002. Bättre diametermätning i skog och industri. Redogörelse nr 2 2002. Skogforsk, SLU Sverige.
- MÖLLER, J. J. & von ESSEN, I. 1997. Fördelningsaptering - en fungerande metod även på små trakter och vid liten tillåten värdeavvikelse. Resultat nr 14 1997. Skogforsk, Sverige.
- NÄSBERG, M. 1985. Mathematical programming models for optimal log bucking. Linköping: Department of Mathematics, Linköping University, 1985. Linköping studies in science and technology. Dissertation ; 132. 200 s.
- NEDKVITNE, K., BJØRNSTAD, T. H. & REFSDAL, T. 1990. Skogbrukslära. 4. utgåve. Landbruksforlaget 1990. ISBN: 82-529-1321-0.
- NILSSON, L. 2001. Ekonomiska konsekvenser av fördelningsaptering för SCA som koncern. Arbetsrapport 310, Umeå 2001. Sveriges Lantbruksuniversitet.
- NORSK VIRKESMÅLING 2006. Teoretisk økonomisk effekt på trelastproduksjonen av hogstmaskinens piggvalseskader på skurtømmer. Piggvalseskader.
- NYBAKK, E., BIRKELAND, T. & FINSTAD, K. 2007. Bucking-to-demand improves the match between sawmill demand and log supply in Norway. In: 3rd Forest Engineering Conference - Sustainable Forest Operations, p. 8. Mont-Tremblant, Quebec, October 1-4, 2007.
- NYBAKK, E. & STEFFENREM, A. 2005. Barkfunksjon for sagtømmer av gran og furu til bruk i hogstmaskiner. Oppdragsrapport 2/05, Skogforsk, Norge.
- OGEMARK, T., Arlinger, J. & Sondell, J. 2000. Aptan i Timan 2.0. Användarhandledning. Skogforsk, Sverige 2000. Revidert 2003.
- PUUMALAINEN, J. 1998. Optimal cross-cutting and sensitivity analysis for various log dimension constrains by using dynamic programming approach. Scandinavian Journal of Forest research. Vol. 13, 1/ 1998: 74- 82.
- PNEVMATICOS, S. & MANN, S. 1972. Dynamic programming in tree bucking. Forest Prod. J. 22(2):26-30.
- SKOGFORSK 2006a. Fördelningsaptering. Notat. Skogforsk, Sverige
- SKOGFORSK 2006b. Fördelningsapteringstermer etc. Notat. Skogforsk, Sverige.
- SKOGFORSK 2006c. Dimensioner & kortning. Notat. Skogforsk, Sverige.
- SONDELL, J. 1991. Fördelningsaptering – praktiska prov. Resultat nr 2 1991. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Sverige.
- SONDELL, J. 1993. Ändamålsanpassad aptering. Skogforsk, Sverige. Resultat Nr 18 1993. ISSN: 1103-4173. 4 s. ISSN: 1103-4173. 4 s.
- SONDELL, J., MOBERG, L. & MÖLLER, J. J. 2004. Automatisk friskkvistaptering fungerar i praktiken. Resultat nr 15 2004. Skogforsk, Sverige.
- SONDELL, J. & MÖLLER, J. J. 2000. Kundenpassning kräver bättre diametermätning - teknik och möjligheter vid sågen. Resultat nr 14 2000. Skogforsk, Sverige.
- SONDELL, J., MÖLLER, J. J. & ARLINGER, J. 2001. Virkesvärdestest 2001 del 2: Apterig. Tredje generations apteringsdatorer. Resultat nr 14 2001. Skogforsk, Sverige.
- SONDELL, J., OGEMARK, T., MÖLLER, J. J., LIDEN, B. & ARLINGER, J. 2004. Operativa krav vid fördelningsaptering med skördare. Preliminär. Skogforsk, Sverige.
- SONDELL, J. & von Essen, I. 1996. Apteringsdatorstest 1995 - studier av sex apteringssystem. Redogörelse nr 4 1996. Skogforsk, Sverige.
- STRAND, L. 1968. Prisberegninger for gran- og furutrær. Norsk Skogbruk, no. 18 (1968) 409-411.
- SÖDRA SKOG. Fördelningsaptering. Notat. Årstill ukjent.
- TOVERØD, H. 2006. Sawyer brukerhåndbok. Norsk treteknisk institutt.
- USENIUS, A. 1996. Optimizing the activities in the wood conversion chain from the forest to the end-users. VTT Building Technology, Wood technology (Finland). Workshop 1996 IUFRO S5.01-04- Topic 7: 214-219.
- USENIUS, A. 1999. Wood conversion chain optimisation. Workshop IUFRO 1999 S5.01-04- La Londe- Les- Maures, September 5-12, 1999: Topic 7: 541- 548.
- VESTØL, G. I. 1998. Single-tree models of knot properties in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Doctor scientiarum theses 1998: 34. Agricultural University of Norway, Ås. ISSN 0802-3220.
- VESTØL, G. I. 1999. Sagtømmerets foredlingsverdi. Prosjektbeskrivelse.
- WILHELMSON, L., ARLINGER, J. & SPÅNBERG, K. 1999. Modelling *Pinus sylvestris* and *Picea abies* within- and between variations in some wood properties. Functions based on annual rings and diameters for applications at the planning stage and in tree harvesters. Workshop IUFRO 1999 S5.01-04- La Londe- Les- Maures, September 5-12, 1999: Topic 3: 186-194.
- ØYEN, O. 1999. Wood Quality in Old Stands of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Doctor scientiarum theses 1999: 15. Institutt for skogfag, Norges landbrukskøleskole, Ås. ISSN: 0802-3220. ISBN:82-575-0390-8: 1- 16.
- ØYEN, O., TØMTE, M. & TOVERUD, E. 2000. Skog- sag-marked. Sagbrukets postning gjøres allerede i skogen! Resultater fra prosjektet «Mjøsskog 2000». 4 s.

