

Bestemmelse av diameterfordeling i bestand - sammenligninger av ulike takstopplegg

Tron Eid
Terje Gobakken
Erik Næsset

INA fagrapport 6

Institutt for naturforvaltning
Universitetet for miljø- og biovitenskap

2005

Forord

Hensikten med prosjektet har vært å sammenligne ulike metoder for innsamling av sentrale skoglige data som treantall, middeldiameter og diameterfordeling for bestand. Dette er data som i dag ikke er tilgjengelige i ordinære skogbruksplaner, men som er av økende betydning for at skogeier skal kunne avvirke rett bestand til rett tid og til rett kjøper.

Prosjektet har vært et samarbeidsprosjekt mellom Prevista as, Institutt for naturforvaltning (INA) ved Universitetet for miljø- og biovitenskap og Viken skogeierforening. Prosjektet er støttet økonomisk av Skogtiltaksfondet, Digiskog/Innovasjon Norge og Viken skogeierforening.

Prevista har stått for prosjektledelse, mange av feltregistreringene og fotogrammetrien, mens INA, foruten å ha utført beregninger og skrevet prosjektrapporten, har bidratt med et omfattende datamateriale som er brukt som referansedata i prosjektet.

Vi håper prosjektet vil bidra til økt verdiskapning og kunnskap i skogsektoren og takker for finansielle bidrag og innsats fra prosjektmedarbeidere.

Kongsberg, 25. juni 2005

Erik Trømborg
prosjektleder
Prevista as

Sammendrag

Eid, T., Gobakken, T. & Næsset, E. 2005. Bestemmelse diameterfordeling i bestand – sammenligninger av ulike takstopplegg. INA fagrapport 6. 31 sider. [Estimating diameter distribution in forest stands – comparisons of different inventory methods].

Verdiskapningen og konkurransekraften i skogbruk og skogindustri vil kunne øke dersom skogbruksplanene inneholder nyttig informasjon for videreforedling av tømmeret. Hensikten med dette arbeidet har vært å sammenligne ulike metoder for innsamling og beregning av sentrale skoglige data som treantall, middeldiameter, diameterfordeling og brutto tømmerverdi for bestand. Dette er data som i dag ikke er tilgjengelige i ordinære skogbruksplaner, men som er av økende betydning for at skogeier skal kunne avvirke ”riktig” bestand til ”riktig” tid og til ”riktig” kjøper. Takstmetodene som inngår i forsøket er fototakst, lasertakst, systematisk prøveflatetakst innen bestand og subjektivt utlagte prøveflater i bestand. Sammenligningene av de ulike metodene er basert på mange parametere og disse gir ikke noen helt entydig rangering av metodene med hensyn på nøyaktighet. Den generelle tendensen er imidlertid at de mest intensive prøveflatetakstene (10-14 prøveflater per bestand) gir de beste resultatene, fulgt av lasertakst og subjektive prøveflatetakster, mens fototakst gir de dårligste resultatene. Lasertakst ligger omtrent på samme nivå som de minst intensive prøveflatetakstene (3-5 prøveflater) med hensyn på nøyaktighet. Når man også vurderer kostnadene knyttet til taksering, framstår lasertakst som en gunstig kombinasjon av nøyaktighet og kostnad. Det må imidlertid understrekes at det i dette arbeidet ikke er gjort forsøk på å finne en optimal metode med hensyn på å avveie nytte og kostnader. Arbeidet er basert på et lite utvalg av virkelige bestand fra to skogområder på Østlandet der en har foretatt intensive målinger i felt som referanse for de ulike taksopplegg som er utprøvd. En skal derfor være varsom med å generalisere resultatene. Likevel gir resultatene en god illustrasjon og indikasjon på det relative forholdet mellom de utprøvede takstmetodene under skoglige forhold som er vanlig forekommende i viktige deler av ”skog-Norge”.

Summary

Eid, T., Gobakken, T. & Næsset, E. 2005. Bestemmelse diameterfordeling i bestand – sammenligninger av ulike takstopplegg. INA fagrapport 6. 31 sider. [Estimating diameter distribution in forest stands – comparisons of different inventory methods].

The competitive power of the forestry and the forest industry will increase if the management plans are provided with appropriate information on parameters related to the timber processing. The aim of the present work was to compare the accuracy of different inventory methods and their capability of providing stand parameters like number of trees, basal area mean diameter, diameter distribution and timber value. Such information is usually not available from ordinary inventories for practical management planning, but is considered increasingly important to the forest owners in order to harvest the “right” stand to “right” time and provide it to the “right” buyer. The inventory methods compared in the present work are photo interpretation, airborne laser scanning, systematic sample plot inventory within stands (with different intensities) and subjective sample plot inventory within stands. When the methods are compared with respect to accuracy, the most intensive systematic sample plot inventories (10-14 plots per stand) in general provides the best results, followed by laser scanning and subjective sample plot inventories, while photo interpretation provides the poorest results. Laser scanning provides about the same accuracy as the more extensive systematic sample plot inventories (3-5 plots per stand). When also the costs of the inventories are taken into consideration, laser scanning appears to be a method providing a favorable combination of accuracy and costs. It is not, however, in the present work made any efforts to search an optimum with respect to method where accuracy and costs are balanced. The results are based on a relatively moderate number of stands from two different sites in South-Eastern Norway. Still the results provide an appropriate illustration and are an indication of the relative relationship between the evaluated methods under “normal” Norwegian forest conditions.

Innhold

	Side
1. Innledning og problemstilling	6
2. Materiale og metode	7
2.1. Taktopplegg	7
2.2. Beregninger	11
3. Resultater	14
4. Diskusjon	25
4.1. Forsøksopplegg	25
4.2. Resultater	26
4.3. Nytte/kostnad og praktiske tillegninger	27
5. Konklusjoner	30
Litteratur	31

1. Innledning og problemstilling

Økt konkurranse og knappe marginer i skogindustrien stiller nye krav til tømmer som råstoff. I tillegg til pris er tidspunkt for og informasjon om tømmeret i en gitt leveranse viktig for å være en konkurransedyktig leverandør til skogindustrien. Dette har ført til økt fokus på logistikk og informasjonsflyt mellom entreprenør, drifts- og omsetningsledd, transportør og virkeskjøper.

Innsamling av skoglige data for skogeier gjennomføres i all hovedsak i forbindelse med skogbruksplanlegging. Dette arbeidet organiseres gjennom områdetakster der det offentlige ved fylkesmannen, lokalt skogoppsyn og lokal skogeierrepresentant er premissleverandør for hva som registreres og hvordan dette presenteres skogeier. Representanter for kjøp, salg og transport av tømmer har ikke tradisjon for å være med i denne prosessen.

Formålet med skogbruksplanen er å gi skogeieren en forvaltningsplan for skogeiendommen med hovedfokus på de biologiske aspektene ved skogbehandlingen. Volum i enkeltbestand, treslagsfordeling, alder, bonitet og behandlingsforslag er sentral informasjon i skogbruksplanen.

Dagens datainnsamling gir imidlertid lite informasjon om de økonomiske variablene knyttet til skogtilstanden som øvrige aktører i verdikjeden i økende grad fokuserer på. Treantall, middeldiameter og diameterfordeling er sentrale variabler som sammen med stående volum er viktig for å bestemme tømmerkvalitet og bruttoverdier i bestand. Disse dataene gjøres imidlertid ikke tilgjengelige med dagens organisering og teknologi for datainnsamling.

Utviklingen går i retning av at skogeierne selv har mindre kunnskap om egne ressurser. I økende grad er det andre aktører enn skogeier som styrer avvikning og omsetning av tømmer. Med stadig større "forvaltningsvolum" og krav til informasjon om leveransene, vil innsamling av "riktige" data med "riktig" presisjonsnivå tilrettelagt i skreddersydde verktøyløsninger, kunne være et avgjørende beslutningsgrunnlag for aktørene i drifts- og omsetningsleddet. Med eksempelvis skogbruksplaner på web vil aktører med drifts- og omsetningsoppgaver enkelt kunne få innsyn i geografisk informasjon. Dette skaper en mulighet for å utnytte skoglige data bedre.

Forventet diameterfordeling i en gitt drift er opplysninger som ofte blir videresendt til kjøper ved driftsoppstart eller under drift som grunnlag for kappetabeller. Dette stiller store krav til effektiv informasjonsflyt mellom kjøper, selger og entreprenør. Dersom informasjon om diameter og sortimentsfordeling var tilgjengelig for alle bestand i et forvaltningsområde, kunne omsetningsleddet vinne verdifull tid, samt bruke denne informasjonen til å prioritere mellom drifter med hensyn på leveransekrav og pris.

Med kjent diameterfordeling i et bestand vil også treantall/ha, grunnflate/ha og grunnflatemiddeldiameter være gitt. Alt dette er størrelser, som i tillegg til å gi viktig informasjon knyttet til virkeskvalitet, tømmerverdier og driftskostnader, også er sentrale for andre planleggingsoppgaver. Treantall og middeldiameter er sentrale variabler for bruk i prognoseprogrammer (Gaya, Avvirk-2000) for avvirkningsberegninger og verdsetting. For å kunne gjøre realistiske biologiske framskrivninger for ulike typer selektive hogster i fleraldrede bestand må en ha *enkelttremodeller* for rekruttering, tilvekst og avgang. Dette betyr at en må ha opplysninger om det enkelte tre eller om den enkelte diameterklasse.

Nye metoder for innsamling av data og videreutvikling av funksjoner gjør at diameterfordelinger kan samles inn og beregnes med lavere kostnad enn tidligere. Hensikten med det foreliggende arbeidet har vært å sammenligne ulike metoder for å bestemme diameterfordeling i bestand med hensyn på nøyaktighet. I tillegg har en også vurdert variabler som treantall/ha, grunnflate/ha, grunnflatemiddeldiameter og bruttoverdi/ha, alle størrelser som er avledet fra de ulike estimerte diameterfordelingene. Metodene som har vært vurdert er vanlig fototakst, lasertakst, systematisk prøveflatetakst i bestand, subjektivt utlagte prøveflater i bestand og skjønnsmessig klassifisering av ulike parametere i bestand basert både på fototolkning og feltregistrering. Sammenligningene er gjennomført for et område i Våler i Østfold med 38 bestand og et område i Krødsherad i Buskerud med 22 bestand.

