

4  
/ 99



# Rapport

fra skogforskningen

Norsk institutt for skogforskning, Høgskolevn. 12, 1432 Ås  
Institutt for skogfag, NLH, Postboks 5044, 1432 Ås

## Målenøyaktighet for diameter og lengderegistreringene på hogstmaskiner



Øystein Dale og Morten Nitteberg

## Rapport fra skogforskningen

- ✓ **Rapport fra skogforskningen** inneholder førstegangs publiserte artikler beregnet på norske og nordiske lesere
- ✓ Tabell- og figurtekster skrives på norsk
- ✓ Sammendrag skrives på norsk
- ✓ Engelske manuskripter eller omfattende arbeider med mye grunn-data kan publiseres i en underserie - *Supplement*.

Norsk institutt for skogforskning (NISK) er utgiver av serien, i et samarbeid med Institutt for skogfag, NLH.

Tilrettelegging av manus for trykking, ajourhold av abonnenter, innkreving av abonnementsavgift, distribusjon av heftene og lagerhold skjer på NISK. Bestilling av abonnement og enkelt-eksemplar av seriene skjer til NISK.

Redaktør for serien er  
ass.direktør Bjørn R. Langerud, NISK

En forfatterinstruks er tatt inn på siste omslagsside.

Layout og sats: Karin Westereng, NISK

ISBN 82-7169-895-8  
ISSN 0803-2858

Norsk institutt for skogforskning (NISK)  
Høgskoleveien 12,  
1432 Ås

Tlf.: 64 94 90 00  
Fax: 64 94 29 80  
E-post: [nisk@nisk.no](mailto:nisk@nisk.no)  
Internett: <http://www.nisk.no/>

*Forside: Høgstaggregat*  
Foto: Morten Nittedberg

# Målenøyaktighet for diameter og lengderegreringene på hogstmaskiner

Øystein Dale og Morten Nitteberg



## Forord

Denne rapporten tar for seg resultatene fra et prosjekt som har vurdert utnyttelsen og nøyaktigheten for måle- og apteringssystemene på hogstmaskiner. Utnyttelsen av systemene er undersøkt i et eget delprosjekt som er beskrevet i en hovedoppgave fra Norges Landbrukshøgskole Lileng (1997). Prosjektet er gjennomført med støtte fra Skogtiltaksfondet. Innsamling av grunnlagsmaterialet har foregått hos 4 ulike entreprenører i driftssesongen 1997-98 som vi gjerne vil takke for et svært godt samarbeide.

Ås, mai 1999

*Øystein Dale*

*Morten Nitteberg*

## Innhold

1. Innledning.....	4
2. Diameter- og lengderegistrering på hogstmaskiner.....	5
3. Metodikk.....	5
3.1 Diameter- og lengdemåling på stamme- og stokknivå.....	5
3.2 Volummåling på driftsnivå.....	7
4. Resultater.....	7
4.1 Diametermåling på stammenivå.....	7
4.2 Lengdemåling på stokknivå.....	10
4.3 Volummåling på partinivå.....	12
5. Diskusjon.....	12
6. Litteratur.....	18
Vedlegg.....	19



## Sammendrag

DALE, Ø. OG M. NITTEBERG, 1999. Målenøyaktighet for diameter og lengde-registreringene på hogstmaskiner. Rapport fra skogforskningen 4/99: 1-24.

Aptering og kapping på hogstmaskiner utføres med utgangspunkt i kontinuerlig registrering av diameter og lengde under opparbeiding av trærne. Dataene for disse 2 parametrene blir benyttet til beregning av stokkvolum. Disse opplysningene, samt angitt kvalitet, lagres i maskinenes datasystem. Kvaliteten på de inngående dataene for diameter og lengde er derfor av avgjørende betydning for hvordan og med hvilken kvalitet disse operasjonene utføres og hvilken nytte en har av systemene.

For å vurdere kvaliteten på diameter og lengderegistreringene ble det kontrollmålt 4447 stammeseksjoner på 50 cm fordelt på 512 stokker fra 4 ulike hogstmaskiner. Kontrollmålingene ble utført med en dataklave for registrering av diameter og vanlig målbånd for lengderegistreringen. Undersøkelsen ble utført i granskog på det sentrale østlandsområdet.

For stokkdiameterer < 300 mm ble det registrert et gjennomsnittlig avvik på 1 mm, men avviket mellom maskinmålt og klavemålt var ikke signifikant. For diameterer > 300 mm var den gjennomsnittlige forskjellen på 3 mm, og forskjellen var signifikant. Kalibreringen på hogstmaskinene for store diameterer var generelt dårligere utført enn for mindre dimensjoner. Kalibrering av maskinene på store diameterer er arbeidskrevende å gjennomføre på grunn av en større spredning og lavere frekvens av store stokker.

For lengderegistreringen var den gjennomsnittlige differansen mellom maskinmålt og kontrollmålt 0,87 cm, men forskjellen var ikke signifikant.

Sammenlignet med automatmåling på sagbruk er nøyaktigheten for diameterregistreringen på de undersøkte hogstmaskinene på samme nivå for diameterer < 300 mm, men med en større spredning. For større diameterer er nøyaktigheten dårligere, men kan forbedres ved nøyaktigere kalibrering.

Sammenlignet med tradisjonell tømmermåling for skurtømmer med registrering i diameterklasser i cm og lengdeklasser i dm er registreringene fra hogstmaskiner av samme nøyaktighet når systemene er nøyaktig kalibrerte. Angivelse av kvalitet på stokknivå som er en vesentlig del av tømmermålingen er ikke undersøkt i dette studiet.

Undersøkelsen omfattet også en vurdering av volumregistreringen på driftsnivå, men på grunn av problemer knyttet til innsamlingen av dette materialet gir denne delen av undersøkelsen bare en indikasjon på nøyaktigheten. På 11 drifter med til sammen 5479 m<sup>3</sup> ble det registrert et avvik på 0,7% mellom registrert volum hos tømmermålingen og det maskin registrerte volumet.

*Nøkkelord: Hogstmaskiner, hogstaggater, diameter, lengde, målenøyaktighet.*

## 1. Innledning

Dagens hogstmaskiner er utstyrt med computerbaserte apteringssystemer som i teorien kan optimalisere apteringen av tømmer ut fra prislistematriser. Systemene kan også kombinere prislisterapting og fordelingsapting for å kunne kappe etter kjøperens ønsker.

Systemene beregner et optimalt apteringsforslag for hvordan treet skal kappes på grunnlag av informasjon fra 3 hovedfaktorer som beskriver treet form og egenskaper:

1. Diametermålinger på stammen under opparbeiding.
2. Lengdemåling av stammen under opparbeiding.
3. Informasjon fra operatør om kvaliteter og kvalitetsgrenser.

Beregningene blir så gjennomført på grunnlag av prognoser for stammeform og tømmerverdier fra prislistematriser og massevirkepriser.

De fleste hogstmaskinene har kontinuerlig registrering av diameter og lengde. For å få et optimalt apteringsforslag fra maskinenes datasystemer er en avhengig av at diameter- og lengdemåling har en tilfredsstillende nøyaktighet og pålitelighet. Maskinene registrerer diameter på bark, men verdiberegningene blir gjennomført under bark. For å kunne beregne diameter under bark er systemene avhengige av barkfunksjoner for å kunne beregne barktykkelsen for ulike skogtyper og dimensjoner. Nøyaktigheten for disse funksjonene er ikke tatt med i denne undersøkelsen.

Hogstmaskinenes apteringsforslag bygger på data for stammeprofilen (diameter-lengde), mens derimot oppgjørsgrunnlaget mellom kjøper og selger beregnes på grunnlag av lengde og toppdiameter for hver enkelt stokk.

