

Sluttrapport for prosjektet

Nøyaktighet og nytteverdi av SR16-data på bestandsnivå i skogbruksplanleggingen.

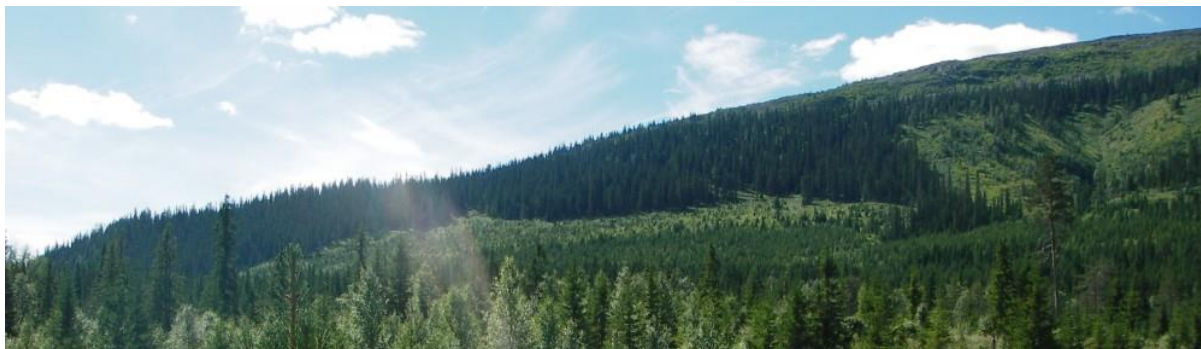


Foto: Ole Martin Bollandsås

Ole Martin Bollandsås, Ana de Lera Garrido, Erik Næsset, Terje Gobakken

November 2022



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet



Glommen
Mjøsen
Skog



NORSKOG



at skog



VESTSKOG

Innhold

Generell prosjektinformasjon	3
Innledning	4
Materiale og metode	5
Referansedata	5
Skogressurskart – SR16	8
Analyse av nøyaktighet på prediksjonene	8
Identifikasjon av skogforhold som kan forklare størrelsen på differensene	9
Økonomisk analyse (cost-plus-loss)	9
Resultater og diskusjon	10
Analyse av nøyaktighet av SR16	10
Økonomisk analyse (cost-plus-loss)	13
Konklusjon	16
Referanser	18

Generell prosjektinformasjon

Prosjektperiode: januar 2019 - juni 2022.

Hovedmål: Evaluere nøyaktigheten av SR16-data på bestandsnivå og vurdere den økonomiske nytteverdien av SR16-data som informasjonsgrunnlag for beslutninger i skogforvaltningen.

Prosjektleder: NMBU

Partnere: NMBU, Glommen-Mjøsen Skog, Viken Skog, NORSKOG, Statskog, Vestskog (nå en del av AT-skog), AT-skog. Allskog har bidratt med data til analyser. Selve analysene og rapportering av resultater har vært gjennomført i samarbeid med NIBIO.

Finansiering: Utviklingsfondet for skogbruket, Skogtiltaksfondet, NMBU

Hovedpublikasjon:

de Lera Garrido A, Gobakken T, Ørka HO, Næsset E & Bollandsås OM. Accuracy assessment of the nationwide forest attribute map of Norway constructed by using airborne laser scanning data and field data from the national forest inventory. *Sendt til fagfelleevaluering hos Scandinavian Journal of Forest Research.*

Innledning

God informasjon om egenskapene til skogen og skogarealet er nødvendig for å kunne ta gode beslutninger knyttet til forvaltning. Det brukes derfor betydelige ressurser på datainnsamling både fra felt og fra ulike fjernmålingskilder for å skaffe tilveie tilstrekkelig skoglig informasjon i forbindelse med produksjon av skogbruksplaner, som er skogeierens verktøy for å kunne ta rasjonelle beslutninger om hvor og når avvirking og andre skjøtselstiltak bør settes inn. Skogbruksplanene produseres i dag stort sett utelukkende ved hjelp av arealbasert lasertakst, og i disse takstene er feltarbeidet der man registrerer prøveflater for kalibrering av modellsammenhenger mellom feltmålte verdier og laserdataene en betydelig kostnadskomponent. Samtidig er det slik at landskogtakseringen kontinuerlig måler prøveflater over hele landet, som har som hovedformål å skulle danne grunnlag for å estimere nasjonale- og fylkesvise tall for volum, karbonbinding etc. Med en slik solid base med feltobservasjoner er det naturlig å stille spørsmålet om disse flatene kan brukes til erstatning for de feltobservasjonene som gjøres i en ordinær skogbruksplantakst.

Takstproduktet SR16 utnytter nettopp feltobservasjonene fra Landsskogtakseringen sammen med de fjernmålingsdata som til enhver tid er tilgjengelig. I prinsippet kan man med SR16 lage skogbruksplaner etter de samme prosedyrene som følges i arealbasert lasertakst i dag. Forskjellen er altså at prøveflatene kommer fra landsskogtakseringen der flatene ligger med tre kilometers mellomrom. For å få et tilstrekkelig antall prøveflater som i tilstrekkelig grad dekker variasjonsbredden i skogforholdene innenfor et gitt takstområde, må det i SR16 derfor brukes landsskogflater fra et mye større område enn det som er tilfelle i en ordinær lasertakst der prøveflatene konsentreres innen det aktuelle takstområdet. Det innebærer samtidig at flere ulike laserdatasett fra ulike flyvninger må også kombineres for å dekke hele området, og prøveflater som er målt i ulike år må framskrives eller tilbakeskrives til datoen for det respektive laserflyvningene.

I tillegg til at man som prinsipp alltid bør teste og validere eventuelle endringer til veletablerte takstopplegg før de implementeres operasjonelt, så er det slik at de egenskapene ved SR16 som er nevnt ovenfor, krever litt ekstra oppmerksomhet. En empirisk modell for sammenhengen mellom fjernmålingsdata og ulike skoglige variabler målt på prøveflatene, som er selve "motoren" i en arealbasert lasertakst, har tidligere vist seg å ikke være generell utover takstområder av «normal» størrelse (~1000 km²). Når modellen blir konstruert for en hel landsdel eller et helt land, er det grunn til å undersøke om modellprediksjoner og påfølgende bestandsestimater er like gode over hele området modellen er konstruert for. Når det gjelder sammenhenger mellom punktdata fra laserskanning og skoglige variabler som bestandsvolum og grunnflate, er dette spesielt viktig fordi den modellmessige sammenhengen mellom felt- og laserdata i stor grad bestemmes av hvordan greinbiomassen er fordelt innen trekronene og andre strukturelle forhold i bestandet. Laserdata fanger altså i hovedsak egenskaper i trekronene (form, tetthet) og trærnes fordeling over arealet, og ikke de egenskapene man egentlig søker, slik som stammens volum, grunnflate, høyde etc. Trekronenes form og tetthet og skogens struktur varierer med bl.a. klimatiske- og geografiske forhold, i tillegg til skogbehandling, så dette vil gjøre at en modell ikke vil kunne være generell over store geografiske områder. Det er også usikkerhet knyttet til de nødvendige framskrivingene og til at modellene kalibreres med bruk av data fra ulike laserdataprosjekter.

