

En vurdering av eksisterende diameter- og høydefordelingsmodeller



Tron Eid

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 (Skogforsk) 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 Skogforsk.

Bestilling av abonnement og enkelt-eksemplar av seriene skjer til Skogforsk.

Redaktør for serien er avd.sjef Bjørn R. Langerud, Skogforsk

En forfatterinstruks er tatt inn på siste omslagsside.

Layout og sats: Karin Westereng, Skogforsk

ISBN 82-8083-010-03
ISSN 0803-2858

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

Tlf.: 64 94 90 00
Fax: 64 94 29 80
E-post: skogforsk@skogforsk.no
Internett: <http://www.skogforsk.no/>

Forsiden: Gran plantet under skjerm av furu.
Fra Oppdal.
Foto: Petter Nilsen

En vurdering av eksisterende diameter- og høydefordelingsmodeller

Tron Eid
Institutt for skogfag
Norges landbrukshøgskole
Boks 5044,
NO-1432 Ås



Forord

Denne rapporten er en del av prosjektet "Tester av diameter- og høydefordelingsfunksjoner" som er finansiert av Utviklingsfondet for skogbruket. Terje Gobakken (NLH) takkes for hjelp til beregninger og for gjennomlesing av manus.

Ås, oktober 2002

Tron Eid

Utdrag

EID, T. 2002. En vurdering av eksisterende diameter- og høydefordelingsmodeller. Rapport fra skogforskningen. 4/02:1-25.

Det er tidligere utviklet diameter- og høydefordelingsmodeller for ensaldret gran- og furuskog. Hensikten med det foreliggende arbeidet har vært å teste disse modellene på bestand med flere treslag, og som har ulik grad av variasjon med hensyn på trærnes størrelse og alder. Data fra 177 bestand i hogstklasse IV-V ble brukt i testene. Testingen av modellene ble gjort både ved direkte å vurdere de predikerte diameterfordelingene, og ved å vurdere verdiene for volum, bruttoverdi, driftskostnader og rånetto som ble avledet fra de predikerte fordelingene. Testene viste at modellene vil kunne gi betydelige systematiske og tilfeldige feil. Generelt er det derfor stor usikkerhet knyttet til bruk av modellene. Modellene anbefales ikke brukt som grunnlag for å beskrive starttilstanden ved framskrivninger i fleraldret skog. For slik skog bør det utvikles egne modeller. Modellene anbefales heller ikke brukt for verdsetting ved ekspropriasjon av skog. Modellene bør kunne brukes i skogbruksplansammenheng for å beregne dimensjonsfordelinger som grunnlag for vurderinger av tømmerkvalitet/sortimentsfordeling, og i prognoser der hensikten er å sammenligne ulike alternativer for skogbehandling. Dette betinger imidlertid at en gjør en klassifisering i bestand i form av tynnet/ikke tynnet og/eller fleraldret/ensaldret slik at modellene brukes under skogforhold mest mulig lik det de er utviklet for.

Nøkkelord: diameterfordeling, treantall, bruttoverdi, driftskostnader, ensaldrede- og fleraldrede bestand

Rapport fra skogforskningen

Innhold

1. Innledning.....	4
2. Materiale og beregninger.....	4
2.1. Testmaterialet.....	4
2.2. Beregning av diameter- og høydefordelinger.....	6
2.3. Testing av diameter- og høydefordelinger.....	7
3. Resultater.....	8
3.1. Diameterfordeling og volum.....	8
3.2. Bruttoverdi, driftskostnader og rånetto.....	13
4. Diskusjon.....	19
4.1. Sammenligninger av predikerte og observerte fordelinger.....	19
4.2. Bruk av modellene.....	21
5. Konklusjon.....	23
Litteratur.....	23

1. Innledning

For å kunne gjøre realistiske biologiske framskrivninger for ulike typer gjennomhogster i fleraldrede bestand må en ha *enkelttremodeller* for rekruttering, tilvekst og avgang. Deler av et slikt modellapparat er nå utviklet (Eid & Tuhus 2001, Nilsen 2001, Øyen & Andreassen 2001). Slike modeller krever imidlertid opplysninger om treslag, diameter og høyde for *enkeltrær*. Opplysninger om enkeltrær er også viktig for økonomiske beregninger i tradisjonelle prognoser (bruttoverdi, driftskostnader), og for kunne gi bestandsvise opplysninger om dimensjonsfordelinger som grunnlag for vurderinger av sortimentsfordeling/tømmerkvalitet i en skogbruksplan.

Fra prøveflatetakster med klavinger og høydemålinger på prøvetrær (eksempevis Landsskogtakseringens prøveflater eller prøveflatene i en områdetakst), vil en ha informasjon tilgjengelig som er god nok til å bruke i prognoser med modeller for enkeltrær, og som også vil kunne egne seg i ulike økonomiske beregninger. I vanlige bestandstakster i skogbruksplanlegginga registreres imidlertid ikke diameter for enkeltrær. Dette betyr at opplysninger om diameterfordelingen i et bestand sjelden foreligger.

En *kunne* tenke seg at det ble gjennomført systematiske prøveflatetakster med klaving og høydemålinger *innen* bestand, enten for alle bestand eller for bestand av spesiell interesse, for å skaffe nødvendig informasjon til veie. Med eksisterende kostnadsrammer i skogbruksplanlegginga er det imidlertid neppe aktuelt i noe særlig stort omfang å gjennomføre slike registreringer. Dette betyr at en må ha et opplegg der en kan *predikere* diameter- og høydefordelinger ut fra bestandsvariabler som allerede er registrert.

Det er tidligere utviklet diameter- og høydefordelingsmodeller for *ensaldret* furu- og granskog basert på data fra Skogforsk's eksperimentelle prøveflater (Mønness 1982, Holte 1993). En vet imidlertid ikke hvor godt disse modellene kan beskrive diameter- og høydefordelinger i det spekter av bestandsstrukturer som finnes i ordinære bestand her i landet. Hensikten med det foreliggende arbeidet har derfor vært å teste disse modellene på bestand med blanding av flere treslag, og som har ulik grad av variasjon med hensyn på trærnes størrelse og alder. Testingen av modellene ble gjort både ved direkte å vurdere de predikerte diameterfordelingene, og ved å vurdere de verdiene for volum, bruttoverdi, driftskostnader og rånetto i bestand som ble avledet fra de predikerte diameter- og høydefordelingene.

2. Materiale og beregninger

2.1. Testmaterialet

Testmaterialet er hentet fra 177 bestand i hogstklasse IV og V (Tabell 1 og 2). Materialet er samlet inn i forbindelse med tidligere gjennomførte undersøkelser av nøyaktigheten for data i skogbruksplaner. Utvalget av bestand innen hvert av områdene er gjort tilfeldig. I den grad områdene er representative, kan en derfor gå ut fra at de 177 bestandene dekker store deler av de ulike typer bestand og bestandsstrukturer som finnes i norske skoger.

Tabell 1. Testmaterialet fordelt på områder. Gjennomsnitt for ulike variabler.

Område	Antall obs.	Bonitet H40 (m)	Alder (år)	Volum (m ³ pr. ha)	Andel gran, furu og lauv (%)			Tre-antall (pr.ha)	Middel-høyde (m)	Middel-diameter (cm)
					G	F	L			
Enebakk	40	11,9	94	126	49	42	9	537	16,3	20,8
Larvik	14	16,4	81	179	72	15	13	565	19,8	22,6
Gjøvik	8	16,7	72	276	92	5	3	834	19,6	22,9
Birkenes	12	11,1	102	149	23	69	8	455	17,2	24,8
Elverum	20	14,6	95	216	22	78	0	792	19,6	22,0
Grue	11	11,7	97	185	72	25	3	861	16,7	20,0
Våler	40	13,7	104	190	54	38	8	722	18,1	21,2
Ås	32	18,3	66	231	57	23	20	768	19,4	22,2
Alle	177	14,3	90	186	52	39	9	680	18,2	21,7

Tabell 2. Testmaterialet. Gjennomsnitt, minimum og maksimum for bestand, og standardavvik mellom flater innen bestand.

