

Faglig sluttrapport for prosjekt

Andre takstomdrev med arealbasert lasertakst – mulighet for gjenbruk av prøveflatedata

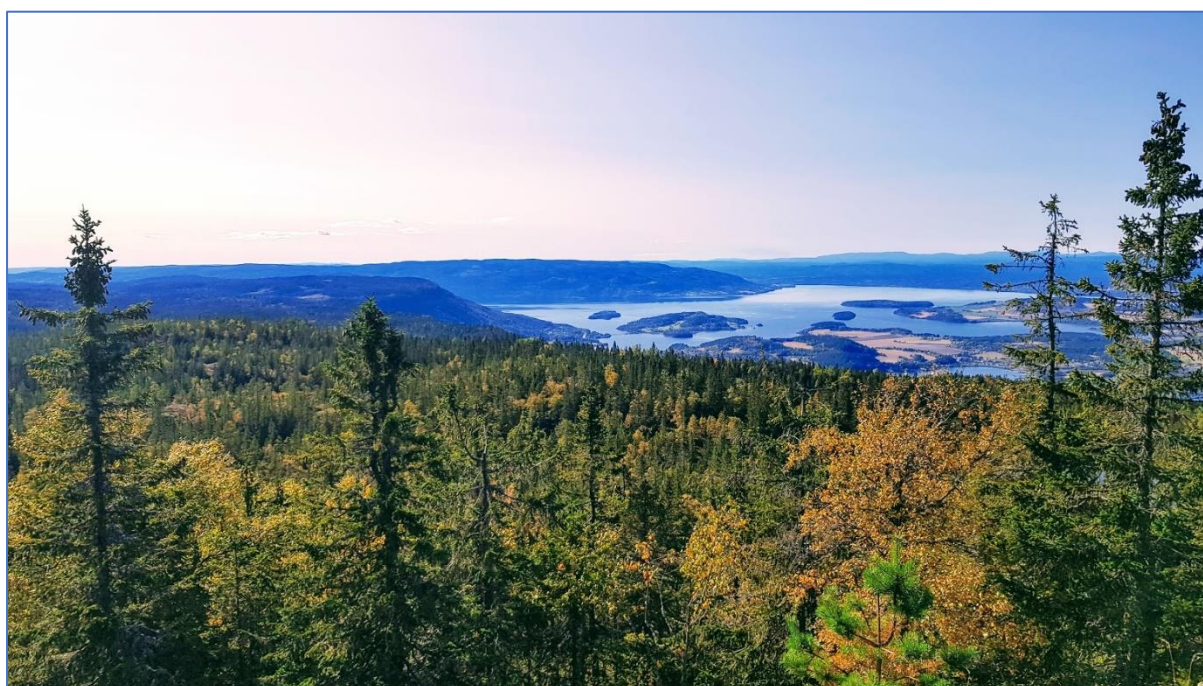


Foto: Ole Martin Bollandsås. Utsikt over Tyrifjorden og deler av Hole fra Gyrihaugen i Ringerike.

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

Januar 2021



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet



Innhold

Generell informasjon	4
Sammendrag	4
Hovedpublikasjoner	4
1. Innledning	5
1.1. Den arealbaserte metoden	5
1.2. Mer effektive takster	5
1.3. Nye muligheter ved andre omdrev med lasertakster	6
1.4. Prosjektmål	7
2. Studieområder og datagrunnlag	8
2.1. Felldata	8
2.2. Laserdata	10
3. Metoder	11
3.1. Steg 1 – Kvantifisering av feil ved gjenbruk av prediksjonsmodeller	11
3.1.1. Bruk av modell fra forrige taksttidspunkt (M1)	11
3.1.2. Bruk av modell konstruert på framskrevne prøveflatedata (M2)	12
3.1.3. Bruk av modell konstruert på taksttidspunktet (M3)	12
3.2. Steg 2 – Analyse av regionale forskjeller og korrigeringsmetoder	12
3.2.1. Temporær gjenbruk - korreksjon med ratioestimator (M1)	12
3.2.2. Temporær gjenbruk - korreksjon med regresjonsestimator (M1)	13
3.2.3. Temporær gjenbruk – reparameterisering (M3)	13
3.2.4. Temporær gjenbruk - konstruksjon av ny modell på et begrenset antall nyetablerte prøveflater (M3)	14
3.2.5. Romlig gjenbruk - korreksjon med ratioestimator (M1), regresjonsestimator (M1), og reparameterisering (M3)	14
3.2.6. Ny takst (M4)	14
3.2.7. Oppsummering av metoder og korreksjonstilnæringer	15
3.3. Analyser og tolking av simuleringsresultater	15
3.4. Tolking av boksplokk	16
4. Resultater og diskusjon	17
4.1. Steg 1	17
4.1.1. Bruk av modell fra forrige taksttidspunkt (M1) og ny modell (M3)	17
4.1.2. Bruk av modell konstruert på framskrevne prøveflatedata (M2)	17
4.2. Steg 2 – Analyse av regionale forskjeller og korrigeringsmetoder	18
4.2.1. Regionale forskjeller	18
4.2.2. Korrigeringsmetoder	19

4.2.3.	Resultater for overhøyde	20
4.2.4.	Resultater for treantall per hektar	22
4.2.5.	Resultater for volum per hektar	24
5.	Oppsummering	26
6.	Kommentarer ut over rammene til prosjektet	26
7.	Anbefalinger	27
7.1.	Valg av ekstern modell	27
7.2.	Etablering av feltobservasjoner i det nye takstområdet	27
8.	Referanser	28
9.	Appendiks 1	30

Generell informasjon

Prosjektnummer: 3751000003 (NMBU), 8751000004 (Viken Skog, Skogtiltaksfondet)

Prosjektleder: NMBU

Prosjektpartnere: Glommen-Mjøsen Skog SA, NORSKOG, Statskog, Viken Skog SA

Prosjekttittel: Andre takstomdrev med arealbasert lasertakst – mulighet for gjenbruk av prøveflatedata

Finansieringsperiode: Januar 2018 – desember 2020

Finansiering: Skogtiltaksfondet, Utviklingsfondet for skogbruket, NMBU

Sammendrag

I dette prosjektet har det ved hjelp av data fra Nordre Land, Hole og Krødsherad, blitt gjort analyser knyttet til bruk av prediksjonsmodeller for sentrale variabler i arealbasert lasertakst på tvers av takstområder og taksttidspunkt. Når modeller blir brukt utenfor området eller tidspunktet de ble konstruert for, kalles de «eksterne modeller». Modellene ble korrigert ved hjelp av ulike tilnærminger. De eksterne modellene først ble brukt til prediksjon på begrensede antall nyetablerte prøveflater slik at eventuelle systematiske avvik mellom prediksjon og feltobservert verdi kunne observeres. Basert på de observerte avvikene kunne deretter prediksjoner over takstområdet korrigeres for systematiske avvik. Den potensielle nytten ved dette opplegget er knyttet til at man kan redusere feltinnsatsen i framtidige arealbaserte lasertakster.

Resultatene fra prosjektet indikerer at antall prøveflater som etableres i et takstområde, kan reduseres til omkring 20 per stratum i en arealbasert lasertakst, hvis man allerede har modeller mellom laser- og feltinformasjon fra et annet takstprosjekt. Det nyetablerte flatene utnyttes best ved at modellen fra det tidligere takstprosjektet anvendes på de nyetablerte prøveflatene slik at det potensielle systematiske avviket forårsaket av den eksterne modellen kan beregnes og korrigeres. I dette prosjektet fikk vi mest presise resultater ved å bruke tilnærminger der ratio- og regresjonsestimatorer for systematiske avvik ble brukt. Resultatene viste at det ikke er trivielt for nøyaktigheten av de korrigerede prediksjonene hvilken modell som blir brukt, så det er nødvendig at stratifiseringene for de eksterne modellene i stor grad sammenfaller med den som brukes i det nye takstprosjektet.

Hovedpublikasjoner

de Lera Garrido, A. M., Gobakken, T., Ørka, H. O., Næsset, E., & Bollandsås, O. M. (2020). Reuse of field data in ALS-assisted forest inventory. *Silva Fennica*, 54(5), 1-18.

Kangas, A., Gobakken, T., & Næsset, E. (2020). Benefits of past inventory data as prior information for the current inventory. *Forest Ecosystems*, 7(1), 20. doi:10.1186/s40663-020-00231-6

de Lera Garrido, A. M., Gobakken, T., Næsset, E., & Bollandsås, O. M. (2021). Estimating forest properties using corrected predictions from external models, manuskript.

Skarpnord, K (2021). Gjenbruk av prediksjonsmodeller i arealbasert lasertakst: korrigerings av prediksjoner ved hjelp av oppdaterte feltobservasjoner. Masteroppgave ved NMBU, manuskript.

1. Innledning

I skogbruksplanleggingen i Norge har takstdelen helt siden første halvdel av 2000-tallet blitt utført som såkalt lasertakst (Næsset, 2014). Norge var først ute i verden med å operasjonalisere en metode (Næsset, 2002) der data fra flybåren laserskanning blir brukt i kombinasjon med en begrenset mengde feltinformasjon for å estimere ulike bestandsparametere over det aktuelle takstarealet. Metoden er betegnet som den arealbaserte metoden. De seks vanligste bestandsparametere som blir estimert med denne metoden, er middel høyde, overhøyde, grunnflatemiddeldiameter, treantall, grunnflate, og volum, men også biomasse og bundet karbon er informasjon som har blitt inkludert når fokuset for ressuroversikten er knyttet til klimaregnskap heller enn tømmerressurser.

1.1. Den arealbaserte metoden

Kort fortalt fungerer den arealbaserte metoden ved at sammenhengen mellom variabler som representerer egenskapene til laserdataene (laservariabler), og feltmålte verdier for de bestandsparametere vi er interessert i, kvantifiseres gjennom en statistisk modell. En statistisk modell for en gitt bestandsparameter blir konstruert på grunnlag av et utvalg parvise observasjoner av feltmålte verdier av den aktuelle bestandsparameteren og korresponderende laservariabler på posisjonerte prøveflater (vanligvis 200 til 250 m²). Ved bruk av regresjonsanalyse blir modellen parameterisert slik at den beskriver sammenhengen mellom bestandsparameteren og utvalgte laservariabler. Vanligvis beregnes det omkring 40 ulike laservariabler i hvert takstprosjekt, og blant disse velges det etter ulike statistiske kriterier, typisk to eller tre variabler som skal inngå inn den endelige modellen. De variablene som blir valgt, kan være forskjellige både mellom modeller for ulike bestandsparametere (volum, overhøyde etc.), og for samme bestandsparameter mellom ulike strata og mellom ulike takstprosjekt. Modellene for de ulike bestandsparametere kan deretter brukes for prediksjon på beregningsceller med størrelse lik prøveflatene som ble brukt til modellkonstruksjon, over hele arealet der heldekkende laserdata er tilgjengelig. For å lage bestandsestimater, blir prediksjonene for de ulike bestandsparametere på beregningsceller aggregert innenfor hvert bestandspolygon. Den første lasertaksten i internasjonal sammenheng ble påbegynt i Nordre Land kommune i 2002 (Næsset, 2004a), men metoden ble utviklet og testet i noe mindre skala allerede noen år tidligere i Våler (Næsset, 2002) og Krødsherad (Næsset, 2004b). I dag takseres omtrent all skog i Norge (300 000 hektar årlig) ved hjelp av den arealbaserte metoden (Ørka *et al.*, 2018).

1.2. Mer effektive takster

Innføring av arealbasert lasertakst ga store fordeler med tanke på den økonomiske nytten av taksten. Selv om taksten i seg selv var assosiert med større kostnader sammenlignet med de understøttede fototakstene som var vanlig fram til lasertaksten tok over, ble kvaliteten på informasjonen så mye bedre at man mer enn kompenserte for de økte kostnadene gjennom at skogeierne kunne ta bedre forvaltningsbeslutninger (Eid *et al.*, 2004). Det har likevel foregått en kontinuerlig forskningsinnsats for å få kunnskap om hvilke faktorer som betyr mest for nøyaktighet og presisjon i arealbaserte lasertakster og for å kunne designe takstene enda bedre for å balansere nytte og kostnader. Eksempler er hvilke valg man bør ta i forbindelse med innsamling av laserdataene med tanke på flyhøyde (Næsset, 2009) og punktetthet (Gobakken and Næsset, 2008), som begge har direkte betydning for kostnadene. I tillegg til faktorer knyttet til hvordan laserdataene samles inn, er også arbeidet i forbindelse med innsamling av feltdata en stor kostnadskomponent. I denne forbindelsen er det for eksempel gjort studier knyttet til hvor mange prøveflater som er nødvendige for å konstruere robuste prediksjonsmodeller (Gobakken and Næsset, 2008) og hvilken prøveflatestørrelse man bør bruke

(Gobakken and Næsset, 2008). Andre eksempler er hvordan prøveflatene bør fordeles over takstområdet (Maltamo *et al.*, 2011).

1.3. Nye muligheter ved andre omdrev med lasertakster

Nå har det gått mer enn 15 år siden de første operasjonelle lasertakstene i Norge ble gjennomført, og stadig flere områder vil derfor stå foran andre takstomdrev der det benyttes arealbasert lasertakst. I årene 2016 og 2017 ble slike andregangs takster satt i gang i områdene Nordre Land, Krødsherad og Hole. I dette ligger det en unik mulighet for å redusere takstkostnadene. Både prøveflatedata og laserdata fra det første takstomdrevet er tilgjengelig, så hvis man kan konstruere prediksjonsmodeller på de «gamle» parvise observasjonene av felt- og laserdata (gjenbruke «gamle» modeller), og deretter anvende modellene sammen med laserdata samlet inn over de samme områdene på tidspunktet for den nye taksten, vil dette kunne innebære en stor kostnadsreduksjon. Her er det altså i sin ytterste konsekvens snakk om å droppe feltdatainnsamlingen i den nye taksten, som er en åpenbar kilde til kostnadsreduksjon. Som tidligere indikert, knytter det seg imidlertid kostnader også til en redusert kvaliteten på informasjonen. Teknisk sett er det uproblematisk å bruke de «gamle» modellene sammen med oppdatert laserinformasjon, men spørsmålet er om prediksjonene og det resulterende bestandsestimatene er av tilfredsstillende kvalitet for å kunne ta gode forvaltningsbeslutninger. Det er gjort flere studier som har vist at modellsammenhengene mellom laserinformasjon og feltmålte bestandsparemetere i skog, ikke er generelle for ulike takstprosjekt. Egenskapene til ulike laserpunktskyer har vist seg å være avhengig av både ulike typer laserinstrumenter og hvilke instrumentinnstillinger som velges for hvert takstprosjekt (Næsset, 2005, 2009). Dette indikerer at man ikke uten videre kan bruke de «gamle» prediksjonsmodellene når laserdataene i det nye takstprosjektet er samlet inn med et annet laserinstrument eller med andre innstillinger. Den tekniske utviklingen går svært raskt, så sannsynligheten for at et laserinstrument med like egenskaper blir brukt i påfølgende takster over samme område er tilnærmet lik null.