I dette prosjektet var formålet å undersøke om takstproduktet SR16 gir prediksjoner med samme nøyaktighet som en ordinær arealbasert lastertakst. Vi undersøkte prediksjoner fra SR16 for variablene volum (V), grunnflate (G), middelhøyde (HL) og overhøyde (Ho) opp mot feltmålte verdier for de samme variablene på prøveflater. Differanser mellom predikerte og observerte verdier ble beregnet, og videre ble analyser knyttet til systematiske prediksjonsfeil gjennomført. Det var også et delmål å undersøke om variabler som representerte lokale voksestedsforhold kunne forklare variasjonen i disse differansene. Analyser knyttet til det økonomiske tapet ved å fatte ikke-optimale forvaltningsbeslutninger forårsaket av feilaktig takstinformasjon ble også utført basert på data både fra SR16 og en tradisjonell lokal lasertakst. Slike analyser er et middel til å sammenlikne økonomiske forhold ved en metode som ikke bare tar hensyn til kostnadene, men også nytten i økonomisk forstand.

Materiale og metode

Referansedata

Denne studien har blitt gjennomført med data fra 33 lokale takstprosjekt i Sørøst-Norge og Trøndelag, samt et område på Vestlandet. Figur 3 indikerer hvor hvert av de ulike takstprosjektene var lokalisert. Til sammen hadde studien tilgang til 5167 feltobservasjoner (prøveflater) for sammenligning mellom prediksjoner fra SR16 og verdier beregnet fra målinger gjort på prøveflater i felt. Tilsvarende sammenligninger ble utført for prediksjoner utført med modeller kalibrert lokalt slik det ville ha blitt gjort i en ordinær areal-basert lasertakst slik den gjennomføres i dag. Vi begrenset studien til kun å gjelde hogstklasse III, IV og V.

Det var noen små forskjeller mellom feltinstruksene brukt i de ulike takstprosjektene. Disse var knyttet til prøveflatestørrelser, utvalgsdesign og klavegrenser. Uavhengig av takstprosjekt ble det på hver prøveflate registrert diameter i brysthøyde (dbh) og treslag på alle trær større eller lik klavegrensen, samt at det ble målt høyde (h) på prøvetrær som ble valgt ut med et relaskop, men kun trær innenfor flateperiferien. Relaskopfaktoren ble variert mellom flater slik at det ble valgt ut i gjennomsnitt 10 prøvetrær per flate.

Basert på registreringene, ble det for hver flate beregnet V , G , HL og Ho . V ble beregnet ved hjelp av tariffkubering der det først ble beregnet en tariffhøyde (th) for hvert tre ved hjelp av modellene til Fitje and Vestjordet (1977) og deretter et tariffvolum ved hjelp av volummodellene for gran (Vestjordet, 1967), furu (Brantseg, 1967) og bjørk (Braastad, 1966) med dbh og th som inngang. For de selekterte prøvetrærne ble det også beregnet et «virkelig» volum med de samme volummodellene, men med dbh og h som inngang. For hver prøveflate ble det så ved hjelp av prøvetrærne beregnet et forholdstall mellom virkelig volum og tariffvolum, og dette forholdstallet (k) ble så brukt for å korrigere tariffvolumet til alle trær på flata. V for hver prøveflate ble beregnet ved å summere de korrigerede tariffvolumene på hver flate. Det ble tatt hensyn til at relaskoputvalget av prøvetrær kun inkluderte trær innenfor flateradien når k ble beregnet. Verdiene for hvert prøvetre ble vektet med forholdet mellom prøveflatearealet og treets relaskopflateareal. Relaskopflatearealet er en funksjon av treets diameter og relaskopfaktoren brukt ved prøvetreutvalget. For trær der relaskopflaten var like

stor eller større enn prøveflatearealet, ble vekten satt til 1. Denne vektingen gjør at man kan bruke en beregning av k som om alle trestørrelser har lik sannsynlighet for å bli valgt ut som prøvetre.

G ble beregnet fra klavedataene som summen av grunnflatene til de individuelle trærne, skalert til m^2/ha .

For å beregne HL ble det først gjort en prediksjon av høyde på alle trær på flata. Dette ble gjort ved å bruke beregnet volum på hvert enkelt tre etter tariffkuberingen samt målt dbh som kjente størrelser inn i volummodellene slik at høyden var den ukjente størrelsen. Deretter ble HL beregnet som grunnflateveid gjennomsnitt av disse predikerte høydene på flata. Vi korrigerer denne beregningen ved hjelp av observerte differanser mellom predikert høyde og h på prøvetrærne. Ved hjelp av en slik såkalt modellassistert beregning, ble eventuelle systematiske feil som følge av prosedyren som ble brukt for å komme fram til de beregnede høydene, justert for.

H_0 ble også beregnet ut fra de predikerte høydene på hver flate. De henholdsvis to og tre grøveste trærne ble valgt ut på flater som var $233 m^2$ og $250 m^2$, og det ble beregnet en gjennomsnittlig predikert høyde for disse trærne. Tabell 1 viser en oversikt over felldata fordelt på de ulike takstprosjektene.

Tabell 1. Oversikt over antall prøveflater (n) i de ulike takstområdene, samt gjennomsnittsverdier (snitt) og standardavvik (sd) for beregnede verdier av volum (V), grunnflate (G), grunnflateveid middelhøyde (HL) og overhøyde (Ho).

Takstområde	V (m ³ /ha)		G (m ² /ha)		HL (m)		Ho (m)			
	år	n	snitt	sd	snitt	sd	snitt	sd		
Leksvik	2016	152	159	128.8	22.8	12.2	14.0	4.4	16.9	4.8
Meldal	2018	127	243	147.3	30.4	13.7	15.6	3.6	18.9	4.1
Melhus	2013	85	188	100.0	25.3	10.2	14.9	3.4	17.2	3.9
Meråker	2019	95	183	95.8	27.5	10.3	13.2	3.1	17.1	3.1
Orkdal	2018	60	238	116.1	31.9	11.2	15.2	3.8	18.6	3.9
Overhalla	2019	79	234	157.7	29.1	13.8	15.2	4.7	18.7	5.1
Skaun	2015	107	251	146.9	34.5	14.6	14.8	3.9	18.3	4.1
Stjørdal	2019	296	272	189.8	33.6	17.7	15.7	3.9	19.4	4.4
Alvdal	2017	130	139	86.4	19.8	9.9	13.5	3.2	16.0	3.5
Aremark, Idd	2018	306	204	136.6	24.8	11.2	15.5	4.4	18.6	4.7
Dovre, Lesja, Vågå	2014	112	188	110.3	27.8	13.4	13.4	3.0	15.9	2.9
Eidskog	2018	240	210	117.1	23.6	9.5	17.2	4.3	20.6	4.3
Eidsvoll	2018	291	252	174.8	28.5	13.1	16.8	4.7	20.2	5.0
Grue	2016	129	211	121.2	26.1	11.0	15.6	3.7	19.3	4.0
Hadeland	2016	295	242	153.1	28.6	12.4	16.2	4.4	19.7	4.6
Hamar, Løten	2019	99	301	188.4	32.5	14.7	17.6	4.9	21.1	5.2
Hobøl	2019	88	241	156.2	27.6	11.6	16.6	4.2	20.2	4.6
Hole	2017	81	246	121.4	30.8	11.6	16.5	3.7	19.6	4.1
Krødsherad	2016	103	253	150.5	29.9	12.7	16.9	3.9	19.7	4.1
Lillehammer	2015	127	229	136.8	29.6	12.2	15.4	4.1	18.8	4.2
Modum, Lier, Røyken, Hurum	2019	174	260	144.4	29.5	11.2	18.1	3.9	20.9	4.3
Moss	2019	82	250	169.7	29.0	13.0	16.5	4.6	19.9	5.1
Nord-Odal	2016	143	229	126.6	26.3	10.8	17.0	4.1	20.5	4.4
Nordre Land	2017	169	254	144.8	28.8	12.3	17.6	3.9	20.6	4.3
Rendalen	2019	228	144	106.8	19.5	10.9	13.9	3.8	16.9	4.2
Sigdal, Flesberg	2019	275	217	131.5	24.9	11.6	17.4	3.52	20.0	4.1
Stor-Elvdal	2017	223	138	97.5	18.8	10.4	14.1	3.5	16.9	4.1
Tyristrand	2017	103	204	96.4	24.0	9.4	17.6	2.9	19.5	3.3
Fusa	2012	113	246	181.2	30.5	16.1	15.2	4.4	18.1	5.1
Arendal	2018	141	264	144.9	32.7	11.9	16.4	4.1	19.3	4.4
Bamle	2017	122	267	155.4	32.9	12.8	16.4	3.6	19.4	4.2
Bø, Nome, Sauherad	2019	266	217	114.6	27.4	10.6	15.8	3.6	18.7	4.0
Kristiansand	2017	126	220	113.6	30.6	11.3	14.6	3.6	17.3	4.0