Variabel	Gjennom-snitt	Min.	Maks.	Standardavvik mellom flater innen bestand		
				Gjennom-snitt	Min.	Maks.
Areal (ha)	1,75	0,31	7,90	-	-	-
Bonitet (m)	14,3	7,4	24,1	2,2	0,4	4,9
Alder (år)	90	40	152	21	2	53
Volum (m ³ pr. ha)	186	43	458	90	25	215
Volumandel gran (%)	52	0	100	-	-	-
Volumandel furu (%)	39	0	100	-	-	-
Volumandel lauv (%)	9	0	66	-	-	-
Grunnflate (m ² pr. ha)	24,3	8,0	42,4	8,6	3,2	20,6
Treantall (pr. ha)	680	233	1520	245	103	1163
Middel-høyde (m)	18,2	12,6	24,3	-	-	-
Middeldiameter (cm)	21,7	15,9	31,4	-	-	-

Materialet ble samlet inn gjennom systematiske prøveflatetakster innen bestand. Totalt antall prøveflater var 4084, med gjennomsnittlig, minimum og maksimum antall flater pr. bestand på henholdsvis 17,3, 8 og 33. Prøveflatestørrelsen var 200 m². Alle trær med diameter større enn 10 cm ble klavet. Grunnflate og treantall pr. ha ble basert på de klavede trærne, og beregnet som gjennomsnitt av alle flater i et bestand. Prøvetrær (totalt 9282 eller 39,3 i gjennomsnitt pr. bestand) ble tatt ut med et relaskop med faktor 6. Grunnflateveid middelhøyde ble beregnet som gjennomsnittet av alle prøvetrærne i et bestand. Volumet under bark (alle volumtall i det foreliggende arbeidet er under bark) ble beregnet diameterklassevis ut fra middeldiameter og middelhøyde i hver diameterklasse, og volumfunksjoner for enkelttrær (Braastad 1966, Brantseg 1967, Vestjordet 1967). For diameterklasser uten prøve-trær ble høyden bestemt ved hjelp av høydekurver (Eid & Fitje 1993). Volumet på en prøveflate ble bestemt ved å summere over alle treslag og diameterklasser, og volum under bark pr. ha ble beregnet som gjennomsnittet av alle flatene innen et

bestand. Henholdsvis 99, 67 og 13 bestand hadde gran, furu og lauv som hovedtreslag (treslag med størst volumandel). Grunnflatemiddeldiameter ble beregnet direkte ut fra grunnflate og treantall.

Bonitet ble bestemt på annenhver prøveflate (nr. 1, 3, 5, osv.) ved høyde/aldersmålinger. Alder ble også bestemt på annenhver prøveflate (nr. 2, 4, 6, osv.) ved å måle brysthøydealder på det første treet som gikk med i relaskopet. Bonitet og alder for hvert bestand ble beregnet som gjennomsnittet av alle prøveflatene.

2.2. Beregning av diameter- og høydefordelinger

Mønness (1982) utviklet en diameterfordelingsmodell for ensaldrede, rene furu-bestand basert på Johnsons System B-fordeling (J-Sb) (Johnson 1949). Modellene ble laget ut fra 620 prøveflater og testet mot 263 prøveflater, alle fra Skogforsk's base av permanente prøveflater. Det ble laget separate modeller for selve tynningen og for tilstanden etter tynningen. Uavhengige variabler i diameterfordelingsmodellene var grunnflatemiddeldiameter, treantall pr. ha og bonitet. I tillegg ble det utviklet høydekurver for å kunne bestemme høyden i de ulike diameterklassene. Høydekurvene ble bestemt på grunnlag av de spesifikt predikerte diameterfordelingene, og variablene grunnflateveid middelhøyde og overhøyde.

Holte (1993) utviklet tre typer diameterfordelingsmodeller for ensaldrede, rene granbestand; modeller basert på Weibullfunksjoner, modeller basert på J-Sb-fordeling og lineære logistiske modeller. Modellene ble estimert ut fra 349 prøveflater, og testet mot 232 prøveflater fra Skogforsk's base av permanente prøveflater. Også her ble det utviklet separate modeller for selve tynningen og for tilstanden etter tynningen, med grunnflatemiddeldiameter, treantall pr. ha og bonitet som uavhengige variabler. Det ble konkludert med at forskjellene mellom de ulike typene fordelingsmodeller når det gjaldt nøyaktighet var liten. Det ble ikke utviklet egne høydekurver for gran.

For å predikere diameter- og høydefordelinger i testmaterialet ble det brukt et dataprogram utviklet av Knut Blingsmo. Dette programmet er også brukt som rutine i Bestprog (Blingsmo & Veidahl 1994a). Fordi modeller basert på Weibullfunksjoner og lineære logistisk modeller bare er utviklet for gran, ble alle beregningene basert på J-Sb-modellene. I bestand med gran og furu som hovedtreslag ble derfor diameterfordelingene predikert ut fra J-Sb-modellene til henholdsvis Holte (1993) og Mønness (1982). Det er ikke utviklet diameter- eller høydefordelingsmodeller for lauv. For bestand med hovedtreslag lauv, brukte en diameterfordelingsmodellene for furu. Høydekurvene for furu utviklet av Mønness (1982), ble i tillegg til i furubestand, også brukt i gran- og lauvbestand.

Diameterfordelingsmodellene beregner treantall pr. ha i hver diameterklasse, og summen av predikert treantall over alle diameterklasser er lik det treantallet pr. ha som ble brukt som input. Fordi høydene i høydefordelingsmodellen blir bestemt på grunnlag av den spesifikt predikerte diameterfordelingen, vil grunnflateveid middelhøyde for den predikerte høydefordelingen være lik den grunnflateveide middelhøyden som blir brukt som input.

2.3. Testing av diameter- og høydefordelinger

For en direkte vurdering av diameterfordelingene ble det brukt ulike mål som beskriver differanser mellom predikert og observert treantall. Som *ett* mål ble det beregnet en feilindeks der *absoluttverdien* av alle differansene ble summert over diameterklasser. Lignende feilindekser er tidligere brukt av Reynolds et al. (1988) og Holte (1993). I det foreliggende arbeidet ble feilindeksen (FI), uttrykt i treantall pr. ha, og den relative feilindeksen (RFI), uttrykt i prosent, beregnet på følgende måte;

$$FI = \sum_{j=1}^k |n_{jp} - n_{jo}|, \text{ og } RFI = (FI / N) * 100,$$

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

Differanser mellom predikert og observert treantall pr. ha for 5 ulike diameterklasser ($d < 14$ cm, $14 \text{ cm} \leq d < 20$ cm, $20 \text{ cm} \leq d < 26$ cm, $26 \text{ cm} \leq d < 32$ cm og $d > 32$ cm) ble også beregnet.

I de indirekte vurderingene av verdiene for volum (pr. ha), bruttoverdi (kr pr. m^3), driftskostnader (kr pr. m^3) og rånetto (kr pr. m^3 og kr pr. ha), ble alle verdier beregnet diameterklassevis ut fra både de predikerte diameter- og høydefordelingene, og ut fra observerte fordelinger. Volumberegningene ble gjort med enkelttrefunksjoner for gran, furu og bjørk (Vestjordet 1967, Brantseg 1967, Braastad 1966). Bruttoverdien var basert på prisfunksjoner utviklet av Blingsmo & Veidahl (1994b). Uavhengige variabler i disse funksjonene er diameter og høyde for enkelttrær. For diameterklasse 15 cm og mindre ble det forutsatt at alle trær gikk til massevirke (fast m^3 -pris). Det ble også forutsatt at alt lauv gikk til massevirke. Hogstkostnader var basert på en prestasjonsfunksjon utviklet av Dale et al. (1993). Denne funksjonen har treantall pr. ha før uttak, uttaksprosent (satt til 100%) og volum for enkelttrær som uavhengige variabler. Kjørekostnadene var basert på en funksjon utviklet av Dale & Stamm (1994). Uavhengige variabler i denne funksjonen er driftsveglengde (satt til 300 m), lasstørrelse (satt til 11 m^3) og uttak i m^3 pr. ha. Rånetto i kr pr. m^3 ble beregnet som differansen mellom bruttoverdi (kr pr. m^3) og driftskostnad (kr pr. m^3). Rånetto i kr pr. ha ble beregnet ved å multiplisere volum i bestandet (pr. ha) med rånetto (kr pr. m^3) i bestandet.

Gjennomsnittlige differanser mellom volum, bruttoverdi, driftskostnader og rånetto basert på predikerte fordelinger og på observerte fordelinger ble beregnet for alle bestand eller for grupper av bestand (for eksempel bestand i ulike bonitetsklasser). La D_i være differansen mellom bruttoverdi, driftskostnad og rånetto basert på predikerte 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. I de tilfellene der datamaterialet ble delt inn i l grupper, ble l tester gjennomført samtidig. For å kontrollere "den totale Type 1-feilen", ble det brukt Bonferroni t -tester (Miller 1981). Det betyr at signifikansnivået for hver av de l testene var lik $\alpha/2l$.