I tillegg til at det teknisk sett er mulig å gjenbruke en prediksjonsmodell i samme område på flere ulike tidspunkt, er det også teknisk sett mulig å ta med seg en prediksjonsmodell som er konstruert i ett område, over til et annet område. Hvis begge laserdatasett er samlet inn på omtrent samme tid (± 1 år) og ved samme leverandør, er det større sannsynlighet for at det er et laserinstrument med like egenskaper som er brukt i begge takstprosjekt, og man kan dermed kanskje unngå noen av de utfordringene nevnt over. Det er imidlertid andre potensielle utfordringer knyttet til å gjenbruke en modell i et annet område. Over var det laserdataegenskaper som følge av instrument og instrumentoppsett som var utfordringen, men når man bruker modeller mellom områder med samme sensor er det i hovedsak skogens egenskaper som er kilden til varierende sammenheng mellom laser- og feltinformasjon. Den romlige fordelingen til laserpunktskyen bestemmes i hovedsak av hvordan grein- og barmassen er fordelt på det aktuelle området som takseres, og er i liten grad direkte påvirket av stammeform og -volum. Hvordan grein- og barmassefordelingen er korrelert med stammevolum og de andre variablene som er av interesse, er derfor det som i sterkest grad kobler laserdataene til bestandsparemetere. Fordelingen av bar og greiner er påvirket av høyde over havet, terrenghelling, breddegrad, nedbørsmønstre etc. Fordelingen er også ulik mellom ulike treslag, så treslagsfordeling vil dermed også påvirke egenskapene til laserpunktskyen. Dette betyr at det heller ikke er uten utfordringer å anvende prediksjonsmodeller utover det gyldighetsområdet som dikteres av egenskapene til kalibreringsdataene. Næsset and Gobakken (2008) konkluderte med at effektene av ulike områder på modellegenskapene, faktisk var større enn effekten av ulike laserinstrumenter.

Selv om det er åpenbare utfordringer knyttet til å gjenbruke prediksjonsmodeller over både tid og rom, er det likevel potensielt store muligheter knyttet til slik gjenbruk. I hovedsak er det potensielle systematiske feil i prediksjonene som er kilden til problemet. Denne typen feil er det imidlertid mulig å korrigere for.

En strategi er å bruke tilvekstmodeller for å framskrive feltmålte verdier på prøveflatene fra første taksttidspunkt, og deretter konstruere nye modeller for framskrevne verdier med laservariabler beregnet fra de nye laserdataene. Ved bruk av denne strategien er det imidlertid viktig at man klarer å detektere og ekskludere de prøveflatene der det har foregått inngrep eller kalamiteter i tidsrommet mellom første og andre taksttidspunkt og som dermed ikke har hatt en naturlig utvikling. Man er også avhengig av at tilvekstmodellene reflekterer vekstprosessen på stedet. En ulempe er at antall flater endres for ulike strata mellom første og andre taksttidspunkt. Antall prøveflater som var i hogstklasse III på første tidspunkt for eksempel, vil naturlig nok reduseres fordi enkelte flater vokser inn i eldre hogstklasser og at man ikke kan kompensere for dette med rekruttering fra hogstklasse II der det blir brukt en helt annen protokoll for feltmålinger, som bl.a. ikke gir volumdata. I eldre hogstklasser gjør hogst at mange prøveflater ikke lenger er aktuelle, som betyr at i tillegg til at fordelingen endres så vil det totale antall aktuelle flater gå ned.

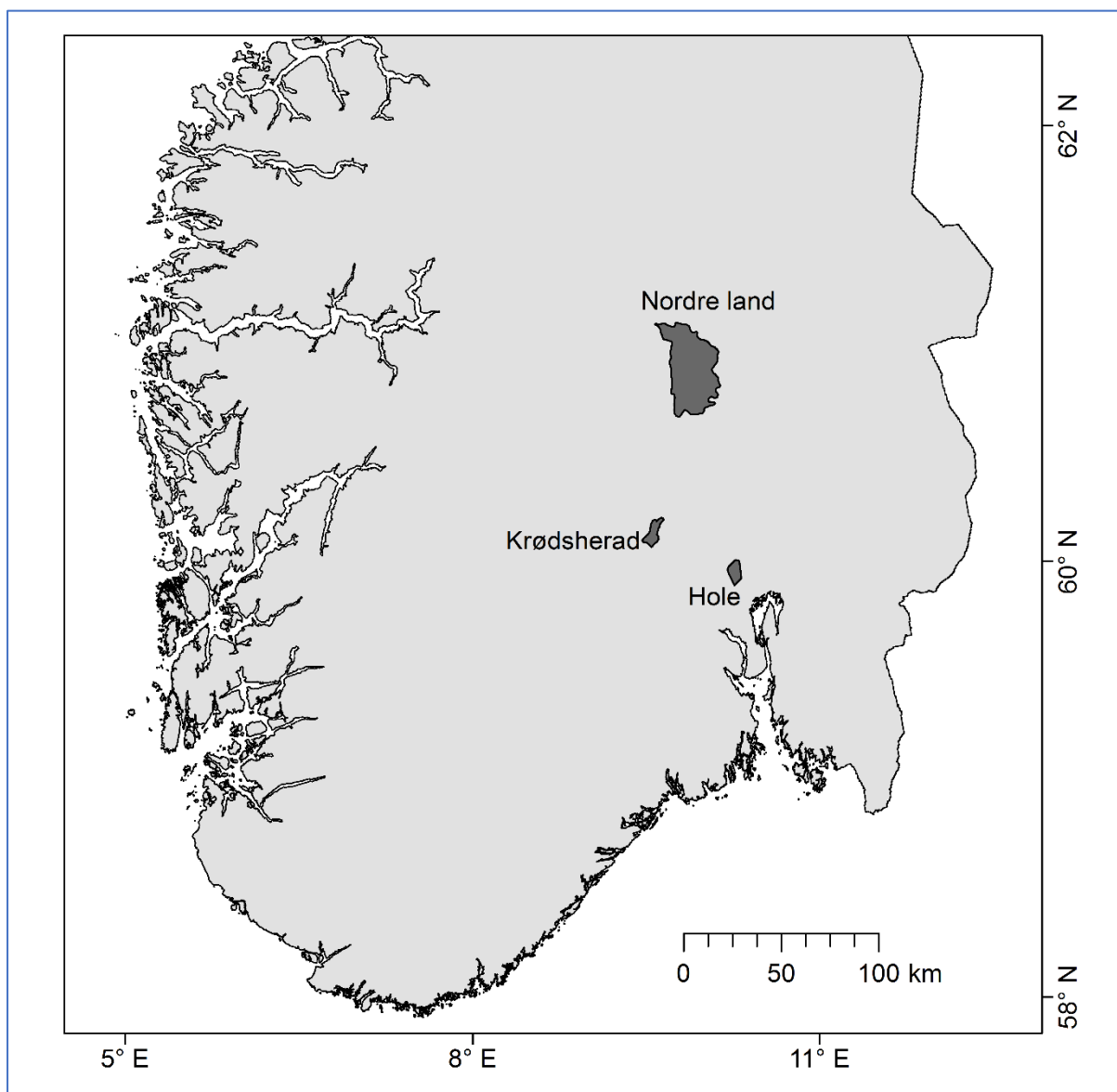
En annen strategi for å gjøre modeller overført i tid og/eller rom gyldige for et takstområde, er å etablere et (lite) antall prøveflater i det aktuelle takstområdet. For disse nyetablerte flatene gjør man både faktiske feltobservasjoner av bestandsparameterne man er interessert i, og anvender prediksjonsmodellen man har tatt med seg fra et annet takstprosjekt. Man er dermed i stand til å estimere hvor stor den eventuelle systematiske feilen i prediksjonene er, og kompensere for denne for alle prediksjoner i det aktuelle området. Dette kan sammenlignes med hvordan systematiske feil knyttet til enkelte fototolkere tidligere ble kompensert for ved fototakster. Det er også mulig å bruke det begrensede antallet nyetablerte prøveflater til å gjøre korreksjoner direkte i parameterestimaten i modellen.

1.4. Prosjekt mål

Hovedmålsettingen for dette prosjektet har vært å evaluere muligheter for å gjenbruke prøveflatedata ved arealbasert lasertakst med tanke på å redusere kostnadene knyttet til feltarbeid. Analysene har vært konsentrert om tre delmål: 1) evaluere metoder for å detektere tidligere målte prøveflater som ikke har vært utsatt for inngrep eller kalamiteter, 2) etablere en metodikk for gjenbruk av prøveflatedata ved arealbasert lasertakst, og 3) teste og validere metodikken mot omfattende kontrollmålinger («fasit») av volum i skogbestand.

2. Studieområder og datagrunnlag

Studieområdene ble valgt ut blant de områdene der operative arealbaserte lasertakster i sin tid ble prøvd ut først, og som i 2016/2017 ble taksert på nytt ved hjelp av samme metode. Disse områdene var Nordre Land, Krødsherad og Hole (Figur 1).



Figur 1. Kart med lokalisering og omriss av de ulike studieområdene.

2.1. Feltdata

I alle områder var feltobservasjoner av enkelttrær (diameter, høyde, treslag) på prøveflater tilgjengelige fra to tidspunkt (T1 og T2, se Tabell 1). I operative takster blir det for slike prøveflater beregnet volum, middeldiameter, middelhøyde etc., og de blir videre brukt som kalibreringsobservasjoner for modeller mellom felt- og laserinformasjon. For alle områder var det også gjort målinger på såkalte kontrollflater. Dette var arealer som var noe større enn prøveflatene (intensjonen var å etterligne hele bestand) og der estimerte verdier ble sammenlignet med

feltobserverte verdier. En oversikt over datamaterialet finnes i Tabell 1. Tabellen viser antall prøve- og kontrollflater og størrelsen på disse for de ulike studieområdene. For den samme grupperingen av datamaterialet viser tabellen også gjennomsnittlige treslagsandeler, bonitet og volum og de korresponderende variasjonsbreddene.

Tabell 1. Sammendrag av datamateriale (granandel, H40-bonitet og volum) fordelt på studieområder, flatetyper (prøveflater, kontrollflater) og taksttidspunkt (T1, T2).

Variabel	Prøveflater			Kontrollflater		
	n (areal)	variasjonsbredde	snitt	n (areal)	variasjonsbredde	snitt
Nordre Land						
T1	193 (250 m ²)					
Andel gran (%)		0 - 100	73			
H40 (m)		8 - 20	12.6			
Volum (m ³ ha ⁻¹)		25.2 - 657	249			
T2	170 (250 m ²)			25 (1 000 m ²)		
Andel gran (%)		0 - 100	64		0 - 100	28
H40 (m)		6 - 23	12.3		6 - 20	13.5
Volum (m ³ ha ⁻¹)		27.7 - 657	264		98 - 633.4	318
Krødsherad						
T1	74 (233 m ²)					
Andel gran (%)		0 - 100	39			
H40 (m)		6 - 20	12.7			
Volum (m ³ ha ⁻¹)		28.7 - 681.6	258			
T2	75 (233 m ²)			43 (3 700 m ²)		
Andel gran (%)		0 - 100	35		0 - 100	44
H40 (m)		6 - 23	13.6		8 - 23	14.5
Volum (m ³ ha ⁻¹)		30.3 - 819.2	280		68.75 - 539.9	266
Hole						
T1	80 (250 m ²)					
Andel gran (%)		22.5 - 100	98			
H40 (m)		8 - 20	13.5			
Volum (m ³ ha ⁻¹)		27.5 - 427.4	224			
T2	43 (250 m ²)			22 (1 000 m ²)		
Andel gran (%)		32 - 100	98		61 - 100	99
H40 (m)		8 - 20	13		8 - 20	13.3
Volum (m ³ ha ⁻¹)		46.2 - 558.5	269		70.7 - 452	261

* Andel gran = andel av grunnflate for gran, H40 = bonitet etter H40-systemet, Volum = totalt volum i kubikkmeter per hektar

2.2. Laserdata

For alle studieområder var laserdata tilgjengelig for begge måletidspunkter. Det ble brukt ulike laserinstrumenter og oppsettparametere for de ulike flygningene. Tabell 2 viser spesifikasjonene for alle flygningene. Som det går fram av tabellen, hadde instrumentene som ble brukt på andre måletidspunkt, større kapasitet når det gjelder pulsrepetisjonsrater sammenlignet med de som ble brukt på første måletidspunkt, som gjorde at punkttetthet ble større.

For alle laserdatasett ble det beregnet ordinære laservariabler slik det er vanlig i operasjonelle lasertakster. Dette er variabler som representerer høydefordelingen til laserpunktene på en slik måte at de er sterk korrelert med både høyden og tettheten til skogen.

Tabell 2. Oppsettparametere for de ulike flygningene for det ulike studieområdene for begge måletidspunkt.

Område	Instrument	År	Tidsrom	Pulsrepetisjonsrate ¹⁾ (kHz)	Skannefrekvens ²⁾ (Hz)	Flyhøyde (m)	Punkttetthet (m ²)
Første måletidspunkt							
Nordre Land	Optech ALTM 1233	2003	10 juli–26 aug.	33	40	800	1
Krødsherad	Optech ALTM 1210	2001	23 juni-1 aug.	10	30	650	1
Hole	Optech ALTM 1233	2004	16 sept.	50	21	1200	1
Andre måletidspunkt							
Nordre Land	Riegl LMS Q-1560	2016	5-13 sept.	400	100	2900	4
Krødsherad	Riegl LMS Q-1560	2016	7 juni–31 juli	534	115	1300	12
Hole	Riegl LMS Q-1560	2016	7 juni–31 juli	534	115	1300	10

1) Antall pulser som laserinstrumentet sender ut per sekund (i 1000).

2) Antall ganger fordelingsmekanismen i instrumentet beveger strømmen av pulser fra side til side i løpet av et sekund.

Prosjektet har blitt gjennomført ved hjelp av datainnsamling knyttet til andre prosjekter. Data fra Nordre Land og Hole på andre taksttidspunkt ble samlet inn i prosjektet «Bonitering av skog i andre omdrev av skogbruksplantakster basert på laser eller flybilder» finansiert av Skogtiltaksfondet (B2017-09). Data fra Krødsherad på andre taksttidspunkt ble finansiert av NMBU. Data fra første taksttidspunkt ble samlet inn i forbindelse med ordinære skogbruksplantakster, men på data fra alle studieområdene ble det gjort banebrytende forskning som bidro til utviklingen av systemet for den arealbaserte skogbruksplantaksten slik vi kjenner den i dag.