2. Materiale og metode

2.1 Takstopplegg

Referansedata

De ulike takstoppleggene ble sammenlignet med referansedata fra intensive feltregistreringer. For Våler ble det gjennomført systematiske prøveflatetakster innen 38 bestand. Det ble brukt 200 m² prøveflater. Flateantallet i bestandene varierte fra 14 til 30 med et gjennomsnitt på

19,6. For Krødsherad ble det lagt ut ”områder” (totalt 22) innen bestand på 3-4 dekar som ble totalklavet. I begge områdene ble alle trær større enn 10 cm klavet og registrert treslagsvis. Bare bestand i hogstklasse IV og V var i det foreliggende testopplegget. Referansetakstene er beskrevet i detalj av Næsset (2002, 2004). Tabell 1 viser gjennomsnitt-, minimum og maksimumsverdier for en del størrelser som er registrert i de to områdene.

Tabell 1. Referansedata Våler og Krødsherad.

Sted	Variabel	Gjennomsnitt	Min.	Maks.	
Våler (n=38)	Alder (år)	104	49	152	
	Bonitet ($H_{40} - m$)	13,7	7,4	24,1	
	Volum (m^3/ha)	217	91	406	
	Treslagsfordeling etter volum (%)	Gran	54	4	94
		Furu	38	0	92
		Lauv	8	1	21
	Grunnflate (m^2/ha)	24,8	12,5	37,9	
	Treantall (/ha)	724	283	1520	
	Grunnflatemiddeldiameter (cm)	21,1	16,8	24,7	
	Grunnflateveid middelhøyde (m)	18,0	13,8	23,1	
	Krødsherad (n=22)	Alder (år)	72	50	105
Bonitet ($H_{40} - m$)		14,4	8,0	20,0	
Volum (m^3/ha)		230	82	374	
Treslagsfordeling etter volum (%)		Gran	45	1	100
		Furu	47	0	98
		Lauv	8	0	30
Grunnflate (m^2/ha)		25,8	12,0	37,6	
Treantall (/ha)		742	244	1096	
Grunnflatemiddeldiameter (cm)		21,6	14,7	30,2	
Grunnflateveid middelhøyde (m)		18,1	12,1	23,6	

Fototakst

I dette opplegget ble det tatt utgangspunkt i ordinære fototakster der bonitet, alder, grunnflateveid middelhøyde og volum/ha fordelt på treslag var bestemt. Det ble ikke gjennomført noen markkontroll i forbindelse med fototakstene. Ut fra variablene i fototaksten bestemmes først grunnflatemiddeldiameter og treantall/ha ved hjelp av funksjoner (Eid 2001) med volum/ha, alder og grunnflateveid middelhøyde som uavhengige variabler. Deretter brukes grunnflatemiddeldiameter, treantall/ha og bonitet som inngang i diameterfordelingsfunksjonene for furu (Mønnes 1982) og gran (Holte 1993). Opplegget ble gjennomført for alle bestand i både Våler og Krødsherad (Tabell 2).

Laser

Diameterfordelingen i bestand ble også bestemt ved hjelp av laser scanning. Opplegget ble gjennomført for alle bestand både i Våler og Krødsherad (Tabell 2). For å etablere regresjonsmodeller for å beskrive sammenhengen mellom diameterfordelinger og laserdata

ble det lagt ut prøveflater systematisk i hogstklasse IV og V i Våler og Krødsherad. Det ble etablert 83 prøveflater på 200 m² i Våler og 70 prøveflater på 233 m² i Krødsherad. Prøveflatene fra de to områdene ble slått sammen og delt inn i to strata i henhold til bonitet. Stratum 1 bestod av 71 flater med bonitet $H_{40} \leq 11$ m og furu som dominerende treslag, mens stratum 2 bestod av 82 flater med bonitet $H_{40} > 11$ m og med gran som det dominerende treslag. På hver flate ble alle trær med diameter i brysthøyde større enn 10 cm klavet og registrert i 2 cm diameterklasser. Grunnflatefordelingen for flatene ble deretter beregnet ut fra antall trær i hver diameterklasse.

Et Piper PA31-310 fly med laser scanning systemet ALTM 1210 produsert av Optech, Canada, ble benyttet få å samle inn laserdata. I Våler ble flyvingen utført i juni 1999 og i Krødsherad i august 2001. Første og siste retur for laserpulsene ble registrert. Tidligere studier har vist at diameterfordelingen ved bruk av laserdata beskrives bedre med grunnflate enn treantall (Gobakken & Næsset 2004). Grunnflatefordeling ble derfor benyttet også i det foreliggende opplegget. Estimeringen av grunnflatefordelingen fra laserdata bestod av to steg:

1. Beregning av 10 persentiler fra den diskrete fordelingen.
2. Estimering av et system av regresjonsmodeller for de to strata som relaterer de 10 persentilene og grunnflate/ha til variabler avledet fra laserdata. Variabler avledet fra laserdata er beskrevet av Gobakken & Næsset (2004).

Ved prediksjon ble først alle bestandene delt inn i celler med et areal på 233 m². Modellene utviklet i steg 2 ble deretter benyttet for å predikere grunnflatefordelingen i hver enkelt celle i bestandene registrert i Våler og Krødsherad. Klavegrensen på 10 cm ble benyttet som 0 persentil. Den relative grunnflatefordelingen i hver diameterklasse ble deretter beregnet. For å produsere en monoton fordeling og ikke-negative frekvenser må alle predikerte diametre være i økende orden. Alle ikke-økende persentiler ble derfor justert til gjennomsnitt av aktuell og foregående persentil til dette ble oppnådd. Antall trær i hver diameterklasse i hver celle ble beregnet ved å skalere den relative grunnflate med predikert grunnflate i cellen. Tilslutt ble bestandets diameterfordeling beregnet som gjennomsnitt for de enkelte celler i bestandet.

Systematiske prøveflatetakster i bestand med klaving av diameter

Referansetaksten i Våler ble gjennomført som intensive systematiske prøveflatetakster innen bestand. Flatestørrelsen var 200 m² og flateantallet lå i snitt på 19,6 flater pr. bestand. For å teste effekten av intensitet i prøveflatetakster ble det ”tynnet” ut i antall flater fra referansetaksten slik at en stod igjen med henholdsvis 75%, 50%, 25% og 15% av prøveflatene. Dette ga følgende prøveflateantall;

- systematisk prøveflatetakst (75%): gjennomsnitt 14,4 flater pr. bestand, med minimum og maksimum på henholdsvis 10 og 22 flater.
- systematisk prøveflatetakst (50%): gjennomsnitt 9,6 flater pr. bestand, med minimum og maksimum på henholdsvis 7 og 15 flater.
- systematisk prøveflatetakst (25%): gjennomsnitt 5,0 flater pr. bestand, med minimum og maksimum på henholdsvis 4 og 8 flater.
- systematisk prøveflatetakst (15%): gjennomsnitt 3,0 flater pr. bestand, med minimum og maksimum på henholdsvis 2 og 6 flater.

Opplegget ble gjennomført for alle bestand i Våler (Tabell 2).

Subjektivt utlagte prøveflater i bestand med klaving av diameter

I dette opplegget ble det på subjektivt grunnlag lagt ut tre målesteder i hvert bestand med vekt på at de tre målestedene til sammen skulle gi et representativt utvalg av bestandet. På hvert av målestedene ble det lagt ut en 100 m² prøveflate, og alle trær over 10 cm i brysthøyde ble klavet. Slike takster ble i forsøket gjennomført av tre ulike taksatorer som arbeidet uavhengig av hverandre. Opplegget ble gjennomført for alle bestand i Krødsherad (Tabell 2).

Skjønnsmessige klassifiseringer i felt

Diameterfordelingsfunksjonene til Mønnes (1982) og Holte (1993) er basert på data fra ensaldrede bestand. Eid (2002) konkluderte med at bruk av disse funksjonene i ensaldret skog ga ”bra” resultater, mens bruk i annen type skog ga ”dårlige” resultater. Dette betyr at en vil kunne få viktig tilleggsinformasjon med tanke på bruk av diameterfordelingsfunksjonene dersom en klarte å klassifisere bestand med hensyn på om de er ensaldrede eller fleraldrede. Det ble derfor gjennomførte skjønnsmessige feltvurderinger der en bestemte om bestandet var ikke sjiktet/sjiktet, tynnet/ikke tynnet, og plantet/forynget naturlig.

Følgende instruksjoner ble gitt;

Ikke sjiktet:	Hovedsakelig trær i ett sjikt
Sjiktet:	Et sjiktet bestand skal ha trær i to eller flere sjikt. Høydesjiktningen mellom nabotrær, eller nabogrupper av trær, skal være karakteristisk for største delen av bestandet. Dersom det foretas en selektiv hogst i det øvre sjiktet skal de gjenstående trærne danne et nytt sjiktet bestand. Det gjenstående treantallet må være så stort at bestandet ikke skal føres i hogstklasse I.
Tynnet:	Helt åpenbart gjennomført tynning siste 10-15 år. Må være gjennomført for største delen av bestandet.
Ikke tynnet:	Ikke gjennomført tynning siste 10-15 år. Må gjelde for største delen av bestandet.
Plantet:	Bestandet er helt åpenbart plantet. Må være gjennomført for største delen av bestandet.
Naturlig	Bestandet er helt åpenbart forynget naturlig. Må være gjennomført for største delen av
Forynget:	bestandet.

Opplegget ble gjennomført av tre ulike taksatorer for alle bestand i Krødsherad (Tabell 2).

Skjønnsmessige klassifiseringer ved fototolking

Ut fra samme tankegang som for skjønnsmessige klassifisering i felt ble det også ved fototolking gjennomført skjønnsmessige vurderinger av alle bestand med hensyn på om de var ”ikke sjiktet” eller ”sjiktet”, ”tynnet” eller ”ikke tynnet” og ”plantet” eller ”forynget naturlig”. Dette opplegget ble gjennomført av fem ulike fototolkere for alle bestand i Våler (Tabell 2).

Tabell 2. Takstopplegg og antall observasjoner i Våler og Krødsherad.

