

Validering av volumfunksjoner ved hjelp av hogstmaskinmålinger

Johannes Rahlf*, Marius Hauglin, Rasmus Astrup, Johannes Breidenbach*

NIBIO, Norsk Institutt for Bioøkonomi

Kontakt: [navn].[etternavn}@nibio.no

1 Sammendrag

Vi har sammenlignet tømmer volum av mer enn 100.000 granstammer målt med hogstmaskin med volumprediksjoner fra Vestjordets (1967) volumfunksjon. Til tross for volumfunksjonenes alder passer estimatene nesten perfekt til hogstmaskinens målinger også i Trøndelag. Selv om denne undersøkelsen er basert på mange trær, kan volumfunksjonen likevel avvike fra virkeligheten lokalt. En studie med hogstmaskindata fra enda flere områder anbefales. Denne studien viser også mulighetene som ligger i hogstmaskindata.

2 Bakgrunn

Tømmer volum er en av de viktigste parameterne for å bedømme skogens verdi og framtidige utviklingsmuligheter, og det vil være en utfordring for næringen om tømmer volum i takster og planer ikke stemmer med virkeligheten. Det har lenge blitt hevdet at dagens volumfunksjoner ikke fungerer like bra for alle regioner og skogtyper. At de eksisterende volumfunksjonene ikke helt passer i regionene fra Trøndelag og nordover er i dag nærmest etablert som en «sannhet» i flere sammenhenger. Det er derfor av stor interesse å gjøre en grundig undersøkelse av dette, noe som data fra hogstmaskiner nå gir muligheten til.

Tømmer volum blir ikke målt direkte – i en prøveflatetakst blir brysthøydiameteren (d) og trehøyden (h) målt og så brukt som inngangsverdier i volumfunksjoner. Prøveflatene blir brukt i planer og takster til å kalibrere laserdata. Dermed får volumfunksjoner mye innflytelse på resultatet. De mest brukte volumfunksjonene i Norge er Vestjordet (1967) for gran, Brantseg (1967) for furu og Braastad (1966) for bjørk (lauvtrær). Volumfunksjoner er statistiske modeller som legger en gjennomsnittlig stammeform til grunn. Parameterne i volumfunksjonene ble estimert basert på flere tusen felte og omhyggelig målte trær fra hele Norge. Dermed er volumfunksjonene godt egnet for estimater for hele Norge, og for de regionene der det er tilpasset egne funksjoner.

Samtidig er det klart at stammeformen for et tre avviker mer eller mindre fra gjennomsnittsformen og for en region kan et flertall av stammeformene avvike systematisk fra gjennomsnittsformen. Bruker man volumfunksjoner i en slik region vil man enten over- eller underestimere det virkelige volum; noe vi ofte hører fra skognæringen. Videre er de norske volumfunksjoner gamle og stammer fra skogtyper som har en annen behandlingshistorikk enn dagens skog. Skogbehandlingen har innflytelse på stammeformen og dermed på volumfunksjonene.

Hogstmaskiner måler diameter fortløpende med korte intervaller langs hele stammen og beregner tømmer volumet på denne måten (seksjonskubering). I snart ett år har NIBIO samlet inn data fra hogstmaskiner og antall trær i databasen er nå på over hundre tusen, og flere målinger kommer inn kontinuerlig. Selv om hogstmaskinmålinger ikke alltid er helt nøyaktige og analysen kan bli utfordrende, vil det store antall observasjoner («Big Data») gi muligheten for finne regionale mønstre i avvik fra gjennomsnittformen.

3 Volumfunksjoner

De mest brukte volumfunksjoner for gran, furu og lauv ble utviklet av Vestjordet (1967), Brandtseg (1967) og Braastad (1966) og er basert på seksjonskubering av flere tusen trær. Volumfunksjoner bruker brysthøydiameter og trehøyde som inngangsparametere. Her fokuserer vi på Vestjordet (1967) som er basert på kubering av mer enn 9000 grantrær fra hele Norge (Figur 1). Den beskriver tømmer volum med bark fra stubben (1% av trehøyde) til tretoppen. (Merk at tretoppen vanligvis mangler i hogstmaskinvolum.)

Tab. 5. Volumfunksjoner. Nr. 3—14 gjelder for volum med bark og nr. 15—18 for volum uten bark.
Functions for volume. No. 3—14 are for volume including bark and no. 15—18 for volume excluding bark.