3. Metoder

Innenfor prosjektet har det blitt gjort analyser knyttet til fire ulike metoder for takst i områder der det tidligere har blitt gjennomført arealbasert lasertakst. Metodene var

- M1) bruk av prediksjonsmodell konstruert på data fra forrige takstomdrev (eller fra et annet takstområde),
- M2) konstruksjon av prediksjonsmodell på prøveflatedata framskrevet fra første taksttidspunkt,
- M3) konstruksjon av prediksjonsmodell på data fra re-målinger av prøveflater fra første tidspunkt, og
- M4) konstruksjon av prediksjonsmodell på data fra nyetablerte prøveflater.

Analysene ble gjort i to ulike steg. I Steg 1 ble det ved hjelp av dataene for Krødsherad gjort analyser for å kvantifisere nøyaktigheten til bestandsestimater basert på prediksjoner gjort med modeller konstruert ved hjelp av feltmålinger fra forrige takstomdrev (M1 og M2) og fra re-målinger av prøveflater fra første tidspunkt (M3). Resultatene er dokumentert i de Lera Garrido *et al.* (2020). I Steg 2 ble regionale forskjeller analysert, samt ulike strategier for å korrigere prediksjoner for systematiske feil knyttet til M1. Resultatene fra de korrigerede prediksjonene ble sammenlignet med resultater fra å kalibrere prediksjonsmodellene på data fra nyetablerte prøveflater (M4).

3.1. Steg 1 – Kvantifisering av feil ved gjenbruk av prediksjonsmodeller

3.1.1. Bruk av modell fra forrige taksttidspunkt (M1)

Prediksjonsmodeller basert på laservariabler for henholdsvis grunnflateveid middelhøyde (HL), overhøyde (Ho), grunnflatemiddeldiameter (DG), treantall per hektar (N), grunnflate per hektar (G), og volum per hektar (V) ble konstruert på data fra første taksttidspunkt, og deretter anvendt på kontrollflatene for området (metode M1). Modellene ble konstruert på et datamateriale stratifisert i henhold til hogstklasse (HKL) og bonitet (H40). Stratum 1 utgjorde skog i HKL III, Stratum 2 utgjorde eldre skog (HKL≥IV) på dårlig bonitet (H40≤11), og Stratum 3 utgjorde eldre skog på god bonitet (H40>11). De aggregerte stratifisert prediksjonene (16 beregningsceller) som utgjorde estimatet for kontrollflatene, ble sammenlignet med feltmålt verdi og differansen ble beregnet. Denne differansen var en kvantifisering av feilen på bestandsestimatet og vi antok dermed at den feltmålte verdien var bestemt uten feil. Deretter ble det for hver bestandsparameter og for hvert stratum beregnet en gjennomsnittlig feil (MD), samt et uttrykk for den relative, totale feilen (systematisk + tilfeldig) som «Root Mean Square Error» (RMSE) i prosent av gjennomsnittlig feltobservert verdi (RMSE%).

$$MD = \frac{\sum(\hat{Y} - Y)}{n}$$

$$RMSE\% = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum(\hat{Y} - Y)^2}}{\bar{Y}} \times 100$$

\hat{Y} er den estimerte, stratifiserte verdien av enten HL, Ho, N, G eller V på kontrollflatenivå, Y er den korresponderende feltobserverte verdien og n er antall kontrollflater i det aktuelle stratomet, og \bar{Y} er gjennomsnittlig observert verdi i felt av bestandsparameteren i det aktuelle stratomet. Det ble gjort tosidige t-tester for å avgjøre om verdier av MD var statistisk signifikant forskjellige fra null.

3.1.2. Bruk av modell konstruert på framskrevne prøveflatedata (M2)

Bestandsestimater basert på prediksjoner med modeller konstruert på framskrevne felldata (metode M2) ble beregnet. Alle prøveflater ble først klassifisert i henhold til om det hadde skjedd inngrep i perioden mellom første og andre takstomdrev, og deretter ble stratifiserte modeller konstruert mellom framskrevne bestandsparametere og laservariabler beregnet for andre takstomdrev. Selve klassifiseringen ble basert på feltobserverte endringer, men rutiner for slik klassifisering ved bruk av endringer i laserdata mellom to tidspunkter ble demonstrert av (Noordermeer *et al.*, 2019) knyttet til prosjektet «Bonitering av skog i andre omdrev av skogbruksplantakster basert på laser eller flybilder». På samme måte som for M1, ble prediksjoner for HL, Ho, DG, N, G og V aggregert til estimater for hver kontrollflate, og MD og RMSE% ble beregnet per bestandsparameter og stratum.

3.1.3. Bruk av modell konstruert på taksttidspunktet (M3)

I Steg 1, ble resultatene fra både metode M1 og M2 sammenlignet med resultater fra prediksjoner utført med modeller konstruert på prøveflater målt på taksttidspunktet (metode M3). Disse resultatene skulle altså representere det som ville vært resultatet fra en takst slik den gjennomføres i dag, men med den begrensningen at det var prøveflatene fra første taksttidspunkt som ble re-målt. Alternativet ville ha vært å gjøre en helt ny flateutvelgelse der man i større grad kunne ha sikret at flatene hadde dekket variasjonsbredden i hvert stratum. MD og RMSE% ble beregnet per stratum også for M3.

3.2. Steg 2 – Analyse av regionale forskjeller og korrigerende av prediksjoner

I Steg 2 ble analysene utvidet til å også inkludere regionale aspekter, samt til å demonstrere ulike tilnærminger for å kompensere for systematiske feil som følge av ulike modellsammenhenger mellom ulike takstprosjekt. I tillegg til data fra Krødsherad, inkluderte vi data fra Nordre Land og Hole. Selv om det ikke var en del av den opprinnelige prosjektbeskrivelsen, inkluderte vi i dette steget analyser av å gjenbruke modeller fra et annet takstområde. I Steg 2 knytter altså analysene både seg til det vi kan kalle temporær- og romlig gjenbruk av modeller (M1). Vi begrenset antall feltmålte variabler til Ho, N og V. Videre konsentrerte vi analysene til skog karakterisert som hogstklasse IV og V, og vi konstruerte prediksjonsmodeller for to strata: grandominert og furudominert skog.

Fire ulike hovedtilnærminger (forklart i påfølgende avsnitt) for å korrigere prediksjoner ved både temporær- og romlig gjenbruk ble analysert: 1) korreksjon med ratioestimator, 2) korreksjon med regresjonsestimator, 3) re-parameterisering av modell og 4) konstruksjon av ny modell på et begrenset antall nyetablerte prøveflater (oppdatert modell).

I Steg 2 ble det også gjort analyser av hvilke systematiske og tilfeldige feil man kunne forvente med å legge ut helt nye flater (metode M4). Vi hadde imidlertid ikke tilgang på data fra andre prøveflater enn de som ble brukt for M3. For å likevel kunne si noe om hvordan nøyaktigheten av en takst med nyetablerte prøveflater ville bli, kjørte vi en simuleringsprosedyre der vi brukte mange forskjellige tilfeldige utvalg av prøveflatene i ulike kombinasjoner for å konstruere prediksjonsmodellene.

3.2.1. Temporær gjenbruk - korreksjon med ratioestimator (M1)

For alle områder, ble det gjort analyser der stratifiserte (grandominert og furudominert skog) modeller ble konstruert på data fra første taksttidspunkt. I modelleringen ble stratuminformasjonen tatt hensyn til ved hjelp av en indikatorvariabel som hadde verdien 0 om en flate var grandominert og verdien 1

om den var furudominert. Modellene ble deretter anvendt på et tilfeldig utvalg av målte gran- og furudominerte prøveflater på andre taksttidspunkt med den hensikt å beregne de systematiske avvikene mellom predikerte og observerte verdier for henholdsvis gran- og furudominert skog. For hvert stratum ble forholdet (k) mellom summen av observerte verdier og summen av predikerte verdier så beregnet. Denne måten for beregning av k er i henhold til prinsippet «ratio-of-means» (Cochran, 1977) som brukes når utvalget av flater som inngår i beregningen er valgt ut tilfeldig. Deretter ble prediksjonsmodellene brukt på kontrollflatene i de respektive takstområdene, der hver prediksjon ble multiplisert med k for å justere for systematisk feil. Denne prosedyren ble gjentatt for et økende antall prøveflater for å beregne k , og for hvert flateantall ble prosedyren gjentatt 500 ganger der vi hver gang gjorde et tilfeldig utvalg prøveflater uten tilbakelegging som grunnlag for å beregne k . Den eneste restriksjonen på den tilfeldige utvelgelsen av flater var knyttet til fordelingen av prøveflater mellom strata. Det laveste antall prøveflater var fem per stratum, og deretter økte vi antall prøveflater proporsjonalt med fordelingen mellom gran- og furuflater. Dette ble gjort for å sikre at vi skulle få bidrag fra prøveflater dominert av begge treslag langs hele gradienten av økningen i antall prøveflater. For hver simuleringsrunde, ble MD og RMSE% beregnet.

3.2.2. Temporær gjenbruk - korreksjon med regresjonsestimator (M1)

De samme prediksjonene på de begrensede utvalgene fra andre taksttidspunkt som forklart i forrige avsnitt, ble også brukt til å utvikle en regresjonsestimator for korreksjonen mellom predikerte og observerte verdier. For hvert utvalg ble prediksjonene (\hat{y}) brukt som forklaringsinformasjon i stratumspesifikke modeller for den feltobserverte verdien (y). I stedet for å multiplisere prediksjonene med et fast forholdstall ($k \times \hat{y}$) som ved bruk av ratioestimatoren, så bruker regresjonsestimator-tilnærmingen en noe mer fleksibel funksjonssammenheng. Estimatoren er spesifisert som

$$y = \alpha + \beta \times \hat{y} + e$$

der α og β er parametere som skal bestemmes ved hjelp av regresjonsanalyse og e er feilledet. Korrigerte prediksjoner (y_c) bestemmes dermed som

$$y_c = \alpha + \beta \times \hat{y}$$

Som for de andre korreksjonsmetodene, ble det gjort 500 tilfeldige utvalg for hvert antall prøveflater brukt til korreksjon, og MD og RMSE% ble beregnet for hver simuleringsrunde.

3.2.3. Temporær gjenbruk – reparameterisering (M3)

I tillegg til å bruke det begrensede utvalget med nyetablerte prøveflater til å beregne ratio- og regresjonsestimatorer som forklart over, ble også de samme prøveflateutvalgene brukt til å konstruere nye stratifiserte prediksjonsmodeller. Til forskjell fra hva som ville ha vært tilfelle i en ordinær takst der et stort antall prøveflater ville ha vært tilgjengelig, og der forklaringsvariablene i modellen ville ha blitt selektert ut ifra hvilke som ga best tilpasning til datamaterialet, så hoppet vi i denne tilnærmingen over variabelseleksjonen og brukte de variablene som ble valgt ut ved

konstruksjon av modeller på data fra alle prøveflater målt ved første takstomdrev. Begrunnelsen for tvangvalg av de tidligere selekterte variablene som forklaringsvariabler, var at disse tross alt var funnet som gode variabler på et stort materiale, og at de derfor med stor sannsynlighet beskrev variasjonen for hele datasettet på en god måte. Vi fulgte samme prosedyre som forklart over, med økende antall nyetablerte prøveflater og 500 gjentak med forskjellig kombinasjon av hver gang, og beregning av MD og RMSE% ble gjennomført.

3.2.4. Temporær gjenbruk - konstruksjon av ny modell på et begrenset antall nyetablerte prøveflater (M3)

Som et siste alternativ for temporær gjenbruk, kjørte vi en prosess som beskrevet i foregående avsnitt, men med den forskjellen at vi for hvert antall nyetablerte prøveflater, og for hver av de 500 iterasjonene, faktisk gjorde en ny variabelseleksjon. Fordelen med denne tilnærmingen er at variablene for hvert utvalg prøveflater blir valgt ut fra statistiske kriterier slik at de passer godt til det aktuelle datautvalget, men ulempen er at når datautvalget er lite så vil det være større sannsynlighet for at de utvalgte variablene ikke er de «beste» for alle beregningsceller i takstområdet.

3.2.5. Romlig gjenbruk - korleksjon med ratioestimator (M1), regresjonsestimator (M1), og reparameterisering (M3)

Ved hjelp av prøveflatedataene vi hadde tilgjengelig for Nordre Land for andre takstomdrev, ble det konstruert stratifiserte modeller (grandominert og furudominert skog). På samme måte som for den temporære gjenbruken av modeller, ble også modellene konstruert på data fra Nordre Land brukt til prediksjon på ulike utvalg prøveflater i henholdsvis Krødsherad og Hole for å beregne stratifiserte ratioestimatorer, regresjonsestimatorer og re-parameteriserte modeller spesifikke for hvert studieområde. Korrigerte prediksjoner ble gjort for kontrollflatene i hvert studieområde og bestandsestimater ble aggregert, på samme måte som beskrevet i de foregående avsnittene. De 500 gjentakene med beregning av MD og RMSE% ble utført for alle disse tilnærmingene.

3.2.6. Ny takst (M4)

For å kunne si noe om hvilken nøyaktighet og presisjon som kunne forventes i de tre studieområdene ved å legge ut et sett med nye prøveflater, valgte vi en simuleringstrategi siden vi kun hadde målinger på prøveflater der posisjonen ble valgt på første taksttidspunkt. Hvis prøveflateutvelgelsen hadde blitt utført på nytt, ville vi på en bedre måte ha dekket variasjonsbredden for hver av de skoglige variablene, noe som er et viktig poeng ved konstruksjon av regresjonsmodeller. Nyetablering av prøveflater blir gjort i stratifiserte systematiske forband (eventuelt også clustret), og på denne måten er man rimelig sikker på at man får en jevn og god spredning over egenskapsrommet, i alle fall hvis antallet flater er stort nok. Ved re-måling av de samme prøveflatene på det påfølgende taksttidspunktet, er det ikke sikkert at disse posisjonene, bestemt av stratifiseringen på første taksttidspunkt, lenger representerer den romlige fordelingen av de skoglige egenskapene i samme grad. Forbandene etablert ved første taksttidspunkt vil derfor ikke nødvendigvis lenger gi det antallet prøveflater vi ønsker i hvert stratum, og variasjonene i egenskapsrommene vil implisitt bli redusert. For å forsøke å gjenskape større variabilitet mellom prøveflater i hvert stratum, samt opprettholde et ønsket antall prøveflater i hvert stratum, valgte vi derfor å bruke de prøveflatene vi hadde tilgjengelig som en bank, og trekke tilfeldige utvalg fra denne banken med tilbakelegging. Dette gjorde vi 500 ganger med 40 prøveflater per stratum for hver iterasjon.

3.2.7. Oppsummering av metoder og korreksjonstilnæringer

Tabell 3 viser en oversikt over de ulike takstmetodene og korreksjonene som er forklart i metodedelen.