• **Personlige meddelelser:**

- ANDERSSON, S. 2006. Personlig meddelelse. Mellanskog skogsägarna, Sverige (intervjua av Erlend Nybakk og Terje Birkeland 25. april 2006, Skogforsk, Uppsala).
- BLOMSTER, U. 2006. Personlig meddelelse. Södra Timber Värö (intervjua av Erlend Nybakk og Terje Birkeland 28. april 2006, Södra Timber Värö).
- HOLMSTAD, T. E. 2007. Personlig meddelelse. Viken Skog BA (e-post 29. oktober 2007).
- KIVINEN, V.-P. 2006. Personlig meddelelse. University of Helsinki, Finland (intervjua av Erlend Nybakk 20. juni, 2006, University of Helsinki, Finland).
- MALINEN, J. 2006. Personlig meddelelse. Metla, Finland (e-poster 8. og 9. mars 2006).
- MÖLLER, J. J. & ARLINGER, J. 2006. Personlige meddelelser. Skogforsk, Sverige (kursmateriell og intervjua av Erlend Nybakk og Terje Birkeland 25-26. april 2006, Skogforsk, Uppsala).
- MÖLLER, J. J. 2007. Personlig meddelelse. Skogforsk, Sverige (e- poster 20. mars, 14. juni og 28. november 2007).
- ORTH, L. 2006. Personlig meddelelse. Södra Skog, Sverige (e-post 15. mars 2006, intervjua av Erlend Nybakk og Terje Birkeland 27. april 2006, Södra Skog Växjö).
- ORTH, L. 2007. Personlig meddelelse. Södra Skog, Sverige (e-post 5. desember 2007).
- RUNDBERGET, T. 2006. Personlig meddelelse. John Deere Forestry As, Norway (e-post 10. mars 2006).

2. utgave

ISBN: 978-82-311-0050-8



skog+  
landskap

Norsk institutt for skog og landskap

Adr: Pb 115, NO-1431 Ås

Tlf: +47 64 94 80 00

Faks: +47 64 94 80 01

Nett: [www.skogoglandskap.no](http://www.skogoglandskap.no)

Treteknisk



Foto: Terje Birkeland