Nr.	Distr.*	Kat.** Cat.**	Dim. cm m/b	N	a	d ² _{mb} h	d _{mb} h ²	h ²	d _{mb} h	h	d _{mb}	d ² _{mb}	d ² _{mbk}	d ² _{mbb}	R	\bar{S}	$\bar{S}\%$
3	S+T	N+P	—10,0	3597	0,52	0,02403	0,01463	÷ 0,10983	0,15195						0,9938	5,2	7,9
4	—	—	10,1—12,9	—	÷ 31,57		0,0016	÷ 0,0186	0,63	÷ 2,34	3,20				—	—	—
5	—	—	13,0—	7446	10,14	0,01240	0,03117	÷ 0,36381	0,28578						0,9941	36,6	9,5
6	—	—	13,0—	7446	5,29	0,01687	0,02157	÷ 0,31523	0,31599				0,00551	÷ 0,00134	0,9944	35,5	9,2
7	—	N	10,0—	6096	6,69	0,01308	0,02853	÷ 0,31956	0,28969						0,9940	36,9	9,5
8	—	P	10,0—	1350	0,46	0,02427	0,01521	÷ 0,18254	0,20994						0,9964	28,6	7,7
9	T	N+P	—15,0	699	0,67	0,03023	0,00712					0,04175			0,9942	4,2	7,0
10	»	—	10,0—	2004	0,28	0,00815	0,03053	÷ 0,50725	0,51643						0,9932	35,8	9,2
11	»	—	10,0—	2004	÷ 2,44	0,01029	0,02644	÷ 0,49065	0,53920				0,00187	÷ 0,00081	0,9933	35,6	9,2
12	S	—	—15,0	2898	0,30	0,02593	0,01268	÷ 0,09770	0,14586						0,9939	5,2	7,9
13	»	—	10,0—	5442	4,33	0,01491	0,02606	÷ 0,31854	0,31106						0,9949	35,0	9,1
14	»	—	10,0—	5442	0,19	0,01983	0,01617	÷ 0,25631	0,32056				0,00574	÷ 0,00142	0,9953	33,7	8,8
Nr.	Distr.*	Kat.** Cat.**	Dim. cm u/b	N	a	d ² _{ub} h	d _{ub} h ²	h ²	d _{ub} h	h	d _{ub}	d ² _{ub}	d ² _{ubk}	d ² _{ubb}	R	\bar{S}	$\bar{S}\%$
15	S+T	N+P	—10,0	3597	0,38	0,02524	0,01269	÷ 0,07726	0,11671						0,9933	4,7	8,3
16	—	—	10,1—12,9	—	÷ 27,19		0,0073	÷ 0,0228	0,5667	÷ 1,98	2,75				—	—	—
17	—	—	13,0—	7446	8,66	0,01218	0,02976	÷ 0,31373	0,25452						0,9937	33,3	9,9
18	—	—	13,0—	7446	4,86	0,01585	0,02151	÷ 0,27947	0,28618				0,00564	÷ 0,00106	0,9941	32,3	9,6

* S = Sør-Norge. T = Trøndelag og Helgeland. — S = South Norway. T = Mid-Norway.
 ** N = naturskog. P = plantninger. — N = natural stands. P = plantations.

Figur 1: Utsnitt fra Vestjordet (1967). Volumfunksjonene nr. 3-5 som gjelder hele Norge har blitt brukt i denne studien.