Tabell 3. Oppsummering av metoder og korreksjonstilnæringer

Metode for takst	Betegn.	Korreksjonstilnærming	Analysesteg
Gjenbruk av modell fra annet takstprosjekt.	M1	• Ingen.	Steg 1
		• Ratiokorreksjon av temporært- eller romlig gjenbrukt modell.	Steg 2
		• Regresjonskorreksjon av temporært- eller romlig gjenbrukt modell.	Steg 2
Kalibrering av prediksjonsmodell på prøveflatedata framskrevet fra første taksttidspunkt.	M2	• Ingen.	Steg 1
Kalibrering av prediksjonsmodell på data fra re-målinger av prøveflater fra første tidspunkt.	M3	• Ingen.	Steg 1
		• Reparameterisering av modell på begrenset antall prøveflater med forklaringsvariabler fra gjenbrukt modell.	Steg 2
		• Parameterisering av ny modell på begrenset antall prøveflater, inkludert variableseleksjon.	Steg 2
Kalibrering av prediksjonsmodell på data fra nyetablerte prøveflater.	M4	• Ingen.	Steg 2

3.3. Analyser og tolking av simuleringsresultater

Simuleringsresultatene er presentert som boksplokk for å illustrere hvordan de ulike seriene av gjennomsnittlige avvik (MD) mellom estimater og feltobserverte verdier fordelte seg. Det ble beregnet standardavvik til MD i hver simuleringsserie (S_s) og det ble konstruert 95% konfidensintervall (KI_s) rundt gjennomsnittet av MD (\overline{MD}) for å teste om \overline{MD} var forskjellig fra null. Hvis KI inkluderte verdien 0, kunne vi altså ikke hevde at \overline{MD} var forskjellig fra null. Konfidensintervallet ble konstruert ved å henholdsvis trekke fra, og legge til, $S_s \cdot t$ -verdi for 95% konfidensnivå. I boksplokkene er gjennomsnittlige differanser som ble funnet å være signifikant forskjellig fra null, indikert med en rød, fylt sirkel.

$$KI_s = \overline{MD} \pm S_s \times t_{0,025}$$

Romlig- og temporær gjenbruk av modeller uten korreksjon var ikke gjenstand for simulering. Konfidensintervallet for disse alternativene ble derfor konstruert ved hjelp av standardavviket til avvik på kontrollflatenivå (S_k). S_k ble dividert på kvadratroten av antall kontrollflater (n), multiplisert med kritisk t -verdi for 95% konfidensnivå, og lagt til og trukket fra gjennomsnittlig differanse mellom kontrollflater (MD).

$$KI = MD \pm \frac{S_K}{\sqrt{n}} \times t_{0.025}$$

3.4. Tolking av boksplott

Boksplott (se for eksempel Figur 2) viser fordelingen til et sett med verdier, i dette tilfellet 500 avvik mellom estimer og feltobserverte verdier for ulike skoglige variabler. Selve boksen viser variasjonsbredden til de 50% av avvikene som er sentrert rundt medianverdien (25% på hver side av medianverdien). Selve medianen (den midterste verdien i dataserien sortert etter størrelse) er indikert med horisontal linje inni boksen. Linjene ut fra hver side av boksen, strekker seg ut til de ekstreme verdiene. I dette tilfellet er de 2.5 % mest ekstreme verdiene i begge ender fjernet fra plottene. Sortert fra laveste til høyeste verdi på estimatene markerer altså nedre ende av nedre vertikale linje 2.5 persentilen, nedre ende av boks markerer 25 persentilen, horisontal linje i boks markerer 50 persentilen (median), øvre ende av boks markerer 75 persentilen, og øvre ende av øvre vertikale linje ut fra boksen markerer 97.5 persentilen.

4. Resultater og diskusjon

4.1. Steg 1

I datamaterialet fra Krødsherad ble det gjort stratifiserte prediksjoner av Ho, HL, N, G og V på kontrollflater med arealer omkring 3 700 m², og prediksjonene ble aggregert til estimater innenfor hver kontrollflate. Resultatene (Tabell 4) viste verdier av MD som var signifikant forskjellig fra 0 for flere av bestandsparameterne for alle metoder. Det var imidlertid for M2 (bruk av modell konstruert på framskrevne prøveflatedata) at de systematiske avvikene var størst og der flest var signifikant forskjellige fra 0. Sammenligning av resultater med M1 (gammel modell) og M3 (ny modell) viste at M3 ga systematiske differanser som generelt var noe mindre enn for M1. Videre var det for Stratum 1 (HKL 3) større og flere signifikante avvik uavhengig av metode sammenlignet med de andre strataene. Når det gjelder den totale relative feilen (RMSE%) var denne generelt størst for M2 med tanke på metode. Blant bestandsparameterne var RMSE% størst for N.

4.1.1. Bruk av modell fra forrige taksttidspunkt (M1) og ny modell (M3)

Gjenbruk av gammel modell (M1) fungerte relativt bra på dataene fra Krødsherad. For bestandsparameterne Ho og HL var de systematiske avvikene omtrent på samme nivå som de som resulterte fra bruk av ny modell (M3). Den totale feilen er også på omtrent samme nivå for de to metodene. Resultatene for MD og RMSE% er i samme størrelsesorden som i Næsset (2009), som sammenlignet effekten av å bruke prediksjonsmodeller mellom laserdatasett samlet med ulike instrumentinnstillinger og ulike flyhøyder. For de andre variablene er det noe større forskjeller både for MD og RMSE%. Det ble altså funnet systematiske differanser mellom estimerte og observerte bestandsparametere ved gjenbruk av gammel modell, men slike feil ble også funnet ved bruk av ny modell. Her må det imidlertid påpekes at man bør forvente en ytterligere forbedring av resultatene ved bruk av en nye modeller om de hadde blitt konstruert på data fra prøveflater som hadde vært lagt ut uavhengig av taksten ved første taksttidspunkt. Som indikert tidligere, er dette begrunnet med at regresjonsmodeller blir mer robuste hvis prøveflatene er lokalisert slik at de dekker variasjonsbredden for de aktuelle bestandsparameterne som skal modelleres. Dette kan være grunnen til at det var nettopp i HKL III, hvor ingen nye prøveflater rekrutteres inn i datagrunnlaget, at M3 ga flest systematiske avvik.

4.1.2. Bruk av modell konstruert på framskrevne prøveflatedata (M2)

Resultatene ved bruk av M2 viste at en framskriving av prøveflatedata ved hjelp av tilvekst- og avgangsmodeller ikke fungerte tilfredsstillende. Det er stor usikkerhet knyttet til slike modeller, og hvis de bestandsbeskrivende variablene som brukes som input i slike modeller er dårlig bestemt, vil dette gi seg utslag på nøyaktigheten på framskrevne verdier. Spesielt gjelder dette boniteten. I denne studien brukte vi en fototolket bonitet, og denne er sammen med bestandsalder de variablene som er assosiert med de største feilene (Eid, 2000). I en operativ setting vil det i tillegg knytte seg usikkerhet til klassifiseringen av prøveflater der den naturlige utviklingen er påvirket av hogst eller kalamiteter (Noordermeer *et al.*, 2019). Store endringer, som slutthogst eller stormfelling er enkle å detektere, mens mindre uttak av virke for eksempel knyttet til en tynning, er det større usikkerhet knyttet til. Denne metoden er derfor ikke anbefalt hvis vurderingskriteriet er nøyaktighet på bestandsestimatene. Sammenlignet med gjenbruk av gammel modell (M1) er imidlertid to fordeler knyttet til M2: 1)

metoden kan brukes selv uten tilgjengelige laserdata på ved forrige taksttidspunkt, og 2) det knytter seg ingen effekter til metoden som følge av bruke av ulike laserinstrument.

Tabell 4. Gjennomsnittlige differenser (MD) mellom estimerte og observerte bestandparametere og korresponderende total feil i prosent av observert gjennomsnitt (RMSE%) for ulike bestandparametere ved ulike metoder (M1, M2, M3) for gjenbruk av prøveflatedata.

Stratum	BP	M1		M2		M3	
		MD	RMSE%	MD	RMSE%	MD	RMSE%
1	Ho	0.4	4	1.4	8	0.5	5
	HL	0.5	4	1.7	12	0.9	6
	N	-769.3	63	-865.6	73	-439.3	38
	G	-1.4	15	-6.2	27	-2.0*	11
	V	15.6	19	-38.3	25	-10.8	14
2	Ho	-0.1	5	-0.1	8	0.3	4
	HL	-0.4	4	-0.1	4	-0.2	4
	N	76.1	26	50.2	27	7.2	18
	G	1.4	16	-2.4	19	-1.4	17
	V	25.9	23	-20.4	19	-19.9	18
3	Ho	-1.7	8	0.9	5	0.1	4
	HL	0.0	4	0.9	6	0.7	5
	N	39.1	21	-184.5	34	-52.0	22
	G	4.3	20	-5.5	24	-1.7	15
	V	33.0	19	-42.6	25	-13.5	13

M1: Bruk av modell fra forrige taksttidspunkt. M2: Bruk av modell konstruert på framskrevne prøveflatedata. M3: Bruk av modell konstruert på taksttidspunktet. Stratum 1: HKL III. Stratum 2: HKL IV+V, H40≤11. Stratum 3: HKL IV+V, H40>11. BP=Bestandsparameter: Ho=Overhøyde, HL=grunnflateveid middelhøyde, N=treantall per hektar, G=grunnflate per hektar, V=volum per hektar. Fete typer=statistisk signifikant forskjellig fra 0 ($p > 0.05$).

4.2. Steg 2 – Analyse av regionale forskjeller og korrigering av prediksjoner

4.2.1. Regionale forskjeller

Resultatene fra Steg 1 viste at systematiske avvik mellom estimerte og observerte verdier for bestandparametere kan forekomme ved bruk av modeller konstruert på data fra forrige takst. I Steg 2 ble det derfor både gjort prediksjoner med gjenbrukte modeller både mellom taksttidspunkt, for ulike studieområder og mellom studieområder for å analysere i hvilken grad nivået på de systematiske avvikene som ble observert i Steg 1, var representativt for andre kombinasjoner av modeller og skoglige forhold. Resultater fra ukorrigert bruk av modeller mellom taksttidspunkter og studieområder finnes i Tabell 5. Av tabellen kan man se at differansene varierer mellom studieområder, og at de er på samme nivå som resultatene fra Steg 1 (Tabell 4, metode M1). En slik variasjon er forventet siden modellene nødvendigvis reflekterer skogforholdene de er kalibrert under. Avvikene er også påvirket av kombinasjonen av laserinstrument som er brukt i henholdsvis modellkalibreringen og i prediksjonsfasen. Næsset and Gobakken (2008) fant at effekten av skogforhold (studieområde) på egenskapene til modellen trolig var større enn effekten av instrument.

4.2.2. Korrigering av prediksjoner

Prediksjonene gjort med både de temporært- og romlig gjenbrukte modellene ble korrigert ved hjelp av oppdaterte feltobservasjoner på varierende antall prøveflater. Dette sorterer dermed under metode M1, og de ulike korreksjonstilnærmingene var bruk av ratioestimator, regresjonsestimator, reparameterisering av modeller og oppdatering av modeller. En modell som er konstruert på data som er innhentet på enten et annen tidspunkt eller fra et annet område kalles, som tidligere nevnt, «ekstern», og dette begrepet vil i det følgende også bli brukt for å betegne temporært- og romlig gjenbrukte modeller.

For å indikere den generelle effekten av å bruke en lokalt kalibrert korreksjon av prediksjoner utført med en ekstern modell, viser Tabell 5 effekten av korrigeringen ved bruk av ratiokorreksjon estimert med 10 nyetablerte prøveflater (tall i parenteser). For alle unntatt ett tilfelle (N, temporær gjenbruk, Nordre Land) gjør korreksjonen at resultatet blir bedre, enten ved at MD blir lavere i absolutte termer, eller at MD ikke lenger er signifikant forskjellig fra null. Generelt er det derfor slik at prediksjoner gjort med eksterne modeller som potensielt er forventningsskjevne, kan korrigeres med lokal, oppdatert feltinformasjon. Dette er også vist i andre studier, for eksempel av van Ewijk *et al.* (2020), som brukte modeller mellom regioner i Canada.

Tabell 5. Oversikt over gjennomsnittlige avvik (MD) og total relativ feil (RMSE%) mellom estimerte verdier av Ho, N og V og korresponderende feltobserverte verdier for kontrollflater i Nordre Land, Krødsherad og Hole ved gjenbruk av modeller (M1). De gjennomsnittlige avvikene er fordelt på gjenbruk av modeller fra tidligere takst (temporær gjenbruk) og ved bruk av modeller fra et annet studieområde (romlig gjenbruk). Tall i parenteser er gjennomsnittlige estimer gjort på prediksjoner korrigert med studieområde- og stratumspesifikke ratioestimatorer basert på 10 nyetablerte prøveflater (500 iterasjoner) per stratum. Fete typer indikerer at avviket er statistisk signifikant forskjellig fra null (95% signifikansnivå).