Område	Takstopplegg	Antall obs.
Våler	Fototakst	38
	Laser	38
	Systematisk prøveflatetakst (75%, 50%, 25% og 15%)	38x4
	Skjønnsmessig klassifisering ved fototolking (fem tolkere)	38x5
Krøds-herad	Fototakst	22
	Laser	22
	Subjektive prøveflater (tre taksatorer)	22x3
	Skjønnsmessig klassifisering i felt (tre taksatorer)	22x3

2.2. Beregninger

For å vurdere diameterfordelingene fra de ulike takstoppleggene ble det beregnet feilindekser der *absoluttverdien* av differansene mellom de ulike takstoppleggene og referansedataene ble summert over alle diameterklasser. Lignende feilindekser er tidligere brukt av Reynolds et al. (1988) og Holte (1993). I det foreliggende arbeidet ble feilindeksen for *treantall* (FIN) og den relative feilindeksen for treantall (RFIN) beregnet på følgende måte;

$$FIN = \sum_{j=1}^k |n_{je} - n_{jo}|, \text{ og } RFIN = (FIN / N) * 100,$$

hvor $j = 1, 2, \dots, k$, $k =$ antall diameterklasser i bestandet, $n_{je} =$ estimert treantall/ha i diameterklasse j , $n_{jo} =$ observert treantall/ha i diameterklasse j og $N =$ observert treantall/ha i bestandet.

Tilsvarende ble feilindeksen for *grunnflate* (FIG) og den relative feilindeksen for grunnflate (RFIG) beregnet som;

$$FIG = \sum_{j=1}^k |g_{je} - g_{jo}|, \text{ og } RFIG = (FIG / G) * 100,$$

hvor $j = 1, 2, \dots, k$, $k =$ antall diameterklasser i bestandet, $g_{je} =$ estimert grunnflate/ha i diameterklasse j , $g_{jo} =$ observert grunnflate/ha i diameterklasse j og $G =$ observert grunnflate/ha i bestandet.

I tillegg ble det også ut fra de ulike diameterfordelingene beregnet treantall/ha, grunnflate/ha, grunnflatemiddeldiameter og bruttoverdi/ha som ble sammenlignet med tilsvarende størrelser fra referansedataene. Treantall/ha og grunnflate/ha ble beregnet ved å summere treantall og grunnflate over alle diameterklasser, og deretter ble grunnflatemiddeldiameter beregnet ut fra treantall/ha og grunnflate/ha.

For å finne bruttoverdi/ha for diameterfordelingene fra de ulike takstoppleggene ble først høyden på trærne beregnet ved hjelp av funksjoner. Ved fototakst ble generelle høydemodeller benyttet (Bollandsås 2005), mens det for de andre takstmetodene ble brukt lokalt utviklede høydemodeller som var basert på prøvetrær plukket ut med relaskop (Tabell 3). For lauvtrær i Krødsherad ble furufunksjoner benyttet.

Bruttoverdi (salgsverdi) for trærne i den enkelte diameterklasse ble funnet ved å optimere apteringen av trærne ved hjelp av dataprogrammet OptApt (Gobakken 2000). Her ble to alternative prisforholdstabeller benyttet. For begge alternativer ble trærne forutsatt feilfrie. For alternativ 1 ble gjeldende tømmerpriser benyttet. For sagtømmeret ble det benyttet prisforholdstabeller som hovedsakelig premierte stor lengde og diameter. Gran sagtømmer ble forutsatt solgt sams, mens det for furu ble forutsatt 0% spesialtømmer, 30% prima sagtømmer og 70% sekunda sagtømmer. For alternativ 2 ble det benyttet mer kundetilpassede prisforholdstabeller der priser på stokker med ulik diameter og lengde varierer etter

sagbrukets avsetningsmuligheter. Disse prisforholdstabeller ble bare benyttet for gran, mens prisforholdstabellene for furu var de samme som under alternativ 1. For begge alternativer ble alt lauv ble forutsatt solgt som massevirke. Gjennomsnittlig massevirkepriser var henholdsvis 251, 186 og 270 kr/m³ for gran, furu og lauv. For begge alternativene ble verdien av trærne i hver diameterklasse veid med bestandets treslagsfordeling som var beregnet eller målt ved de ulike takstoppleggene.

Tabell 3. Lokale regresjonsmodeller for diameter/høydeforhold.

Område	Treslag	Antall obs.	Regresjonskoeffisienter				R^2
			β_0		β_1		
Skog med lav bonitet ($H_{40} \leq 11$ m)							
Våler	Gran	322	1,068	***	0,906	***	0,90
Våler	Furu	162	2,561	***	0,565	***	0,65
Våler	Lauv	89	2,064	***	0,716	***	0,65
Krødsherad	Gran	86	1,347	***	0,824	***	0,76
Krødsherad	Furu	229	3,192	***	0,490	***	0,39
Skog med høy bonitet ($H_{40} > 11$ m)							
Våler	Gran	651	1,206	***	0,896	***	0,90
Våler	Furu	127	2,252	***	0,635	***	0,80
Våler	Lauv	176	2,506	***	0,663	***	0,70
Krødsherad	Gran	206	2,938	***	0,602	***	0,75
Krødsherad	Furu	104	5,034	***	0,429	***	0,41

Signifikansnivå: *** <0,001.

Regresjonsmodell: $h = \beta_0 d^{\beta_1}$, der h = høyde på enkelttre (m) og d = diameter i brysthøyde (cm). (Estimering på log-lineær form).

Gjennomsnittlige differanser mellom treantall/ha, grunnflate/ha, grunnflatemiddeldiameter og bruttoverdi basert på estimerte fordelinger og observerte fordelinger ble beregnet for alle bestand. La D_i være differansen mellom treantall/ha, grunnflate/ha, grunnflatemiddeldiameter eller bruttoverdi basert på estimerte fordelinger og observerte fordelinger for bestand i , $i = 1, 2, \dots, n$.

Gjennomsnittlig differanse ble da beregnet som; $\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$,

og standardavviket til differansene ble beregnet som; $SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}$.

Statistisk signifikans for om gjennomsnittlig differanse var forskjellig fra 0, det vil si om det var systematiske feil, ble testet ved hjelp av tosidige t -tester.

3. Resultater

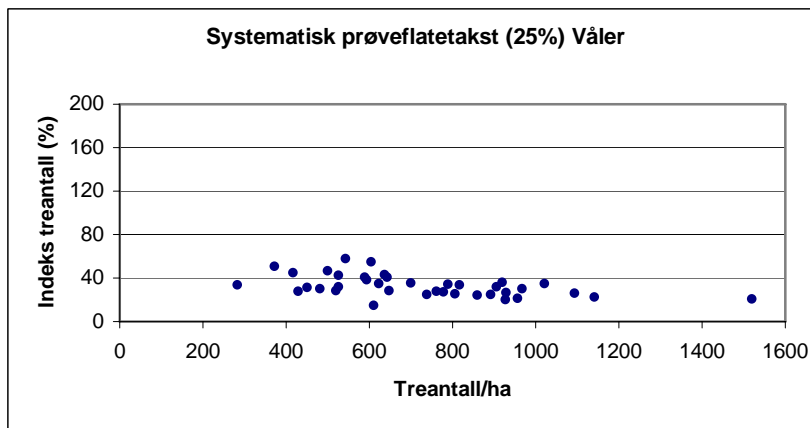
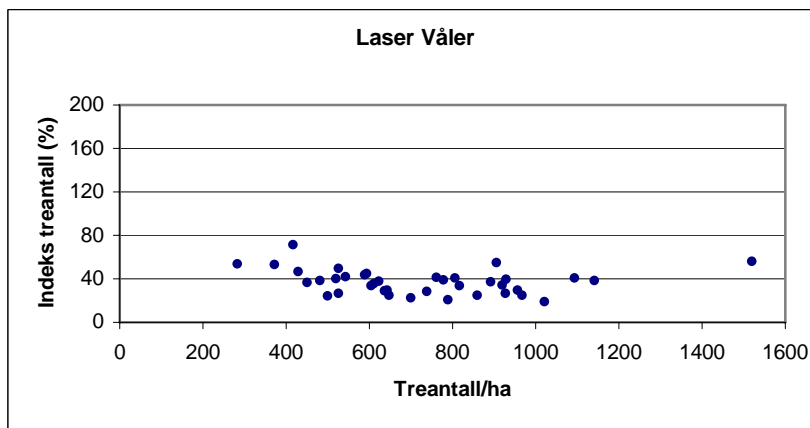
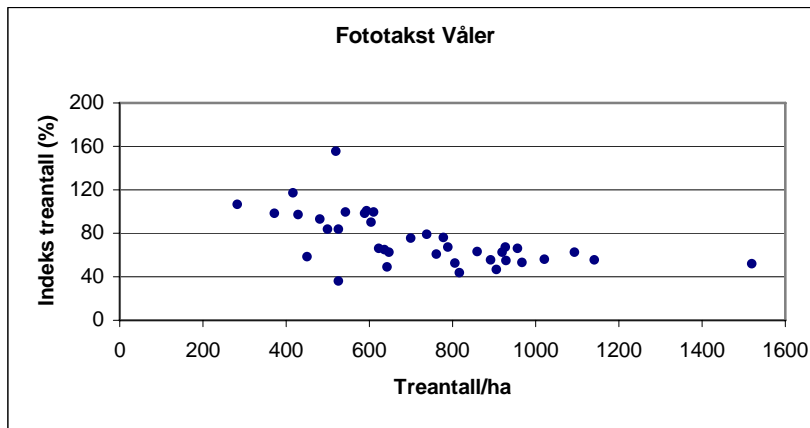
Av Tabell 4, som viser feilindekser for treantall (det vil si *absoluttverdien* summert over alle diameterklasser av differansene i treantall mellom ulike takstopplegg og referansen), framgår det at en i Våler får høyest indeksverdi (størst feil for diameterfordeling) for fototaksten og lavest indeksverdi for den mest intensive systematiske prøveflatetaksten (75% av prøveflatene). I Krødsherad får en høyest indeksverdi for fototaksten og lavest indeksverdi med laser. Omtrent tilsvarende forhold mellom de ulike takstoppleggene har en også når indeksverdiene er basert grunnflate, selv om de subjektive prøveflatene relativt sett kommer litt dårligere ut her (Tabell 5). Det framgår ellers av tabellene at feilindeksene varierer mye mellom bestand. Eksempelvis ser en av Tabell 4 at den relative feilindeksen for treantall i fototaksten fra Våler varierer fra 36% til 155%. At feilindeksene varierer mye framgår også av Figur 1 og 2, der den relative feilindeksen basert på treantall for enkeltbestand er plottet mot observert treantall/ha.