Maskinoperatørens innvirkning og utnyttelse av systemene er undersøkt og beskrevet tidligere Lileng (1997). Ser vi noe fremover i tid vil volummålingene fra hogstmaskinen kunne være et alternativt grunnlag for oppgjør mellom kjøper og selger.

Formålet var å beskrive målenøyaktigheten ved hogstmaskinregistrering for diameter og lengde og komme med anbefalinger for hvordan nøyaktigheten skal kunne økes.

En ønsket også å vurdere muligheten for å bruke hogstmaskinmålinger som oppgjørsgrunnlag mellom kjøper og selger, og samtidig komme med anbefalinger for kalibrering og daglig oppfølging av diameter- og lengdemåling.

Prosjektet ble gjennomført på 3 nivåer:

1. Målenøyaktighet på partinivå.
2. Målenøyaktighet på stammenivå (stammeprofil).
3. Målenøyaktighet på stokknivå (lengde).

## 2. Diameter- og lengderegistrering på hogstmaskiner

De fleste produsentene av hogstaggater bruker det samme prinsippet for lengdemåling av tømmerstokken. Systemet er basert på en pulsgiver på et målehjul med tenner som løper langs stokken. Målehjulet presses mot stokken med et trykk, enten ved hjelp av en fjær eller en hydraulisk sylinder. Pulsgiveren sender 2 pulssignal som er faseforskjøvet 90°, slik at maskinens computer kan beregne om stokken går fram eller tilbake. Systemet har en oppløsning på 1 cm. Utformingen av tennene på målehjulet kan variere med hensyn på bredde og spissing. Men de fleste produsenter har hjul med ulike utforminger for forskjellige forhold (vinter/ sommer etc.).

Stokkdiameter måles vanligvis ved hjelp av kvisteknivene, men måling av diameter ved hjelp av matevalsene har også vært benyttet. På kvisteknivenes opplagring er det montert potensiometer som måler kvisteknivenes vinkelutslag når stammene kvistes. De fleste aggregatene måler på to kvisteknivener og benytter et middel av målingene for å beregne diameter. Dette blir ikke en optimal kryssmåling med 90 grader mellom målepunktene da vinkelen mellom målepunktene vil variere på grunn av knivenes varierende berøringspunkter ved ulike diametere. Kvisteknivene har vanskelig for å registrere stokkenes ovalitet på grunn av symmetrisk like berøringspunkter, men vil registrere og korrigere for att stammen på grunn av for eksempel krok ligger usymmetrisk i aggregatet. Signalet sendes digitalt til maskinens computer hvor diameter blir beregnet. Oppløsningen på systemene er 1 mm.

## 3. Metodikk

### 3.1. Diameter- og lengdemåling på stamme- og stokknivå

Det ble valgt 4 engreps hogstmaskiner for å undersøke målenøyaktigheten.

Som en ser av Tabell 1 var begge Valmetmaskinene utstyrt med samme apteringsystem (VMM2000), men hadde forskjellig størrelse på aggregatet (42 og 65 cm). Tilsvarende hadde begge Timberjack maskinene samme apteringsystem (TJ 3000), men forskjellig aggregat (45 og 50 cm)

Før registreringen startet ble maskinenes diameterkalibrering kontrollert mot ett aluminiumsrør på 100 mm. Lengdemålingen ble også sjekket før dataregistreringen ble gjennomført.

Diameter på opparbeidet tømmer ble kontrollmålt med en Mantax klave. Dette er en elektronisk dataklave som kan koples opp mot maskinens computer for uttak av stammedata. Ved måling beregner klaven avviket mellom maskinmålt og klavemålt, og resultatet kan vises på skjermen eller overføres til en PC for videre bearbeiding.

Tabell 1 Maskiner som var med i undersøkelsen

Type	Aggregat	Apterings system
Timberjack 1270	TJ 746 c	TJ 3000
Timberjack 870	TJ 743	TJ 3000
Valmet 901/2	Valmet 942	VMM 2000
Valmet 911	Valmet 965	VMM 2000

Prøvetrærne ble nummerert og merket etter at de var opparbeidet og stamme-  
filene fra hogstmaskinens datasystem ble overført til dataklaven via kabel.  
Stokkene ble deretter lagt slik at merkene etter tennene på lengdemålingshjulet lå  
rett opp, og systematisk kryssklavet i 45° i forhold til merkene. Diameter ble  
kryssklavet på bark for hver 50 cm på stammen. I tillegg ble stokklengder og  
toppdiameter registrert i klaven. Faktorer som barmark, snø og temperatur ble også  
registrert.

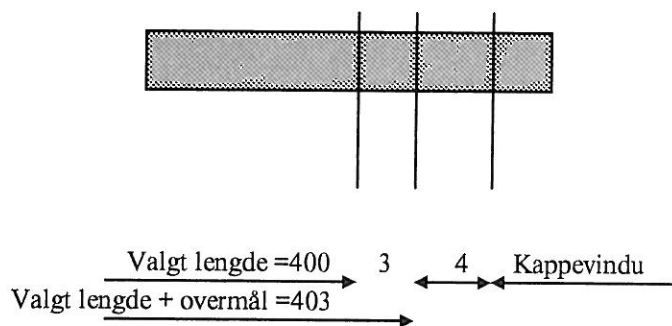
For diameter ble det registrert og kontrollmålt 512 stokker fordelt på 4447  
stammeseksjoner på 50 cm. Målingene ble utført på 11 ulike lokaliteter i granskog  
på Østlandsområdet .

For lengdemålingsundersøkelsen er maskinens registrerte kappelengde benyttet  
som sammenligningsunderlag for kontrollmålingen med målebånd. Det har derfor  
ikke vært nødvendig å ta hensyn til maskinens innstilling av overmål og kappe-  
vindu.

Overmål og kappevindu som vist i Fig. 1 utgjør de grunnleggende innstillinger  
som bestemmer tillatt lengdetoleranse for en kappet stokk. Disse verdiene har  
operatøren mulighet for selv å forandre, men det er meget viktig at han er klar over  
hva eventuelle forandringer vil medføre.

Overmål brukes for å angi (+) eller (-) toleranse i forhold til valgt lengde.

Kappevindu anvendes for å definere tillatt kappeområde fra valgt lengde +  
overmål.



Overmål = 3 cm

Kappevindu = 4 cm

Systemet tillater kapp mellom 403 og 407cm

Fig. 1. Prinsippskisse av kappelengde innstilling for ett hogstaggregat (*Timberjack 96*).



### 3.2. Volummåling på driftsnivå

For å vurdere volummålingen på hogstmaskiner sammenlignet med tømmermålingen ble ett antall entreprenører kontaktet for innsamling av data på driftsnivå. For å få inn de riktige dataene fra tømmermålingen ble denne innsamlingen koordinert via virkesselger (skogeierforeningene). Data som ble registrert var volum fordelt på sortiment og stokkantall.

## 4. Resultater

### 4.1. Diametermåling på stammenivå

Resultatet av diametermålingene er presentert som differansen mellom maskinmålte og manuelt målte verdier (klave målt).

$$\text{Differanse} = \text{maskinmålt} - \text{klavemålt}$$

Der hvor differansen er positiv har maskinen overestimert diameter. Tilsvarende er det ved negativ differanse skjedd en underestimering.

#### Kalibrering.

Timberjackaggregatene som var med i denne undersøkelsen må kalibreres i de forskjellige diameterklassene, noe som medfører større krav til oppfølging og kontroll. I nyere maskiner fra Timberjack er det også mulig å foreta en enklere kalibrering for hele måleområdet. Valmet-systemene har en diameterberegning som bygger på en lineær funksjon med en kalibrering som påvirker hele måleområdet (parallellforskyvning av kurven).