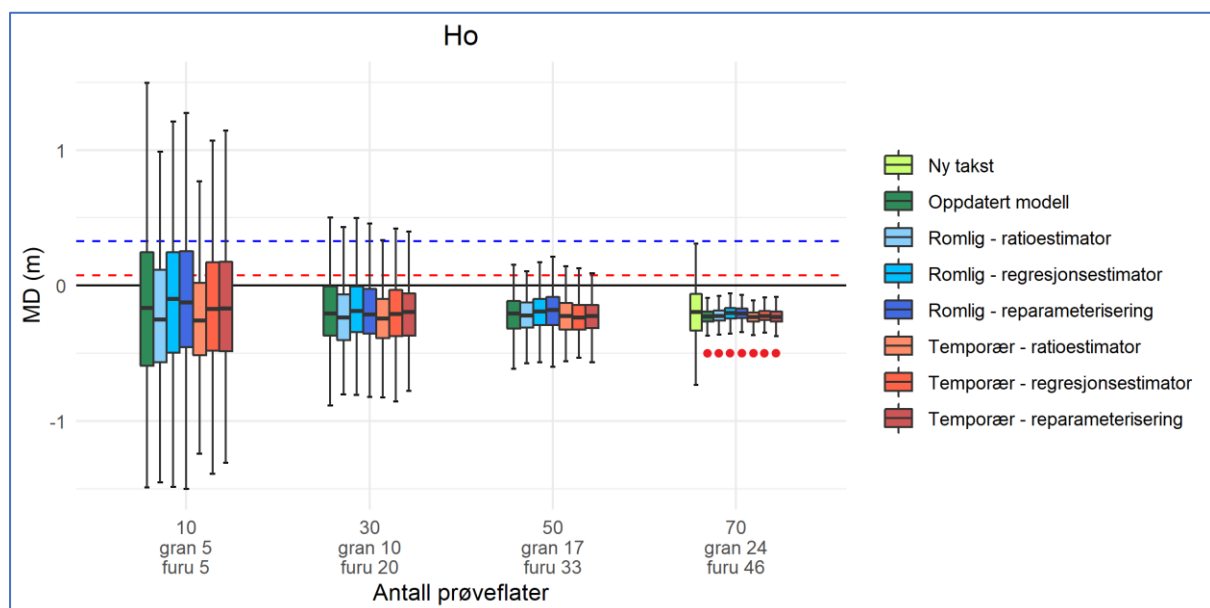
Variabel	Temporær gjenbruk					
	Studieområde			RMSE% ukorrigert (RMSE% korrigert)		
	MD ukorrigert (MD korrigert)			Nordre Land	Krødsherad	Hole
Ho	-0.5 (-0.4)	0.1 (-0.2)	0.4 (0.0)	8 (8)	5 (6)	4 (4)
N	13.7 (40.8)	-53.2 (39.1)	-73.6 (-30.3)	26 (30)	27 (25)	25 (24)
V	28.8 (12.0)	13.4 (18.7)	15.0 (4.5)	23 (23)	16 (18)	19 (20)
	Romlig gjenbruk					
Ho		0.3 (-0.2)	0.0 (0.0)		5 (6)	5 (5)
N		94.6 (39.8)	115.9 (-44.1)		26 (23)	26 (24)
V		30.4 (17.3)	12.1 (0.3)		21 (20)	19 (20)

I de neste avsnittene presenteres resultatene også for de andre korreksjonstilnærmingene samt effekten av antall prøveflater som brukes for å enten estimere korreksjonen (ratioestimator eller regresjonsestimator) eller til å reparameterisere eller oppdatere prediksjonsmodellene. For sammenligning presenteres også resultater fra prediksjoner gjort med ny modell (ny takst). Resultatene presenteres som boksplokk og er organisert etter skoglig variabel. For hver skoglig variabel presenteres det boksplokk kun for ett av studieområdene, enten Krødsherad eller Hole. Resultatene fra Nordre Land (der det kun foreligger resultater for temporær gjenbruk) er omtalt i diskusjonen, og boksplokkene som viser resultatene finnes i Appendiks 1.

4.2.3. Resultater for overhøyde

Figur 2 viser fordelingene til MD for overhøyde etter at prediksjoner ble korrigert med de ulike tilnærmingene i Krødsherad. Figuren viser for det første at det er forholdsvis liten variasjon mellom resultatene for de ulike korreksjonstilnærmingene, og at medianverdiene for de respektive 500 iterasjonene er på omtrent samme nivå. Figuren viser også at presisjonen øker med økende antall prøveflater som ligger til grunn for korreksjonen (boksene blir smalere). Hvis man sammenligner resultatet fra den nye taksten med korrigerede verdier, så indikerer figuren at en korrigert modell med omtrent 15 prøveflater per stratum (10 prøveflater i granstratumet og 20 i furustratumet) gir omtrent samme resultat. Resultatene fra Nordre Land (Figur A1) viser tilsvarende resultater. Som de horisontale, stiplede linjene i Figur 2 indikerer, var også resultatene ved bruk av ukorrigerede prediksjoner gode i dette tilfellet (stort sett ikke signifikante avvik). For Nordre Land var avvikene også små, men i flere tilfeller signifikant forskjellig fra null (Figur A1, Tabell 5).

Generelt viste denne studien at overhøydeestimatene hadde små eller ingen systematiske feil, uavhengig av hvilken modell som ble brukt. van Ewijk *et al.* (2020) kom til samme konklusjon i en studie fra Canada. Næsset (2007) fant heller ikke noe signifikant effekt av studieområde for middelhøyde i en studie der takstområder fra Fet og Hole ble kombinert, men for overhøyde så det ut til å være forskjeller i modellsammenhengene for de to områdene. Selv om man kan påvise signifikante systematiske avvik, ser det imidlertid ut som avvikene er relativt små selv uten å gjennomføre en korreksjonsprosedyre.

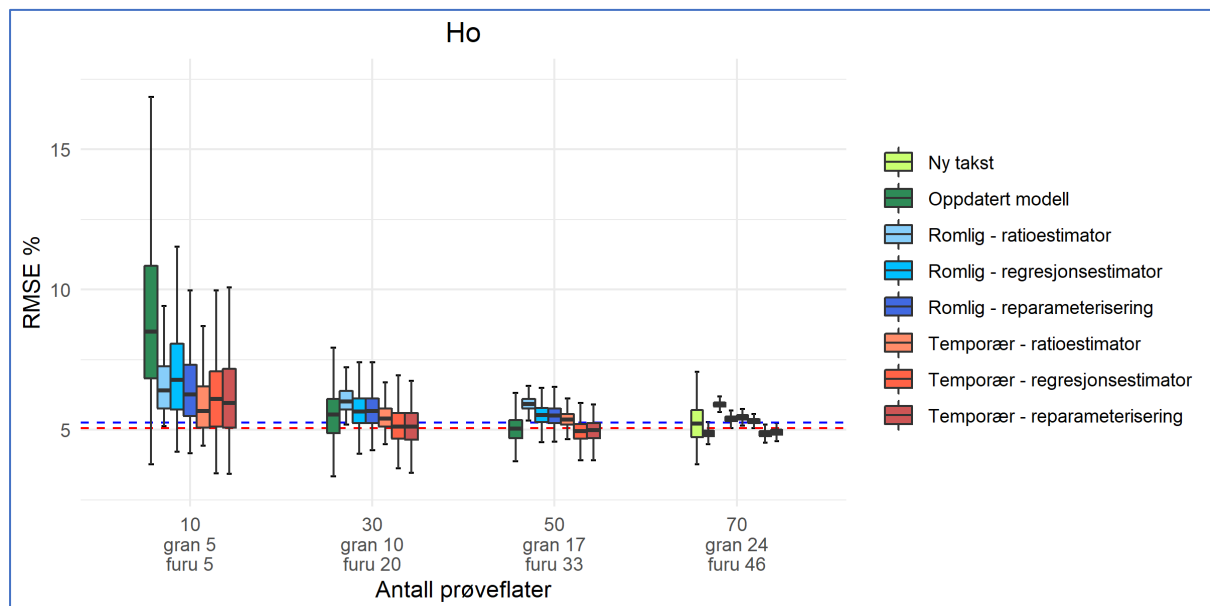


Figur 2. Fordeling av gjennomsnittlige differanser (MD) mellom estimerte og observerte overhøyder (Ho) etter simuleringer med 500 iterasjoner og ulike antall nyetablerte prøveflater brukt til korreksjon (x-akse) for Krødsherad. «Antall prøveflater» er det antallet prøveflater som ligger til grunn for hver av korreksjonstilnærmingene, differensiert på stratum (gran og furu) og totalt. Ulike farger indikerer ulike gjenbrukt modell og korreksjonstilnærming. Lys grønn boks til høyre i figuren viser resultatene fra ny takst med 40 prøveflater per stratum. Horisontal, blå, stiplet linje viser resultat for ukorrigerede prediksjoner med modell konstruert på data fra Nordre Land (romlig gjenbruk), og horisontal, rød, stiplet linje viser det korresponderende resultatet for modellen konstruert på data fra Krødsherad på første taksttidspunkt (temporær gjenbruk). Differanser signifikant forskjellig fra null (95% konfidensnivå) er markert med rød, fylt sirkel.

En kommentar må også knyttes til det faktum at alle korreksjonstilnærmingene fikk signifikante avvik ved å bruke mange (24/46) prøveflater til å estimere korreksjonen. Relatert til det rent tekniske

knyttet til den statistiske testen, så er årsaken at det er først ved dette antallet at resultatene er presise nok til at konfidensintervallet ikke inkluderer verdien null, for man kan se at medianverdiene er alltid er på omtrent samme nivå. Forklaringen på at nivået ligger der det ligger, kan tolkes som en indikasjon på at det faktisk er forskjeller i sammenhengen mellom felt- og laservariabler til korreksjonsflatene og kontrollflatene. Det at medianverdiene til estimatene basert på korrigerte verdier ikke er signifikant forskjellig fra de korresponderende estimatene fra den nye taksten tyder i alle fall på at de to alternativene er «like gode».

Det ble også etter hver iterasjon i simuleringene gjort en beregning av den relative totale feilen (RMSE%) mellom kontrollflater. Figur 3 viser at over de 500 iterasjonene, var det størst og mest variasjon i RMSE% mellom kontrollflater for den tilnærmingen der nye modeller ble tilpasset inkludert variabelseleksjon (Oppdatert modell) når det var få nyetablerte prøveflater tilgjengelig (fem per stratum). Analyser av data fra Nordre Land ga samme resultat (Figur A2). Så selv om tilnærmingene ga forholdsvis like resultater når det gjelder MD (Figur 3, Figur A1), viser Figurene 4 og A2 at selv om relativt svake modeller (oppdatert modell tilpasset på fem flater per stratum) kan korrigeres slik at differansen mellom estimer og feltobserverte verdier nærmer seg null for takstområdet som helhet, vil nøyaktigheten til estimatene variere mye mellom enkeltbestand når man bruker en svak modell. Ved bruk av 15 prøveflater per stratum for korreksjon eller modelltilpassing, viste resultatene at RMSE% for alle tilnærminger kom omtrent på samme nivå. Det var imidlertid en tendens til at de metodene som inkluderte den temporært gjenbrukte modellen, hadde et litt lavere nivå på RMSE% enn metodene som inkluderte den romlige gjenbrukte modellen.



Figur 3. Fordelinger til RMSE% av differanser mellom estimerte og observerte overhøyder (Ho) etter simuleringer med 500 iterasjoner og ulike antall nyetablerte prøveflater brukt til korreksjon (x-akse) for Krødsherad. «Antall prøveflater» er det antallet prøveflater som ligger til grunn for hver av korreksjonstilnærmingene, differensiert på stratum (gran og furu) og totalt. Ulike farger indikerer ulik gjenbrukt modell og korreksjonstilnærming. Lys grønn boks til høyre i figuren viser resultatene fra ny takst med 40 prøveflater per stratum. Horisontal, blå, stiplet linje viser resultat for ukorrigerede prediksjoner med modell konstruert på data fra Nordre Land (romlig gjenbruk), og horisontal, rød, stiplet linje viser det korresponderende resultatet for modellen konstruert på data fra Krødsherad på første taksttidspunkt (temporær gjenbruk).

Sammenlignet med den nye taksten, ser det også ut som at RMSE% for estimatene basert på korrigerede prediksjoner kommer på nivå med denne ved bruk av omtrent 15 prøveflater til korrigerende. Disse resultatene indikerer at når man har få nyetablerte prøveflater, er det bedre å bruke disse til å estimere en korreksjon av en ekstern modell enn å konstruere en ny modell.

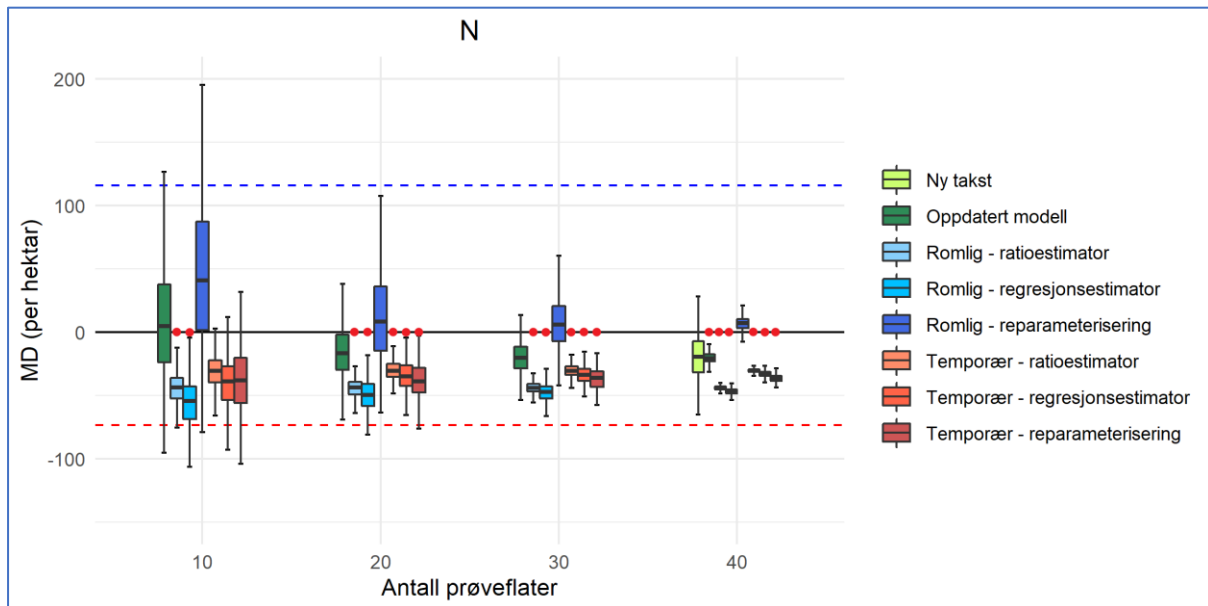
4.2.4. Resultater for treantall per hektar

Figur 4 viser resultater (MD) for estimering av treantall per hektar (N) basert på prediksjoner korrigert med de ulike tilnærmingene for Hole. I motsetning til resultatene for Ho, var det for N en tydelig forskjell i presisjon mellom de metodene som involverte parameterisering av modeller (oppdatert modell og romlig reparameterisering) og de andre tilnærmingene. Dette illustrerer viktigheten av å ha et stort nok datamateriale som er representativt for den skoglige variasjonen i takstområdet når modeller konstrueres. Resultatene for Nordre Land (Figur A3) viste det samme, i alle fall ved bruk av fem prøveflater for modellkonstruksjon. Med få parvise laser- og feltobservasjoner som modellgrunnlag, er det stor sannsynlighet for at en modell vil gi prediksjoner som ikke representerer virkeligheten på en god måte. I Figur 4 ser vi dette som stor variabilitet mellom enkeltestimater for tilnærmingene «Oppdatert modell» og «Romlig reparameterisering» når det er blitt gjort gjentatte tilfeldige utvalg av få prøveflater i samme takstområde. De ulike resulterende modellene har altså beskrevet svært ulike sammenhenger mellom felt- og laserinformasjon fordi hvert utvalg ikke har fanget variasjonen i takstområdet som helhet, men kun deler av den. For alternativene som bruker enten ratio- og regresjonsestimator for differansen derimot, ligger det en modell til grunn som er konstruert på et stort datamateriale slik at «hovedtrenden» mellom felt og laserinformasjon sannsynligvis er godt beskrevet, og korreksjonene av systematiske avvik har blitt gjort på bakgrunn av faktiske observasjoner. Tilsvarende resultater ble observert fra analysene av data fra Nordre Land (Figur A3).