For den økonomiske analysen (*en såkalt cost-plus-loss analyse*), brukte vi feltdata for 48 små bestand fra Krødsherad i Viken. Bestandene var totalklavede ruter på 61 × 61 meter (~0.37 hektar) i hogstklasse III, IV og V. For hver flate ble *dbh* registrert for alle trær med *dbh* > 10 cm og prøvetrær ble valgt ut med en sannsynlighet proporsjonal med trærnes grunnflate ved at akkumulert grunnflate i 2 cm diameterklasser ble holdt rede på under klavingen og prøvetrær ble valgt ut når forhåndsbestemte terskelverdier ble passert. I gjennomsnitt ble det målt 58 prøvetrær pr. bestand. Trær for bestemmelse av bonitet ble valgt ut som det største treet av det dominerende treslaget innenfor 16 like store ruter innen det kvadratiske bestandet. Volum ble bestemt ved hjelp av tariffkubering slik som for prøveflatene beskrevet over, men for bestandene var det ingen problemer knyttet til inkluderings sannsynlighetene

til prøvetrærne. G , HL og Ho ble beregnet slik som for prøveflatene. Alle verdier for bestandene ble skalert til å gjelde for 1 hektar.

Skogressurskart – SR16

SR16 er rasterbaserte prediksjoner av skoglige parametere som dekker mesteparten av de produktive skogarealene i Norge (Astrup et al., 2019; Hauglin et al., 2021). Prediksjonene blir gjort på celler som måler 16 m x 16 m som kan brukes til å beregne skoglig informasjon, f.eks. på bestandsnivå. Prediksjonsmodellene som brukes i SR16, konstrueres ved hjelp av feltmålte referansedata fra Landsskogtakseringens prøveflater og fjernmålte data fra ulike laserskanningsprosjekter og punktdata fra matching av digitale flybilder. For dette prosjektet spesielt ble modellene konstruert for hver av fire regioner skilt av fylkesgrenser (se Figur 3). Denne regionaliseringen er nå fjernet i SR16, og prediksjonene som er tilgjengelig i dag stammer fra modeller som kalibrert på alle Landsskogtakseringens prøveflater. Når nye fjernmålte data blir gjort tilgjengelig, oppdateres modeller og prediksjoner. I denne studien ble det brukt prediksjoner for alle prøveflater. Prediksjonene var framskrevet til dato for gjennomføring av feltarbeidet i det enkelte takstprosjekt. To ulike sett med prediksjoner ble brukt, ett sett predikert med generelle modeller for all type skog og ett sett predikert med modeller stratifisert med hensyn på treslag, hogstklasse og bonitet.

Analyse av nøyaktighet på prediksjonene

Vi beregnet differanser (D) mellom SR16-prediksjoner (\hat{y}) og feltobserverte verdier (y) for alle prøveflater og for alle skoglige variable (V , G , HL , Ho) (se ligning 1 under). For å ekskludere flater med uforholdsmessige store differanser som følge av for eksempel hogst mellom tidspunkt for feltobservasjon og SR16-prediksjon som ikke var kjent før analysene ble utført, ble det utført en statistisk test (Rosner, 1983). Gjennomsnittlige differanser i prosent av de gjennomsnittlige verdiene beregnet fra feltobservasjoner ($MD\%$) ble beregnet for alle takstprosjekt og for hele det gjenstående datamaterialet etter Rosner-testen slik som ligning 2 viser, der n indikerer antall prøveflater brukt i beregningen. I tillegg ble det for alle takstområder beregnet et estimat på den totale feilen som kvadratroten av gjennomsnittlig kvadrerte differanser i prosent av de gjennomsnittlige verdiene beregnet fra feltobservasjoner ($RMSE\%$) (se ligning 3 under).

$$D = \hat{y} - y \quad (1)$$

$$MD\% = \frac{\frac{1}{n} \sum D}{\bar{y}} \cdot 100 \quad (2)$$

$$RMSE\% = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (D)^2}}{\bar{y}} \cdot 100 \quad (3)$$

Identifikasjon av skogforhold som kan forklare størrelsen på differensene

For å undersøke om klimatiske- og geografiske forhold kunne forklare variasjonen i differansene (*avvikene mellom SR16 og referanseverdiene*), ble det brukt 19 variabler som var beskrivende for de lokale voksestedsforholdene. Dette omfattet både temperatur- og nedbørsdata for hver prøveflate beregnet av Meteorologisk institutt (Tveito et al., 2005), terrengegenskaper beregnet fra terrengmodeller fra laserskanning og feltmålte bestandsvariabler. I tillegg inkluderte vi også data for tidsrom mellom SR16 prediksjon og både feltmåling og laserskanning. Analysene ble utført ved å sette differansen som responsvariabel i en regresjonsmodell, der modelleringsmetoden tar hensyn til kompleksiteten med at data kommer fra ulike takstprosjekt og at de 19 variablene kan være innbyrdes korrelerte. Modelleringsmetoden heter «partial least squares». I analysen ble det beregnet en «viktighetsverdi» kalt *VIP* for hver av de 19 variablene, og deretter ble det basert på *VIP*-verdiene og anbefalte grenser fra litteraturen, avgjort hvilke av de 19 variablene som var sterkt korrelert med differansene.