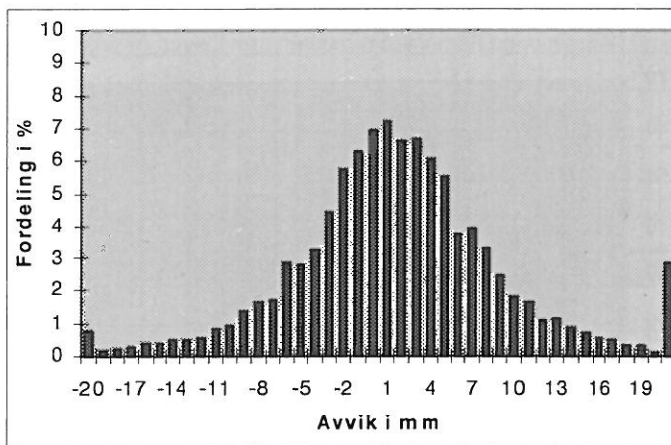


Fig. 2 Avvik mellom maskinmålt og kontrollmålt diameter fordelt på avviksklasser i mm for hele det innsamlede materialet.

### Diametere < 300 mm

Tabell 2 viser gjennomsnittlig avvik for hver enkelt maskin og for hele materialet. Det systematiske avviket for hele materialet var i underkant av 0,6 % (overestimering). På maskinnivå var imidlertid kalibreringen svak for enkelte av maskinene.

Tabell 2 Gjennomsnittlig avvik mellom maskinmålt og klavemålt i mm for stokkdiametere < 300 mm

Maskin Type	Gj.sn avvik	Gj.sn diameter	Antall obs	Maks diameter	Min diameter
Valmet 911	1,00	172,0	1565	299	59
Valmet 901	-1,40	174,2	222	300	56
Timberjack 870	0,59	158,8	741	300	67
Timberjack 1270	2,11	186,5	1406	300	54
Alle maskiner	1,00	173,0	3934	300	54

### Nøyaktighet

Presisjonen for diametermålingene blir i Norden vanligvis vurdert ut fra andelen som ligger innenfor ett avvik på  $\pm 4$  mm fra klavemålt diameter. Resultatet er vist i Fig. 3.

Resultatet som vist i Fig. 3 er noe svakere enn forventet. Essen og Sondell (1996) registrerte andelen innen  $\pm 4$  mm for 6 ulike maskiner, og fant da en variasjon fra 59-69 %, med et tilsvarende materiale med hensyn på diameter. Forskjellen mellom maskiner kommer av att kalibreringen ikke var like god for alle maskinene, og att spredningen for diametermålingen var større for maskinene med de svakeste resultatene.

Relativt standardavvik for hele materialet for diametere <300 mm var 3,7 %.

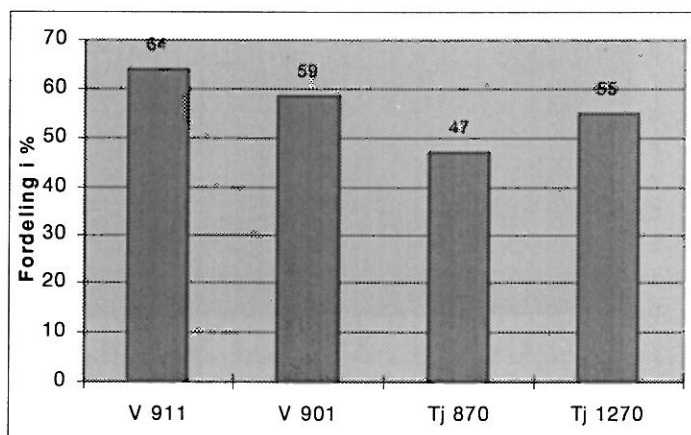


Fig. 3. % Andel av diameter målinger på stammene som ligger innenfor et avvik på  $\pm 4$  mm for diametere < 300 mm.

Tabell 3 Diametermålingenes spredning i mm for stokkdiametere &lt; 300 mm

Maskin	Standardavvik	Maks avvik	Min avvik
Valmet 911	5,0	25	-24
Valmet 901	7,70	13	-32
Timberjack 870	7,64	28	-29
Timberjack 1270	6,37	35	-17
Alle maskiner	6,42	35	-32

**Diameterer > 300 mm.**

For å vurdere aggregatenes egenskaper med hensyn til diametermåling er materialet delt i 2 klasser, over og under 300 mm. Tømmermålingen hadde tidligere et skille ved 300 mm. For diameter <300 mm hadde de 1 cm klasser og på dimensjonene > 300 mm brukte de 2 cm klasser. Store trær vil alltid være vanskeligere og måle, da en i tillegg til målefeil på grunn av stammeujevnheter, kvister og andre tilfeldige feil på stammen får inn en ekstra feil på grunn av at trærne blir så tunge at aggregatene ofte vil få problemer med å holde stammene på riktig plass i aggregatet. Dette er en feilkilde som en bare delvis kan kalibrere for, da den har en svært tilfeldig fordeling og i tillegg vil variere med førerens arbeidsmønster og innstilling av aggregatet. Tabell 4 viser at kalibreringen på maskinnivå for store diameterer ikke var tilfredsstillende, men kalibreringen var klart bedre for Valmetaggregatet som har en parallell kalibrering for alle diameterklasser. Resultatene i Tabell 4 kan ikke sammenlignes direkte mellom maskinene da datamaterialet på maskin nivå er ulikt med hensyn på diameter størrelse og fordeling. Resultater for Valmet 901 er ikke tatt med på grunn av for få målinger i dette området.

Tabell 4. Gjennomsnittlig avvik i mm mellom maskinmålt og klavemålt for diameterer &gt;300 mm.

Maskin type	Gj.sn avvik	Gj.sn diameter	Antall obs	Maks diameter	Min diameter
Valmet 911	-6	324	118	398	300
Timberjack 870	14	326	22	368	300
Timberjack 1270	13	354	367	502	300
Alle maskiner	3	328	510	502	300

Ikke overraskende viser Fig. 4 en veldig liten andel målinger innenfor +/- 4 mm for alle maskiner for diameterer over 300 mm. Spredningen på måleresultatene for diameterer >300 mm, som vist i Tabell 5, ligger også på omtrent det doble standardavviket i forhold til diameterer < 300 mm.

Relativt standardavvik for hele materialet for diameterer >300 mm var 4,9 %.

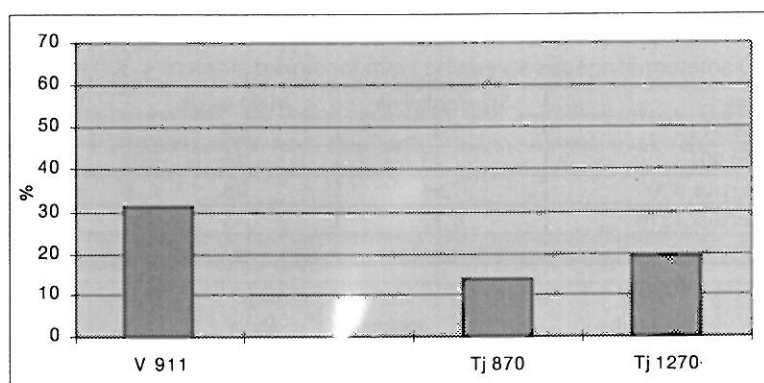


Fig. 4 Andel diameter målinger på stammene i % som ligger innenfor ett avvik på +/- 4 mm for diametere > 300 mm.

Tabell 5 Diametermålingenes spredning i mm for diametere >300 mm

Maskin	Standardavvik	Max avvik	Min avvik
Valmet 911	10	17	-40
Timberjack 870	8	26	-2
Timberjack 1270	16	74	-19
Alle maskiner	16	74	-40

#### 4.2. Lengdemåling på stokknivå.

Resultatet av lengdemålingene er presentert som differansen mellom maskin målt og manuelt målt med målebånd. Der hvor differansen er positiv har maskinen overestimert lengden. Tilsvarende ved negativ differanse har maskinen underestimert.

$$\text{Differanse} = \text{maskinmålt} - \text{kontrollmålt}$$

Tabell 6 Gjennomsnittlig avvik mellom maskinmålt og kontrollmålt lengde i cm.