Det er imidlertid noe paradoksalt knyttet til resultatene fra Hole (Figur 4). Når det gjelder medianverdiene, så viser resultatene at det er nettopp de to alternativene som viste størst variabilitet, der medianverdien til MD er nærmest null. For alternativet «Romlig – reparameterisering» var til og med ingen signifikante avvik langs gradienten av antall prøveflater brukt til korreksjon. Forklaringen på dette er at parameterisering av en ny modell, nesten alltid vil være bedre enn korrigeringer av eksterne modeller hvis modellgrunnlaget er godt nok (stort nok). Her illustreres dette ved at resultatene for reparameteriseringsalternativene tenderer mot resultater uten systematiske feil etter mange gjentak. Mange gjentak blir altså her et substitutt for et stort datamateriale. Resultatene etter ratio- og regresjonskorrigering er mer presise fordi modellen alltid er den samme, men resultatene tenderer mot systematiske avvik (Figur 4). Det er ikke lett å peke på generelle årsaker til dette, men det er trolig knyttet til 1) egenskapene til den eksterne modellen og 2) hvordan prøveflatene som brukes til korreksjon fordeler seg i egenskapsrommet i forhold til fordelingen i takstområdet som helhet (her representert ved kontrollflatene) og 3) kombinasjonen av 1) og 2). For å sikre at den eksterne modellen beskriver den generelle trenden i sammenhengen mellom felt- og laserinformasjon på en god måte, er altså viktig at man ikke velger modell ukritisk. Vurderinger av stratifiseringskriterier og skogtyper knyttet til takstprosjektet den eksterne modellen hentes fra er viktige, slik at disse i størst mulig grad sammenfaller med det nyetablerte takstprosjektet.

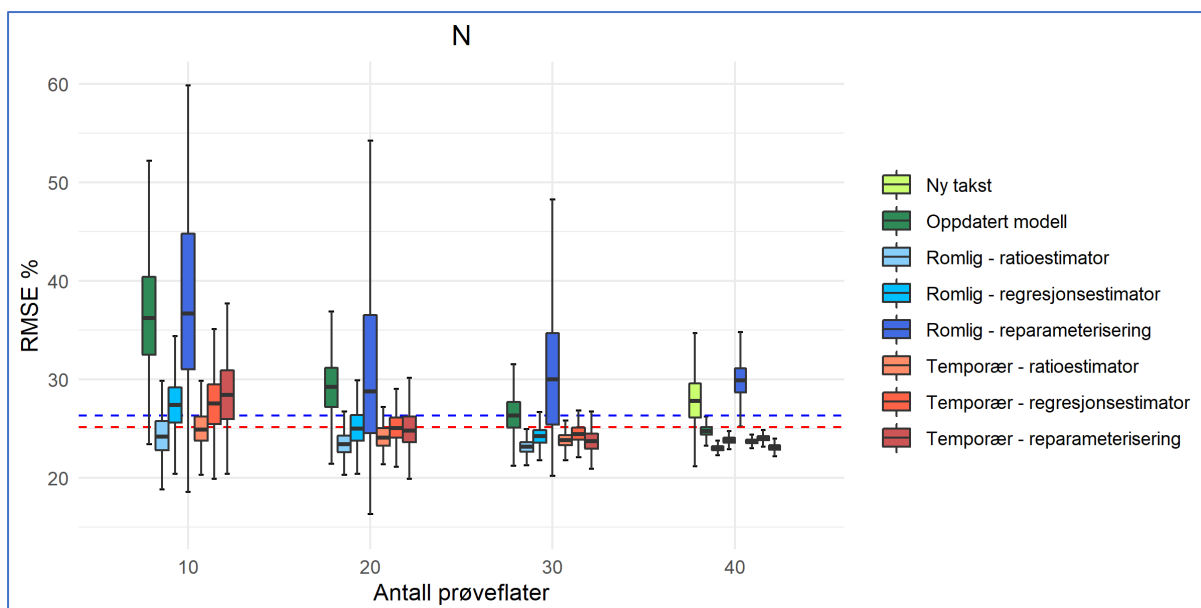
Det var også stor forskjell mellom resultatene fra de to ukorrigerede settene med modellprediksjoner (horisontale linjer i Figur 4). I tillegg var det også en tendens til at de korrigerede resultatene med ratio- og regresjonsestimator grupperte seg i henhold til om det er den temporære eller den romlige gjenbrukte modellen som var anvendt. Dette illustrerer i alle fall to ting, som også delvis er omtalt i

foregående avsnitt. For det første at modeller som er konstruert i ulike områder kan bli svært ulike, og for det andre er det ikke uten betydning hvilken modell som brukes som input for korrigerede prediksjoner. Her skal det imidlertid nevnes at N ofte er den variabelen som er svakest korrelert med laserdataene, som kan føre til at de kombinasjonene av forklaringsvariablene som blir valgt i den endelige modellen, varierer betydelig mellom takstsprosjekt. I denne studien var det slik at når modeller for N ble konstruert på alle ni datasett [tre studieområder x (to tidspunkt + kontrollflater på et tidspunkt)] så ble 14 ulike laserverdiabler valgt én eller flere ganger i de ni modellene. De korresponderende tallene for Ho og V var henholdsvis sju og 11.



Figur 4. Fordeling av gjennomsnittlige differanser (MD) mellom estimerte og observerte treantall per hektar (N) etter simuleringer med 500 iterasjoner og ulike antall nyetablerte prøveflater brukt til korreksjon (x-akse) for Hole. «Antall prøveflater» er det antallet prøveflater som ligger til grunn for hver av korreksjonstilnærmingene (*datasettet fra Hole omfattet bare ett stratum – grandominert skog*). Ulike farger indikerer ulike gjenbrukne modeller og korreksjonstilnærming. Lys grønn boks til høyre i figuren viser resultatene fra ny takst med 40 prøveflater per stratum. Horisontal, blå, stiplet linje viser resultat for ukorrigerede prediksjoner med modell konstruert på data fra Nordre Land (romlig gjenbruk), og horisontal, rød, stiplet linje viser det korresponderende resultatet for modellen konstruert på data fra Hole på første taksttidspunkt (temporær gjenbruk). Differanser signifikant forskjellig fra null (95% konfidensnivå) er markert med røde, fylte sirkler.

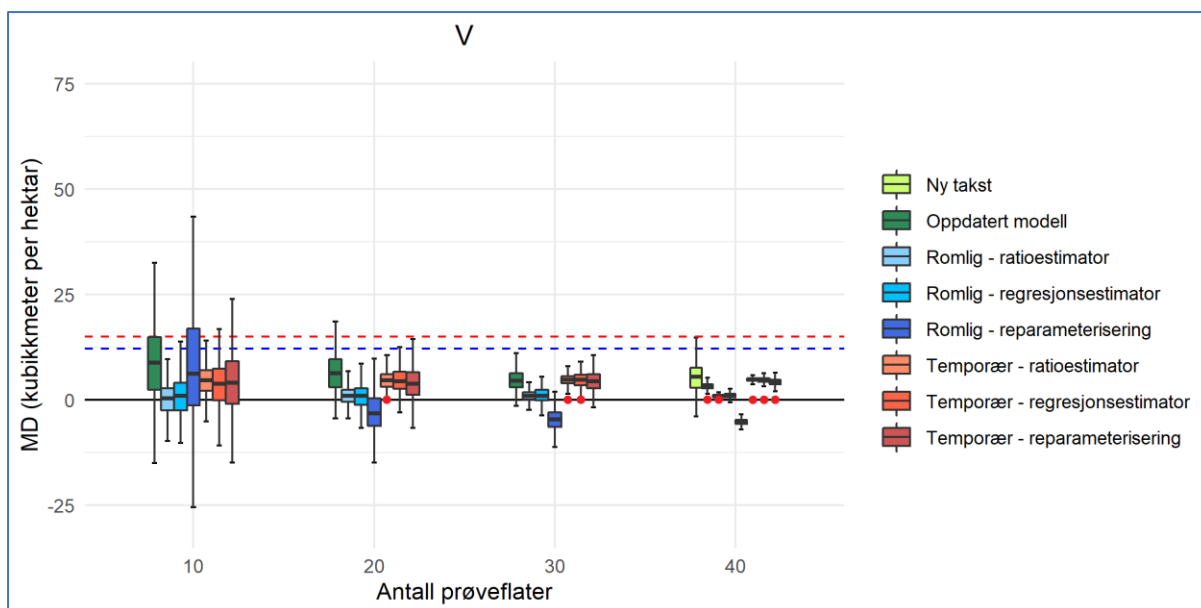
Tabell 5 viser fordelingen til RMSE% for de ulike simuleringene for N for Hole. Konklusjonene fra disse resultatene er i hovedsak de samme som for resultatene for de gjennomsnittlige differansene. En spesifikk kommentar kan knyttes til alternativet «Romlig – reparameterisering». For dette alternativet var RMSE% svært varierende også ved mange prøveflater som grunnlag for parameterisering av modellen. Dette kan trolig forklares med at forklaringsvariablene i den romlig gjenbrukte modellen i dette tilfellet var uheldige, og at parameteriseringen av modellen var sensitiv for utvalget på grunn av disse spesifikke forklaringsvariablene. Som nevnt over er treantall den variabelen det knytter seg størst usikkerhet til i forbindelse med arealbasert lasertakst, og det er derfor ikke overraskende at det er stor spredning i resultater for denne variabelen, både når det gjelder estimater basert på ukorrigerede prediksjoner og de basert på ulike korreksjonstilnærming. Resultatene fra Nordre Land (Figur A4) bekrefter at det var tilnærmingene som krevde parameterisering av modeller på få prøveflater, ga resultat med størst RMSE%.



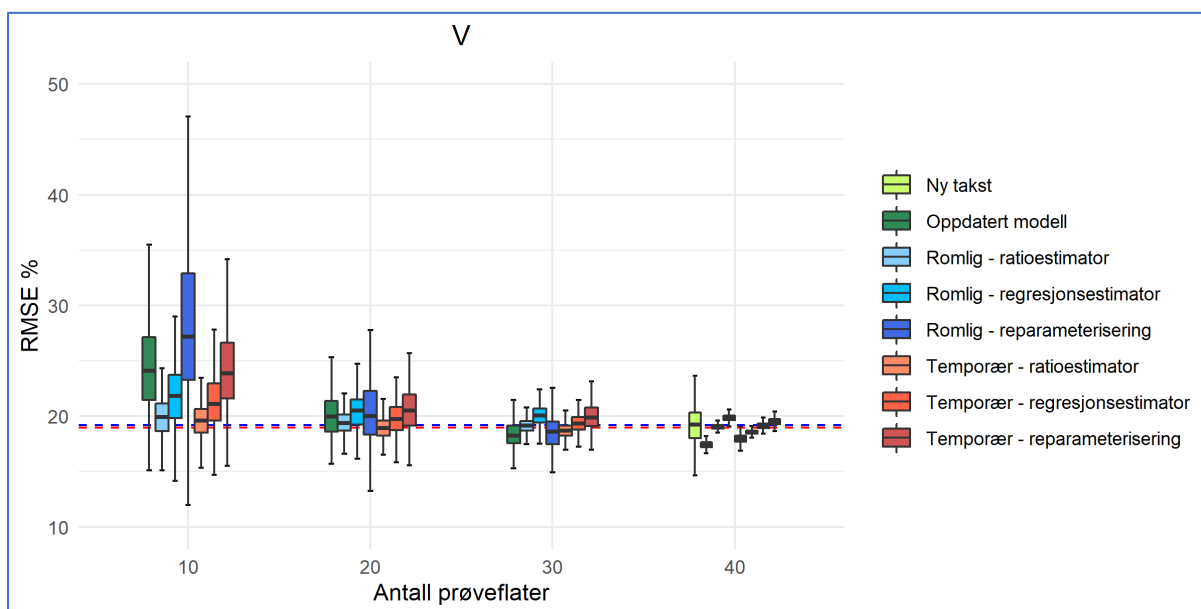
Figur 5. Fordelinger til RMSE% av differanser mellom estimerte og observerte treantall (N) etter simuleringer med 500 iterasjoner og ulike antall nyetablerte prøveflater brukt til korreksjon (x-akse) for Hole. «Antall prøveflater» er det antallet prøveflater som ligger til grunn for hver av korreksjonstilnærmingene (*datasettet fra Hole omfatter bare ett stratum – grandominert skog*). Ulike farger indikerer ulik gjenbrukt modell og korreksjonstilnærming. Lys grønn boks til høyre i figuren viser resultatene fra ny takst med 40 prøveflater per stratum. Horisontal, blå, stiplet linje viser resultat for ukorrigerede prediksjoner med modell konstruert på data fra Nordre Land (romlig gjenbruk), og horisontal, rød, stiplet linje viser det korresponderende resultatet for modellen konstruert på data fra Hole på første taksttidspunkt (temporær gjenbruk).

4.2.5. Resultater for volum per hektar

Figur 6 og 7 viser resultater (henholdsvis MD og RMSE%) for estimering av volum per hektar (V) basert på prediksjoner som er korrigerert med de ulike tilnærmingene for Hole. Resultatene for V er konsistente med resultatene for Ho og N, ved at avvik mellom estimerte og feltobserverte verdier ble redusert som følge av korrigering, og at det er de korrigeringsstilnærmingene som involverer parameterisering av modeller på små datagrunnlag som ga de minst presise resultatene. Også for V er det ved bruk av omtrent 15-20 prøveflater for estimering av stratumvise ratio- og regresjonsestimatorer at estimatene fra korrigererte prediksjoner ble på samme presisjonsnivå som den nye taksten. Korresponderende resultater for Nordre Land er presentert i Figurene A5 (MD) og A6 (RMSE%), og også for dette studieområdet var trendene de samme som de for Hole.



Figur 6. Fordeling av differanser i meter (MD) mellom estimerte og observert volum per hektar (V) etter simuleringer med 500 iterasjoner og ulike antall nyetablerte prøveflater brukt til korreksjon (x-akse) for Hole. «Antall prøveflater» er det antallet prøveflater som ligger til grunn for hver av korreksjonstilnærmingene (*datasettet fra Hole omfatter bare ett stratum – grandominert skog*). Ulike farger indikerer ulik gjenbrukt modell og korreksjonstilnærming. Lys grønn boks til høyre i figuren viser resultatene fra ny takst med 40 prøveflater per stratum. Horisontal, blå, stiplet linje viser resultat for ukorrigerede prediksjoner med modell konstruert på data fra Nordre Land (romlig gjenbruk), og horisontal, rød, stiplet linje viser det korresponderende resultatet for modellen konstruert på data fra Hole på første taksttidspunkt (temporær gjenbruk). Differanser signifikant forskjellig fra null (95% konfidensnivå) er markert med rød, fylt sirkel.