4 Hogstmaskindata

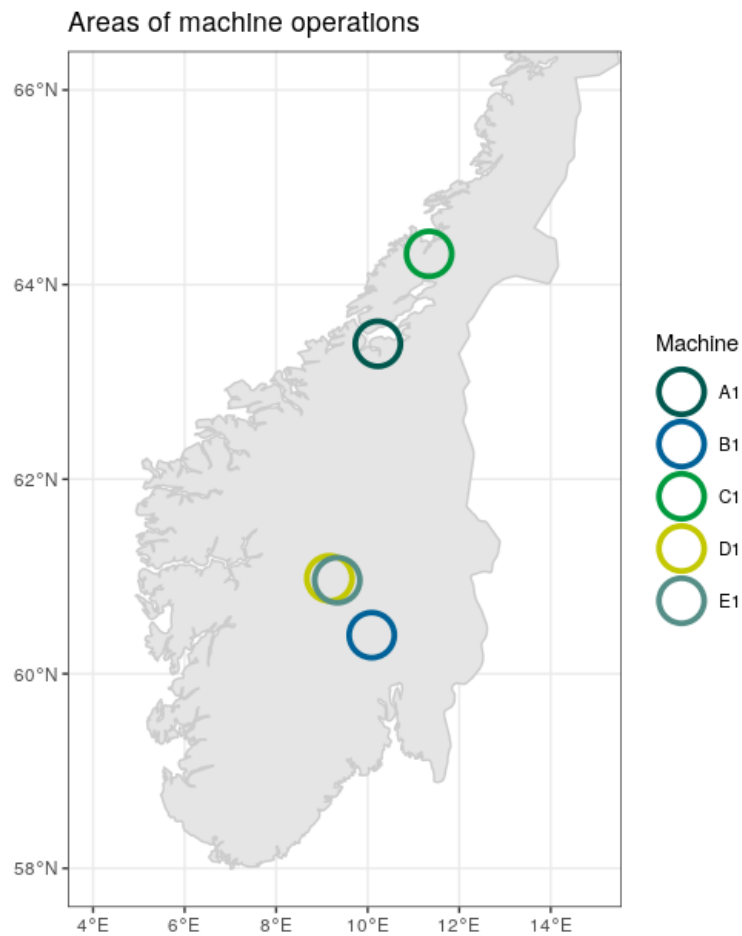
4.1 Datagrunnlag

Hogstmaskindata ble levert av 5 maskinoperatører i Sør-Norge og Trøndelag (Figur 2). Totalt 176.082 trær ligger i databasen per 30. november 2020 og 80% av dem er gran, 11% furu og 9% lauv (Tabell 1). Volumfordelinger av de avvirkede trærne er gitt i Figur 3 og Tabell 2. Videre fokuserer vi på gran, som ble avvirket i 57 sammenhengende «hogstområder» mellom januar og august 2020. Selv om hogsttidspunkt

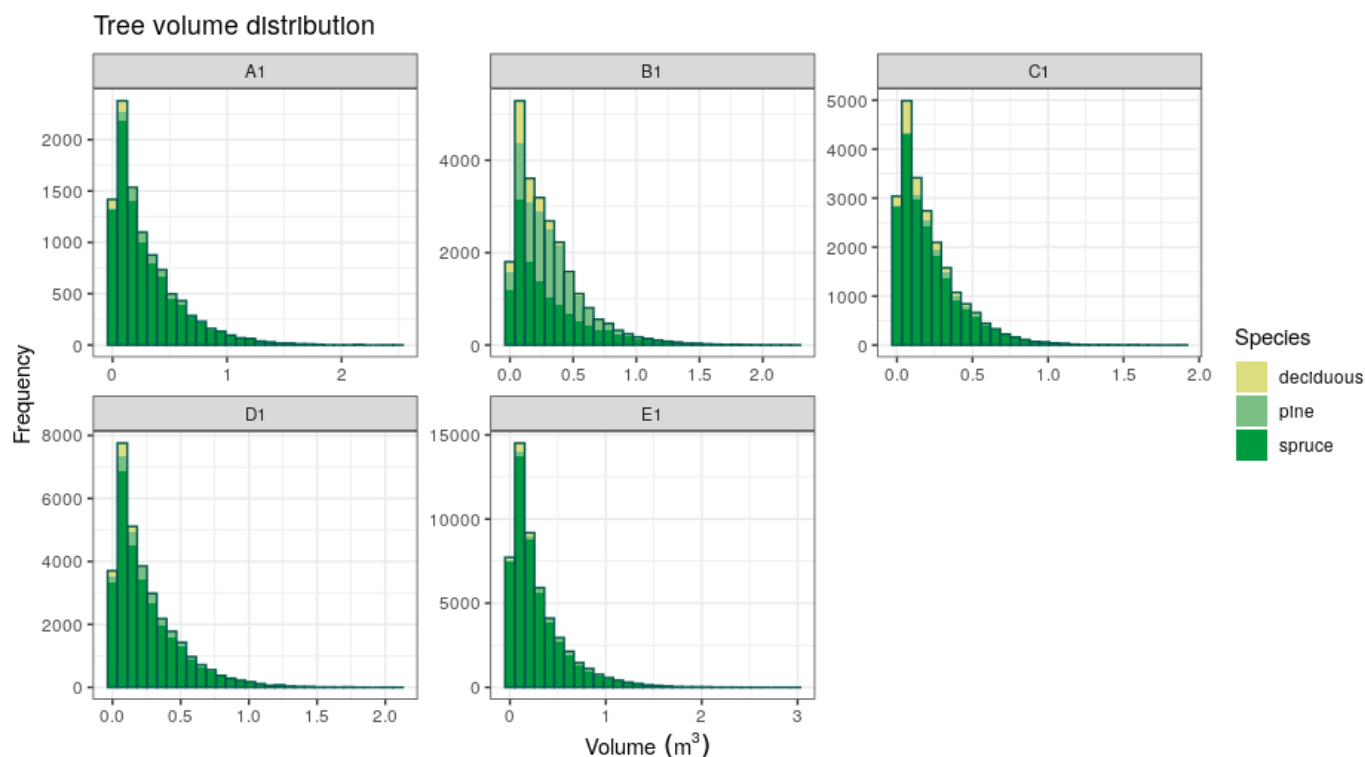
fra hogstmaskin C1 er ukjent, ble trærne sannsynligvis felt i samme tidsrom. Vi har tilgang til mer informasjon om maskinene men dataene er anonymisert her på grunn av personvern hensyn til maskinførerne.