Maskin type	Gj.sn. avvik	Std. Avvik	Max avvik	Min avvik	Gj.sn. lengde	antall obs.
Valmet 911	2,84	3,32	15	-4	429	212
Valmet 901	1,48	1,97	6	-2	431	23
Timberjack 870	0,33	1,84	4	-4	443	91
Timberjack 1270	-1,16	3,62	19	-15	468	217
Alle maskiner	0,87	1,41	19	-15	443	543

### Kalibrering

Gjennomsnittlig avvik i % av gjennomsnitt målelengde (stokklengde) for alle maskinene var 0,2 %, varierende fra 0,05 til 0,66 %. Resultatene fra kontrollmålingen viser at lengdekalibreringen på maskinnivå kunne vært bedre, men på grunn av førernes frykt for å kappe for korte lengder har kalibreringen vært gjennomført med for stort overmål for enkelte maskiner (Valmet 911). Det gjennomsnittlige avviket for alle maskinene er likevel svært bra med et avvik på mindre enn 1 cm. Dette sett i forhold til lengdemålingssystemenes nøyaktighet med en oppløsning på 1 cm.

### Nøyaktighet

For å kunne vurdere en hogstmaskins lengdemålingsnøyaktighet på stokknivå må en ha opplysninger om hvordan aggregatstyringen er innstilt (se Fig. 1), da en ellers vil kunne dra feilaktige konklusjoner. Lengdemålingsnøyaktigheten til maskinene er i denne undersøkelsen vurdert ut fra maskinmålt lengde og kontrollmålt lengde, og ikke i forhold til minimumslengden for hver enkelt stokk.

Andelen stokker innenfor ett avvik på  $\pm 2,5$  cm er ofte benyttet som et kvalitetskriterium for lengdemåling når en registrerer avviket som et overmål i forhold til lengdeklasser. I denne undersøkelsen er imidlertid avviket registrert som differanse mellom registrert maskinlengde og kontrollmålt lengde, og andelen innenfor  $\pm 2,5$  cm (Fig. 5) kan derfor ikke direkte sammenlignes med resultater fra Essen & Sondell (1996) eller tilsvarende undersøkelser.

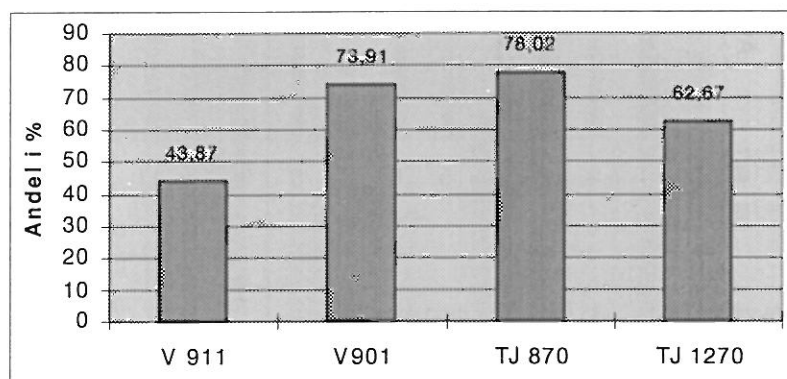


Fig. 5. Andel stokker i prosent som ble maskinmålt innen et avvik på  $\pm 2,5$  cm.



### 4.3. Volummåling på partinivå

Det å samle inn korrekte data på driftsnivå har i etterkant vist seg å være vanskelig. Dette resulterte i at vi i denne delen av undersøkelsen bare fikk data fra en maskin (Timberjack 1270), der kvaliteten på dataene var sikre.

For å få gode data på driftsnivå må selve driften og henting av virket følges opp fortløpende, slik at en får registrert hva som blir levert og hva som skogeier tar ut som ved eller til annet bruk. Det viste seg også at det i forbindelse med driftene ofte ble levert mindre kvantum som stammet fra andre hogster i skogen. Avvik som dette gjorde at en stor andel av datagrunnlaget måtte forkastes.

Etter at materialet ble gjennomgått viste det seg å være 11 drifter med 5479 m<sup>3</sup> som kunne benyttes i undersøkelsen. Gjennomsnittsstørrelsen på driftene var 456,5 m<sup>3</sup>, med en variasjon fra 136 til 1101 m<sup>3</sup>.

Resultatet for sammenligningen med tømmermålingen viste en overestimering av totalt volum på 0,7% for hogstmaskinen for de 11 driftene (Fig. 6). På driftsnivå varierte avviket mellom 0,8 % og 11,4%. På sortimentnivå ble det avdekket større forskjeller, men dette skyldes trolig en unøyaktig registrering av føreren på hogstmaskinen av kvalitet og treslag ved aptering og kapping. Avvikene var betydelige for små sortimenter

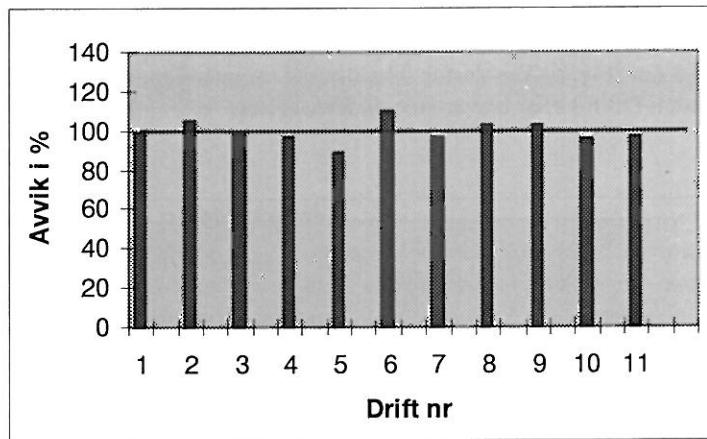


Fig. 6. Avvik på driftsnivå i forhold til innmålt.(100%)

## 5. Diskusjon

### Kalibrering

Middelavviket for diametermålingene viser at hogstagggregatene var kalibrert med relativt god nøyaktighet i utgangspunktet før undersøkelsen startet, men med noe variasjon mellom maskinene. Middelavviket for diameter over bark på 1,37 mm for hele materialet er mindre enn det middelavviket (2,1 mm) som Okstad (1981) registrerte for funksjoner som beregner dobbel barktykkelse for gran. For diametere

< 300 mm var det gjennomsnittlige middelavviket for alle maskinene 1 mm, og dette er svært lite når en i tømmermålingen ved stokkmåling måler virke i diameterklasser på 1 cm med nedslag til nedre klassegrense. I 1983 undersøkte Okstad forskjellen mellom automatmåling av diameter og klavet diameter på kjerrat ved 7 sagbruk. Denne undersøkelsen påviste en gjennomsnittlig differanse på 0,83 mm med et standardavvik på 3,55 mm, der diameteren ble registrert i vertikal retning for begge målemetodene. Dette er et resultat som er tilnærmet lik den nøyaktigheten /differansen som er registrert i denne undersøkelsen for diameterer < 300 mm (Tabell 2). Fig. 3 viser andelen av diametermålinger innenfor  $\pm 4$  mm for diameterer < 300 mm.

Den varierte fra 47-64 %. Ved å benytte de registrerte gjennomsnittlige avvikene fra Tabell 2 i en teoretisk kalibrering på maskinnivå økte andelen av målinger innen  $\pm 4$  mm med inntil 23 %. Effekten av en slik teoretisk kalibrering er vist i Fig. 7 for de enkelte maskinene. Dette viser at til tross for relativt små systematiske feil er det likevel et stort forbedrings potensiale for diametermålingene ved å forbedre kalibreringen.