Økonomisk analyse (cost-plus-loss)

Cost-plus-loss er en metode som kan brukes for å kvantifisere nytte og kostnader av takster på en konsistent måte, uttrykt i økonomiske termer. Dette gjøres ved å beregne summen av takstkostandene og det tap skogeier/skogforvalter påføres i form av feil beslutninger i skogbehandlingen som følge av feil i takstdataene. Ved hjelp av skogsimulatoren GAYA ble tapet beregnet i form av nåverditap på grunn av suboptimal skogbehandling. Dette ble gjort ved at prediksjoner fra både SR16 og fra en ordinær lasertakst der modellene mellom laserdata og feltmålte verdier var kalibrert lokalt, ble brukt til å beregne *V*, *G*, *HL* og *Ho* for hvert bestand som var omfattet av datasettet fra Krødsherad. De feltmålte verdiene for hvert bestand ble brukt som referansealternativ (“fasit”), og disse dannet grunnlaget for å bestemme optimal skogbehandling ved maksimering av nåverdien av skogen som utgjorde datamaterialet. Vi hentet tømmerpriser fra SSB (Tabell 2) og beregnet gjennomsnittlige sagtømmer- og massevirkepriser for gran og furu for 2021. Vi brukte en sams pris for bjørk. Det ble antatt at hvert bestand var 1 hektar stort. Hvert takstalternativ ble simulert for 20 perioder på fem år med ulike foryngelsesalternativ og ulike alternativer og tidspunkter for slutthogst, altså over en tidshorisont på 100 år. Ingen andre skjøtselstiltak ble vurdert. Den optimale kombinasjonen av skogbehandlingsalternativ med hensyn på maksimering av nåverdi ble funnet med utgangspunkt i hvert takstalternativ. Tapet ved å basere beslutninger om tidspunkt for avvirkning på data med feil (*SR16 og ordinær lasertakst*) ble beregnet ved å benytte disse beslutningene på korrekte data (*feltdata*) og å sammenligne med bruk av feilfrie data der også tidspunkt for slutthogst ble bestemt ved bruk av korrekt informasjon. Det ble brukt en kalkulasjonsrente på 3 %.

For å skille mellom effekter av feil i prediksjonene for de variablene som beskriver de fysiske egenskapene til skogen (*G*, *Ho* og *treantall per hektar (N)*) og andre variabler som er nødvendige for de økonomiske beregningene (*bonitet og alder*), ble det gjort økonomiske analyser for to ulike scenarier med tanke på fra hvilke kilder bonitet og aldersinformasjon var hentet. I scenario 1 var denne informasjonen hentet fra de respektive takstopplegg. For den ordinære lasertaksten ble bonitet beregnet basert på gjentatte laserskanninger og alder ble deretter beregnet (Noordermeer et al., 2021). For SR16-alternativet ble bonitet og alder fra

SR16 brukt. I scenario 2 ble “sann” bonitet og aldersinformasjon fra feltregistreringen brukt i begge alternativer. For begge takstalternativ, og for begge scenario, ble informasjon om treslagsfordeling holdt fast, og hentet fra feltmålingene. Det første scenariet representerer altså en operativ situasjon der man henter all nødvendig informasjon, men med unntak av treslagsfordelingen, fra det takstopplegget man har valgt (*enten SR16 eller ordinær lasertakst*), mens det andre ble utført for å bedre kunne identifisere hvilken type variabler som i størst grad er bestemmende for eventuelle tap som følge av feilaktig informasjon.

Ved hjelp av GAYA ble derfor skoglig utvikling simulert for hvert av fem ulike utgangspunkt for takstinformasjon:

- 1) Bestandsestimat fra feltmålinger. (*Referansealternativ*).
- 2) Scenario 1. Bestandsestimat basert på SR16-prediksjoner. (*Bonitet og alder fra SR16*).
- 3) Scenario 1. Bestandsestimat basert på prediksjoner fra ordinær lasertakst. (*Bonitet og alder fra gjentatt laserskanning*).
- 4) Scenario 2. Bestandsestimat basert på SR16-prediksjoner. (*Bonitet og alder fra feltregistrering*).
- 5) Scenario 2. Bestandsestimat basert på prediksjoner fra ordinær lasertakst. (*Bonitet og alder fra feltregistrering*).

Tabell 2. Tømmerpriser brukt i cost-plus-loss analyse.

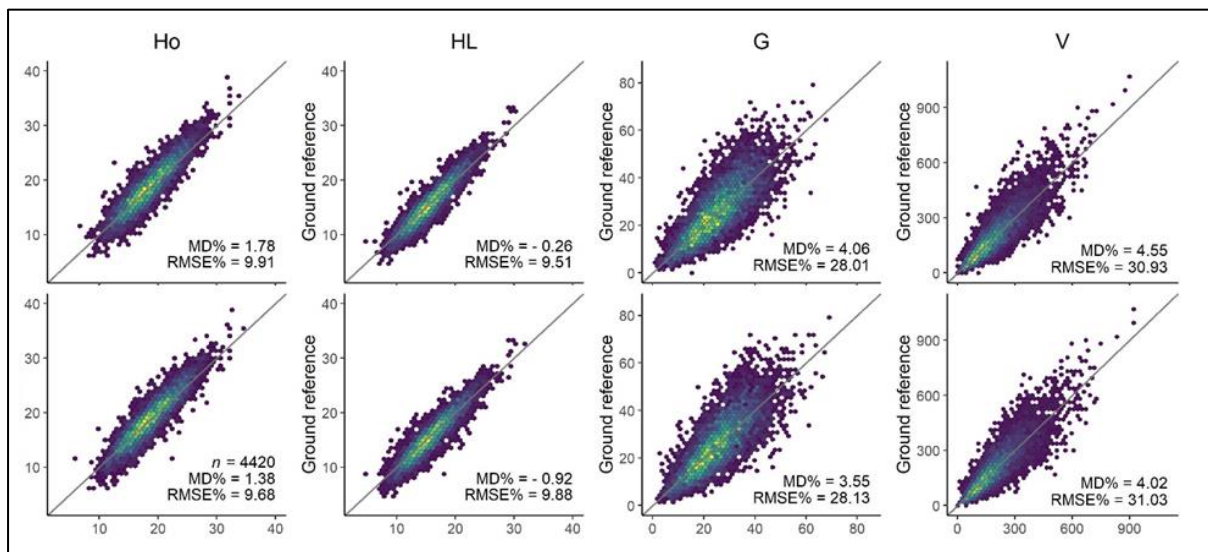
	Sagtømmer	Massevirke
	kr. per m ³	
Gran	570	260
Furu	560	260
Lauv	350	350

Resultater og diskusjon

Analyse av nøyaktighet av SR16

Resultatene viste generelt at SR16 stort sett gir et godt resultat hvis man ser på hele regionen der prøveflatene fra Landskogtakseringen brukt til konstruksjon av modellene mellom felt- og laserinformasjon er hentet fra. Figur 1, der de flatevise verdiene beregnet fra feltobservasjoner (*y*-akse) er plottet mot de korresponderende verdiene i SR16 (*x*-akse), viser at observasjonene fordeler seg forholdsvis symmetrisk rundt 1:1 linjen. Figuren viser også at den gjennomsnittlige differansen mellom referanseverdiene og SR16 (*MD%*) er lavere for de to høydevariablene (*Ho* og *HL*) sammenlignet med *V* og *G*. Dette er ikke overaskende siden det faktisk er høyder som måles ved hjelp av laserskanning. Den totale feilen (*RMSE%*) er av en størrelsesorden som forventet på prøveflatenivå. På bestandsnivå ville *RMSE%*