Figur 7. Fordelinger til RMSE% av differanser mellom estimerte og observert volum per hektar (V) etter simuleringer med 500 iterasjoner og ulike antall nyetablerte prøveflater brukt til korreksjon (x-akse) for Hole. «Antall prøveflater» er det antallet prøveflater som ligger til grunn for hver av korreksjonstilnærmingene (*datasettet fra Hole omfatter bare ett stratum – grandominert skog*). Ulike farger indikerer ulik gjenbrukt modell og korreksjonstilnærming. Lys grønn boks til høyre i figuren viser resultatene fra ny takst med 40 prøveflater per stratum. Horisontal, blå, stiplet linje viser resultat for ukorrigerede prediksjoner med modell konstruert på data fra Nordre Land (romlig gjenbruk), og horisontal, rød, stiplet linje viser det korresponderende resultatet for modellen konstruert på data fra Hole på første taksttidspunkt (temporær gjenbruk).

5. Oppsummering

Studiene i dette prosjektet har vist at bruk av gjenbrukte modeller fra andre takstprosjekter for prediksjon av skoglige variabler i arealbasert lasertakst ofte kan gi systematiske avvik mellom estimerte verdier og «sanne» verdier. Resultatene viste videre at prediksjonene i stor grad kan korrigeres ved hjelp av noen prøveflater i det nye taksområdet, og at det er korrigerende med enten ratio- eller regresjonsestimatorer for avviket som gir mest presise resultater, i alle fall for lave antall korrigeringsflater. Forskjellene mellom å konstruere nye modeller og korrigerende av ekstern modell blir mindre hvis man har flere nyetablerte prøveflater tilgjengelig. Videre viste resultatene at det ikke er trivielt hvilken modell som brukes til prediksjon og at man ikke kan eliminere alle systematiske avvik. Systematiske avvik vil man imidlertid også kunne ha i nye takster, og studiene i dette prosjektet tyder på at man kan komme opp på det samme nøyaktighets- og presisjonsnivå som en ny takst med bruk av færre nyetablerte prøveflater enn det som er vanlig ved et ordinært takstprosjekt hvis man har en god modell fra et annet takstprosjekt.

6. Kommentarer ut over rammene til prosjektet

Hvis man skal se litt ut over rammene for problemstillingene for dette prosjektet, finnes det også flere andre måter å utnytte gamle takstdata på, i kombinasjon med nye data. For eksempel, i stedet for å overføre modeller mellom takstprosjekt og eventuelt korrigerende prediksjoner slik som i dette prosjektet, kan man bruke den gamle informasjonen mer aktivt i konstruksjonen av prediksjonsmodellene. Man kan for eksempel tenke seg at det begrensede antallet prøveflater fra det seneste taktstidspunktet inkluderes i et datasett for modellkonstruksjon sammen med dataene fra det gamle takstprosjektet. De gamle dataene kan enten oppdateres til det nye taktstidspunktet med modeller for skoglig utvikling (M2) og kobles direkte til oppdaterte laserdata, eller de kan brukes i opprinnelig form og kobles til laserdata fra de korresponderende taktstidspunktet. I begge tilfeller er det slik at data fra de to tidspunktene vil være av ulik kvalitet og representativitet med tanke på dagens situasjon, og det vil derfor være nødvendig med en ulik vektning av data fra ulike tidspunkt slik at vi får utnyttet den relevante informasjonen og redusert støy som følge av at enten vekstmodellene er usikre eller at det er effekter av at ulike laserinstrument er brukt på ulike taktstidspunkt.

I tillegg til de dataene som samles inn i forbindelse med et konkret takstprosjekt (felldata og fjernmålingsdata), finnes det flere kilder til objektive data over det aktuelle taksområdet fra flere ulike tidspunkter som for eksempel flyfoto og ulike typer satellittdata. Mange satellitter passerer over et gitt område flere ganger per måned, og dette kan utnyttes på flere måter. For det første kan man bruke slike data til deteksjon av endringer som hogstflater og kalamiteter (Ørka *et al.*, 2019a; Ørka *et al.*, 2019b), men en slik serie av data kan også brukes i takstøyemed gjennom såkalt dataassimilering (e.g. Ehlers *et al.*, 2013). Dette er en teknikk der man utnytter all tilgjengelig og relevant informasjon om skogen i taksområdet, både historisk- og oppdatert informasjon. En slik metode er spesielt nyttig når det knytter seg stor usikkerhet til estimater basert på data kun fra taktstidspunktet. Det har dog vist seg at en ordinær arealbasert lasertakst gir så nøyaktig informasjon at den historiske informasjonen har liten verdi, men hvis man tenker seg en situasjon der man i stor grad reduserer datainnsamlingen på taktstidspunktet, både i felt og med tanke på fjernmåling, framstår også slike metoder som attraktive.

7. Anbefalinger

7.1. Valg av ekstern modell

Hvis man skal bruke en ekstern modell og korrigere prediksjoner fra denne med oppdatert feltinformasjon, vil resultatene profitere på at modellen i utgangspunktet er konstruert på et materiale som dekker tilsvarende skogforhold som de i det nye taksområdet. Den opprinnelige- og den nye stratifiseringen bør derfor være omtrent like. En ekstra utfordring knyttet til romlig gjenbruk, er at sammenhengen mellom laser og feltinformasjon kan være forskjellige også ved bruk av identiske stratifiseringskriterier. Det er trolig påregnelig at kvaliteten på estimatene blir dårligere hvis modeller gjenbrukes over store geografiske avstander, store forskjeller i klima, store forskjeller i høyde over havet etc.

7.2. Etablering av feltobservasjoner i det nye taksområdet

I dette prosjektet er det benyttet prøveflater som er remålinger på samme posisjon som prøveflatene fra forrige takst. Dette er imidlertid ikke nødvendig, og trolig heller ikke optimalt. Det vil trolig fungere like bra, og kanskje bedre, å etablere prøveflatene slik at man sikrer en god fordeling langs variasjonsbredden i egenskapsrommet. Dette kan man for eksempel sikre ved å bruke laserdataene aktivt i valg av prøveflateposisjoner (Hawbaker *et al.*, 2009; Maltamo *et al.*, 2011). Laserdataene er objektiv informasjon som er sterkt korrelert med volum og trehøyder, så selv uten modellkalibreringer vil laserdataene gi god oversikt over hvilke bestand som har høye eller lave høyder, eller høye eller lave volum. Det å følge en tradisjonell utlegging av prøveflater (flater eller cluster av flater i systematisk forband) i henhold til oppdatert stratifiseringsinformasjon, vil også i stor grad sikre at man dekker variasjonsbredden på en god måte. Resultatene i dette prosjektet tyder på at man kan halvere det antall prøveflater per stratum som blir brukt i arealbaserte lasertakster i dag, hvis man bruker en ekstern modell sammen med oppdatert informasjon for korrigerende.

8. Referanser

- Cochran, W.G., 1977. Sampling techniques. John Wiley & Sons, New York.
- de Lera Garrido, A.M., Gobakken, T., Ørka, H.O., Næsset, E., Bollandsås, O.M., 2020. Reuse of field data in ALS-assisted forest inventory. *Silva Fennica* 54, 1-18.
- Ehlers, S., Grafström, A., Nyström, K., Olsson, H., Ståhl, G., 2013. Data assimilation in stand-level forest inventories. *Canadian Journal of Forest Research* 43, 1104-1113.
- Eid, T., 2000. Use of uncertain inventory data in forestry scenario models and consequential incorrect harvest decisions. *Silva Fennica* 34.
- Eid, T., Gobakken, T., Næsset, E., 2004. Comparing stand inventories for large areas based on photo-interpretation and laser scanning by means of cost-plus-loss analyses. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19, 512-523.
- Gobakken, T., Næsset, E., 2008. Assessing effects of laser point density, ground sampling intensity, and field sample plot size on biophysical stand properties derived from airborne laser scanner data. *Canadian Journal of Forest Research* 38, 1095-1109.
- Hawbaker, T.J., Keuler, N.S., Lesak, A.A., Gobakken, T., Contrucci, K., Radeloff, V.C., 2009. Improved estimates of forest vegetation structure and biomass with a LiDAR-optimized sampling design. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 114, 1-11.
- Maltamo, M., Bollandsås, O.M., Næsset, E., Gobakken, T., Packalén, P., 2011. Different plot selection strategies for field training data in ALS-assisted forest inventory. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 84, 23-31.
- Noordermeer, L., Økseter, R., Ørka, H.O., Gobakken, T., Næsset, E., Bollandsås, O.M., 2019. Classifications of Forest Change by Using Bitemporal Airborne Laser Scanner Data. *Remote Sensing* 11, 2145.
- Næsset, E., 2002. Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data. *Remote Sensing of Environment* 80, 88-99.
- Næsset, E., 2004a. Accuracy of forest inventory using airborne laser scanning: evaluating the first nordic full-scale operational project. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19, 554-557.
- Næsset, E., 2004b. Practical large-scale forest stand inventory using a small-footprint airborne scanning laser. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19, 164-179.
- Næsset, E., 2005. Assessing sensor effects and effects of leaf-off and leaf-on canopy conditions on biophysical stand properties derived from small-footprint airborne laser data. *Remote Sensing of Environment* 98, 356-370.
- Næsset, E., 2007. Airborne laser scanning as a method in operational forest inventory: Status of accuracy assessments accomplished in Scandinavia. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22, 433-442.
- Næsset, E., 2009. Effects of different sensors, flying altitudes, and pulse repetition frequencies on forest canopy metrics and biophysical stand properties derived from small-footprint airborne laser data. *Remote Sensing of Environment* 113, 148-159.

Næsset, E., 2014. Area-Based Inventory in Norway – From Innovation to an Operational Reality. In: Maltamo, M., Næsset, E., Vauhkonen, J. (Eds.), *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning: Concepts and Case Studies*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 215-240.

Næsset, E., Gobakken, T., 2008. Estimation of above- and below-ground biomass across regions of the boreal forest zone using airborne laser. *Remote Sensing of Environment* 112, 3079-3090.

van Ewijk, K., Tompalski, P., Treitz, P., Coops, N.C., Woods, M., Pitt, D., 2020. Transferability of ALS-Derived Forest Resource Inventory Attributes Between an Eastern and Western Canadian Boreal Forest Mixedwood Site. *Canadian Journal of Remote Sensing* 46, 214-236.

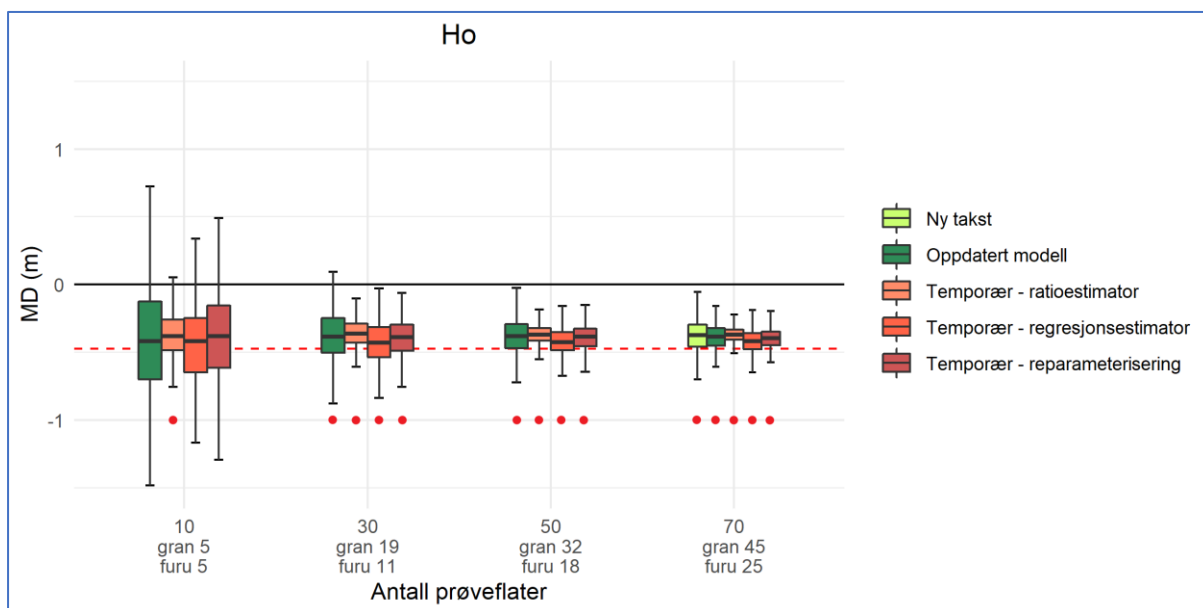
Ørka, H.O., Bollandsås, O.M., Hansen, E.H., Næsset, E., Gobakken, T., 2018. Effects of terrain slope and aspect on the error of ALS-based predictions of forest attributes. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 91, 225-237.

Ørka, H.O., Jutras-Perreault, M.-C., Galilis, J., Svensson, A., Hansen, E., Gobakken, T., 2019a. Fjernmålingsbasert kartlegging og overvåkning av økosystemet skog. In, *Oppdragsrapport, Miljødirektoratet*. NMBU, pp. 1-60.

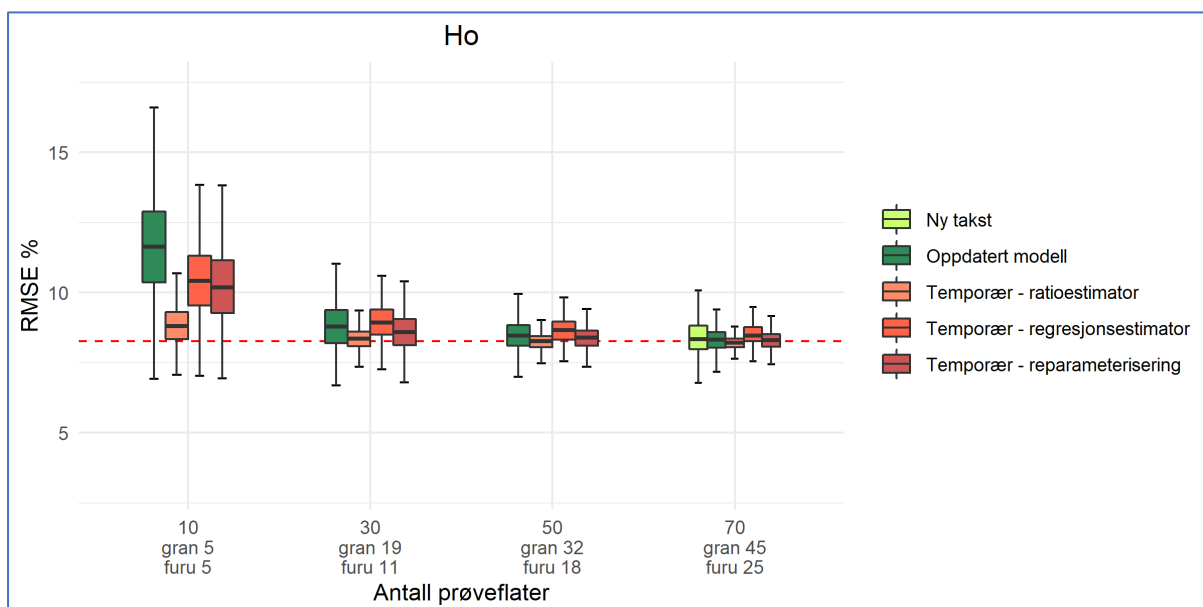
Ørka, H.O., Jutras-Perreault, M.-C., Næsset, E., Gobakken, T., 2019b. Kartlegging av bartrær ved bruk av fjernmåling - deteksjon av hogstflater. In, *Oppdragsrapport, Miljødirektoratet*. NMBU, pp. 1-26.