3. Resultater

3.1. Diameterfordeling og volum

Tabell 3 viser at i gjennomsnitt for alle 177 bestand er feilindeksen (FI, summerte absoluttverdier for avviket mellom predikert og observert treantall pr. ha over alle diameterklasser) 412 trær pr. ha. Dette tilsvarer 60,6% av gjennomsnittlig observert treantall pr. ha (RFI). Den laveste feilindeksen for noe enkeltbestand (15,6%) ble funnet for bestand nr. 7 i Elverum, mens den høyeste (134,6%) ble funnet for bestand nr. 182 i Ås (se Figur 1). Det framgår videre av Tabell 3 at den relative feilindeksen er svært høy ved lave volum og treantall. Feilindeksen er også stor i bestand med mye treslagsblanding (andre fordelinger). For de andre variablene er det ingen klare tendenser når det gjelder størrelsen på feilindeksen.

Figur 2 viser den relative feilindeksen plottet mot variasjonskoeffisienten for treantall (standardavviket mellom flater innen bestand for treantall i prosent av totalt treantall) for alle 177 bestand. Figuren viser at det er en tendens til at størrelsen på feilindeksen øker når variasjonskoeffisienten blir større, det vil altså si når treantallsvariasjonene blir større. Beregninger viser at korrelasjonskoeffisienten (R) mellom variasjonskoeffisienten og feilindeksen er 0,52. Tilsvarende beregninger for sammenhengen mellom variasjonskoeffisientene for høyde, alder og bonitet, og feilindeksen, gav langt svakere korrelasjoner.

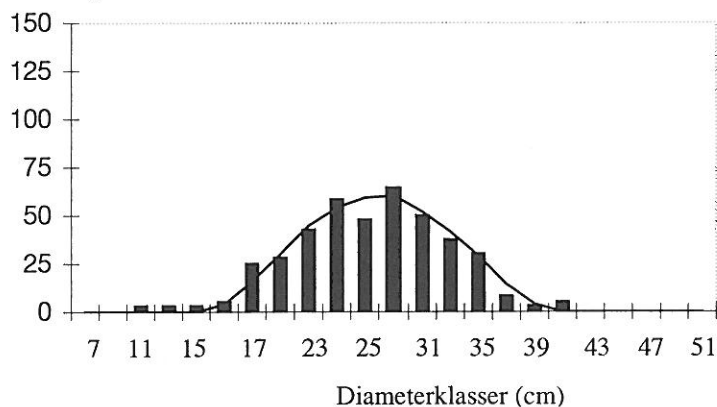
Tabell 3 viser også at i gjennomsnitt for alle 177 bestand er predikert treantall lavere enn observert treantall for de minste (-11,5%, -6,2%) og for de største (-6,0%) diameterklassene, mens det er høyere for de midlere (16,5%, 7,2%) diameterklassene. Videre ser en at tendensen til at predikert treantall er mindre enn observert for de minste diameterklassene forsterkes, når treantall pr. ha og volum pr. ha blir lavere.

Bestand nr. 29 fra Larvik (se Figur 1) er et eksempel på et bestand der predikert og observert treantall i ulike diameterklasser er i nærheten av gjennomsnittet for alle observasjonene. Figur 3 viser differansene mellom predikert og observert treantall i ulike diameterklasser for alle 177 bestand. Det framgår av figuren at predikert treantall stort sett er lavere enn observert treantall for diameterklassene 11 cm, 13 cm og 15 cm, mens de stort sett er høyere for diameterklassene fra 17 cm til og med 31 cm, og igjen lavere for de største diameterklassene. For diameterklassene 7 cm og 9 cm er predikert treantall høyere enn observert for alle observasjoner, noe som skyldes at nedre diametergrense i registreringene var 10 cm.

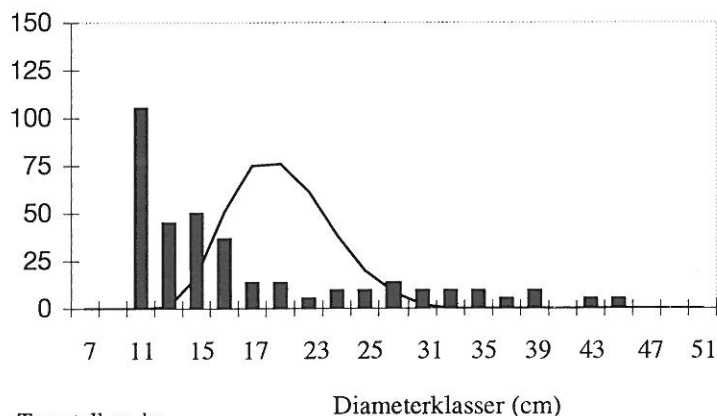
Tabell 3. Feilindekser for diameterfordeling og differanser mellom predikert og observert treantall for ulike diameterklasser.

Del av materialet	An-tall obs	Tre-antall (pr. ha)	Feilindeks (FI) og relativ feilindeks (RFI)		Differanse mellom predikert og observert treantall (i % av observert gjennomsnitt) for ulike diameterklasser					
			(pr. ha)	(%)	d<14	14≤d<20	20≤d<26	26≤d<32	d>32	
					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
Bonitet (m)										
- 9,5	21	458	275	60,0	-11,5	-6,6	16,8	7,4	-6,1	
9,6 - 12,5	46	529	346	65,4	-12,6	-6,7	17,9	8,2	-6,8	
12,6 - 15,5	41	690	376	54,5	-10,3	-5,3	15,2	5,9	-5,4	
15,6 - 18,5	37	800	499	62,4	-12,0	-5,4	15,9	7,2	-5,8	
18,6 - 20,5	21	825	534	64,7	-11,7	-8,9	18,2	9,0	-6,6	
20,6 -	11	1012	557	55,0	-10,6	-5,2	15,3	5,7	-5,2	
Volum(m³ pr. ha)										
- 100	28	386	313	81,1	-17,1	-6,4	25,4	6,5	-8,4	
101 - 150	42	578	380	65,7	-13,8	-4,5	18,5	6,3	-6,6	
151 - 200	27	706	418	59,2	-11,6	-5,0	15,8	6,8	-6,0	
201 - 250	43	724	420	58,0	-9,6	-7,3	14,4	8,0	-5,5	
250 -	37	946	509	53,8	-9,9	-7,1	14,6	7,6	-5,0	
Treslagsfordeling (%)										
Andel gran ≥ 90	28	875	453	51,8	-8,8	-7,5	14,0	7,5	-5,2	
90 > Andel gran ≥ 50	65	743	438	59,0	-11,0	-5,8	15,4	7,1	-5,7	
Andre fordelinger	15	632	487	77,1	-18,3	-4,0	23,3	7,4	-8,3	
90 > Andel furu ≥ 50	49	546	400	73,3	-14,8	-6,9	21,3	8,2	-7,8	
Andel furu ≥ 90	20	563	244	43,3	-6,2	-5,4	9,7	4,4	-2,5	
Trentall (pr. ha)										
- 400	26	331	277	83,7	-15,0	-12,0	24,0	11,2	-8,2	
401 - 600	56	502	358	71,3	-12,0	-9,9	17,4	12,0	-7,5	
601 - 800	40	702	440	62,7	-12,2	-6,8	16,8	8,9	-6,7	
801 - 1000	37	902	482	53,4	-11,1	-3,6	15,1	5,0	-5,3	
1001 -	18	1226	571	46,6	-9,3	-2,4	14,3	0,9	-3,4	
Middeldiameter (cm)										
- 18,0	12	1179	535	45,4	-10,6	3,0	11,5	-2,3	-1,6	
18,1 - 20,0	43	743	434	58,4	-13,0	-2,3	18,0	2,7	-5,4	
20,1 - 22,0	47	700	435	62,1	-12,2	-6,9	19,4	7,2	-7,5	
22,1 - 24,0	33	599	406	67,8	-11,6	-10,8	18,2	12,6	-8,3	
24,1 -	42	512	334	65,2	-8,9	-12,8	11,6	15,4	-5,3	
Middel høyde (m)										
- 15,0	22	547	328	60,0	-13,0	-1,5	16,9	2,3	-4,7	
15,1 - 17,0	47	577	386	66,9	-13,7	-5,0	19,1	6,3	-6,8	
17,1 - 19,0	42	825	470	57,0	-11,7	-4,2	16,7	4,8	-5,6	
19,1 - 21,0	32	737	403	54,7	-9,4	-7,8	15,4	8,0	-6,2	
21,1 -	34	675	439	65,0	-10,0	-11,5	14,0	13,7	-6,2	
Alle	177	680	412	60,6	-11,5	-6,2	16,5	7,2	-6,0	