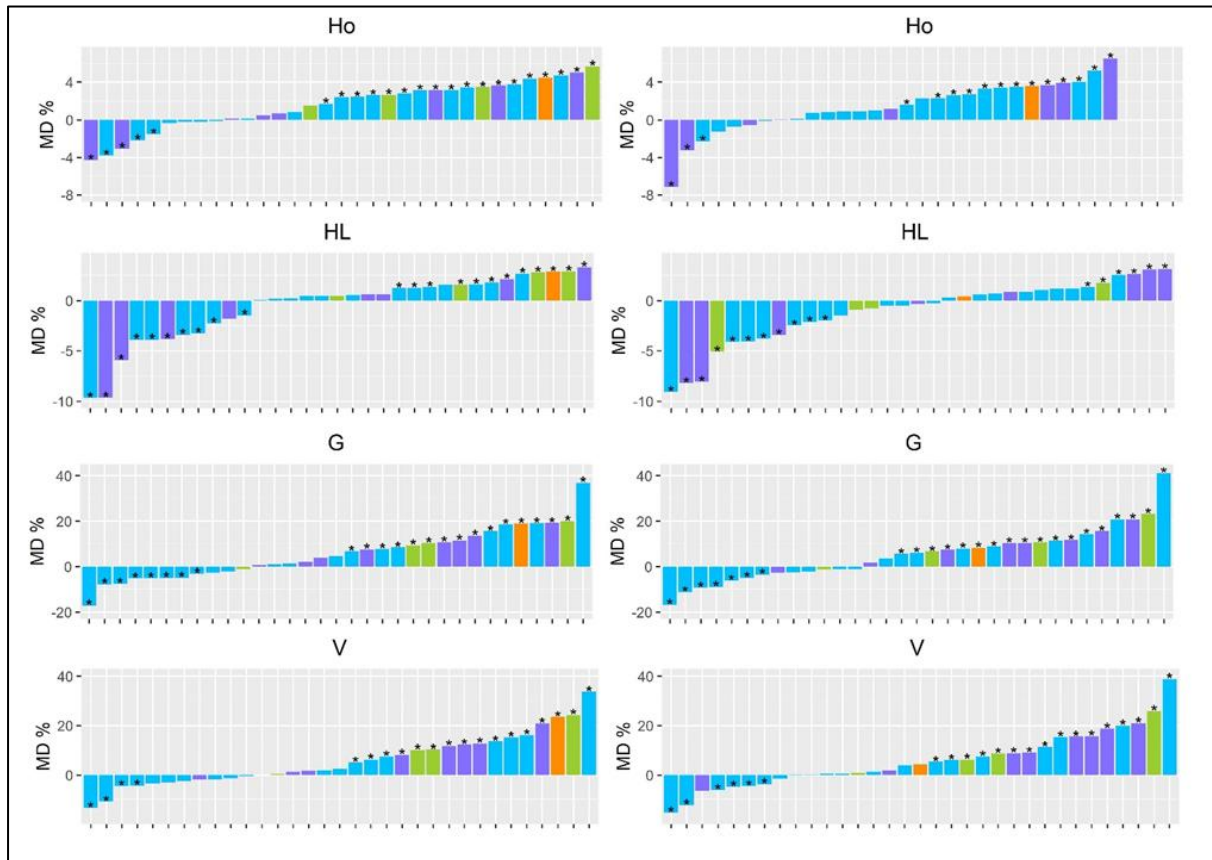
sannsynligvis ha vært lavere. Figuren viser også at det ikke er store forskjeller på resultatene om det ble brukt SR16-prediksjoner fra generelle modeller (øverste del av figuren) og stratumvise SR16-prediksjoner (nederste del av figuren).



Figur 1. Verdier beregnet fra feltobservasjoner (y-akse) plottet mot korresponderende SR16-prediksjoner for overhøyde (Ho), grunnflateveid middelhøyde (HL), grunnflate per hektar (G) og volum per hektar (V). Øverste del av figuren viser resultater ved bruk av generelle SR16-prediksjoner og nedre del viser resultater ved bruk av stratumvise SR16-prediksjoner.

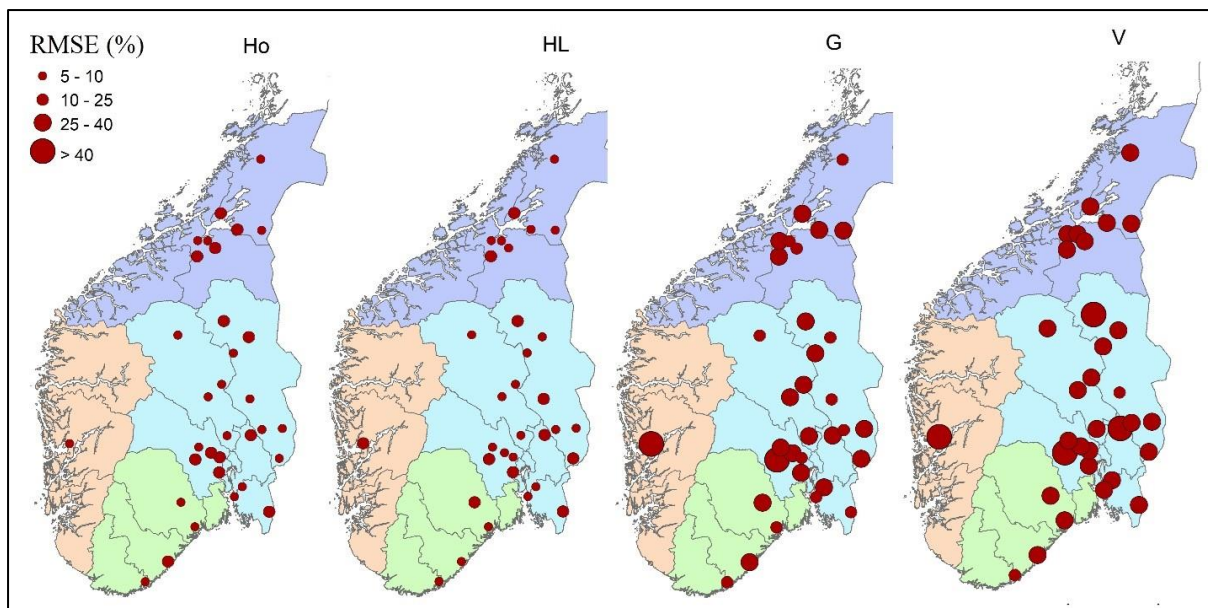
Innen regionene fant vi at det var geografiske trender i de systematiske prediksjonsfeilene. Innen enkelte av de 33 takstområdene vi undersøkte var det systematiske prediksjonsfeil opp til 40% av observert volum. Figur 2 viser den systematiske feilen for hver av de undersøkte variablene som stolpediagram der hvert takstprosjekt er representert med en stolpe. Fargen på hver stolpe korresponderer med fargen på regioninndelingen i Figur 3. De takstprosjektene der MD% var statistisk signifikant forskjellig fra null, er indikert med stjerne (*). Resultat der det ble brukt SR16-prediksjoner fra generelle modeller, er plassert til venstre og resultater etter bruk av stratumvise SR16-prediksjoner til høyre. Figuren viser at det på takstprosjektnivå var systematiske differanser av varierende størrelse og at disse var størst for V og G. Som tidligere nevnt, vil det over store geografiske områder med store klimavariasjoner og variasjoner i naturforholdene for øvrig, være slik at kroneformen på trærne og andre egenskaper ved skogen som påvirker lasermålingene, kan variere en god del. Enkelte steder vil trær tendere til å bli høye og slanke, mens andre steder finnes det kanskje i hovedsak korte trær med vide kroner etc. Både stammeform og kronedimensjoner er tilpasset til, og påvirket av, klima og andre faktorer som bestemmer veksten. I denne sammenhengen er dette et viktig poeng fordi det forklarer hvorfor det er ulike modellmessige sammenhenger mellom feltmålte verdier og laserdata mellom våre lokale takstprosjekter innen SR16-regionene. Laserpulsene reflekteres i hovedsak av trekronene, så hvis det er en trend med tanke på kronedimensjoner relativt til stammeform, vil en generell modell ikke fungere over hele takstområdet. Det var imidlertid valgt en modelleringsstrategi i SR16 som i teorien skulle korrigere for at modellsammenhengene varierer, dvs. såkalt «mixed modelling». Her har man latt hvert laserprosjekt som inngår i dataene som brukes til modellkonstruksjon, få en egen faktor (en tilfeldig effekt) som gjør at modellen innenfor hvert laserprosjekt kan avvike fra den generelle trenden som modellen beskriver. I dette tilfellet ser det imidlertid ikke ut som dette

har vært tilstrekkelig for å unngå lokale systematiske feil. Problemet er sannsynligvis at innenfor hvert laserprosjekt er det for få flater i Landskogtaseringen til at den tilfeldige effekten kan estimeres presist.