Tabell 1: Antall trær per maskin

Maskin ID	A1	B1	C1	D1	E1
Antall trær	13.934	28.258	30.709	38.514	64.667



Figur 2: Kart over hogstmaskindrifter



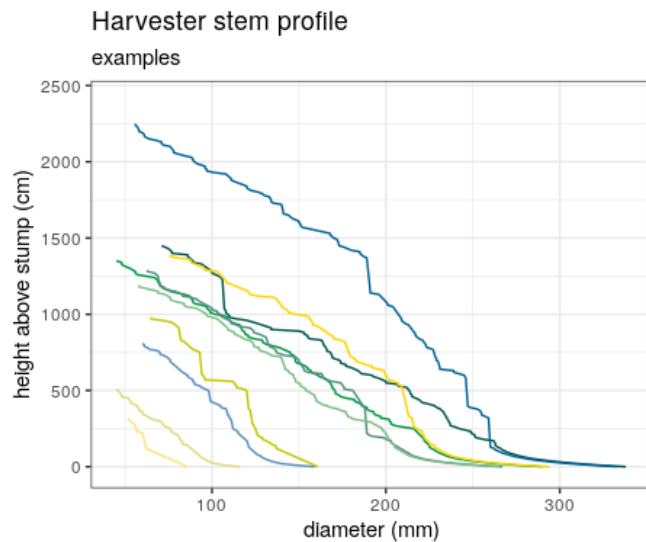
Figur 3: Volumfordeling per maskin og treslag

Tabell 2: Fordeling av stammevolum per treslag

Treslag	Volum (m ³)			
	minimum	Middelverdi	maksimum	standardavvik
Gran	0.01	0.27	2.98	0.27
Furu	0.01	0.34	2.44	0.25
Lauv	0.01	0.15	1.77	0.14

4.2 Stammeprofiler

Under felling måles diameteren fortløpende langs stammen av sensorer lokalisert på toppen av hogstmaskinens hogstaggregat. Diameteren lagres for hver 10 cm fra stubbe til en minimumdiameter på ca. 65 mm mot toppen. Diametere innen ca. 100 cm fra stubbeavskjær blir estimert basert på en avsmalningsfunksjon lagt inn i hogstmaskinens programvare (Figur 4). Trehøyde (stamlengde) blir ikke målt av hogstmaskinen men trenges for å sammenligne volum målt med hogstmaskin og fra volumfunksjoner. Stammelengden ble derfor estimert (se neste avsnitt).

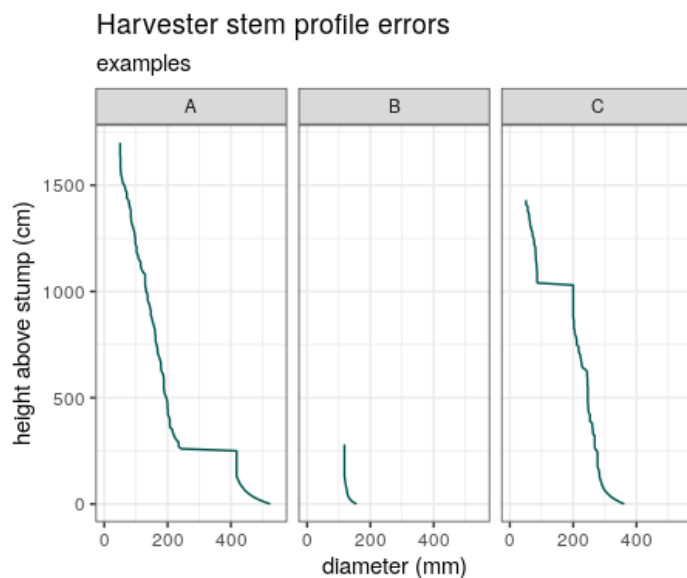


Figur 4: Eksempler for stammeprofiler

I mange stammeprofiler i hogstmaskindataene finnes feil eller andre uregelmessigheter som kan gi problemer i analysene. For å sikre at bare feilfrie data brukes i analysen ble alle problematiske trær fjernet:

- 318 trær manglet brysthøydiameter eller andre data
- 955 trær med mindre enn 3 diametermålinger
- 84 trær med brysthøydiameter < 5 cm
- 270 trær med for lite data for å estimere stammelengde (Figur 5, B)
- 21.246 trær med høyeste diametermåling under 60% av stamlengde. Dette er trær som enten manglet et avsnitt i stammeprofilen eller der estimering av stammelengde mislyktes.
- 12.136 trær med store sprang i stammeprofil (Figur 5, A og C)

Etter fjerning av stammeprofiler beskrevet over var det 109.705 trær igjen.