Treantall pr. ha



Treantall pr. ha



Treantall pr. ha

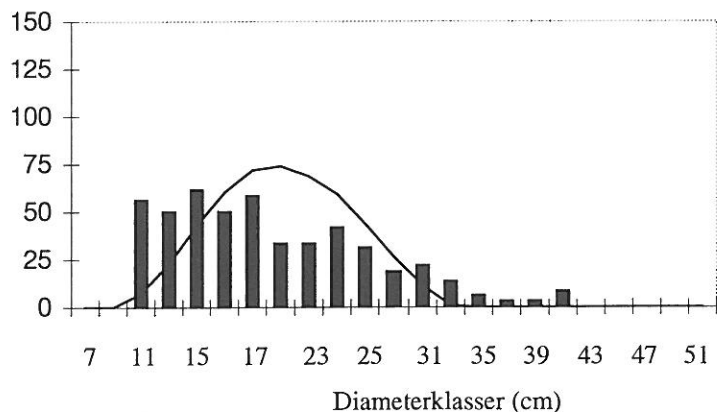
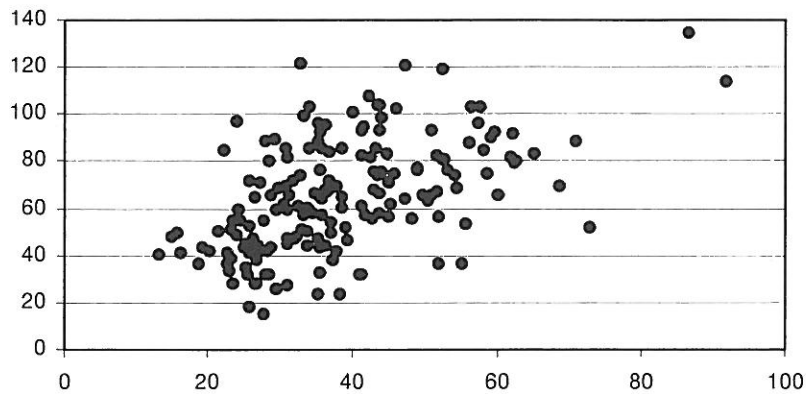


Fig. 1. Predikert (linje) og observert (søyle) treantall pr. ha over diameterklasser i enkeltbestand.

Feilindeks (%)



Variasjonskoeffisient (%) mellom flater innen bestand for treantall

Fig. 2. Relativ feilindeks (RFI) plottet mot variasjonskoeffisient (%) mellom flater innen bestand for treantall.

Differanser treantall (pr. ha)

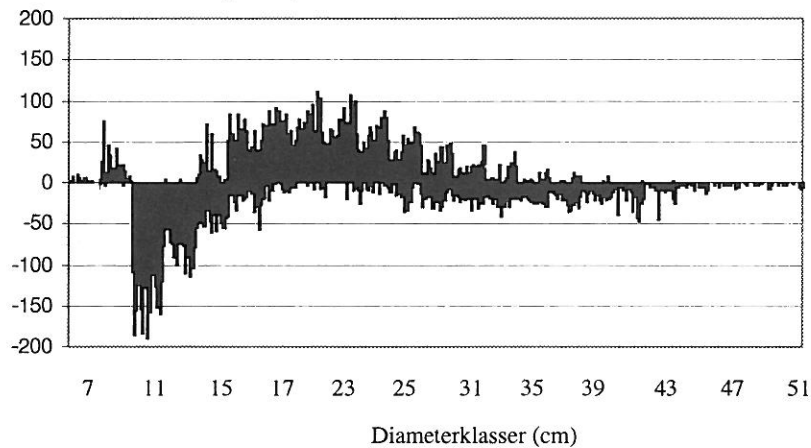


Fig. 3. Differanser mellom predikert og observert treantall (pr. ha) for ulike diameterklasser.

Tabell 4 viser differansene og standardavviket til differansene mellom volum basert på predikerte fordelinger og volum basert på observerte fordelinger. I gjennomsnitt for alle bestand gir de predikerte fordelingene en signifikant overvurdering av volumet på 7,3%. Standardavviket til differansene er i gjennomsnitt 7,1%. Tabellen viser videre at det ikke er noen klare tendenser for noen del av materialet når bestandene grupperes etter ulike variabler.

Tabell 4. Differanser \bar{D} og standardavvik til differanser (SD) mellom volum (m³ pr. ha) basert på predikerte fordelinger og volum basert på observerte fordelinger.

Del av materiale	Antall obs.	Med predikert fordeling (m ³ pr. ha)	Med observert fordeling (m ³ pr. ha)	Differanser (\bar{D} i % av observert gj.snitt)	St. avvik til differanser (SD i % av observert gj.snitt)
Bonitet (m)					
- 9,5	21	109,7	104,8	4,6***	3,1
9,6 - 12,5	46	137,9	129,2	6,7***	4,4
12,6 - 15,5	41	209,0	195,2	7,1***	5,3
15,6 - 18,5	37	237,3	221,0	7,4***	4,9
18,6 - 20,5	21	273,3	251,8	8,5***	4,7
20,6 -	11	325,7	299,9	8,6is	11,6
Volum (m³ pr. ha)					
- 100	28	80,0	74,6	7,2***	4,2
101 - 150	42	134,7	125,9	7,0***	3,7
151 - 200	27	188,5	176,0	7,1***	4,5
201 - 250	43	238,0	221,6	7,4***	4,9
250 -	37	326,8	304,2	7,5***	7,2
Treslagsfordeling (%)					
Andel gran \geq 90	28	303,3	282,2	7,5***	7,5
90 > Andel gran \geq 50	65	217,1	200,5	8,3***	6,9
Andre fordelinger	15	143,1	132,8	7,8***	5,3
90 > Andel furu \geq 50	49	140,4	132,0	6,4***	4,1
Andel furu \geq 90	20	184,4	175,7	5,0***	2,7
Trentall (pr. ha)					
- 400	26	98,1	91,5	7,2***	3,8
401 - 600	56	166,2	153,7	8,1***	5,7
601 - 800	40	227,1	213,4	6,4***	7,6
801 - 1000	37	248,8	233,1	6,7***	6,8
1001 -	18	287,2	264,7	8,5***	5,9
Middeldiameter (cm)					
- 18,0	12	205,1	197,2	4,0is	4,7
18,1 - 20,0	43	160,5	148,6	8,0***	6,4
20,1 - 22,0	47	198,2	182,6	8,5***	8,4
22,1 - 24,0	33	210,7	196,0	7,5***	5,7
24,1 -	42	230,5	216,8	6,4***	7,4
Middelhøyde (m)					
- 15,0	22	95,6	92,3	3,6***	3,0
15,1 - 17,0	47	131,2	123,6	6,1***	3,7
17,1 - 19,0	42	208,4	195,9	6,4***	3,9
19,1 - 21,0	32	245,4	225,3	8,9***	4,8
21,1 -	34	307,0	283,3	8,4***	7,5
Alle	177	199,5	185,9	7,3***	7,1

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

3.2. Bruttoverdi, driftskostnader og rånetto

Tabell 5 viser at det i gjennomsnitt for alle bestand er et svært lite avvik (0,3%) mellom bruttoverdi basert på predikerte fordelinger og bruttoverdi basert på observerte fordelinger. Gjennomsnittlig standardavvik til differansene for alle bestand er også lite (2,2%). Selv om det er tendenser til signifikante undervurderinger av bruttoverdi for lave boniteter og for bestand med liten middelhøyde, og signifikante overvurderinger for høye boniteter og for bestand med stor middelhøyde, viser Tabell 5 at utslagene for både differansene og standardavviket til differansene generelt er små når bestandene grupperes etter ulike variabler. Dette ser en også av Figur 4, der de absolutte avvikene (kr pr. m³) mellom bruttoverdi basert på predikerte fordelinger og bruttoverdi basert på observerte fordelinger er plottet mot middeldiameter. Det framgår ellers av figuren at avvikene i de aller fleste bestand ligger i intervallet ± 10 kr pr. m³. Det største avviket i noe enkeltbestand er 25 kr pr. m³.

Tabell 6 viser differansene og standardavviket til differansene for driftskostnadene. I gjennomsnitt for alle bestand gir de predikerte fordelingene en signifikant undervurdering av driftskostnadene på 8,9%. Standardavviket til differansene er i gjennomsnitt 5,2%. Tabell 6 viser også at det er tendenser til at undervurderingen av driftskostnadene øker når middeldiameter og middelhøyde blir større. Det er også tendenser til at standardavviket til differansene øker når middeldiameter og middelhøyde blir større. Av Figur 5, der de absolutte avvikene (kr pr. m³) mellom driftskostnader basert på predikerte fordelinger og driftskostnader basert på observerte fordelinger er plottet mot middeldiameter, ser en at det blir større negative verdier og større spredning mellom enkeltobservasjonene, når middeldiameteren øker. Det framgår ellers av Figur 5 at det bare i *ett* bestand er en positiv differanse (overvurdering) mellom driftskostnad basert på predikert fordeling og driftskostnad basert på observert fordeling. Det fleste differansene ligger i intervallet -5 kr pr. m³ til -15 kr pr. m³, mens den største er på -29 kr pr. m³.