Tabell 4. Feilindeks (FIN) og relativ feilindeks (RFIN) basert på treantall.

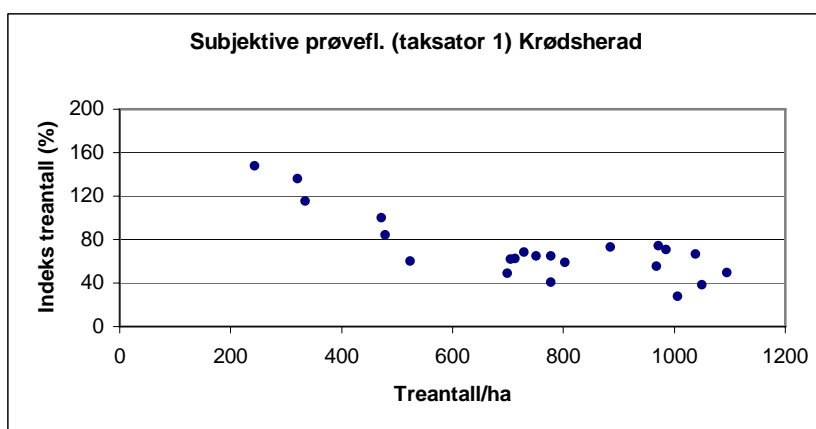
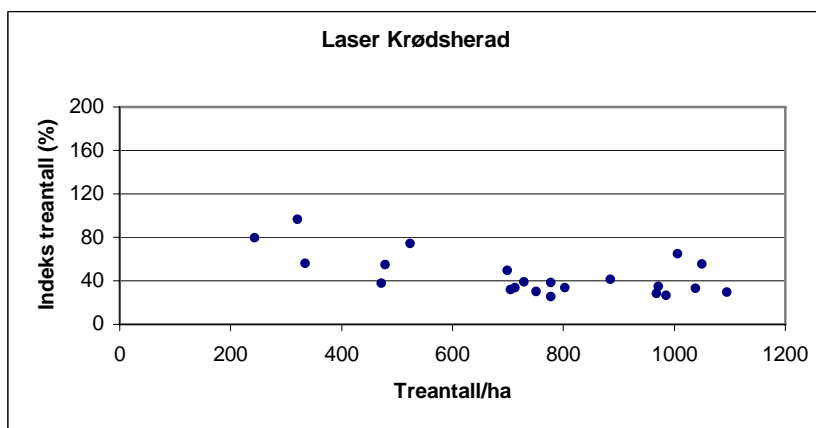
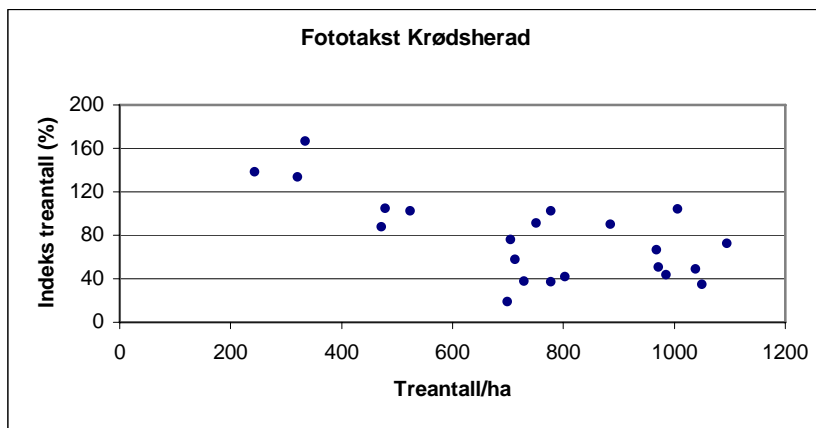
Område	Takstopplegg	Antall obs.	Observed treantall (/ha)	Feilindeks (FIN) (/ha)	Relativ feilindeks (RFIN) (%)		
					Snitt	Min.	Maks.
Våler	Fototakst	38	724	500	74	36	155
	Laser	38	724	263	37	19	71
	Systematisk prøveflatetakst (75%)	38	724	70	10	6	22
	Systematisk prøveflatetakst (50%)	38	724	123	18	9	40
	Systematisk prøveflatetakst (25%)	38	724	225	33	15	58
	Systematisk prøveflatetakst (15%)	38	724	315	46	23	79
Krødsherad	Fototakst	22	742	514	78	19	167
	Laser	22	742	306	45	26	97
	Subjektive prøveflater (taksator 1)	22	742	472	71	28	147
	Subjektive prøveflater (taksator 2)	22	742	469	68	37	111
	Subjektive prøveflater (taksator 3)	22	742	442	65	43	131

Tabell 5. Feilindeks (FIG) og relativ feilindeks (RFIG) basert på grunnflate.

Område	Takstopplegg	Antall obs.	Observed grunnflate (m ² /ha)	Feilindeks (FIN) (m ² /ha)	Relativ feilindeks (RFIG) (%)		
					Snitt	Min.	Max.
Våler	Fototakst	38	24,8	16,8	72	38	125
	Laser	38	24,8	10,4	44	22	84
	Systematisk prøveflatetakst (75%)	38	24,8	3,3	14	7	21
	Systematisk prøveflatetakst (50%)	38	24,8	5,5	23	11	34
	Systematisk prøveflatetakst (25%)	38	24,8	10,2	42	17	63
	Systematisk prøveflatetakst (15%)	38	24,8	14,5	60	27	88
Krødsherad	Fototakst	22	25,8	17	74	18	151
	Laser	22	25,8	12,8	54	25	107
	Subjektive prøveflater (taksator 1)	22	25,8	20,5	84	42	151
	Subjektive prøveflater (taksator 2)	22	25,8	19,3	78	38	139
	Subjektive prøveflater (taksator 3)	22	25,8	19,7	83	51	174



Figur 1. Relativ feilindeks for treantall plottet mot treantall for enkeltbestand i Våler.



Figur 2. Relativ feilindeks for treantall plottet mot treantall for enkeltbestand i Krødsherad.

Tabell 6 viser differanser mellom treantall/ha basert på estimerte fordelinger og observert treantall/ha, og tilhørende standardavvik. Det framgår av tabellen at differansene er små for alle metodene. Det framgår også av tabellen at de tilfeldige feilene ved bestemmelse av treantall (standardavvik til differansene) er størst for fototaksten, en del mindre for lasertaksten og de subjektive prøveflatene, og minst for de systematiske prøveflatetakstene. Nivået for tilfeldige feil er imidlertid like høyt som for de fleste andre metodene med den minst intensive systematiske prøveflatetaksten (15 %).

Tabell 6. Differanser (\bar{D}) og standardavvik til differanser (SD) mellom treantall basert på estimerte fordelinger og observert treantall.

Område	Takstopplegg	Antall obs.	Med predikert fordeling (/ha)	Observert treantall (/ha)	Differanser (\bar{D} i % av observert gj.snitt)	St. avvik til differanser (SD i % av observert gj.snitt)
Våler	Fototakst	38	692	724	-4,4 is	30,5
	Laser	38	695	724	-4,0 is	19,5
	Systematisk prøveflatetakst (75%)	38	717	724	-1,1 is	3,8
	Systematisk prøveflatetakst (50%)	38	717	724	-1,0 is	7,6
	Systematisk prøveflatetakst (25%)	38	721	724	-0,4 is	13,5
	Systematisk prøveflatetakst (15%)	38	733	724	1,1 is	21,1
Krøds-herad	Fototakst	22	791	742	6,5 is	41,8
	Laser	22	726	742	-2,3 is	17,7
	Subjektive prøveflater (taksator 1)	22	744	742	0,2 is	19,5
	Subjektive prøveflater (taksator 2)	22	794	742	7,0 is	21,9
	Subjektive prøveflater (taksator 3)	22	706	742	-4,9 is	20,8

Signifikansnivåer :is = ikke signifikant ($p > 0,05$)

Tabell 7 viser differanser mellom treantall basert på estimerte fordelinger og observert treantall for ulike diameterklasser. Det framgår av tabellen at en i fototaksten undervurderer treantallet i små og store diameterklasser, og overvurderer i de midlere. I lasertaksten undervurderes treantallet noe i små diameterklasser og overvurderes noe i store diameterklasser. Med subjektivt utlagte prøveflater varierer resultatene mye mellom ulike taksatorer, mens differansene mellom observerte og estimerte treantall er svært små over alle diameterklasser med de systematiske prøveflatetakstene.

Tabell 7. Differanser (\bar{D}) treantall basert på estimerte fordelinger og observert treantall for ulike diameterklasser.

Område	Takstopplegg	Antall obs.	Observert treantall (/ha)			Differanser (\bar{D} i % av observert gj.snitt)		
			d < 15 cm	15 cm ≤ d < 30 cm	d ≥ 30 cm	d < 15 cm	15 cm ≤ d < 30 cm	d ≥ 30 cm
Våler	Fototakst	38	215	430	79	-79	33	-60
	Laser	38	215	430	79	-29	-2	22
	Systematisk prøveflatetakst (75%)	38	215	430	79	0	-2	0
	Systematisk prøveflatetakst (50%)	38	215	430	79	0	-1	-1
	Systematisk prøveflatetakst (25%)	38	215	430	79	-2	0	0
	Systematisk prøveflatetakst (15%)	38	215	430	79	2	1	0
Krøds-herad	Fototakst	22	192	484	67	-60	37	-58
	Laser	22	192	484	67	-21	-5	44
	Subjektive prøveflater (taksator 1)	22	192	484	67	-11	2	15
	Subjektive prøveflater (taksator 2)	22	192	484	67	-7	14	1
	Subjektive prøveflater (taksator 3)	22	192	484	67	-41	5	-7

Tabell 8 og 9 viser differanser og standardavvik til differanser for henholdsvis grunnflate og grunnflatemiddeldiameter. Det framgår av tabellene at differansene mellom estimerte og observerte verdier er relativt små for alle takstmetodene, selv om differansene er signifikant forskjellig fra 0 i noen tilfeller for lasertakst og subjektivt utlagte prøveflater. Standardavvikene til differansene er størst for fototaksten og subjektivt utlagte prøveflater, mindre for lasertaksten og minst med den mest intensive systematiske prøveflatetaksten (75 %). For den mest ekstensive prøveflatetaksten (15 %) blir standardavviket høyt sammenlignet med de andre metodene.