Figur 2. Stolpediagram som viser størrelsen på gjennomsnittlige differanser mellom predikert verdier fra SR16 og verdier beregnet basert på feltobserverte verdier av *V*, *G*, *HL* og *Ho* for de ulike takstprosjektene som var omfattet av studien. Fargen på hver stolpe korresponderer med fargen på regioninndelingen i Figur 3. De takstprosjektene der *MD%* var statistisk forskjellig fra null, er indikert med stjerne (*). Resultat der det ble brukt SR16-prediksjoner fra generelle modeller, er plassert til venstre og resultater etter bruk av stratumvise SR16-prediksjoner til høyre.

Figur 3 viser en grafisk framstilling av størrelsen på den totale feilen (*RMSE%*) for de ulike variablene ved bruk av den generelle modellen fra SR16. Figuren viser at det som for *MD%*, er en markant forskjell mellom de to høydevariablene til venstre i figuren og *V* og *G* som finnes til høyre. For hver av variablene, er det også betydelig variasjon mellom takstprosjekter.



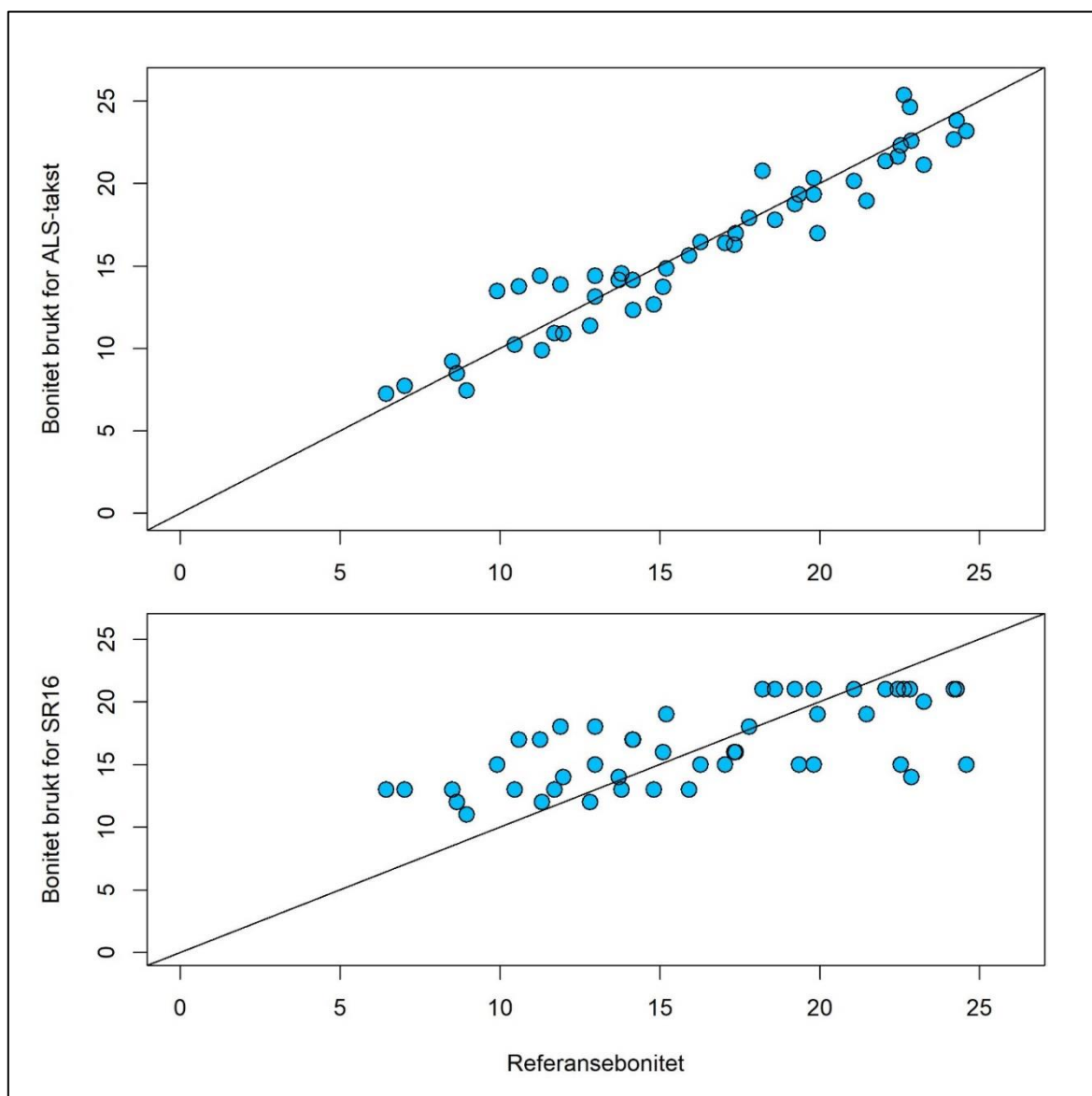
Figur 3. Geografisk og grafisk framstilling av størrelsen på den totale prediksjonsfeilen (*RMSE%*) for de ulike takstprosjekter og variabler. SR16-regioner er indikert med ulike farger.

Analysene som ble utført for å avdekke hvilke egenskaper ved voksestedet som kunne forklare variasjonen i differansene mellom SR16-prediksjoner og verdier beregnet fra felldata, viste at stammeform, representert ved forholdet mellom diameter og høyde, var viktig. I tillegg var lauvtreandel og bonitet viktige egenskaper som forklarte en relativt stor andel av variasjonen i prediksjonsdifferanse. Blant klimavariablene var nedbørsmengde i vintermånedene og temperatur i sommermånedene de som skilte seg ut. Det var altså sammenhenger både mellom prediksjonsfeil og direkte uttrykk for trærnes form, men også klimavariabler som beskriver forholdene trærne vokser under. Lauvtreandel har lenge vært kjent for å være assosiert med store prediksjonsfeil i arealbaserte lasertakster. Bartrær og lauvtrær har ulik kroneform og kronestruktur som påvirker lasermålingene, og derfor vil blandingsforholdet mellom bar og lauv være bestemmende for modellsammenhengen mellom punktskyen fra laser og *V*, *G*, *HL*, og *Ho* i skog.