Tabell 7 viser differansene og standardavviket til differansene for rånetto i kr pr. m³. Det framgår av tabellen at det i gjennomsnitt er en signifikant overvurdering av rånetto på 5,9%. Standardavviket til differansene er i gjennomsnitt 5,3%. Tabellen viser videre at det er tendenser til økende overvurdering av rånetto når bonitet og middelhøyde øker.

Tabell 8 viser differansene og standardavviket til differansene for rånetto i kr pr. ha. I gjennomsnitt for alle bestand er det en signifikant overvurdering av rånetto pr. ha på 14,1%. Det er klare tendenser til at overvurderingen øker med økende bonitet og med økende middelhøyde. For de andre grupperingene er det mindre klare tendenser, men overvurderingen ligger over gjennomsnittet i bestand med gran og med mye lauv (andre fordelinger). Tabellen viser også at standardavvikene til differansene øker med økende bonitet og middelhøyde. Også standardavvikene er over gjennomsnittet i for bestand med gran og med mye lauv.

Tabell 5. Differanser \bar{D} og standardavvik til differanser (SD) mellom bruttoverdi kr pr. m³ basert på predikerte fordelinger og bruttoverdi basert på observerte fordelinger.

Del av materiale	Antall obs.	Med predikert fordeling (kr pr. m ³)	Med observert fordeling (kr pr. m ³)	Differanser (\bar{D} i % av observert gj.snitt)	St. avvik til differanser (SD i % av observert gj.snitt)
Bonitet (m)					
- 9,5	21	338	342	-1,2***	1,3
9,6 - 12,5	46	333	337	-1,2***	1,4
12,6 - 15,5	41	335	335	0,3is	1,8
15,6 - 18,5	37	314	310	1,6***	1,8
18,6 - 20,5	21	310	302	2,3***	1,7
20,6 -	11	304	295	3,4*	2,8
Volum (m³ pr. ha)					
- 100	28	326	330	-1,2***	1,4
101 - 150	42	326	327	-0,3is	1,9
151 - 200	27	323	323	0,0is	1,8
201 - 250	43	330	326	0,9*	2,2
250 -	37	322	317	1,6***	2,3
Treslagsfordeling (%)					
Andel gran ≥ 90	28	317	310	1,9***	1,9
90 > Andel gran ≥ 50	65	310	306	1,0**	2,5
Andre fordelinger	15	289	288	0,0is	2,2
90 > Andel furu ≥ 50	49	342	346	-1,4***	1,2
Andel furu ≥ 90	20	379	378	0,3is	0,9
Trentall (pr. ha)					
- 400	26	347	348	-0,6is	1,2
401 - 600	56	335	335	0,0is	2,0
601 - 800	40	322	322	0,0is	2,3
801 - 1000	37	308	305	1,0is	2,6
1001 -	18	311	306	2,0*	2,2
Middeldiameter (cm)					
- 18,0	12	294	289	2,1**	1,6
18,1 - 20,0	43	310	312	-0,6is	2,5
20,1 - 22,0	47	315	313	0,6is	2,5
22,1 - 24,0	33	342	342	0,3is	1,8
24,1 -	42	349	347	0,9*	1,6
Middelhøyde (m)					
- 15,0	22	315	319	-1,3*	1,7
15,1 - 17,0	47	324	327	-0,9*	1,8
17,1 - 19,0	42	321	320	0,3is	1,9
19,1 - 21,0	32	332	328	1,2**	1,8
21,1 -	34	335	328	2,1***	2,1
Alle	177	326	325	0,3is	2,2

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

Tabell 6. Differanser \bar{D} og standardavvik til differanser (SD) mellom driftskostnader kr pr. m³ basert på predikerte fordelinger og driftskostnader basert på observerte fordelinger.

Del av materiale	Antall obs.	Med predikert fordeling (kr pr. m ³)	Med observert fordeling (kr pr. m ³)	Differanser (\bar{D} i % av observert gj.snitt)	St. avvik til differanser (SD i % av observert gj.snitt)
Bonitet (m)					
- 9,5	21	122	131	-6,9***	3,1
9,6 - 12,5	46	118	130	-9,2***	4,8
12,6 - 15,5	41	108	117	-7,7***	3,5
15,6 - 18,5	37	109	122	-10,7***	6,4
18,6 - 20,5	21	103	116	-11,2***	6,7
20,6 -	11	101	111	-9,0**	6,2
Volum (m³ pr. ha)					
- 100	28	131	144	-9,0***	3,9
101 - 150	42	120	132	-9,1***	4,4
151 - 200	27	112	122	-9,0***	6,0
201 - 250	43	102	113	-9,7***	6,5
250 -	37	98	108	-9,3***	5,1
Treslagsfordeling (%)					
Andel gran ≥ 90	28	100	109	-8,3***	4,3
90 > Andel gran ≥ 50	65	111	122	-9,8***	5,5
Andre fordelinger	15	124	141	-11,3***	5,0
90 > Andel furu ≥ 50	49	118	131	-9,2***	4,5
Andel furu ≥ 90	20	104	110	-5,5***	3,1
Trentall (pr. ha)					
- 400	26	118	131	-9,9***	4,7
401 - 600	56	109	123	-11,4***	6,3
601 - 800	40	109	119	-9,2***	4,3
801 - 1000	37	112	120	-6,7***	3,4
1001 -	18	114	121	-5,8***	2,7
Middeldiameter (cm)					
- 18,0	12	133	137	-3,6***	2,1
18,1 - 20,0	43	126	137	-8,0***	3,1
20,1 - 22,0	47	113	124	-8,9***	4,9
22,1 - 24,0	33	104	116	-10,3***	5,7
24,1 -	42	94	108	-12,0***	7,3
Middelhøyde (m)					
- 15,0	22	136	146	-6,2***	3,1
15,1 - 17,0	47	121	133	-9,0***	5,1
17,1 - 19,0	42	112	122	-8,2***	4,5
19,1 - 21,0	32	102	112	-8,9***	4,6
21,1 -	34	91	104	-13,5***	7,8
Alle	177	111	123	-8,9 ***	5,2

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

Differanser bruttoverdi (kr pr m³)

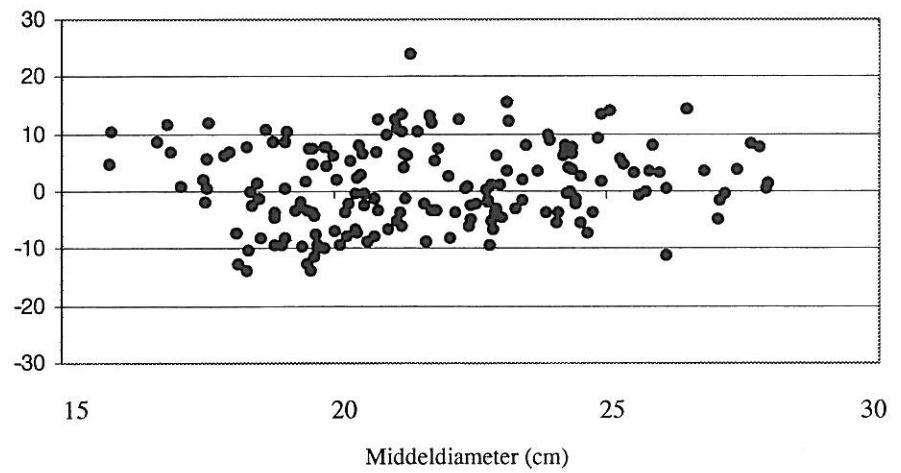


Fig. 4. Differanser (kr pr. m³) mellom bruttoverdi basert på predikert fordeling og bruttoverdi basert på observert fordeling over middeldiameter.