Tabell 8. Differanser \bar{D} og standardavvik til differanser (SD) mellom grunnflate basert på estimerte fordelinger og observert grunnflate.

Område	Takstopplegg	Antall obs.	Med predikert fordeling (m ² /ha)	Observert grunnflate (m ² /ha)	Differanser (\bar{D} i % av observert gj.snitt)	St. avvik til differanser (SD i % av observert gj.snitt)
Våler	Fototakst	38	24,1	24,8	-2,5 is	12,2
	Laser	38	26,4	24,8	6,5 ***	8,2
	Systematisk prøveflatetakst (75%)	38	24,5	24,8	-0,9 is	4,4
	Systematisk prøveflatetakst (50%)	38	24,6	24,8	-0,6 is	6,6
	Systematisk prøveflatetakst (25%)	38	25,1	24,8	1,1 is	12,7
	Systematisk prøveflatetakst (15%)	38	25,2	24,8	1,8 is	18,9
Krøds-herad	Fototakst	22	26,5	25,8	2,8 is	22,4
	Laser	22	28,0	25,8	8,6 **	12,0
	Subjektive prøveflater (taksator 1)	22	27,4	25,8	6,0 is	22,3
	Subjektive prøveflater (taksator 2)	22	27,9	25,8	8,2 *	18,1
	Subjektive prøveflater (taksator 3)	22	26,9	25,8	4,2 is	19,0

Signifikansnivåer :is = ikke signifikant ($p>0,05$); *: $p<0,05$; **: $p<0,01$; ***: $p<0,001$

Tabell 9. Differanser (\bar{D}) og standardavvik til differanser (SD) mellom grunnflatemiddeldiameter basert på estimerte fordelinger og observert grunnflatemiddeldiameter.

Område	Takstopplegg	Antall obs.	Med predikert fordeling (cm)	Observert grunnflate middeldiameter (cm)	Differanser (\bar{D} i % av observert gj.snitt)	St. avvik til differanser (SD i % av observert gj.snitt)
Våler	Fototakst	38	21,5	21,1	1,7 is	13,6
	Laser	38	21,9	21,1	3,8 **	7,3
	Systematisk prøveflatetakst (75%)	38	21,1	21,1	0,0 is	1,7
	Systematisk prøveflatetakst (50%)	38	21,1	21,1	0,0 is	2,7
	Systematisk prøveflatetakst (25%)	38	21,4	21,1	1,1 is	5,2
	Systematisk prøveflatetakst (15%)	38	21,3	21,1	1,0 is	7,9
Krøds-herad	Fototakst	22	21,3	21,6	-1,0 is	15,0
	Laser	22	22,2	21,6	3,2 is	7,2
	Subjektive prøveflater (taksator 1)	22	22,3	21,6	3,4 is	8,5
	Subjektive prøveflater (taksator 2)	22	21,7	21,6	0,9 is	8,2
	Subjektive prøveflater (taksator 3)	22	22,6	21,6	4,9 **	8,0

Signifikansnivåer :is = ikke signifikant ($p>0,05$); **: $p<0,01$

Tabell 10 viser differanser og standardavvik til differanser mellom volum basert på estimerte fordelinger og volum basert på observerte fordelinger. Det framgår av tabellen at det for fototaksten er en klar undervurdering av volum, mens det for lasertaksten er en overvurdering. De tilfeldige feilene (standardavvikene) for volum varierer mellom de ulike takstmetodene omtrent på samme måte som for de andre variablene.

Tabell 10. Differanser \bar{D} og standardavvik til differanser (SD) mellom volum basert på estimerte fordelinger og volum basert på observerte fordelinger.

Område	Takstopplegg	Antall Obs.	Med predikert fordeling (m ³ /ha)	Observert volum (m ³ /ha)	Differanser (\bar{D} i % av observert gj.snitt)	St. avvik til differanser (SD i % av observert gj.snitt)
Våler	Fototakst	38	138	200	-30,8 ***	21,8
	Laser	38	216	200	8,0 ***	12,5
	Systematisk prøveflatetakst (75%)	38	198	200	-0,7 is	4,9
	Systematisk prøveflatetakst (50%)	38	199	200	-0,4 is	6,6
	Systematisk prøveflatetakst (25%)	38	202	200	1,5 is	14,3
	Systematisk prøveflatetakst (15%)	38	205	200	2,6 is	21,2
Krøds-herad	Fototakst	22	150	193	-22,2 ***	23,5
	Laser	22	215	193	11,5 ***	12,5
	Subjektive prøveflater (taksator 1)	22	208	193	7,6 is	23,2
	Subjektive prøveflater (taksator 2)	22	210	193	8,9 is	22,0
	Subjektive prøveflater (taksator 3)	22	205	193	6,0 is	20,8

Signifikansnivåer :is = ikke signifikant (p>0,05); ***:p<0,001

Tabell 11 og 12 viser differanser og standardavvik til differanser for bruttoverdi/m³ med henholdsvis den gjeldene prisforholdstabellen (alternativ 1) og en mer kundetilpasset prisforholdstabell (alternativ 2). Det framgår for det første av tabellene at forskjellene mellom de to prisforholdstabellene er svært små. Resultatene viser også at både differansene og standardavviket til differansene generelt er små, med høyest verdier for fototakst og lavest verdier for de systematiske prøveflatetakstene.

Tabell 11. Differanser \bar{D} og standardavvik til differanser (SD) mellom bruttoverdi/m³ basert på estimerte fordelinger og bruttoverdi/m³ basert på observerte fordelinger. Prisforholdstabell alternativ 1.

Område	Takstopplegg	Antall Obs.	Med predikert fordeling (NOK/m ³)	Observert brutto-verdi (NOK/m ³)	Differanser (\bar{D} i % av observert gj.snitt)	St. avvik til differanser (SD i % av observert gj.snitt)
Våler	Fototakst	38	344	377	-8,7 ***	7,0
	Laser	38	377	377	0,0 is	4,8
	Systematisk prøveflatetakst (75%)	38	377	377	0,0 is	1,2
	Systematisk prøveflatetakst (50%)	38	378	377	0,1 is	1,6
	Systematisk prøveflatetakst (25%)	38	379	377	0,5 is	2,8
	Systematisk prøveflatetakst (15%)	38	378	377	0,3 is	3,9
Krøds-herad	Fototakst	22	348	367	-5,1 *	9,1
	Laser	22	381	367	3,9 ***	4,7
	Subjektive prøveflater (taksator 1)	22	373	367	1,6 is	4,0
	Subjektive prøveflater (taksator 2)	22	365	367	-0,5 is	5,4
	Subjektive prøveflater (taksator 3)	22	377	367	2,8 *	5,0

Signifikansnivåer :is = ikke signifikant (p>0,05); ***:p<0,001

Tabell 12. Differanser \bar{D} og standardavvik til differanser (SD) mellom bruttoverdi/m³ basert på estimerte fordelinger og bruttoverdi/m³ basert på observerte fordelinger. Prisforholdstabell alternativ 2.

Område	Takstopplegg	Antall Obs.	Med predikert fordeling (NOK/m ³)	Observert brutto-verdi (NOK/m ³)	Differanser (\bar{D} i % av observert gj.snitt)	St. avvik til differanser (SD i % av observert gj.snitt)
Våler	Fototakst	38	346	383	-9,6***	7,0
	Laser	38	383	383	0,0 is	5,2
	Systematisk prøveflatetakst (75%)	38	383	383	0,0 is	1,2
	Systematisk prøveflatetakst (50%)	38	383	383	0,1 is	1,7
	Systematisk prøveflatetakst (25%)	38	385	383	0,5 is	2,9
	Systematisk prøveflatetakst (15%)	38	383	383	0,2 is	4,0
Krøds-herad	Fototakst	22	350	371	-5,7 **	9,2
	Laser	22	386	371	4,1 ***	5,9
	Subjektive prøveflater (taksator 1)	22	377	371	1,6 is	4,1
	Subjektive prøveflater (taksator 2)	22	369	371	-0,4 is	5,7
	Subjektive prøveflater (taksator 3)	22	381	371	3,0 *	5,1

Signifikansnivåer :is = ikke signifikant (p>0,05); *:p<0,05; **:p<0,01; ***:p<0,001

Tabell 13 og 14 viser differanser og standardavvik til differanser mellom bruttoverdi/ha basert på estimerte fordelinger og bruttoverdi/ha fra observerte fordelinger for de to prisforholdstabellene. Det framgår for det første av tabellene at forskjellene mellom de to prisforholdstabellene er små. Videre ser en av tabellene at en med fototakst får en klar undervurdering av bruttoverdien, mens en med lasertakst får en overvurdering. Standardavvikene (tilfeldig feil) er størst for fototaksten og de subjektivt utlagte prøveflatene, noe lavere for lasertaksten og minst for de mest intensive systematiske prøveflatetakstene.

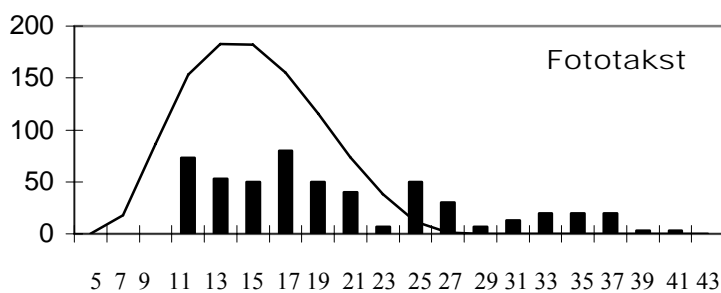
Tabell 13. Differanser \bar{D} og standardavvik til differanser (SD) mellom bruttoverdi/ha basert på estimerte fordelinger og bruttoverdi/ha basert på observerte fordelinger. Prisforholdstabell alternativ 1.