Den gjennomsnittlige differanse mellom maskinmålt og kontrollmålt stokklengde med båndmål var for hele materialet på 0,87 cm, men denne differanse er ikke signifikant ( $p=0,94$ ).

For lengdemålingen viser den gjennomsnittlige middelfeilen at en for noen av maskinene under kalibreringen har vært litt for redd underestimering av stokklengde. Lengdemålingen bør kalibreres mest mulig nøyaktig, da en i programstyringen for kappingen legger inn den nødvendige sikkerheten som overmål.

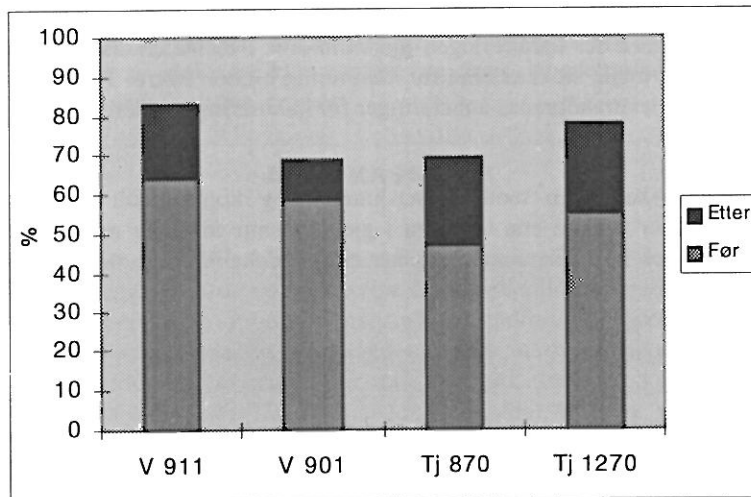


Fig. 7. Andel diameter målinger på stammene i % som ligger innenfor ett avvik på  $\pm 4$  mm for diameterer < 300 mm før og etter en teoretisk kalibrering for gjennomsnittlige diameter avvik (Tabell 2).

### *Kalibreringsrutiner*

Skogforsk i Sverige kom i 1992 (Andersson, 1992) med forslag til kalibreringsrutiner for hogstmaskiner med praktiske anvisninger og anbefalinger om nødvendig kalibreringsunderlag. De anbefalte da ca. 100 måleverdier for diameter og 40-50 for lengde. Maskinene har i den senere tiden utviklet seg i positiv retning på grunn av bedre styringssystemer og aggregatutforming og dette gjør at en kan anbefale kalibrering på grunnlag av en mindre datamengde.

**Diameter:** Resultatene fra undersøkelsen viser også at en for maskiner som er godt grunnkalibrerte kan oppnå en god målenøyaktighet ved en enkel overvåking av målesystemene ved bruk av stålrør med kjent diameter. I perioder med problemer med løs og manglende bark (sevjetiden) må en imidlertid være på vakt og eventuelt gå inn med en justering for å unngå systematiske feil på diameter målingen. I undersøkelsen er det påvist et standardavvik på 6-7 mm på avviket mellom maskinmålt og kontrollmålt for diameterer <300mm. Dersom en ønsker en nøyaktighet på kalibreringen (den systematiske feilen) på 1 mm, bør datagrunnlaget for kalibreringen være på ca 50 stokker som er kryssklavet.  $n=(s/s_m)^2 = n=(7/1)^2$ . hvor  $n=antall$ ,  $S=std.avvik$ ,  $S_m=std.avvik\ på\ middeltallet$ . For diameterer >300 mm ble det påvist et større standardavvik, og dette medfører at datagrunnlaget for kalibrering må økes betraktelig dersom en ønsker den samme nøyaktigheten i dette området. I praksis vil ofte frekvensen av store stokker være relativt lav og det kan derfor anbefales å redusere noe på kravet til nøyaktighet for at en skal få en kalibreringsrutine som lar seg gjennomføre. Dersom en ønsker en nøyaktighet på kalibreringen på 3 mm for store dimensjoner (over 300 mm), vil dette kreve at en kryssklaver ca 30 stokker før en kalibrerer de store diameterklassene. For maskiner med målesystemer der kalibreringen gjennomføres i diameterklasser/intervaller vil det nødvendige totale stokkantalet for kalibrering bli noe større. Ta imidlertid alltid utgangspunkt i leverandørens anbefalinger for kalibreringsrutiner.

### **Lengde:**

Den systematiske feilen mellom maskinmålt og kontrollmålt lengde i denne undersøkelsen er mindre enn 0,87 cm i gjennomsnitt for alle maskinene, med et standardavvik på 1,41. Dersom en ønsker en lengdekalibrering med en nøyaktighet på 0,5 cm, bør det kontrollmåles 10-15 stokker før en justerer lengdemålingen.

Som grunnlag for kalibrering og som daglig produksjonskontroll kan det anbefales å daglig registrere diameter og lengde på stokker fra 1-2 trær av ulik størrelse (et lite og et stort). Dette vil sikre ett representativt kalibreringsgrunnlag og en vil samtidig avdekke feilkilder som oppstår på grunn av tekniske feil relativt raskt. I vedlegget er det vist et eksempel på skjema som kan benyttes til dette arbeidet.

### Overmål

Ved grunninnstillingen av styringssystemet for hogstaggreatene kan det legges inn en valgfri parameter for overmål, som vist i Fig. 1. Det er vanlig å benytte et overmål på 3 cm. I tillegg kommer det intervallet som en tillater kapp innefor (kappevindu). Summen av overmål og kappevindu gjør at en i praksis vil få ett overmål på stokkene som er summen av:

$$\text{Overmål} = \text{Programmert overmål} + \text{ca } 50 \% \text{ av kappevindu intervallet} + (-) \text{ den systematiske kalibreringsfeilen}$$

Tidligere undersøkelse av overmål i forhold til lengdemodulgrense. Essen og Sondell (1996) har registrert gjennomsnittlige overmål på 3,3 til 5,6 cm. De registrerte i samme undersøkelse at mellom 1-2 % av stokkene som ble kontrollmålt var kappet for korte i forhold til lengdemodulgrensen.

Hvor stort kappevindu en skal benytte blir en avveining mellom kravet til nøyaktighet og produktivitet, da en med et svært smalt kappevindu vil få en noe lengre innstillingstid for aggregatet før kapping.

Fig. 8 viser resultatene fra lengdemålingene på stokknivå for alle maskinene, og viser at ca 12 % av lengdemålingene hadde et underestimat større enn 3 cm. I dette materialet er det imidlertid ikke skilt mellom automatkapp og tvangskapping og heller ikke mellom massevirke og skurtømmerstokker. Dette gjør det umulig å beregne antall stokker som er kappet for kort i forhold til modulgrense. Dersom lengdekalibreringen gjennomføres på en korrekt måte og følges opp med en daglig kontroll på stokker fra ett tre, kan det utfra denne og tidligere undersøkelser anbefales å benytte et overmål på 3 cm i grunninnstillingen for aggregatstyringen. Bruk av større overmål eller en systematisk positiv feilkalibrering kan medføre at en relativ stor andel av stokkene kan nærme seg neste lengdemodulgrense og kan dermed oppfattes som for korte stokker.