Differanser driftskostnad (kr pr. m³)

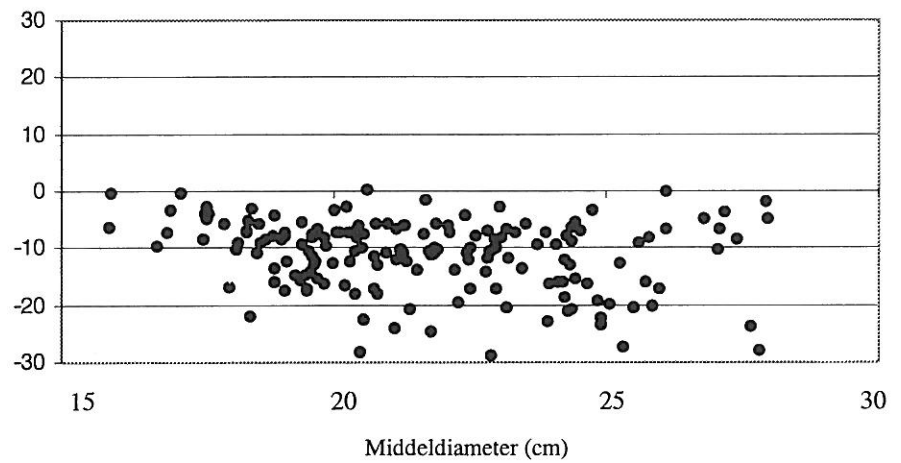


Fig. 5. Differanser (kr pr. m³) mellom driftskostnad basert på predikert fordeling og driftskostnad basert på observert fordeling over middeldiameter.

Tabell 7. Differanser \bar{D} og standardavvik til differanser (SD) mellom rånetto (kr pr. m³) basert på predikerte fordelinger og rånetto basert på observerte fordelinger.

Del av materiale	Antall obs.	Med predikert fordeling (kr pr. m ³)	Med observert fordeling (kr pr. m ³)	Differanser (\bar{D} i % av observert gj.snitt)	St. avvik til differanser (SD i % av observert gj.snitt)
Bonitet (m)					
- 9,5	21	216	211	2,4*	3,3
9,6 - 12,5	46	215	206	3,9***	4,0
12,6 - 15,5	41	227	217	4,1***	3,7
15,6 - 18,5	37	206	188	9,6***	5,5
18,6 - 20,5	21	207	186	10,8***	6,0
20,6 -	11	204	184	10,9**	7,5
Volum (m³ pr. ha)					
- 100	28	195	186	4,8***	4,3
101 - 150	42	206	196	5,1***	4,7
151 - 200	27	211	200	5,5***	5,0
201 - 250	43	227	213	6,6***	6,1
250 -	37	224	209	7,2***	5,2
Treslagsfordeling(%)					
Andel gran \geq 90	28	217	201	8,0***	4,6
90 > Andel gran \geq 50	65	199	184	8,2***	6,9
Andre fordelinger	15	164	148	10,8***	7,4
90 > Andel furu \geq 50	49	223	216	3,7***	3,6
Andel furu \geq 90	20	274	268	2,6***	1,3
Trentall (pr. ha)					
- 400	26	229	218	5,0***	3,8
401 - 600	56	226	211	6,6***	5,7
601 - 800	40	213	202	5,4***	5,5
801 - 1000	37	196	185	5,9***	6,0
1001 -	18	197	185	6,5***	3,6
Middeldiameter(cm)					
- 18,0	12	162	151	6,6***	3,8
18,1 - 20,0	43	184	175	5,1***	5,2
20,1 - 22,0	47	202	190	6,8***	5,9
22,1 - 24,0	33	238	225	5,8***	4,4
24,1 -	42	255	239	6,7***	5,1
Middelhøyde (m)					
- 15,0	22	179	173	3,5**	3,6
15,1 - 17,0	47	203	193	5,2***	5,2
17,1 - 19,0	42	209	198	5,1***	3,9
19,1 - 21,0	32	230	216	6,5***	4,2
21,1 -	34	244	224	8,9***	5,9
Alle	177	214	202	5,9***	5,3

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

Tabell 8. Differanser \bar{d} og standardavvik til differanser (SD) mellom rånetto (kr pr. ha) basert på predikerte fordelinger og rånetto basert på observerte fordelinger.

Del av materiale	Antall obs.	Med predikert fordeling (kr pr. ha)	Med observert fordeling (kr pr. ha)	Differanser (\bar{d} i % av observert gj.snitt)	St. avvik til differanser (SD i % av observert gj.snitt)
Bonitet (m)					
- 9,5	21	23588	22171	6,4***	6,0
9,6 - 12,5	46	30189	27306	10,6***	7,8
12,6 - 15,5	41	48489	43520	11,4***	8,3
15,6 - 18,5	37	51271	44005	16,5***	10,2
18,6 - 20,5	21	58202	48612	19,7***	10,9
20,6 -	11	67992	57337	18,6is	21,5
Volum (m³ pr. ha)					
- 100	28	15933	14193	12,3***	8,1
101 - 150	42	27654	24569	12,6***	7,5
151 - 200	27	39907	35287	13,1***	8,8
201 - 250	43	54098	47193	14,6***	10,0
250 -	37	73730	64173	14,9***	12,4
Treslagsfordeling (%)					
Andel gran \geq 90	28	66888	57914	15,5***	13,3
90 > Andel gran \geq 50	65	44591	37959	17,5***	15,2
Andre fordelinger	15	24177	20171	19,9**	15,9
90 > Andel furu \geq 50	49	32229	29408	9,6***	7,2
Andel furu \geq 90	20	51305	47664	7,6***	3,0
Trentall (pr. ha)					
- 400	26	23811	21115	12,8***	9,6
401 - 600	56	38871	33591	15,7***	12,6
601 - 800	40	51008	45595	11,9***	13,8
801 - 1000	37	50515	44403	13,8***	14,6
1001 -	18	57447	49388	16,3***	11,0
Middeldiameter (cm)					
- 18,0	12	35004	31627	10,7*	9,4
18,1 - 20,0	43	30410	26773	13,6***	12,5
20,1 - 22,0	47	40543	34699	16,8***	17,7
22,1 - 24,0	33	50110	44020	13,8***	11,1
24,1 -	42	58392	51701	12,9***	12,2
Middel høyde (m)					
- 15,0	22	17049	15950	6,9***	5,4
15,1 - 17,0	47	26408	23871	10,6***	7,5
17,1 - 19,0	42	42713	38119	12,1***	7,6
19,1 - 21,0	32	56050	48454	15,7***	7,7
21,1 -	34	74572	63569	17,3***	12,3
Alle	177	43725	38337	14,1***	13,9

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

4. Diskusjon

4.1. Sammenligninger av predikerte og observerte fordelinger

Det er flere viktige forskjeller mellom materialet som modellene til Mønness (1982) og Holte (1993) er utviklet fra og testmaterialet som er brukt i den foreliggende undersøkelsen. For det første er modellene basert på et materiale som er definert som ensaldret skog, mens det i testmaterialet åpenbart er mange bestand som ikke er ensaldrede. En indikasjon på dette er at gjennomsnittlig standardavvik mellom prøveflater innen bestand for alder er 21 år (Tabell 2). For det andre er modellene basert på et "treslagsrent" materiale, mens nesten alle bestand i testmaterialet i større eller mindre grad har flere treslag (Tabell 2). Det er også verdt å merke seg at selv om materialene til Mønness (1982) og Holte (1993) dekker et større område (større differanser mellom maksimum- og minimumsverdier) for mange av variablene enn det testmaterialet gjør, er gjennomsnittlig bonitet og treantall pr. ha mye høyere, og gjennomsnittlig alder mye lavere, enn tilsvarende verdier i testmaterialet.

Det er også forskjeller mellom materialene når det gjelder tynningshistorie. For de permanente prøveflatene som modellene er basert på har en sikker informasjon om tidligere tynninger. Dette har gjort det mulig å utvikle separate modeller for å predikere fordelingene i selve tynningen og fordelingene etter tynning. I den foreliggende undersøkelsen brukte en bare modellene for fordelinger etter tynninger, *uten* at det finnes sikre opplysninger om tynningshistorien i testmaterialet. Selv om testmaterialet bare består av bestand i hogstklasse IV og V, og at en derfor kan gå ut fra at mange bestand faktisk *er* tynnet, er sannsynligheten også stor for at mange bestand *ikke* er tynnet. I slike tilfeller er dermed modellene brukt under gale forutsetninger.

Med utgangspunkt i forholdene som er diskutert over er det ikke overraskende at testene gir svært varierende resultater med hensyn på hvor godt en kan predikere diameterfordelingen i ulike bestand. I gjennomsnitt er den relative feilindeksen 60,6% (Tabell 3), mens den varierer fra 15,6%, der den predikerte fordelingen er nesten identisk med den observerte, til 134,6%, der fordelingene er svært forskjellige (Figur 1).