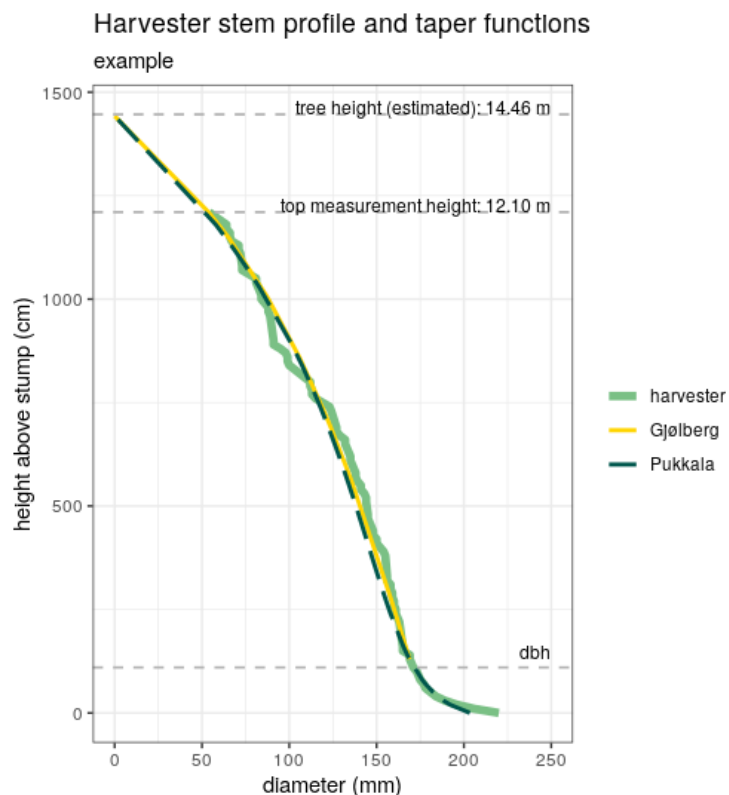


Figur 5: Eksempler på feil i stammeprofiler som ble forkastet

4.3 Estimering av trehøyde

Trehøyde ble estimert fra hogstmaskinenes stammeprofiler og avsmalningsfunksjonen til Gjølberg (1978). Avsmalningsfunksjoner beskriver stammeform basert på få inngangsparametre, vanligvis brysthøydiameter og trehøyde. Den mest brukte avsmalningsfunksjonen for gran er Gjølberg (1978) som igjen er basert på funksjoner fra Eide og Langsæter (1954). Avsmalningen er beskrevet med 9 forskjellige funksjoner for diameter på 10%, 20%, 30%, ..., 90% av trehøyden. For å få diameter på andre høyder brukes interpolering. En nyere avsmalningsfunksjon for gran ble utviklet av Pukkala et al. (2019). Avsmalningsfunksjoner kan også brukes for å estimere volum men vi benyttet oss ikke for denne muligheten.

Differansen mellom avsmalningsfunksjonenes diameter og hogstmaskinenes diametermåling i samme høyde ble minimert ved å iterativt forandre trehøyden. Trehøyden som ga minste gjennomsnittlig avvik over diameterne i alle høyde-persentilene ble brukt som den estimerte trehøyden. Figur 6 gir et eksempel for resultatet for ett tre.



Figur 6: Eksempel på trehøydeestimering vha. avsmalningsfunksjoner sammenlignet med et stammeprofil fra hogstmaskindata.

4.4 Volumberegning

Det finnes to typer volummålinger i hogstmaskindataene.

Hogstmaskinvolum: I hogstmaskindataene er det et volum for hver stokk. For hogstmaskinvolum ble volum for alle stokkene summert per tre. Dermed er hogstmaskinvolum definert som stammevolum fra stubben til det høyeste stokk prosessert av hogstmaskinen.