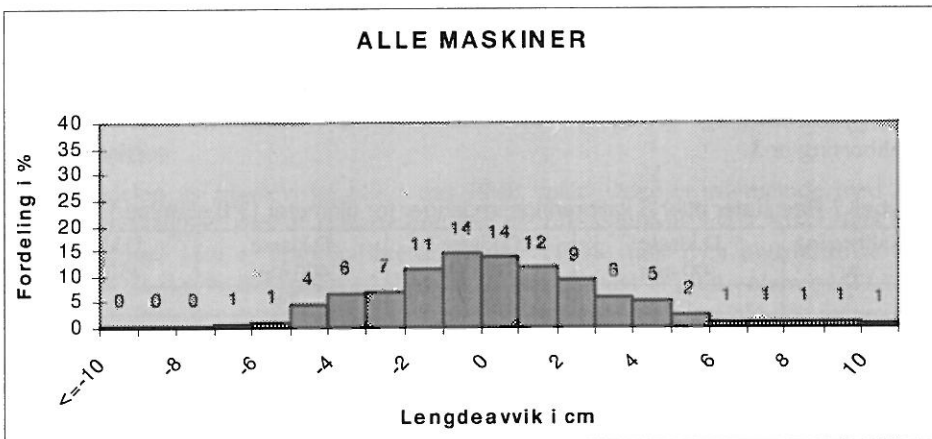


Fig. 8. Lengdeavvik i cm for hele materialet fordelt på cm klasser.

### Målefeil-diameter

Differansen mellom maskinmålt og klavemålt diameter for diameterer <300 mm er ikke signifikant ( $p=0,86$ ). Sammenlignet med tidligere undersøkelser med bruk av måleramme på sagbruk (Okstad 1983) og klave er spredningen på differansen større, med et standardavvik på 6,42 mm sammenlignet med 3,55 mm. For diameterer >300 mm er forskjellen mellom maskinmålt og klavemålt diameter signifikant forskjellig ( $p=0,05$ ), med et gjennomsnittlig avvik på 3 mm.

Undersøkelsen viser at det er sammenheng mellom diameteravvik og diameter på stammen. Dette har flere årsaker. Aggregater beregnet for mindre dimensjoner har problemer med å holde stammen ved store dimensjoner, noe som fører til at knivene åpner seg og viser feil diameter. En annen årsak er utformingen av kvisteknivene. Det er vanskelig å konstruere en kniv som skal kviste og måle diameter like nøyaktig enten diameteren er 5 eller 50 cm. Større avvik ved store dimensjoner kan også skyldes dårlig kalibreringsrutiner. Noen maskiner, som for eksempel Timberjack, kalibreres i diameterklasser og erfaringer viser at de store diameterklassene som ikke er i bruk så ofte er dårlig kalibrert på grunn av for lite datamateriale ved kalibreringen. I 1988 undersøkte Okstad ovaliteten på stokker av massevirke, og påviste da en markert økning av stokkenes ovalitet uttrykt som grunnflatekvotient med økende diameter. Grunnflatekvotienten ble der beregnet som forholdet mellom grunnflaten for største og minste diameter. Den gjennomsnittlige grunnflatekvotienten for materialet fra 1988 ble beregnet til 0,879, med en variasjon fra 0,637 til 0,986. For å kunne oppnå en nøyaktig måling av store diameterer vil det derfor være svært viktig at en får utført en tilnærmet riktig kryssmåling, og da fortrinnsvis på en måte som registrerer største og minste verdi. Aggregatene måler slik de nå er konstruert på fallende kant(er), men i løpet av fremmingen har en i praksis registrert at stammen har en tendens til å legge seg med den flate siden mot aggregatets rygg.

På en av maskinene ble det utført en kalibreringstest, Tabell 7, for å se på hvor raskt en maskin kan kalibreres og hva som er nødvendig datagrunnlag for å få de store diameterklassene på et akseptabelt nivå. Det ble kalibrert i 3 omganger, for ikke å ta for mye hver gang. Hver kalibrering var basert på 6 stammer. Resultatet viser at det var relativt enkelt å forbedre kalibreringen for de store diameterklassene. Det gjennomsnittlige avviket for store diameterer ble redusert med hele 60 % etter kalibrering nr 3.

Tabell 7 Resultater etter 3 kalibreringsomganger for diameter (3\*6 stammer).

Kalibrering nr	D.klasse 300 mm	D.klasse 350 mm	D.klasse 400 mm	D.klasse 450 mm
1	-9	-12	-24	
2	0	-6	-13	-28
3	0	+4	-7	-11



### **Målenøyaktighet/apteringsgrad.**

For å beregne en optimal aptering beregner hogstmaskinene en prognose for stammeprofilen etter hvert som treet opparbeides. Kvaliteten av lengde og diametermålingen vil derfor direkte påvirke nøyaktigheten av prognosen, og optimaliseringsgraden som oppnås.

For diametermålingen viste kontrollmålingen at 55 % av målingene var innenfor et intervall på  $\pm 4$  mm. Essen og Sondell (1996) beregnet at målefeil på dette nivået reduserte apteringsgraden med ca 1 % på feilfrie trær med kjente kvalitetsskiller. Utnyttelsen av apteringssystemene ble undersøkt av Lileng (1997), og han påviste da at en på ca 70 % av stammene måtte overstyre systemene på grunn av virkesfeil og kvalitetsskiller. Ca 26 % av stammene kunne opparbeides automatisk. Effekten av målefeil på det nivået som er påvist i denne undersøkelsen vil derfor bare kunne påvirke den totale apteringsgraden marginalt på driftsnivå.

### **Hogstmaskinmålinger som oppgjørsgrunnlag mellom kjøper og selger**

#### **Skurtømmer**

Tømmermålingen baserer etter dagens system oppgjøret for skurtømmer på registrering av stokkene i dm klasser for lengde, og i 1 cm klasser for diameter. Ved å sammenligne maskindata og kontrollmålinger for diameter der maskinen registrerer diameter etter samme kriterier som gjøres av tømmermålingen viser denne undersøkelsen at 57 % av diameterregistreringene ble registrert i lik klasse med hensyn til diameter. 97% av diametermålingene var innenfor et intervall på 0-1 cm. Dette gjelder diametere  $< 300$  mm. Dersom det blir innført et system som sikrer dataregistreringene og kontrollrutinene for kalibreringen av hogstmaskinene vil dataene for diameter og lengde på stokknivå kunne erstatte dagens tømmermåling uten reduksjon av målenøyaktigheten for sagtømmer. Det er i denne undersøkelsen ikke sett på hvordan kvalitetsfastsettingen har blitt gjort eller hvilke rutiner som måtte innføres for å løse denne svært viktige delen av tømmermålingen.

#### **Massevirke**

Hovedandelen av massevirke blir i dag FMB målt. Dette er en metode med en volum nøyaktighet som er svakere enn den en ville oppnådd ved å bruke data fra hogstmaskiner som er godt kalibrerte. Møller (1998) fant i en undersøkelse en differanse på 0,6 % for volum på data fra 22 drifter med et total volum på 27.414 m<sup>3</sup>. På driftsnivå i denne undersøkelsen med data fra 11 drifter ble det funnet en differanse på 0,38 % av et totalt volum på 5479 m<sup>3</sup>. Det som gjenstår å løse er datasikring og kontrollrutiner som sikrer at det innmålte virket virkelig blir levert til kjøper.

### **Aggregat innstilling/sliping av kvistekniver**

Riktig sliping av knivene og korrekt kvisteknivstrykk er svært viktig for å unngå systematiske feil ved diametermålingene. Knivenes oppgave er å kviste treet og holde stammen i riktig posisjon i aggregatet. Ved for høyt kvisteknivstrykk eller for aggressiv egg på kvisteknivene vil en stor del av barken bli skavet av og en får ukorrekte diameterberegninger fra maskinen, da den forutsetter måling på bark. Denne typen feil kan det til en viss grad kalibreres for, men det øker kravet til kalibreringsgrunnlag på grunn av større variasjon mellom maskinmålt og kontrollmålt diameter. Ved for lite kvisteknivstrykk vil en kunne få svært varierende måleresultater for store diametere på grunn av at stammen ikke ligger inntil aggregatets rygg under opparbeiding. Denne typen feilkilde kan en også kalibrere for, men det vil bli en relativ stor spredning på diametermålingene, og dermed ekstra krevende å kalibrere. Korrekt innstilling og sliping av kvistekniver vil også i tillegg til å øke målenøyaktigheten gjøre at aggregatet går lett med mindre effektbehov, større hastighet og høyere produksjon.