Bortsett fra at feilindeksen er stor i bestand med "andre treslagsfordelinger", og at det er nærliggende å anta at dette har sammenheng med at det er mye lauv i disse bestandene (og at bruk av modellene for furu gir store feil), gir ikke Tabell 3 noe entydig bilde av i hvilken type bestand en kan forvente små og store feil. Av Figur 2 kan en imidlertid se at feilene (den relative feilindeksen) øker med økende grad av variasjon (variasjonskoeffisienten mellom prøveflater innen bestand for treantall) i bestandet. Dette resultatet er ikke overraskende i og med at modellene er utviklet fra et materiale bestående av ensaldrede bestand, og følgelig må forventes å passe dårligere jo mer uensartede de er. Bestand nr. 182 fra Ås (Figur 1), der diameterfordelingen ligner det en kan forvente etter en bledningshogst (se for eksempel Andreassen 1994), er også et eksempel på at diameterfordelingsmodellene passer dårlig i uensartede bestand. Når den relative feilindeksen er svært høy i bestand med lavt volum og treantall (Tabell 3), kan også en mulig forklaring være at dette for en stor del er eldre skog som er forynget naturlig, og som generelt derfor har store variasjoner i alder og størrelse på trærne. Slike bestand dekkes ikke av materialet som modellene er utviklet fra.

I ensaldrede bestand vil størrelsen på trærne variere lite, mens en i fleraldrede bestand vil ha trær i mange diameterklasser. Den generelle tendensen til undervurdering av treantallet i de minste diameterklassene, en overvurdering i de midlere og en undervurdering igjen i de største (Tabell 3 og Figur 3), er derfor en klar indikasjon på at mange bestand i testmaterialet ikke kan defineres som ensaldrede. Bestand nr. 182 i Ås (Figur 1), med en typisk fleraldret struktur, er det mest ekstreme eksemplet på dette. Her har modellene helt klart ikke fanget opp variasjonene som finnes i bestandet, og resultatet er en kraftig overvurdering av treantallet i midlere diameterklasser, og en undervurdering i små og store. En ser imidlertid at modellene heller ikke i mer "normale" bestand, slik som bestand nr. 29 i Larvik (Figur 1), fullt ut er i stand til å fange opp trærne i de minste og største diameterklassene, og av denne grunn overvurderer treantallet i midlere klasser.

At en ved bruk av modellene overvurderer treantallet i de *midlere* diameterklassene (Tabell 3 og Figur 3) er også hovedårsaken til at en generelt overvurderer volumet (7,3% i gjennomsnitt, se Tabell 4). Selv om en undervurderer treantallet i de aller *største* diameterklassene, er altså ikke dette nok til å veie opp for bidraget som kommer fra den kraftige overvurderingen av treantallet i de midlere diameterklassene.

På samme måte som for volumfunksjonene (Braastad 1966, Brantseg 1967, Vestjordet 1967), har bruttoverdifunksjonene (Blingsmo & Veidahl 1994b) diameter og høyde for det enkelte tre som uavhengige variabler. En skulle derfor i utgangspunktet forvente at også bruttoverdien generelt skulle bli overvurdert ved bruk av modellene. Når dette imidlertid ikke er tilfelle (0,3% gjennomsnittlig differanse, se Tabell 5), er hovedårsaken forskjellige funksjonsformer; bruttoverdien øker relativt sett mye mindre enn volum når diameter og høyde øker. Dette betyr at store dimensjoner "premieres" mindre når bruttoverdien beregnes sammenlignet med volumet. Dermed vil ikke den store overvurderingen av treantallet i alle de midlere diameterklassene få så stor effekt på bruttoverdien som for volumet.

Når driftskostnadene (hogstkostnadene) beregnes med funksjonene til Dale et al. (1993), er volumet for det enkelte tre en sentral variabel. Med denne funksjonen vil kostnadene øke relativt lite så lenge treet er større enn 300 liter. Når trærne blir mindre og nærmer seg 100 til 50 liter, er imidlertid kostnadsøkningen mye større. Dette betyr at den overvurderingen av antall trær i de midlere diameterklassene som modellene gir, fører til at driftskostnadene her blir kraftig undervurdert, og at dette samlet sett betyr driftskostnadene undervurderes ved bruk av modellene (8,9%, se Tabell 6).

En bruttoverdi som er tilnærmet riktig (Tabell 5) og en driftskostnad som undervurderes (Tabell 6), vil gi en overvurdert rånetto i kr. pr. m³ (5,9%, se Tabell 7). Videre vil en overvurdert rånetto i kr. pr. m³ sammen med et overvurdert volum pr. ha (7,3%, se Tabell 4), gi en enda mer overvurdert rånetto pr. ha (14,1%, se Tabell 8). Når utslagene er særlig store i bestand på høye boniteter og med stor middelhøyde, skyldes dette at i slike bestand blir *både* volum pr. ha og rånetto pr. m³ kraftig overvurdert. En har her altså vært "uheldig" med kombinasjoner av feil, og fått særlig store utslag.

Det framgår også av Tabell 8 at den tilfeldige feilen, det vil si det gjennomsnittlige standardavviket til differansene mellom rånetto pr. ha basert på predikerte fordelinger og rånetto pr. ha basert på observerte fordelinger, er 13,9%. Også når det gjelder tilfeldige feil vil utslaget på sluttresultatet (rånetto pr. ha) være avhengig av hvilke feil en "drar" med seg fra de ulike enkeltvariablene. I gjennomsnitt er den tilfeldige feilen for bruttov verdi 2,2% (Tabell 5) og for driftskostnader 5,2% (Tabell 6). Dette resulterer i en tilfeldig feil for rånetto pr. m³ på 5,3% (Tabell 7). Videre er den tilfeldige feilen for volum pr. ha 7.1% (Tabell 4), og dette, sammen med feilen for rånetto pr. m³ (5.3%), resulterer i en tilfeldig feil for rånetto pr. ha på 13,9% (Tabell 8).

4.2. Bruk av modellene

Testene har vist at dersom fordelingsmodellene til Mønness (1982) og Holte (1993) brukes i "vanlige" bestand vil en kunne få til dels betydelige feil både av systematisk og tilfeldig art. Generelt er det derfor stor usikkerhet knyttet til praktisk bruk av modellene. Konsekvensene av feilene vil imidlertid kunne være forskjellig avhengig av hva diameterfordelingene skal brukes til, og av om sluttresultatene skal brukes på bestandsnivå eller på skognivå (gjennomsnitt for mange bestand).

Diameterfordelingsmodellene bør ikke brukes som grunnlag for å beskrive starttilstanden for framskrivninger i fleraldret skog. For det første vil en i slik skog allerede i utgangspunktet undervurdere antallet av de minste og de største dimensjonene, og overvurdere de midlere dimensjonene (Figur 1). Disse tendensene vil også forsterkes gjennom framskrivninger med enkelttremodeller; for det første fordi avgangmodellene (Eid & Tuhus 2001) medfører at flere små trær enn store går ut naturlig, og for det andre fordi tilvekstmodellene (Øyen & Andreassen 2001) gir en større absolutt tilvekst på store enn på små dimensjoner. Resultatet av dette blir en overvurdering av tilveksten i perioden, og en enda større overvurdering av volumet etter perioden med framskrivninger, enn den som var på starttidspunktet. For å skaffe til veie nødvendig informasjon om fordelinger som skal brukes i slike framskrivninger gjenstår derfor to muligheter; enten må fordelingene registreres gjennom klavinger, ellers må det utvikles nye fordelingsmodeller som er tilpasset fleraldret skog.

Modellene bør heller ikke brukes ukritisk i skogbruksplansammenheng for å beregne dimensjonsfordelinger i enkeltbestand som grunnlag for vurderinger av tømmerkvalitet og/eller sortimentsfordeling. Til det er det for store variasjoner med hensyn på hvor godt diameterfordelingen beskrives i ulike typer bestand. Det er imidlertid vanskelig ut fra beregningene som er gjort i den foreliggende undersøkelsen å peke på visse typer bestand der modellene kan anbefales brukt til dette formålet. Med omtrent 50 bestand som har en feilindeks som er lavere enn 50% (se Figur 2), er det likevel ingen tvil om at en i mange bestand ville kunne ha nytte av opplysninger som er basert på predikerte fordelinger. Antagelig vil en kunne komme et godt stykke på vei ved at planleggeren gjør en enkel klassifisering av bestandet i form av variabler som tynnet/ikke tynnet, forynget naturlig/plantet eller fleraldret/ensaldret. På denne måten vil en kunne legge opp til en bruk av modellene som harmonerer mer med grunnlagsmaterialet som modellene er utviklet fra.