9. Appendiks 1

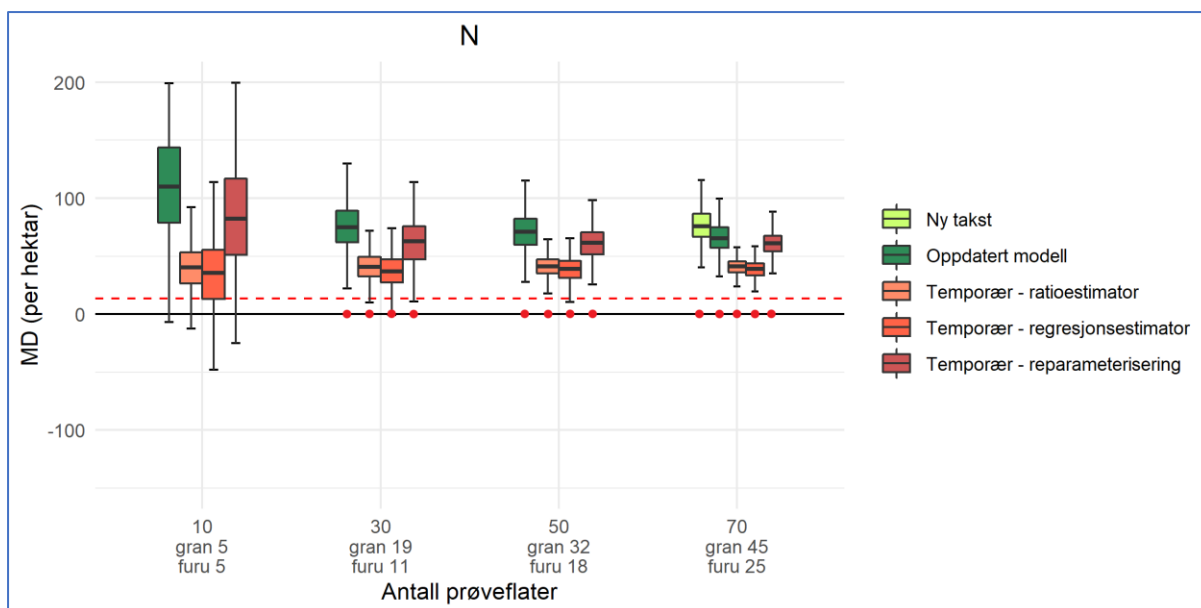
Dette appendikset viser resultater i Nordre Land, slik at disse kan sammenlignes med resultatene for Krødsherad og Hole som er presentert i hoveddelen av rapporten.



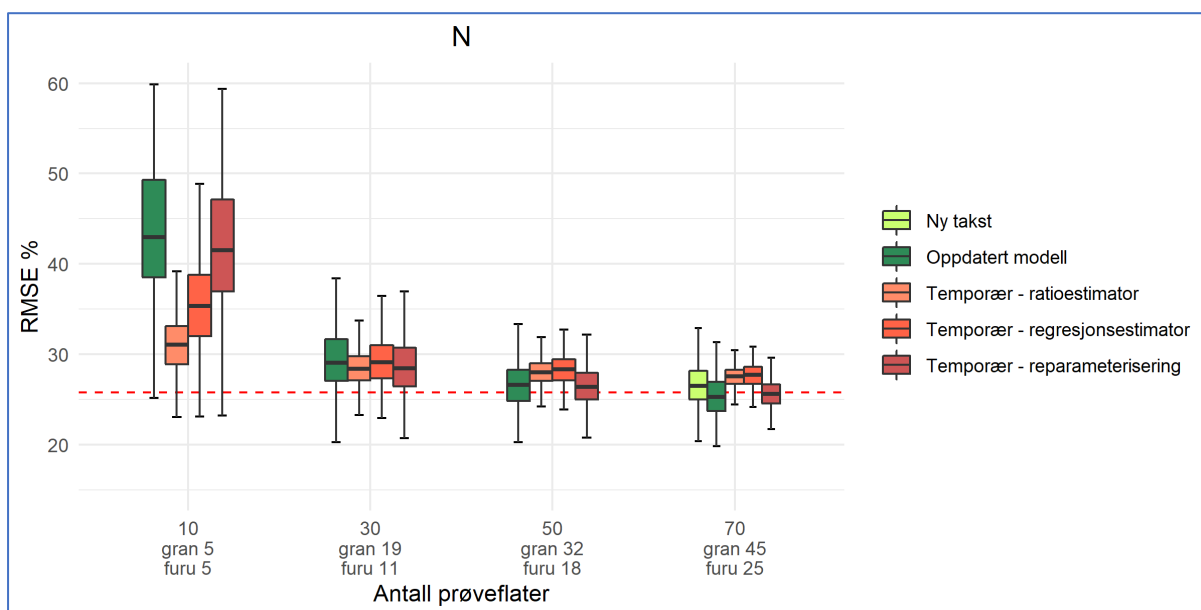
Figur A1. Fordeling av differanser i meter (MD) mellom estimerte og observert overhøyde (Ho) etter simuleringer med 500 iterasjoner og ulike antall nyetablerte prøveflater brukt til korreksjon (x-akse) for Nordre Land. «Antall prøveflater» er det antallet prøveflater som ligger til grunn for hver av korreksjonstilnærmingene, differensiert på stratum (gran og furu) og totalt. Ulike farger indikerer ulik gjenbrukt modell og korreksjonstilnærming. Lys grønn boks til høyre i figuren viser resultatene fra ny takst med 40 prøveflater per stratum. Horisontal, rød, stiple linje viser resultatet for modellen konstruert på data fra Nordre Land på første taksttidspunkt (temporær gjenbruk). Differanser signifikant forskjellig fra null (95% konfidensnivå) er markert med rød, fylt sirkel.



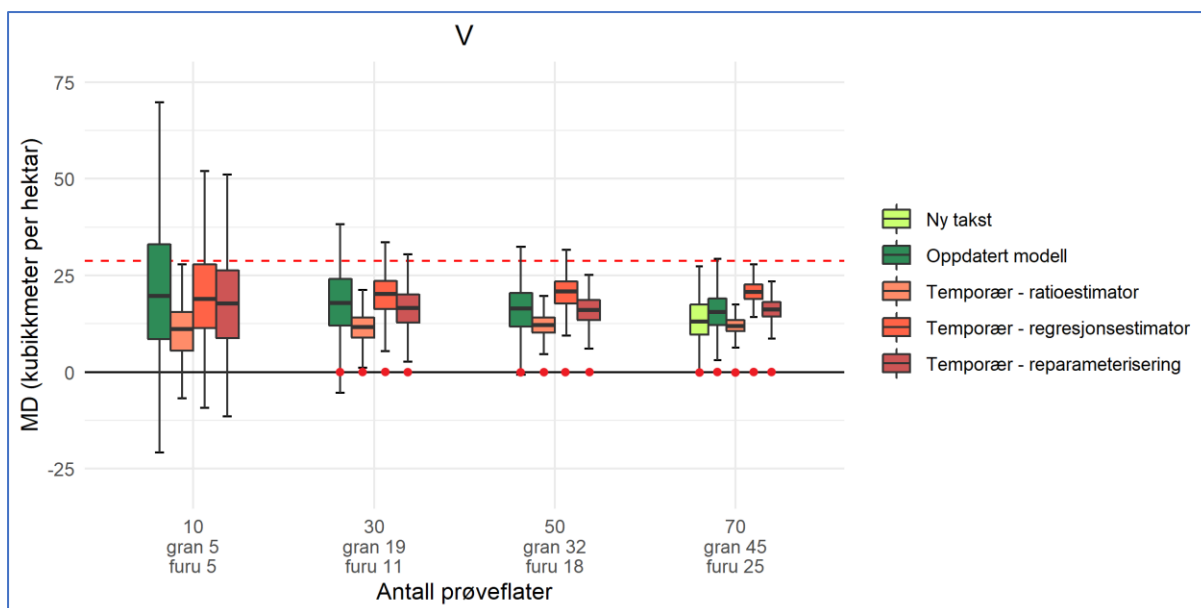
Figur A2. Fordelinger til RMSE% av differanser mellom estimerte og observert overhøyder (Ho) etter simuleringer med 500 iterasjoner og ulike antall nyetablerte prøveflater brukt til korreksjon (x-akse) for Krødsherad. «Antall prøveflater» er det antallet prøveflater som ligger til grunn for hver av korreksjonstilnærmingene, differensiert på stratum (gran og furu) og totalt. Ulike farger indikerer ulik gjenbrukt modell og korreksjonstilnærming. Lys grønn boks til høyre i figuren viser resultatene fra ny takst med 40 prøveflater per stratum. Horisontal, rød, stiple linje viser resultatet for modellen konstruert på data fra Nordre Land på første taksttidspunkt (temporær gjenbruk).



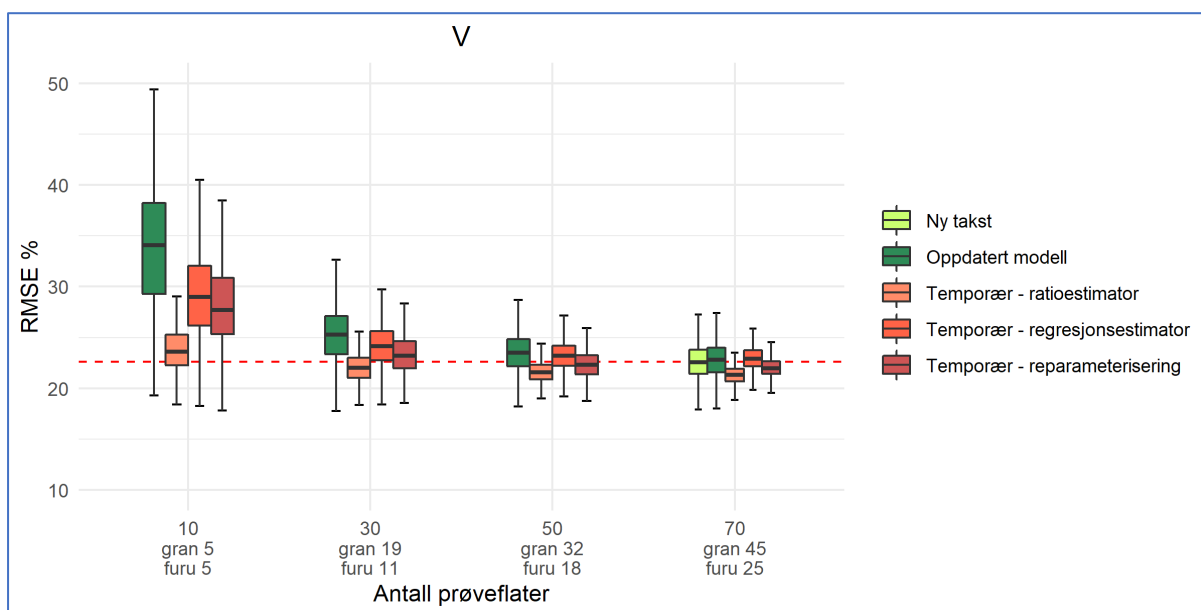
Figur A3. Fordeling av differanser i meter (MD) mellom estimerte og observert treantall per hektar (N) etter simuleringer med 500 iterasjoner og ulike antall nyetablerte prøveflater brukt til korreksjon (x-akse) for Nordre Land. «Antall prøveflater» er det antallet prøveflater som ligger til grunn for hver av korreksjonstilnærmingene, differensiert på stratum (gran og furu) og totalt. Ulike farger indikerer ulik gjenbrukt modell og korreksjonstilnærming. Lys grønn boks til høyre i figuren viser resultatene fra ny takst med 40 prøveflater per stratum. Horisontal, rød, stiplet linje viser resultatet for modellen konstruert på data fra Nordre Land på første taksttidspunkt (temporær gjenbruk). Differanser signifikant forskjellig fra null (95% konfidensnivå) er markert med rød, fylt sirkel.



Figur A4. Fordelinger til RMSE% av differanser mellom estimerte og observert treantall per hektar (N) etter simuleringer med 500 iterasjoner og ulike antall nyetablerte prøveflater brukt til korreksjon (x-akse) for Krødsherad. «Antall prøveflater» er det antallet prøveflater som ligger til grunn for hver av korreksjonstilnærmingene, differensiert på stratum (gran og furu) og totalt. Ulike farger indikerer ulik gjenbrukt modell og korreksjonstilnærming. Lys grønn boks til høyre i figuren viser resultatene fra ny takst med 40 prøveflater per stratum. Horisontal, rød, stiplet linje viser resultatet for modellen konstruert på data fra Nordre Land på første taksttidspunkt (temporær gjenbruk).



Figur A5. Fordeling av differanser i meter (MD) mellom estimerte og observert volum per hektar (V) etter simuleringer med 500 iterasjoner og ulike antall nyetablerte prøveflater brukt til korreksjon (x-akse) for Nordre Land. «Antall prøveflater» er det antallet prøveflater som ligger til grunn for hver av korreksjonstilnærmingene, differensiert på stratum (gran og furu) og totalt. Ulike farger indikerer ulike gjenbrukt modell og korreksjonstilnærming. Lys grønn boks til høyre i figuren viser resultatene fra ny takst med 40 prøveflater per stratum. Horisontal, rød, stiplet linje viser resultatet for modellen konstruert på data fra Nordre Land på første taksttidspunkt (temporær gjenbruk). Differanser signifikant forskjellig fra null (95% konfidensnivå) er markert med rød, fylt sirkel.



Figur A6. Fordelinger til RMSE% av differanser mellom estimerte og observert volum per hektar (V) etter simuleringer med 500 iterasjoner og ulike antall nyetablerte prøveflater brukt til korreksjon (x-akse) for Krødsherad. «Antall prøveflater» er det antallet prøveflater som ligger til grunn for hver av korreksjonstilnærmingene, differensiert på stratum (gran og furu) og totalt. Ulike farger indikerer ulike gjenbrukt modell og korreksjonstilnærming. Lys grønn boks til høyre i figuren viser resultatene fra ny takst med 40 prøveflater per stratum. Horisontal, rød, stiplet linje viser resultatet for modellen konstruert på data fra Nordre Land på første taksttidspunkt (temporær gjenbruk).