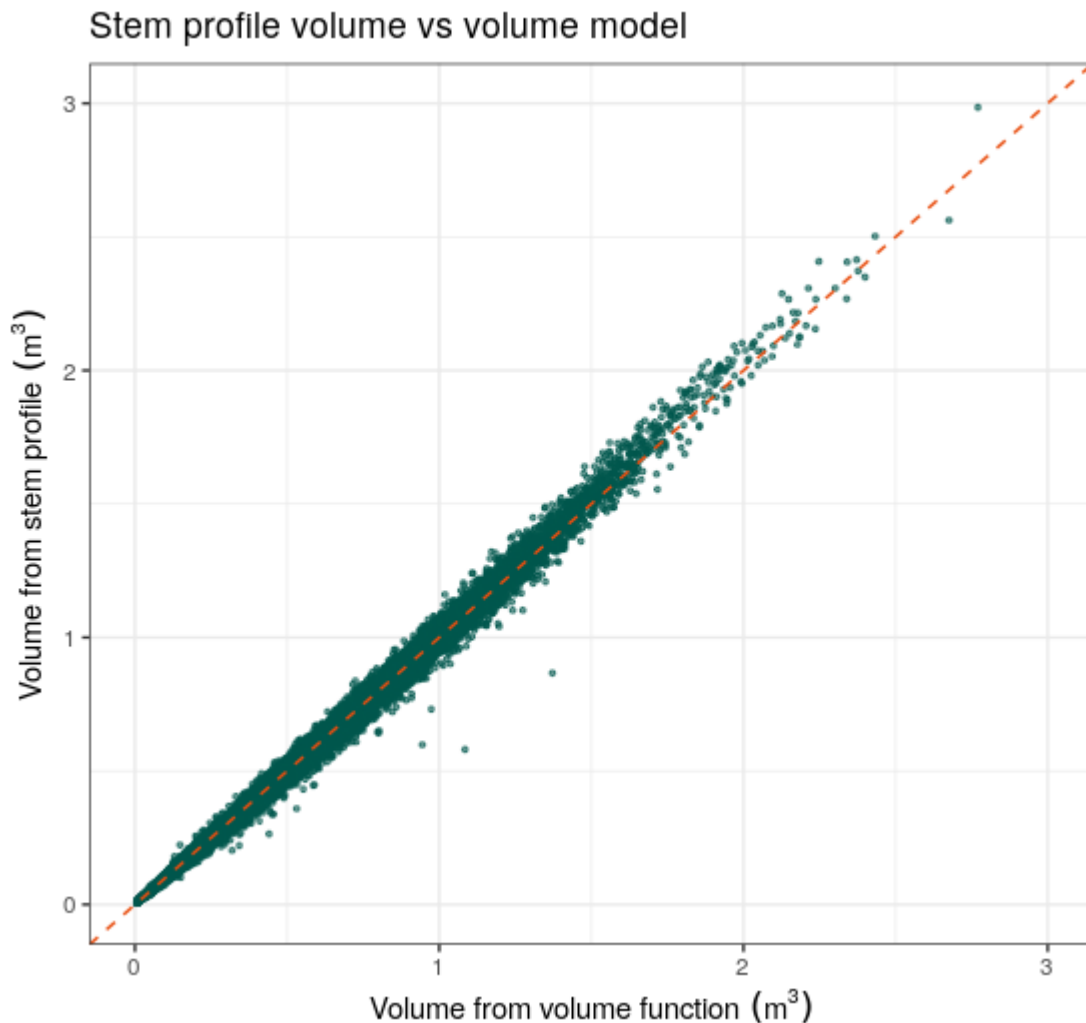
Stammeprofilvolum: Hver 10-cm seksjon ble kubert og summert per tre. I tillegg ble volumet av den estimerte toppen lagt til.

Vi sammenlignet hogstmaskinvolum og stammeprofilvolum med predikert volum fra volumfunksjonen for hvert tre i hogstmaskindatabasen. Inngangsverdier for volumfunksjon var brysthøydiameter fra hogstmaskindataene og den estimerte trehøyden.

5 Resultater

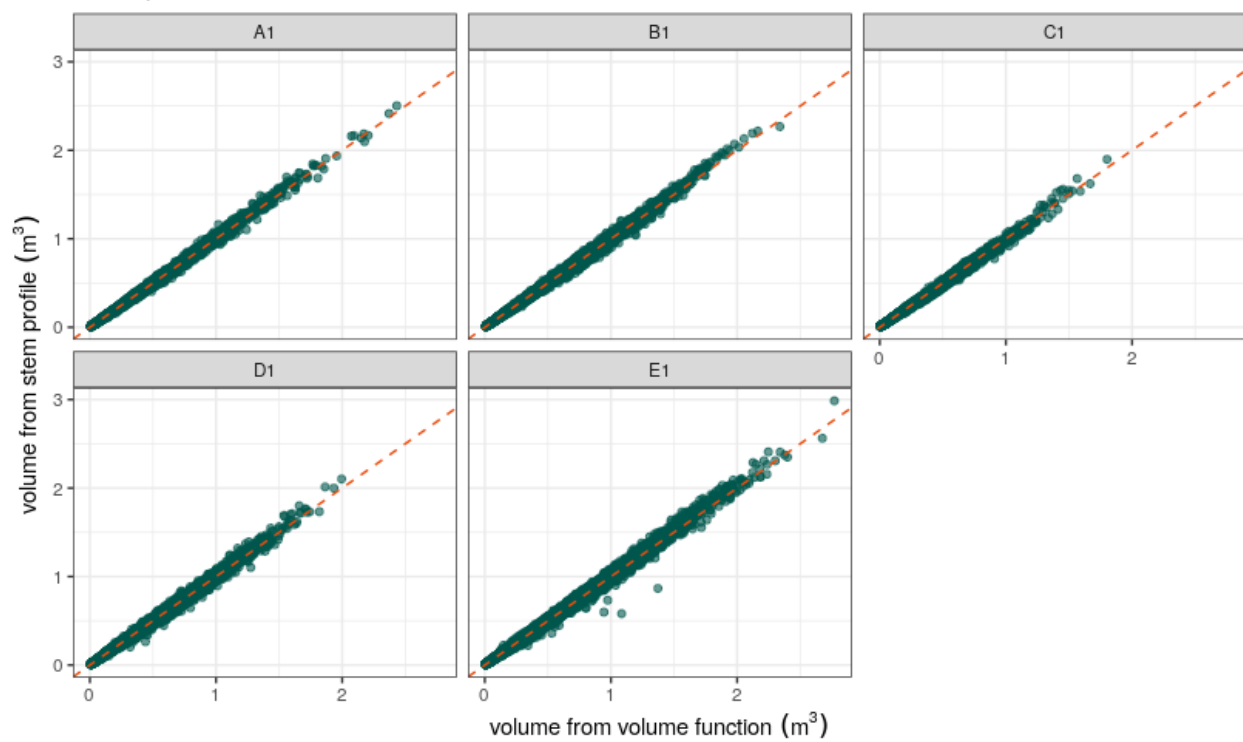
Vi presenterer resultater for alle trær og gruppert etter hogstområder. Dermed kan vi utelukke at eventuelle små systematiske feil utvikler seg til store feil ved hogster over større områder. Ingen tydelig forskjell mellom volum fra volumfunksjonen og hogstmaskinvolum er synlig (Figur 7). Dette gjelder også hvis man grupperer dataene etter maskin (Figur 8). Middeldifferansen (RMSD) mellom volum fra