Område	Takstopplegg	Antall Obs.	Med predikert fordeling (NOK/ha)	Observert verdi (NOK/ha)	Differanser (\bar{D} i % av observert gj.snitt)	St. avvik til differanser (SD i % av observert gj.snitt)
Våler	Fototakst	38	48655	76337	-36.3 ***	23.1
	Laser	38	83229	76337	9.0 **	16.5
	Systematisk prøveflatetakst (75%)	38	75914	76337	-0.6 is	5.4
	Systematisk prøveflatetakst (50%)	38	76096	76337	-0.3 is	7.1
	Systematisk prøveflatetakst (25%)	38	77676	76337	1.8 is	15.2
	Systematisk prøveflatetakst (15%)	38	78845	76337	3.3 is	23.5
Krøds-herad	Fototakst	22	52806	71795	-26.4 ***	25.0
	Laser	22	83344	71795	16.1 ***	14.3
	Subjektive prøveflater (taksator 1)	22	79149	71795	10.2 is	25.6
	Subjektive prøveflater (taksator 2)	22	78569	71795	9.4 is	26.1
	Subjektive prøveflater (taksator 3)	22	77480	71795	7.9 is	22.5
	Signifikansnivåer :is = ikke signifikant (p>0,05); **:p<0,01; ***:p<0,001					

Tabell 14. Differanser \bar{D} og standardavvik til differanser (SD) mellom bruttoverdi/ha basert på estimerte fordelinger og bruttoverdi/ha basert på observerte fordelinger. Prisforholdstabell alternativ 2.

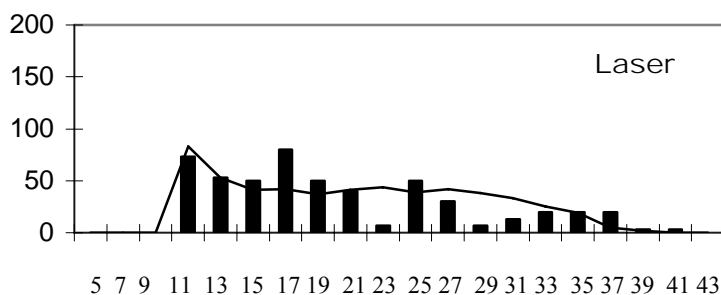
Område	Takstopplegg	Antall Obs.	Med predikert fordeling (NOK/ha)	Observert verdi (NOK/ha)	Differanser (\bar{D} i % av observert gj.snitt)	St. avvik til differanser (SD i % av observert gj.snitt)
Våler	Fototakst	38	48877	77528	-37,0 ***	23,5
	Laser	38	84602	77528	9,1 **	16,8
	Systematisk prøveflatetakst (75%)	38	77087	77528	-0,6 is	5,4
	Systematisk prøveflatetakst (50%)	38	77282	77528	-0,3 is	7,1
	Systematisk prøveflatetakst (25%)	38	78882	77528	1,7 is	15,1
	Systematisk prøveflatetakst (15%)	38	80045	77528	3,2 is	23,4
Krøds-herad	Fototakst	22	52999	72569	-27,0 ***	25,4
	Laser	22	84332	72569	16,2 ***	14,4
	Subjektive prøveflater (taksator 1)	22	79953	72569	10,2 is	25,6
	Subjektive prøveflater (taksator 2)	22	79591	72569	9,7 is	26,4
	Subjektive prøveflater (taksator 3)	22	78380	72569	8,0 is	22,4
	Signifikansnivåer :is = ikke signifikant (p>0,05); **:p<0,01; ***:p<0,001					

Figur 3 og 4 viser observerte og estimerte fordelinger for to bestand i Våler. Bestand nr. 21 er det bestandet med høyest feilindeks for fototakst i Våler, mens bestand nr. 33 er det bestandet med lavest feilindeks for fototakst i Våler (se Tabell 4).



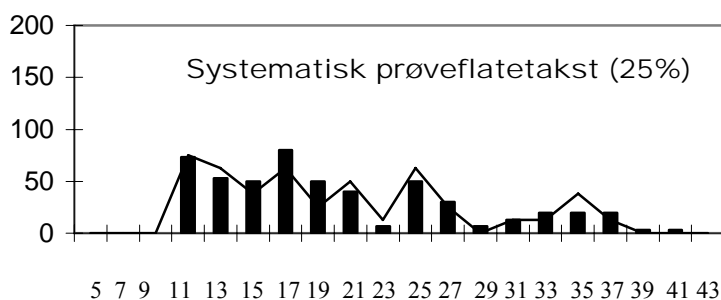
Feilindeks treantall 155%

	Foto	Ref.
D_g (cm)	15,5	21,8
N (/ha)	1019	520
G (m^2/ha)	19,3	19,4
Bruttoverdi (NOK/m^3)	232	373
Volum (m^3/ha)	91	134
Bruttoverdi (kr/ha)	26080	49890



Feilindeks treantall 40%

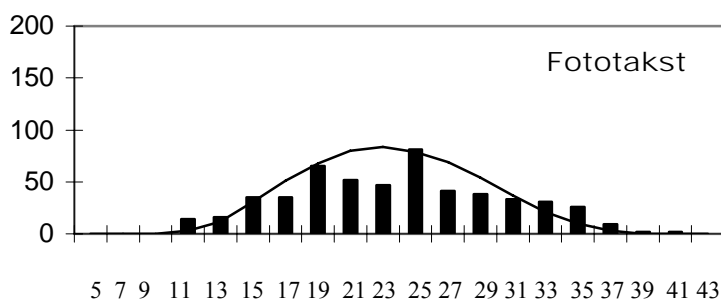
	Laser	Ref.
D_g (cm)	22,5	21,8
N (/ha)	543	520
G (m^2/ha)	21,5	19,4
Bruttoverdi (NOK/m^3)	366	373
Volum (m^3/ha)	143	134
Bruttoverdi (kr/ha)	55700	49890



Feilindeks treantall 28%

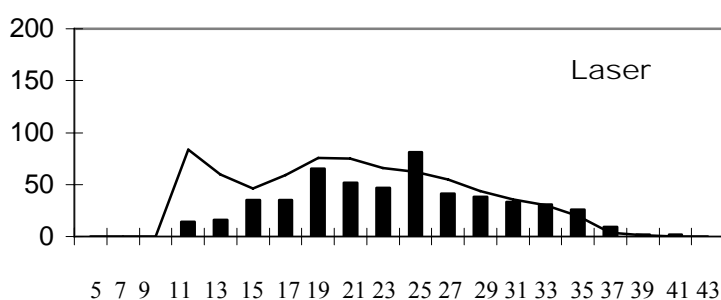
	Prfl	Ref.
D_g (cm)	21,7	21,8
N (/ha)	488	520
G (m^2/ha)	18,0	19,4
Bruttoverdi (NOK/m^3)	365	373
Volum (m^3/ha)	135	134
Bruttoverdi (kr/ha)	46097	49890

Figur 3. Diameterfordelinger for bestand nr. 21 i Våler. Søylene viser observert diameterfordeling og heltrukken linje viser estimert diameterfordeling.



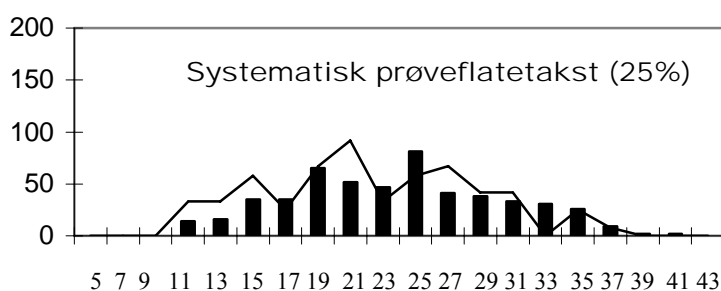
Feilindeks treantall 36%

	Foto	Ref.
D_g (cm)	24,1	24,7
N (/ha)	602	526
G (m^2/ha)	27,4	25,3
Bruttoverdi (kr/m^3)	381	406
Volum (m^3/ha)	165	232
Bruttoverdi (kr/ha)	63642	94837



Feilindeks treantall 49%

	Laser	Ref.
D_g (cm)	22,3	24,7
N (/ha)	719	526
G (m^2/ha)	28,2	25,3
Bruttoverdi (kr/m^3)	396	408
Volum (m^3/ha)	238	232
Bruttoverdi (kr/ha)	97628	94837



Feilindeks treantall 42%

	Prfl	Ref.
D_g (cm)	23,2	24,7
N (/ha)	583	526
G (m^2/ha)	24,7	25,3
Bruttoverdi (kr/m^3)	401	408
Volum (m^3/ha)	226	232
Bruttoverdi (kr/ha)	86945	94837

Figur 4. Diameterfordelinger for bestand nr. 33 i Våler. Søylene viser observert diameterfordeling og heltrukken linje viser estimert diameterfordeling.

Tabell 15 viser hvordan bestandene skjønsmessig ble klassifisert med hensyn på ulike parametere gjennom fototolkinger og feltregistreringer. Det framgår av tabellen at for alle tolkere, unntatt nr. 5, er omtrent halvparten av bestandene i Våler blitt klassifisert som ensaldret, mens taksatorene har klassifisert omtrent 60% av bestandene som ensaldret i Krødsherad. Klassifiseringen av bestandene med hensyn på om de er tynnet varierer mye mellom både tolkerne og taksatorene. De aller fleste bestand både i Våler og Krødsherad er klassifisert til å være forynget naturlig.

Tabell 15. Skjønsmessig klassifisering. Antall bestand.

Område	Tolker/ Taksator	Ensaldret		Tynnet		Plantet	
		Ja	Nei	Ja	Nei	Ja	Nei
Våler n=38	Tolker 1	20	18	24	14	2	36
	Tolker 2	21	17	4	34	0	38
	Tolker 3	16	22	20	18	1	37
	Tolker 4	24	14	18	20	6	32
	Tolker 5	3	35	6	32	5	33
Krøds- herad N=22	Taksator 1	13	9	3	19	0	22
	Taksator 2	14	8	5	17	0	22
	Taksator 3	14	8	8	14	3	19

I Tabell 16 er det beregnet relative feilindekser for treantall (se Tabell 4) for bestand som, enten av fototolkere eller taksatorer i felt, er klassifisert som ensaldret. Generelt ser en av Tabell 16 at feilindeksene synker lite når bestand klassifisert som fleraldrer bli ekskludert fra materialet. Eksempelvis ser en at for fototaksten i Våler synker feilindeksen fra et gjennomsnitt på 74% når alle bestand er inkludert til 64% for tolker 1, 59% for tolker 3 og til 61% for tolker 5. Tilsvarende ser en for Krødsherad at feilindeksen synker fra 78% når alle bestand er inkludert til 63% for taksator 1, mens den øker for taksator 2 og 3. For lasertakst og systematiske og subjektive prøveflatetakster ser en noe av den samme tendensen til at feilindeksen synker litt. Utslagene er imidlertid noe mindre enn for fototaksten.