### **6. Litteratur**

- Andersson, B. 1992. Kalibrering av mæteutrustning på skørdare. Resultat nr 14/92 fra Skogforsk. 4 pp.
- Essen, I., Sondell, J. 1996. Apteringsdatortest 1995-studier av sex apteringsystem. Redogørelse fra Skogforsk nr 4/96.
- Lileng, J.K. 1997. Utnyttelsesgraden av data- assistert aptering og kapping med hogstmaskin. Hovedoppgave ved inst for skogfag. 52 pp.
- Møller, J. 1998. Virkesmatning med skørdare. Resultat nr 16/1998. 4 pp.
- Okstad, T. 1981. Barktykkelse hos skurtømmer. 1 Gran. Rapport fra Norsk institutt for skogforskning nr 3/81. 33 pp.
- Okstad, T. 1983. Måling av diameter på skurtømmer. Rapport fra Norsk institutt for skogforskning nr 6/83. 22 pp.
- Okstad, T. 1988. Virkesegenskaper hos massevirke av gran fra midt-Norge. Rapport fra Norsk institutt for skogforskning nr 9/88. 28 pp.
- Timberjack 96. Timberjack 3000 Instruksjonsbok 4/96.

## Vedlegg

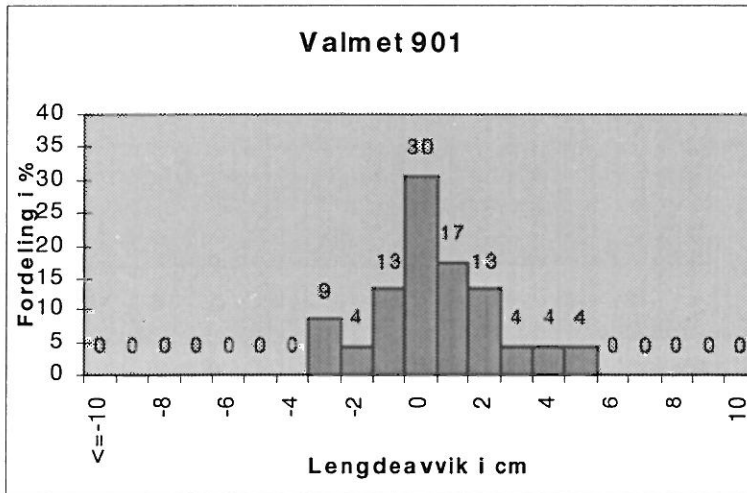


Fig. 9. Prosentvis fordeling av lengdeavvik på Timberjack 901.

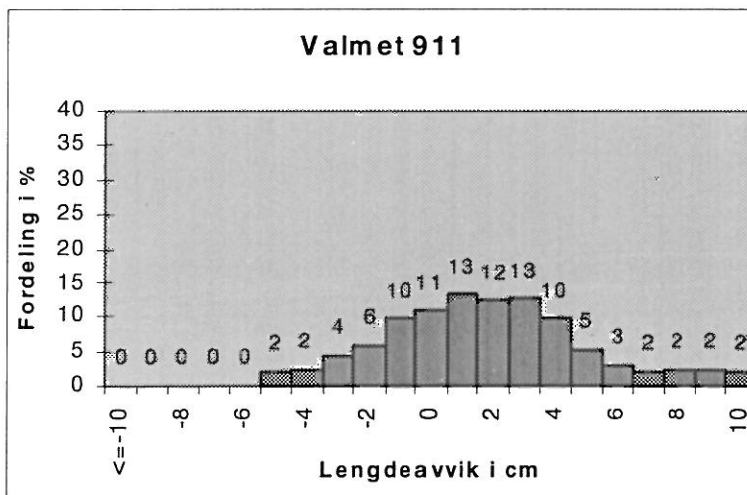


Fig. 10. Prosentvis fordeling av lengdeavvik på Timberjack 911.

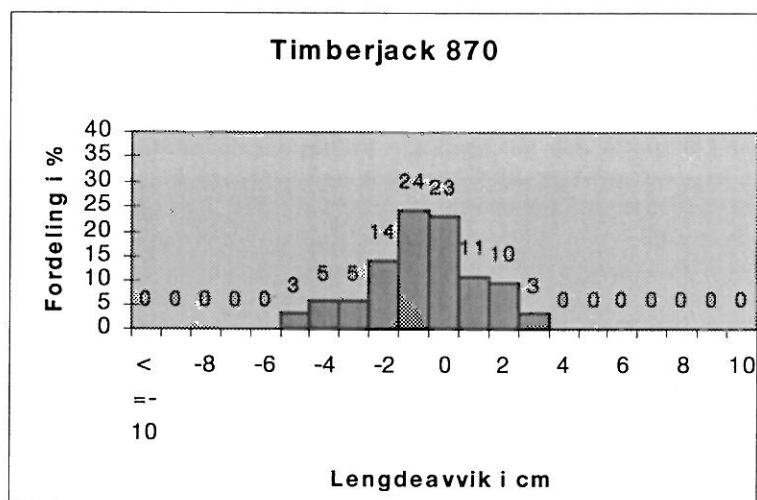


Fig. 11. Prosentvis fordeling av lengdeavvik på Timberjack 870.

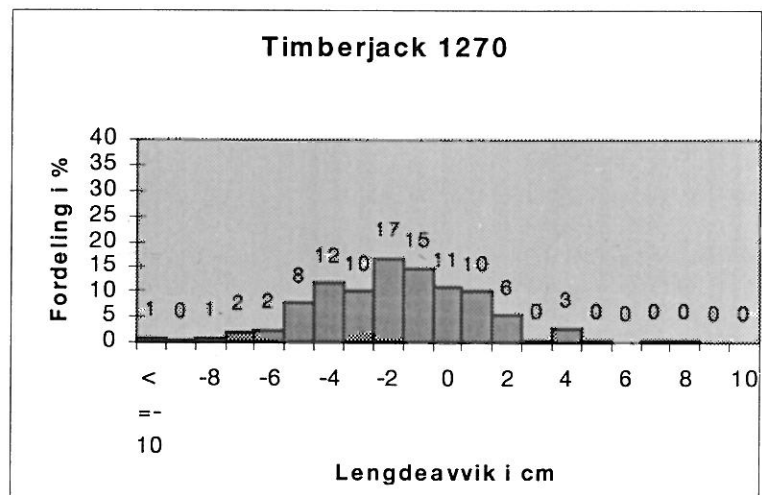


Fig. 12. Prosentvis fordeling av lengdeavvik på Timberjack 1270.

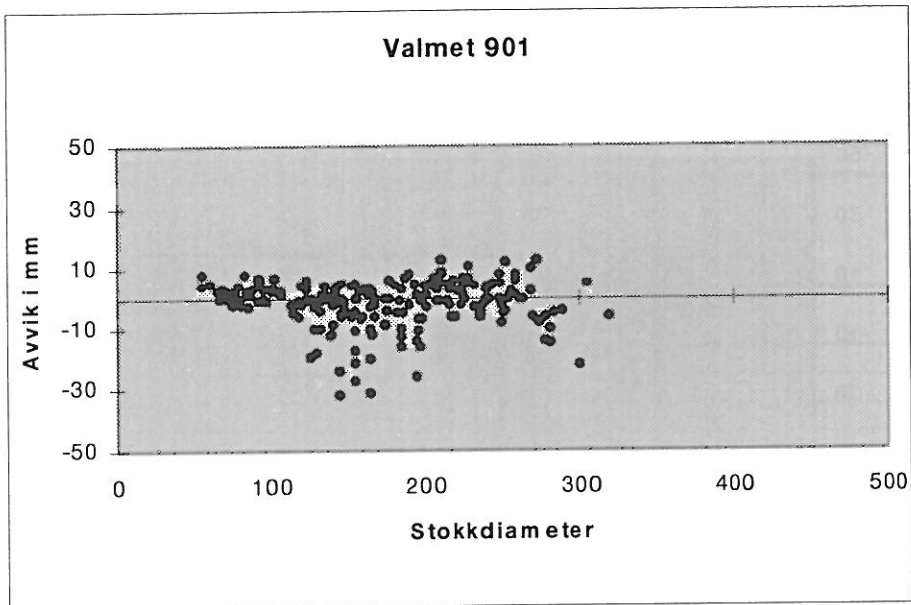


Fig. 13. Diameteravvik i forhold til stokkdiameter i mm for Valmet 901.