Selv om det brukes *arealbaserte* innvekst-, tilvekst- og avgangsmodeller, der en baserer seg på "middeltreet" (grunnflatemiddeldiameter og grunnflateveid middelhøyde), i prognoseprogrammer som Avvirk-2000 (Eid & Hobbelstad 2000) og Gaya-JLP (Eriksson 1983, Hoen & Eid 1990, Lappi 1992, Hoen & Gobakken 1997), kan en i slike programmer bruke diameterfordelingsmodeller i de rutineene som beregner bruttoverdier, driftskostnader og rånetto.

Eid & Fitje (1994) sammenlignet bruttoverdi beregnet fra "middeltreet" og bruttoverdi beregnet fra en observert diameterfordeling, og fant for 133 bestand en gjennomsnittlig differanse på -1,1% og et gjennomsnittlig standardavvik til differansene på 4,5%. Tilsvarende gjennomsnittstall når bruttoverdien ble basert på diameterfordelingsfunksjoner, slik som i det foreliggende arbeidet, var 0,3% og 2,2% (Tabell 5). For beregning av driftskostnader (hogstkostnader) har en ikke tilsvarende sammenligningsgrunnlag. Eid (1998) sammenlignet imidlertid, med utgangspunkt i funksjonen til Dale et al. (1993), produksjon (m^3 pr. time) basert på bruk av middeltreet og basert på observert fordeling for 174 bestand, og fant en gjennomsnittlig differanse på 7,3% (noe som vil føre til at driftskostnadene blir undervurdert), og et gjennomsnittlig standardavvik til differansene på 14,1%. Dette betyr at nivået på feilene ved bruk av "middeltreet" ligger litt høyere enn de feilene en har funnet i det foreliggende arbeidet (Tabell 6).

Ut fra disse resultatene kan det synes som om bruk av fordelingsmodellene ved beregning av bruttoverdi, driftskostnader og rånetto i kr. pr. m^3 i prognoseprogrammene kan være et noe bedre alternativ enn å basere disse beregningene på "middeltreet". Det er imidlertid viktig å understreke at en da sannsynligvis vil få systematiske feil fordi kostnadene undervurderes. For analyser der resultater på bestandsnivå er mindre viktige, og hvor hensikten er å bruke prognoseprogrammene til å *sammenligne* ulike alternativer på skognivå, vil ikke systematiske feil nødvendigvis skape så store problemer. Her vil det være de *relative* forskjellene mellom alternativene som er interessante.

I analyser der de *absolutte* størrelsene er viktige, eksempelvis dersom en ønsker å kvantifisere verdien for et skogområde, vil systematiske feil være et problem. Når det gjelder verdsetting i forbindelse med ekspropriasjon, der både de absolutte verdiene for hele arealet og for enkeltbestand er viktige, vil bruk av fordelingsmodellene gi for store feil både av tilfeldig og systematisk art (se Tabell 8) til at en kan anbefale å bruke dem.

Testmaterialet er samlet inn gjennom intensive prøveflatetakster innen bestand. Dette betyr at de variablene som er brukt for å predikere diameterfordelingene, det vil si grunnflatemiddeldiameter, treantall pr. ha og bonitet, ikke har systematiske feil og svært små tilfeldige. Ved praktisk taksering, for eksempel i forbindelse med skogbruksplanlegging, vil de tilfeldige feilene for disse variablene være mye større, i tillegg til at det kan forekomme systematiske feil (se for eksempel Eid 2000). De feilnivåene som er påvist i den foreliggende rapporten ved bruk av fordelingsmodellene må derfor betraktes som minimumsverdier.

5. Konklusjon

Testene har vist at dersom fordelingsmodellene brukes i "vanlige" bestand vil en kunne få til dels betydelige feil både av systematisk og tilfeldig art. Generelt er det derfor stor usikkerhet knyttet til praktisk bruk av modellene. Modellene anbefales ikke brukt som grunnlag for å beskrive starttilstanden ved framskrivninger i fleraldret skog. For slik skog bør det utvikles egne modeller. Modellene anbefales heller ikke brukt ved verdsetting i forbindelse med ekspropriasjon av skog fordi en da bare kan tolerere små feil både på skognivå og bestandsnivå. Modellene bør kunne brukes i skogbruksplansammenheng for å beregne dimensjonsfordelinger i enkeltbestand som grunnlag for vurderinger av tømmerkvalitet og/eller sortimentsfordeling, og i prognoser der hensikten er å *sammenligne* ulike alternativer for skogbehandling. Dette betinger imidlertid at en gjør en enkel klassifisering i bestand i form av tynnet/ikke tynnet og/eller fleraldret/ensaldret slik at modellene kan brukes under skogforhold mest mulig lik det de er utviklet for.

Litteratur

- Andreassen, K. 1994. Bledning og bledningsskog. Aktuelt fra Skogforsk 2/94:1-23.
- Blingsmo, K. & Veidahl, A. 1994a. Bestprog. Et beslutningsverktøy for bestandsbehandling. Brukerveiledning for versjon 1.0. Internt notat fra Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole. 35 s.
- Blingsmo, K. & Veidahl, A. 1994b. Funksjoner for bruttopris av gran- og furutrær på rot. Rapport fra Skogforsk 8/92:1-23.
- Braastad, H. 1966. Volumtabeller for bjørk. Meddr. norske SkogforsVes. 21: 23-78.
- Brantseg, A. 1967. Furu sønnafjells. Kubering av stående skog. Funksjoner og tabeller. Meddr. norske SkogforsVes. 22: 695-739.
- Dale, Ø. & Stamm, J. 1994. Grunnlagsdata for kostnadsanalyse av alternative hogstformer. Rapport fra Skogforsk 7/94:1-37.
- Dale, Ø., Kjøstelsen, L. & Aamodt, H.E. 1993. Mekaniserte lukkede hogster. Side 3-23 i: Aamodt, H.E. (ed.). Flerbruksrettet driftsteknikk. Rapport fra Skogforsk 20/93:1-40.
- Eid, T. 1998. Langsiktige prognoser og bruk av prestasjonsfunksjoner for å estimere kostnader ved mekanisert drift. Rapport fra skogforskningen 7/98:1-31.
- Eid, T. 2000. Use of uncertain inventory data in forestry scenario models and consequential incorrect harvest decisions. *Silva Fennica* 34:89-100.
- Eid, T. & Fitje, A. 1994. Bestemmelse av bruttopris og driftskostnader i skogbestand. Rapport fra Skogforsk 12/94:1-26.
- Eid, T & Fitje, A. 1993. Variasjoner innen bestand for volum, grunnflate, treantall, middeldiameter og middelhøyde. Meddelelse fra Skogforsk 46(10):1-44.
- Eid, T. & Hobbestad, K. 2000. AVVIRK-2000 - a large-scale forestry scenario model for long-term investment, income and harvest analyses. *Scand. J. For. Res.* 15: 472-482.
- Eid, T. & Tuhus, E. 2001. Models for individual tree mortality in Norway. *Forest Ecology and Management* 154:69-84.

- Eriksson, L.O. 1983. Long range forestry planning - A case study of a forest in a transition period. Rapport nr. 154 fra Institutionen för skogsteknikk, Sveriges landbruksuniversitet. 78 s.
- Hoen, H.F. & Eid, T. 1990. En modell for analyse av behandlingsstrategier for en skog ved bestandssimulering og lineær programmering. Rapport fra Norsk institutt for skogforskning 9/90:1-35.
- Hoen, H.F. & Gobakken, T. 1997. Brukermanual for bestandssimulatoren GAYA v1.20. Internt notat fra Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole. 59 s.
- Holte, A. 1993. Diameter distribution functions for even-aged (*Picea abies*) stands. Meddelelse fra Skogforsk 46 (1): 1-46.
- Johnson, N.L. 1949. System of frequency curves generated by methods of translation. *Biometrika* 36:149-176.
- Lappi, J. 1992. JLP. A linear programming package for management planning. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 414:1-134.
- Miller, R. G. 1981. Simultaneous statistical inference. Second Edition. 299 pp. Springer-Verlag, New York. ISBN 0-387-9054-80.
- 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.
- Nilsen, P. 2001. Modelling av tilvekst etter fjellskoghogst. I: Øyen, B.-H. (Red.). Modelling av skogproduksjon for økologisk og økonomisk forvaltning av skog. Aktuelt fra Skogforsk 3/01:4-5.
- 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.
- Vestjordet, E. 1967. Funksjoner og tabeller for kubering av stående gran. Meddr. norske SkogforsVes. 22:543-574.
- Øyen, B.-H. & Andreassen, K. 2001. Enkelttretilvekstmodeller - fleksible modeller for simulering av skogens utvikling. I: Øyen, B.-H. (Red.). Modelling av skogproduksjon for økologisk og økonomisk forvaltning av skog. Aktuelt fra Skogforsk 3/01:13-15.