Økonomisk analyse (cost-plus-loss)

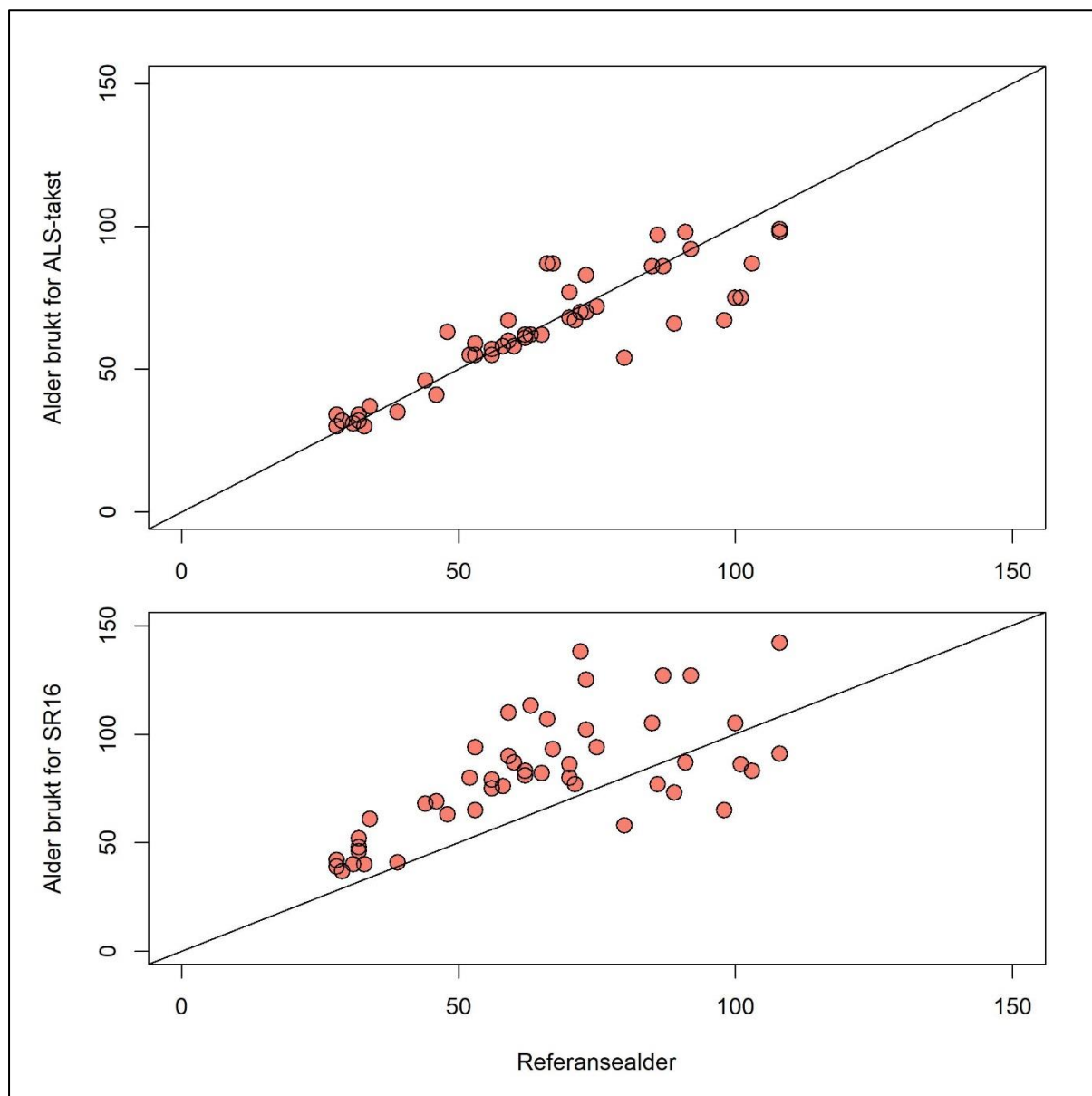
Den økonomiske analysen ble bare gjennomført for feltmålte valideringsbestand i Krødsherad. Figur 3 indikerer at de totale prediksjonsfeilene for *Ho*, *HL*, *G* og *V* for Krødsherad ikke er spesielt store sammenlignet med andre takstprosjekter vi har dokumentert, og prediksjonsfeilene i dette området ligger nært opptil det man kan forvente i en ordinær lasertakst. Hvis man ser isolert på effekten av disse variablene med tanke på beslutninger om slutthogst og foryngelse, vil man ikke forvente store forskjeller. I den økonomiske analysen ble imidlertid effekter av feil knyttet til bonitet og alder også tatt hensyn til (scenario 1). Resultatene (Tabell 3) fra tapsdelen i cost-plus-loss analysen for scenario 1 viste at de totale nåverditapene for de 48 bestandene som ble undersøkt, var henholdsvis 98 943 kr (2.4 %) og 23 994 kr (0.6 %) for henholdsvis SR16 og ordinær lasertakst. Tapene skyldes at man på grunn av feil takstinformasjon avvirker for tidlig eller for sent i tillegg til at man benytter feil foryngelsesmetode. For eksempel for bestandet med størst tap for SR16 så ble første avvirkning gjennomført 5 år for tidlig fordi alderen var overestimert og boniteten var

underestimert. På grunn av den underestimerte boniteten ble neste omløp forynget naturlig og ikke ved planting som i referansealternativet. For det bestandet med størst tap for lasertaksten så skyldes tapet hovedsakelig feil i bonitet, men siden bestandet var forholdsvis ungt så kom avirkningen først noe frem i tid. Generelt var det store forskjeller med tanke på informasjonen for bonitet og alder som ble brukt i de to alternativene. Figur 4 viser sammenhengen mellom boniteten målt i felt (*referansebonitet*) og bonitetene brukt i forbindelse med henholdsvis SR16 og den ordinære lasertaksten. Figuren viser at bonitetsverdiene brukt i SR16 (*nederste del av figuren*) ikke spenner variasjonsbredden til den feltmålte boniteten og at boniteten på de mest produktive arealene er underestimert.



Figur 4. Sammenhengen mellom bonitet målt i felt (*referansebonitet*) og boniteter brukt i cost-plus-loss analysene med henholdsvis SR16 (*nederste del av figuren*) og den ordinære lasertaksten (*øverste del av figuren*).

Det var også store forskjeller med tanke på aldersinformasjonen som ble brukt i de to alternativene. Figur 5 viser at det er forholdsvis god sammenheng mellom alder målt i felt og alderen brukt i alternativet for den ordinære lasertaksten. Alderen brukt i SR16-alternativet var imidlertid systematisk overvurdert og kunne ha forholdsvis store avvik fra den feltmålte alderen (*nedre del av Figur 5*).



Figur 5. Sammenhengen mellom alder målt i felt (*referansealder*) og aldre brukt i cost-plus-loss analysene med henholdsvis SR16 (*nederste del av figuren*) og den ordinære lasertaksten (*øverste del av figuren*).