Tabell 16. Relativ feilindeks treantall etter utplukk basert på ensaldret/fleraldrer.

Område	Tolker/ taksator	Antall ensaldr.	Takstopplegg							
			Fototakst	Laser	System. prøveflatetakst			Subjektive prøveflater		
					75%	50%	25%	1	2	3
Våler	Tolker 1	20	64	35	11	17	31	-	-	-
	Tolker 2	21	68	34	12	18	31	-	-	-
	Tolker 3	16	59	35	10	17	30	-	-	-
	Tolker 4	24	67	35	11	17	31	-	-	-
	Tolker 5	3	61	32	8	17	30	-	-	-
	Alle	38	74	37	12	19	33	-	-	-
Krøds- herad	Taksator 1	13	63	39	-	-	-	68	80	74
	Taksator 2	14	80	48	-	-	-	89	83	85
	Taksator 3	14	80	48	-	-	-	89	84	85
	Alle	22	78	45	-	-	-	87	95	85

4. Diskusjon

4.1 Forsøksopplegg

Det foreliggende forsøksopplegget var basert på data fra to områder en har brukt i tidligere undersøkelser, og er således ikke i utgangspunktet designet for den problemstillingen som tas opp her. Selv om områdene var gitt på forhånd, og antall observasjoner var forholdsvis begrenset, er imidlertid et bredt spekter av skogforhold med hensyn på bonitet, treslagsfordeling og tetthet representert i datamaterialet (Tabell 1). Referansedataene er også basert på et godt dokumentert takstopplegg og svært intensive registreringer, og representerer derfor et godt utgangspunkt for sammenligninger av ulike takstmetoder slik det er gjort i den foreliggende undersøkelsen.

De ulike takstmetodene som er sammenlignet, er forsøkt lagt opp så praksisnært og realistisk som mulig. Opplegget for å bestemme diameterfordeling og de andre variablene for fototakst og med laser er gjennomført helt etter de prosedyrer en bruker i praktisk skogbruksplanlegging.

Også for de bestandsvise prøveflatetakstene har en lagt opp prosedyrene nært opp til slik en kunne tenke seg å gjøre det i praksis. Både for de bestandsvise systematiske prøveflatetakstene og de subjektivt utlagte prøveflatene har en imidlertid brukt høydedata som er framkommet gjennom opplegget med laser der en vanligvis har tilgang til et stort antall nøyaktig målte prøveflater fra hele områdetaksten med et betydelig antall enkelt-trær der en har målt både stammediameter og høyde. Alternativt kunne det i forbindelse med de bestandsvise prøveflatetakstene ha blitt tatt ut prøvetrær og laget lokale modeller for høyde/diameter ut fra dette. Et slikt opplegg hadde imidlertid krevd såpass mange prøvetrær (200-400) at kostnadene hadde blitt svært høye. Det mest realistiske ville derfor være å tenke seg at det gjennomføres et vanlig opplegg med lasertakst og at prøveflatetakstene kommer som et tillegg til dette – først og fremst med den hensikt å framskaffe bedre diameterfordelingsdata enn det lasertaksten kan klare.

Opplegget med fototakst og lasertakst ble gjennomført i både Våler og Krødsherad. Det var av praktiske grunner ikke mulig å gjennomføre både den systematiske og den subjektive prøveflatetaksten for begge område (se også Tabell 1). Dette ville ha muliggjort en direkte sammenligning av de to metodene. Når en nå sammenligner nøyaktigheten for de to metodene

er det vanskelig å skille mellom hva som skyldes forskjellige skogforhold i de to områdene og hva som skyldes selve metodikken. Det er imidlertid verdt å merke seg at det i gjennomsnitt for hvert bestand blir henholdsvis 1000 m² og 600 m² som klaves med systematisk prøveflatetakst der 50% og 25% av prøveflatene brukes, mens det blir 300 m² som klaves ved den subjektive prøveflatetaksten. Et mer nyansert bilde av forholdet mellom disse to takstmetodene ville en derfor kunne fått dersom en, i tillegg til å prøve begge metodene i samme område, også hadde variert både flatestørrelse og antall flater noe mer enn det som var tilfelle i forsøksopplegget.

4.2 Resultater

Det generelle trenden ved sammenligning av metodene med hensyn på nøyaktighet (standardavvik til differanser mellom verdier basert på estimerte fordelinger og observerte fordelinger) når det gjelder diameterfordeling (Tabell 4 og 5), treantall (Tabell 6), grunnflate (Tabell 8) og middeldiameter (Tabell 9) er at fototakst gir de dårligste resultatene, fulgt av subjektive prøveflater og lasertakst, mens de mest intensive prøveflatetakstene gir de beste resultatene.

At fototaksten gir de dårligste resultatene er ikke overraskende. For det første beregnes diameterfordelingen (Holte 1993, Mønnes 1982) med modeller med variabler som beskriver gjennomsnittsforholdene i bestandet (eksempelvis middeldiameter og bonitet), og det er opplagt at en ikke er i stand til å fange opp alle variasjoner som finnes med hensyn på diameterfordeling når en bare bruker slike variabler (se også Eid 2002). I tillegg er diameterfordelingsmodellene utviklet for bruk i ensaldrede og treslagsrene bestand. I det foreliggende materialet finnes bestand både med treslagsblanding (Tabell 1) og som er fleraldret (Tabell 15). Diameterfordelingsmodellene til Holte (1993) og (Mønnes 1982) brukes derfor i mange tilfeller utenfor bruksområdet de er definert for. Takstopplegget med subjektivt utlagte prøveflater i hvert bestand gir også relativt dårlige resultater med hensyn på nøyaktighet når det sammenlignes med lasertakst. Heller ikke dette er overraskende når en vet at det i hvert bestand bare er 300 m² som klaves. Nøyaktighetsnivået ved bestemmelse av diameterfordeling for lasertaksten er relativt bra. Ut fra resultatene i den foreliggende undersøkelsen ser det ut til at en må opp i 4-6 200 m² prøveflater lagt ut i et systematisk nett for å få samme nøyaktighet som ved lasertakst (Tabell 5, 6, 7, 8, 9). Bare ved å legge ut fra 6-10 prøveflater eller flere i hvert bestand vil det generelle nøyaktighetsnivået ved systematisk prøveflatetakst bli bedre enn for lasertaksten.

Når volumet bestemmes (Tabell 10), kommer høydebestemmelsen inn som en faktor i tillegg til diameterfordelingen. Dersom en for de ulike takstoppleggene sammenligner differansene (systematiske feil) for grunnflate (Tabell 8) og volum (Tabell 10) ser en at det bare er i fototaksten at differansene endrer seg av betydning ved at det blir en systematisk under- vurdering av volum. Dette tyder på at de generelle høydmodellene (Bollandsås 2005) i disse to områdene ikke er i stand til å beskrive høyde/diameterforholdet så godt som en klarer med de lokale høydmodellene (se Tabell 3). Dette er vel heller ikke særlig overraskende i og med at de lokale høydmodellene, som brukes for lasertaksten og alle prøveflattakstene, er basert på trær fra de aktuelle områdene, mens de generelle høydmodellene er basert på trær fra hele Norge.

Tabell 11 og 12 viser resultatene for bruttoverdien/m³ ved to alternative prisforholdstabeller. Generelt ser en av tabellene at både differansene og standardavviket til differansene er små for alle takstoppleggene og for begge prisforholdstabellene. Det er her bare benyttet alternative prisforholdstabeller for gran. Et alternativ med mer kundetilpasset kapping av furu- og lauvtrærne er ikke analysert i dette studiet. Alle trærne er forutsatt feilfrie. Dette medfører at eventuelle kvalitetsfeil oppover stammen ikke påvirker kappingen. For trær med kvalitetsfeil oppover stammen vil det være vanskeligere å tilpasse kappingen slik at man får stokker som tilfredsstillende kravene til verdifulle sortiment.

Hensikten med forsøket der en gjorde skjønsmessige klassifiseringer i felt og ved fototolking var å ”luke” ut bestand der en antok at diameterfordelingsmodellene vil fungere dårlig, det vil si bestand som ikke var ensaldret. På denne måten kunne en tenke seg at de bestand som da ble igjen ville egne seg bra for å beregne diameterfordelingene, i stedet for å måtte gjøre registreringer i felt. Selv om forskjellene mellom de ulike fototolkerne og taksatorene med hensyn på de skjønsmessige klassifiseringene var ganske små (Tabell 15), viste det seg at størrelsen på feilindeksen sank lite når de bestand som var klassifisert som fleraldret ble ekskludert fra materialet (Tabell 16). Disse resultatene tyder altså ikke på at en kan forsvare de ekstra kostnadene den skjønsmessige klassifiseringen medfører med at diameterfordelingen blir bestemt mer nøyaktig.