volumfunksjonen og hogstmaskinvolum var rundt 7%, og rundt 5% mellom volum fra volumfunksjonen og stammeprofilvolum (Tabell 3). Den mindre middeldifferansen i sammenligningen med stammeprofilvolum er et resultat av en mindre systematisk differanse (MD) fra stammeprofilvolum siden den inkluderer toppseksjonens volum (Tabell 3). Resultatene er liknende i Sør-Norge og Trøndelag. Vi summerte estimatene på hogstområdenivå for å vise effekten av feilutjevning ved aggregering (Figur 9). Mens den systematiske differansen er den samme, minsker middeldifferansen mellom volumfunksjonen og hogstmaskin- og stammeprofilvolum for alle hogstområder samlet (Tabell 4). Gitt volumfunksjonenes alder og forandringene i miljø og skogbruket siden, er det interessant å se hvor godt volumfunksjonen passer overens med målinger fra hogstmaskinen.



Figur 7: Sammenligning av stammeprofilvolum og volumfunksjon.

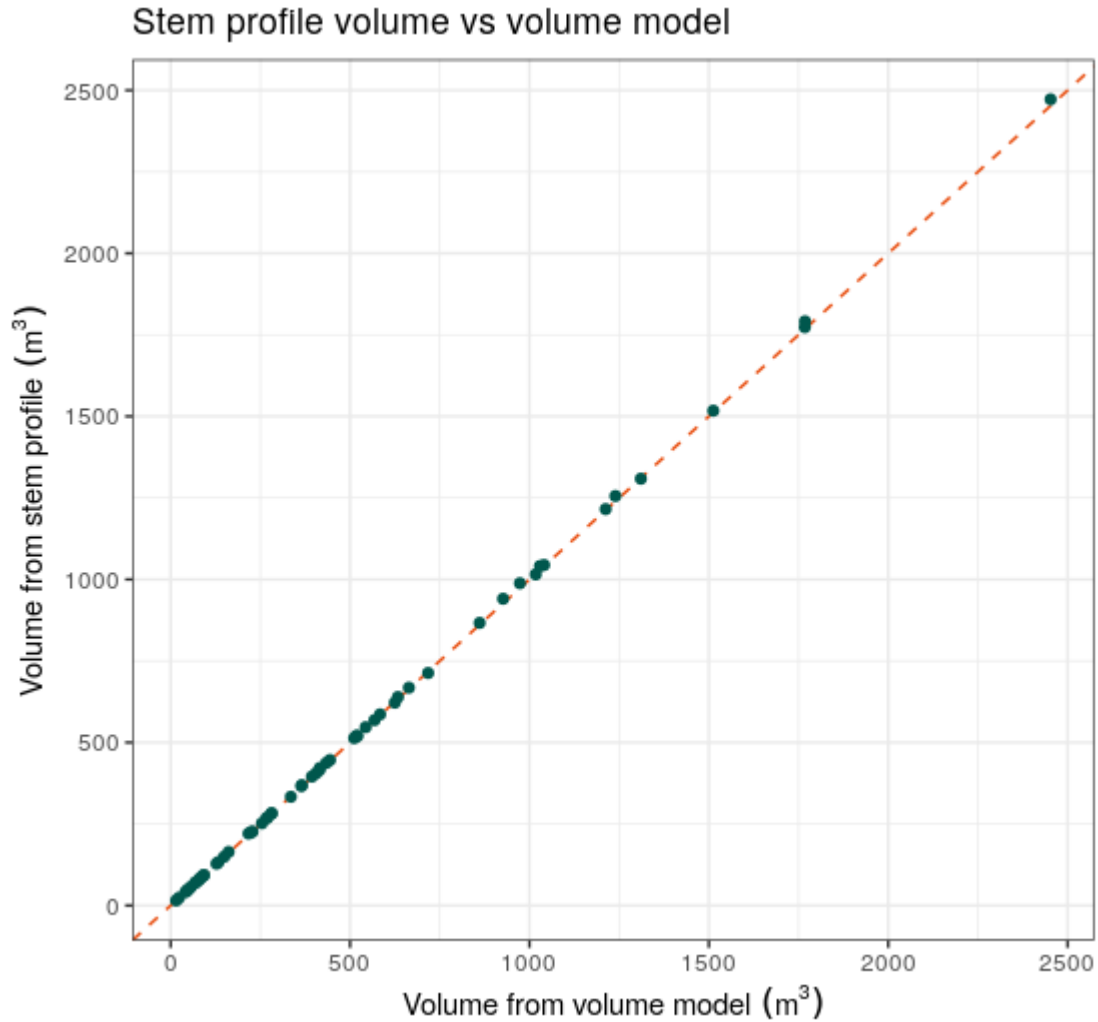
Stem profile volume vs volume model



Figur 8: Sammenligning av stammeprofilvolum og volumfunksjon

Tabell 3: Differansen mellom volumfunksjonen og hogstmaskin- og stammeprofilvolum. (RMSD = root mean squared deviance = middeldifferanse, MD = mean deviance = systematisk differanse)

Maskin ID	Antall trær	Hogstmaskinvolum				Stammeprofilvolum			
		RMSD (m ³)	RMSD (%)	MD (m ³)	MD (%)	RMSD (m ³)	RMSD (%)	MD (m ³)	MD (%)
A1	9331	0.022	7.73	0.009	3.14	0.015	4.96	-0.001	-0.32
B1	12741	0.019	6.35	0.005	1.64	0.016	5.20	-0.002	-0.75
C1	10590	0.018	8.04	0.009	4.14	0.013	5.56	0.000	0.18