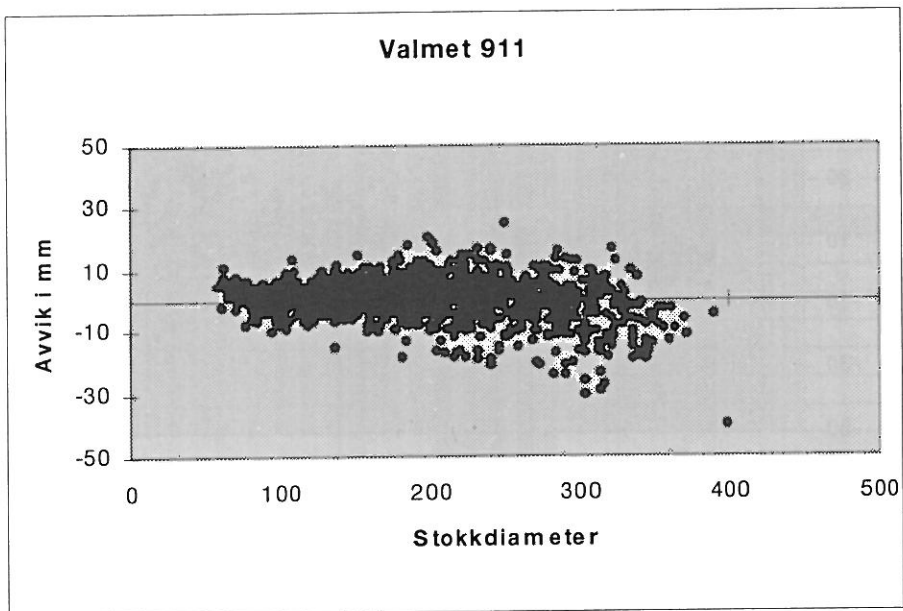


Fig. 14. Diameteravvik i forhold til stokkdiameter i mm for Valmet 911.



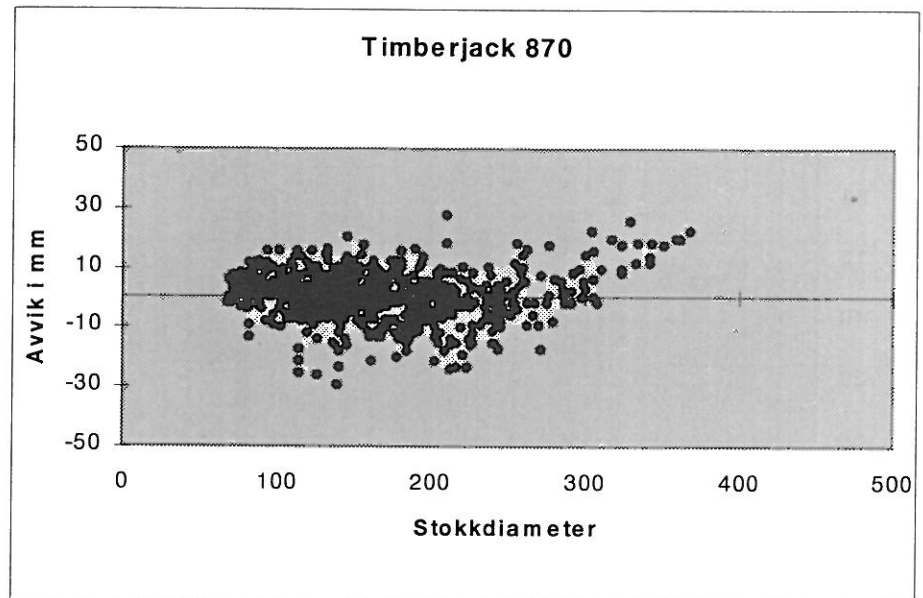


Fig. 15. Diameteravvik i forhold til stokkdiameter i mm for Timberjack 870.

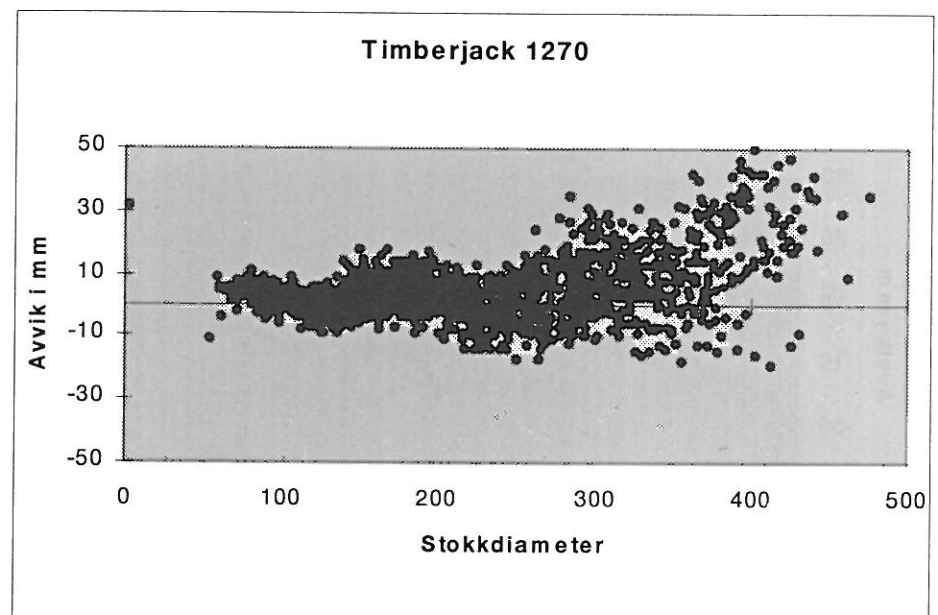


Fig. 16. Diameteravvik i forhold til stokkdiameter i mm for Timberjack 1270.



## Skjema 2. Kalibrering av diameter.

## DIAMETER OPPFØLGING

klasse	Dato	målt dia	mask dia	differanse	klasse	Dato	målt dia	mask dia	differanse	Anm	
50 - 100					250 - 300						
gj.snitt avvik = sum.diff./antall					gj.snitt avvik = sum.diff./antall						
100 - 150					300 - 350						
gj.snitt avvik = sum.diff./antall					gj.snitt avvik = sum.diff./antall						
150 - 200					350 - 400						
gj.snitt avvik = sum.diff./antall					gj.snitt avvik = sum.diff./antall						
200 - 250					400 - 450						
gj.snitt avvik = sum.diff./antall					gj.snitt avvik = sum.diff./antall						

Differanse = - når målt verdi er mindre enn maskinens registrering  
Differanse = + når målt verdi er større enn maskinens registrering

Rapport fra skogforskningen

## Rapport fra skogforskningen

### Utkommet i 1999:

- 1/99: Per Otto Flæte og Bohumil Kucera: Virkesegenskaper til mellomeuropeiske og norske granprovenienser plantet i Østfold.
- 2/99: Stein Magnesen: To proveniensforsøk med engelmansgran på Vestlandet.
- 3/99: Halvor Solheim: Sporespredning hos rotkjuke (*Heterobasidion annosum*) i Rana og Saltdal.