Forskjellen i tap mellom de to takstalternativene (*tap SR16 minus tap lasertakst*) i scenario 1 var 1 561 kr per hektar i disfavør av SR16. I utgangspunktet er dette en stor differanse, men resultatet må tolkes med varsomhet. Datamaterialet har en overvekt av gammel skog på god bonitet der verdien av nøyaktig takstinformasjon er høy. Feil beslutninger knyttet til hogst og foryngelse vil på slike arealer betyr mye i økonomiske beregninger. Eid (2000) viste at for et

gitt relativt feilnivå var tapene relatert til feil i alder og bonitet større enn tapene relatert til feil i andre variabler. Dette illustreres klart i scenario 2 der bonitets- og aldersinformasjonen var den samme for begge takstalternativer. Forskjellen i nåverditap mellom de to takstalternativene var for denne analysen 15 kr per hektar i favør av SR16 (Tabell 3), og dette betyr at feilene i prediksjonene av *G*, *N* og *Ho* har mindre effekt på resultatene sammenlignet med effekten av feil i bonitet og alder. Med den relativt presise bonitets- og aldersbestemmelsen med dagens takstprosedyre, der modeller for bonitetsprediksjon blir konstruert basert på lokale observasjoner av bonitet sammen med bi-temporale laserdata, vil man altså ha et godt utgangspunkt for å ta gode beslutninger med tanke på hogsttidspunkt og foryngelsesstrategi. De økonomiske analysene gir derfor en indikasjon på at det kan være verd å kjøpe en skogbruksplan basert på en ordinær lasertakst istedenfor en plan utarbeidet med utgangspunkt i data fra SR16. En skogbruksplan koster i dag mellom 100 kr og 200 kr pr. hektar, alt etter størrelsen på skogeiendommen. Hvis skogeier bruker skogfond og i tillegg får «vanlige» tilskuddssatser for å kjøpe skogbruksplanen, vil den for en skogeiendom på 100 hektar koste i overkant av 30 kroner pr. hektar. Det betyr at det økonomiske tapet ved å bruke SR16 framfor data fra en lokal arealbasert lasertakst er av en helt annen størrelsesorden, selv om vi tar alle de forbehold som er nevnt med tanke på vårt datamateriale.

Tabell 3. Resultater fra tapsdelen i cost-plus-loss analysen for 48 bestand på 1 hektar. Kolonnen «Fasit» viser nåverdi for referansealternativet der det er brukt korrekt takstinformasjon. De ulike nåverditapene, nåverditap i bestandet med minst tap (Min tap), gjennomsnittlig tap (Snitt tap), nåverditap i bestandet med størst tap (Max tap) og totalt nåverditap for alle 48 bestand (Sum tap), er derfor lik null for dette alternativet. Kolonnene «SR16» og «Lasertakst» viser de samme verdiene når taksten er basert på henholdsvis SR16 og ordinær lasertakst. Scenario 1 omfatter analyser der bonitet og aldersinformasjon er hentet fra de respektive takstopplegg og scenario 2 omfatter analyser der bonitet og aldersinformasjon er den samme for både SR16 og lasertakst.

	1) "Fasit"	Scenario 1		Scenario 2	
		2) SR16	3) Lasertakst	4) SR16	5) Lasertakst
Nåverdi (NOK)	4 203 059	4 104 116	4 179 065	4 200 701	4 199 998
Min tap (NOK/ha)	0	0	0	0	0
Snitt tap (NOK/ha)	0	2061	500	49	64
Max tap (NOK/ha)	0	13 091	5 788	1 690	1597
Sum tap (NOK)	0	98 943	23994	2 358	3061
Antall bestand uten tap	48	12	25	43	41
Bestand med feil tidspunkt for første behandling:					
Antall	0	9	4	5	7
Sum tap (NOK)	0	45 391	7 579	2 358	3 061

Konklusjon

Vår studie viser at prediksjoner fra SR16 ikke er egnet for å produsere skogbruksplaner med samme nøyaktighet som man kan oppnå ved en ordinær areal-basert lasertakst. Resultatene våre viser at det for lokale områder kan være snakk om betydelige systematiske feil som følge av at prediksjonsmodellene som brukes, ikke er tilpasset naturlige variasjoner i enkeltrærnes kroneform og bestandsstruktur. Slike variasjoner følger ofte av variasjoner i klimatiske og geografiske forhold. De økonomiske analysene viser at tapet som følge av å ta beslutninger om avvirkning basert på ukorrekt takstinformasjon fra SR16, er større enn besparelsen ved å bruke et billigere takstprodukt. SR16 er likevel en kilde til data som kan være svært nyttig i mange sammenhenger. Produktet utgjør heldekkende og jevnlig oppdatert skoglig

informasjon der det aller meste av produksjonskostnadene er dekket over andre budsjetter. Knyttet til produksjon av skogbruksplaner kunne man kan f.eks. tenke seg at SR16-prediksjonene kunne kalibreres med et lite utvalg av prøveflater målt lokalt som demonstrert av de Lera Garrido et al. (2022). Man kan også tenke seg prediksjoner fra SR16 som en del av et system der estimer for skoglige variabler estimeres ved hjelp av dataassimilering (Saad et al., 2017) der all tilgjengelig informasjon om skogen, også historisk informasjon, gis ulik vekt for å estimere volum og annen essensiell skoglig informasjon så nøyaktig og presist som mulig.

Referanser

- Astrup, R., Rahlf, J., Bjørkelo, K., Debella-Gilo, M., Gjertsen, A.-K., & Breidenbach, J. (2019). Forest information at multiple scales: development, evaluation and application of the Norwegian forest resources map SR16. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34(6), 484-496. <https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1588989>
- Brantseg, A. (1967). Volume functions and tables for Scots pine: South Norway. *Meddelelser fra Det Norske Skogforsøksvesen*, 22, 689-739.
- Braastad, H. (1966). Volume tables for birch. *Meddelelser fra Det Norske Skogforsøksvesen*, 21, 23-78.
- de Lera Garrido, A., Gobakken, T., Ørka, H. O., Næsset, E., & Bollandsås, O. M. (2022). *Estimating forest attributes in airborne laser scanning based inventory using calibrated predictions from external models* (Vol. 56). <https://doi.org/doi:10.14214/sf.10695>
- Eid, T. (2000). Use of uncertain inventory data in forestry scenario models and consequential incorrect harvest decisions. *Silva Fennica*, 34(2). <https://doi.org/10.14214/sf.633>
- Fitje, A., & Vestjordet, E. (1977). Stand height curves and new tariff tables for Norway spruce. *Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning*, 34(2), 23-68.
- Hauglin, M., Rahlf, J., Schumacher, J., Astrup, R., & Breidenbach, J. (2021). Large scale mapping of forest attributes using heterogeneous sets of airborne laser scanning and National Forest Inventory data. *Forest Ecosystems*, 8(1), 65. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00338-4>
- Noordermeer, L., Gobakken, T., Næsset, E., & Bollandsås, O. M. (2021). Economic utility of 3D remote sensing data for estimation of site index in Nordic commercial forest inventories: a comparison of airborne laser scanning, digital aerial photogrammetry and conventional practices. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 36(1), 55-67. <https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1854340>
- Rosner, B. (1983). Percentage Points for a Generalized ESD Many-Outlier Procedure. *Technometrics*, 25(2), 165-172. <https://doi.org/10.1080/00401706.1983.10487848>
- Saad, R., Eyvindson, K., Gong, P., Lämås, T., & Ståhl, G. (2017). Potential of using data assimilation to support forest planning. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(5), 690-695. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0439>
- Tveito, O. E., Bjørndal, I., Skjelvåg, A. O., & Aune, B. (2005). A GIS-based agro-ecological decision system based on gridded climatology. *Meteorological Applications*, 12(1), 57-68. <https://doi.org/doi:10.1017/S1350482705001490>
- Vestjordet, E. (1967). Functions and tables for volume of standing trees. Norway spruce. *Meddelelser fra Det Norske Skogforsøksvesen*, 22, 539-574.