D1	28577	0.016	6.64	0.005	1.90	0.013	5.23	-0.002	-0.66
E1	48466	0.020	7.41	0.009	3.19	0.015	5.26	-0.002	-0.58
Sør-Norge	89784	0.019	7.04	0.007	2.57	0.015	5.25	-0.002	-0.63
Trøndelag	19921	0.020	7.93	0.009	3.60	0.014	5.25	0.000	-0.09
Total	109705	0.019	7.19	0.007	2.75	0.014	5.25	-0.001	-0.54



Figur 9: Stammeprofilvolum og hogstmaskinvolum, aggregert på hogstområdenivå

Tabell 4: Differansen mellom volumfunksjonen og hogstmaskin- og stammeprofilvolum på hogstområdenivå. (RMSD = root mean squared deviance= middeldifferanse, MD = mean deviance = systematisk differanse)

Antall områder	Hogstmaskinvolum				Stammeprofilvolum			
	RMSD (m ³)	RMSD (%)	MD (m ³)	MD (%)	RMSD (m ³)	RMSD (%)	MD (m ³)	MD (%)
57	20.1	3.93	14.04	2.75	6.03	1.14	-2.83	-0.54

6 Takk

Vi vil gjerne takke Allskog ved Heidrun Miller og Vegard Aune for en god og konstruktiv kooperasjon i prosjektet.

7 Referanser

Braastad, H.: Volumtabeller for bjørk. Meddr. Norske SkogforsVes., 1966, 265-365

Brantseg, A.: Furu sønnafjells. Kubering av stående skog. Meddr. Norske SkogforsVes., 1967, 695-739

Vestjordet, E.: Funksjoner og tabeller for kubering av stående gran. Meddr. Norske SkogforsVes., 1967, 543-574

Gjølberg, R.: Et EDB-program for analyse av verdiutviklingen for enkeltrær ved råtenagrep, notat fra Norges Landbrukshøgskole, Institutt for Skogøkonomi, 1978

Eide, E. og Langsæter, A.: Avsmalingstabell for granskog. Meddr. Norske SkogforsVes., 1954

Pukkala T., Holt Hanssen K., Andreassen K.: Stem taper and bark functions for Norway spruce in Norway. Silva Fennica 2019, 53