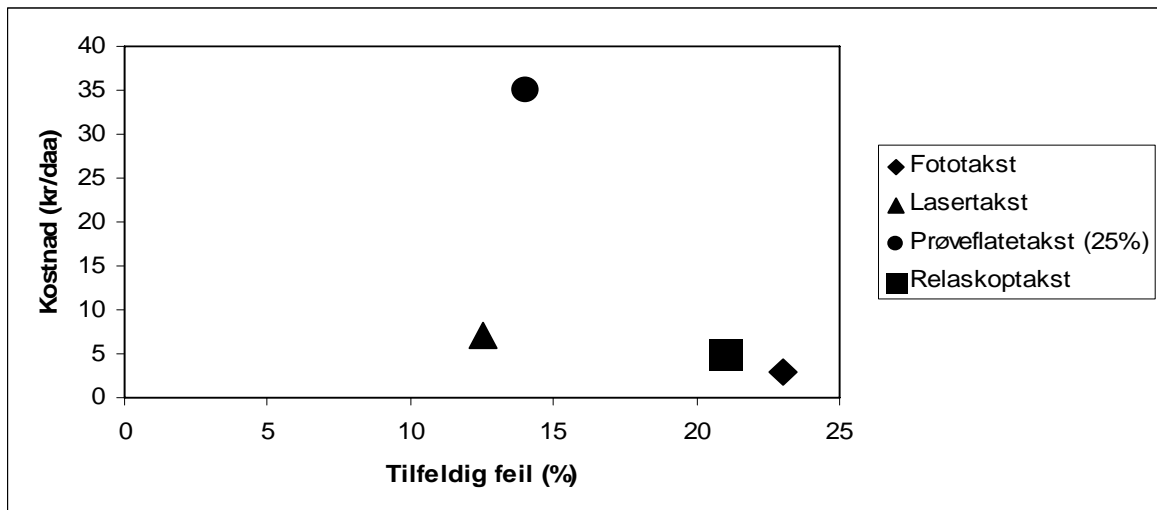
4.3 Nytte/kostnad og praktiske tillempninger

Nytten en har av en ressurskartlegging i form av en skogtakst til støtte for planleggingen av skogbehandlingen i det enkelte bestand vil bli større jo lavere nivå en har for feilene knyttet til

de skoglige variablene en baserer sine beslutninger på (se for eksempel Eid et al. 2004). Feil i takstgrunnlaget kan uttrykkes ved systematiske og tilfeldige feil. De systematiske feilene kan kompenseres gjennom korreksjonsberegninger, mens de tilfeldige feilene ofte er metodeavhengig. Det innebærer at det er grenser for hvor små feil en kan forvente med en gitt metode og at denne ”minste forventede feilen” vil være knyttet til den registreringsmetoden en har valgt å benytte. En økning i nytten som en følge av et lavere feilnivå, må imidlertid veies opp mot en økning i registreringskostnader som ofte følger med det å velge en mer nøyaktig metode.

Dersom et av formålene ved utarbeidelse av skogbruksplaner er å kunne etablere en bestandsvis diameterfordeling, finnes det i dag fire alternative metoder for dette. Disse er beskrevet i kapittel 2.1. De utførte beregningene antyder at en ren fototakst og subjektivt utlagte prøveflater (relaskoptakst) gir en svak sammenheng mellom den estimerte diameterfordelingen og den kontrollerte diameterfordelingen av det samme bestandet. Bruk av laser og utlegging av en prøveflate per 3-4 dekar produktiv skog (25% systematisk prøveflatetakst) gir bedre sammenheng mellom virkelig og funksjonsberegnet diameterfordeling, og innbyrdes er de to metodene ikke ulike når det gjelder nøyaktighet. For disse to metodene er imidlertid forskjellene i kostnader betydelig.

Den rimeligste form for taksering vil være en ren fototakst. Kostnadene til en slik takst ligger i intervallet 3-5 kr per dekar. En subjektivt utlagt prøveflatetakst (relaskoptakst) vil kreve en form for bestandsinndeling i tillegg til feltarbeid, og kostnadene ligger i dag i intervallet 4-6 kr per dekar. Lasertakst må kombineres med en fotogrammetrisk bestandsinndeling. Kostnadene ved en lasertakst for et større sammenhengende område ligger i intervallet 5-8 kr per dekar. For å oppnå en tilsvarende nøyaktighet som en lasertakst, må en legge ut et nett av systematiske prøveflater på bestandsnivå. Feltarbeidet ved en slik takstform vil ligge på ca 30-40 kr per dekar. I tillegg til de nevnte kostnader, vil det være kostnader forbundet med utarbeidelse av planer, kartplotting, datapunching etc., som vil være mindre metodeavhengig. Som en illustrasjon på sammenhengen mellom tilfeldige feil og takstkostnader, viser Figur 5 forventede kostnader ved de fire taksttypene omtalt ovenfor og tilfeldige feil ved *volumbestemmelse* basert på de funn en har gjort i denne studien (se Tabell 10). Tilfeldige feil er uttrykt ved standardavviket til differansene mellom observert volum og volum estimert i henhold til de enkelte takstmetodene.



Figur 5. Sammenligning av kostnad per dekar og tilfeldig feil ved volumbestemmelse for ulike takstmetoder.

De fleste områdetakster utføres nå uten feltarbeid utover miljøregistreringer. Ren fototakst gir som vist over lav nøyaktighet for volum og diameterfordeling på bestandsnivå. Frem til midten av 80-tallet ble leveransene av sagtømmer basert på generelle prislister hvor kvaliteten prima og sekunda styrte apteringen. De siste årene har det funnet sted en utvikling fra standardiserte prisforholdstabeller og over til mer spesifiserte pristabeller der kjøperen har ulike preferanser med hensyn på kvalitet og dimensjon. Bakgrunnen for dette er mer spesialiserte trelastleveranser hvor riktige tømmerdimensjoner gir en bedre utnyttelse av tømmeret. Dette skaper nye krav til informasjon om skogen. Informasjon om volum av ulike tømmerkvaliteter i det enkelte bestand gjør at skogeier og skogeierforening/tømmerkjøper kan vurdere rett bestand til rett kjøper til rett tid. Diameterfordeling er i økende grad styrende for kvalitet og pris på sagtømmer. Diameterfordelingen vil påvike verdien av tømmeret avhengig av hvor diameterfølsom kjøperens pristabeller er. Eksemplet i Tabell 11 viser en effekt av ulike diameterfordelinger på opp til 35 kr/m³ eller 8-9% av tømmerverdien pr m³. Med 20 m³ stående volum per dekar gir dette en forskjell i verdi på 700 kr per dekar. Dersom en, som et eksempel, forutsetter 5% høyere tømmerverdi fordi skogeier, på grunn av nøyaktig og relevant informasjon, er i stand til å selge rett bestand til rett tid og rett kjøper, vil en, ved en årlig gjennomsnittlig avvirkning tilsvarende 0,5% av produktivt skogareal, 10 års varighet av taksten og 5% kalkulasjonsrente, i gjennomsnitt kunne investere inntil 15 kr per dekar i taksten. I tillegg til å kunne oppnå høyere tømmerverdi ved å selge rett bestand til rett kjøper, vil bedre informasjon om diameterfordeling være nyttig når skogeier skal vurdere om bestandene skal tynnes.

Et alternativ til å registrere diameterfordeling ved taksten, kunne være å legge ut prøveflater i bestandet forbindelse med planlegging av selve hogsten. Ulempen med dette ville være at kostnadene ved driftsplanleggingen øker (innsamling av data, prosessering) og at innsamlingen skjer etter at beslutningen om avvirkning er tatt. Nytten av å kunne selge rett bestand til rett kjøper ville dermed bli redusert.

Verdiskapningen og konkurransekraften i skogbruk og skogindustri vil kunne øke dersom skogbruksplanene inneholder nyttig informasjon for videreforedling av tømmeret. Med dagens organisering av tømmermarkedet vil omsetningsleddene få en viktig del av nytten av forbedrede takster. I dag er imidlertid omsetningsleddene ikke kunde eller beslutningstaker i valg av takstmetode. En utfordring er derfor å få nytten av bedre skoglige data for tømmeromsetningen inn som en del av beslutningsgrunnlaget for valg av takstmetoder.

5. Konklusjoner

Sammenligningene av de ulike metodene er basert på mange parametere og disse gir ikke noen helt entydig rangering av metodene med hensyn på nøyaktighet. Den generelle tendensen er imidlertid at de mest intensive prøveflatetakstene (10-14 prøveflater per bestand) gir de beste resultatene, fulgt av lasertakst og subjektive prøveflatetakster, mens fototakst gir de dårligste resultatene. Lasertakst ligger omtrent på samme nivå som de minst intensive prøveflatetakstene (3-5 prøveflater) med hensyn på nøyaktighet. Når man også vurderer kostnadene knyttet til taksering, framstår lasertakst som en gunstig kombinasjon av nøyaktighet og kostnad. Det må imidlertid understrekes at det i dette arbeidet ikke er gjort forsøk på å finne en optimal metode med hensyn på å avveie nytte og kostnader.

Dette arbeidet er basert på et lite utvalg av virkelige bestand fra to skogområder på Østlandet der en har foretatt intensive målinger i felt som referanse for de ulike taksopplegg som er utprøvd. En skal derfor være varsom med å generalisere resultatene. Likevel gir resultatene en god illustrasjon og indikasjon på det relative forholdet mellom de utprøvede takstmetodene under skoglige forhold som er vanlig forekommende i viktige deler av ”skog-Norge”.

Litteratur

- Bollandsås, O.M. 2005. Diameter-height models for individual trees in Norway. Manuskript.
- Eid, T. 2001. Models for prediction of basal area mean diameter and number of trees for forest stands in south-eastern Norway. *Scand. J. For. Res.* 16: 467-479.
- Eid, T. 2002. En vurdering av eksisterende diameter- og høydefordelingsmodeller. Rapport fra skogforskningen 4/02:1-24.
- Eid, T., Gobakken, T. & Næsset, E. 2004. Comparing stand inventories for large areas based on photo interpretation and laser scanning by means of cost-plus-loss analyses. *Scand. J. For Res.* 19:512-523.
- Gobakken, T. 2000. The effect of two different price systems on the value and cross-cutting patterns of Norway spruce logs. *Scand. J. For. Res.* 15:368-377.
- Gobakken, T. & Næsset, E. 2004. Estimation of diameter and basal area distributions in coniferous forest by means of airborne laser scanner data. *Scand. J. For. Res.* 19:529-542.
- Holte, A. 1993. Diameter distribution functions for even-aged (*Picea abies*) stands. *Meddelelse fra Skogforsk* 46 (1): 1-46.
- Næsset, E. 2002. Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data. *Remote Sens. Environ.* 80: 88-99.
- Næsset, E. 2004. Practical large-scale forest stand inventory using small-footprint airborne scanning laser. *Scand. J. For. Res.* 19:164-179.
- Mønness, E. 1982. Diameter distributions and height curves in even-aged stands of *Pinus sylvestris* L. *Meddelelse fra Norsk institutt for skogforskning* 36 (15):1-43.
- Reynolds, M.R., Burk, T.E. & Huang, W-C. 1988. Goodness-of-fit tests and model selection procedures for diameter distribution models. *Forest Science* 34:373-399.