

# Bruk av Landskogtakseringens data for kostnadseffektiv planlegging i skogbruket

Johannes Breidenbach, Johannes Rahlf, Marius Hauglin, Rasmus Astrup

NIBIO, Norsk Institutt for Bioøkonomi

## Konklusjon

Resultatene viser at SR16 kan brukes som supplement til skogbruksplanen, eller i tilfeller der ingen plan er tilgjengelig. For furudominert skog i hogstklasse 4 og 5 er nøyaktigheten av SR16 sammenlignbar med skogbruksplanen. For andre skogtyper er nøyaktigheten også sammenlignbar, hvis SR16 kombineres med noen få tilleggsflater. På denne måten kan feltarbeid i skogbruksplanleggingen dramatisk reduseres mens nøyaktighetsnivået opprettholdes.

## Sammendrag

Differansene av estimater for tømmer volum basert på Landsskogtakseringens skogressurskart SR16 og skogbruksplanen på bestandsnivå for furudominert skog i hogstklasse 4 og 5 er små (11% i gjennomsnitt). Det virkelige volumet i disse bestandene er ikke kjent – estimater basert på SR16 og skogbruksplan har begge en viss usikkerhet. Den gjennomsnittlige differansen mellom estimater basert på SR16 og skogbruksplanen i grandominert skog i hogstklasse 4 og 5 (stratum 1) er 14%. Her ligger SR16 systematisk noe lavere enn skogbruksplanen. Dette skyldes trolig færre observasjoner i skog med svært høyt volum i SR16. En kombinasjon av SR16 med tre (3) flater fra skogbruksplanen eliminerer den systematiske differansen. For skog i yngre hogstklasse 3 varierer resultatet mye mellom laserområder der det ble brukt ulike modeller i skogbruksplanen. Spesielt i ett område ser man en tendens som ligner på stratum 1. Her er dog differansen størst der det ekstrapoleres med modellene. Det frarådes generelt fra å bruke modeller utenfor det dataområdet de er laget for (ekstrapolering). Differansene mellom estimater for tømmer volum basert på SR16 og skogbruksplanen i eldre hogstklasse 3 er små.

## Bakgrunn

Denne studien ble finansiert av Skogbrukets Utviklingsfond og Skogtiltaksfondet («Bruk av Landskogtakseringens data for kostnadseffektiv planlegging i skogbruket» med referansenummer 16/66234). NORSKOG var prosjekteier, mens NIBIO var ansvarlig for den faglige gjennomføringen. Mjøsen Skog stilte skogbruksplanen til rådighet og bidro med faglig kompetanse rundt skogbruksplanleggingen. I denne undersøkelsen har vi fokusert på estimering av tømmer volum.

SR16 er Landsskogtakseringens skogressurskart med 16x16 m piksler. Astrup et al. (2019) gir en generell beskrivelse av metodikken som ble utvidet for laserdata og stratifiserte modeller for dette prosjekt. SR16 er tilgjengelig gjennom Kilden: <https://bit.ly/2HJDE3b>.

På grunn av en forsinkelse i leveransen av skogbruksplanen, ble også dette prosjektet forsinket.

## Prosjektområde og skogbruksplanopplegg

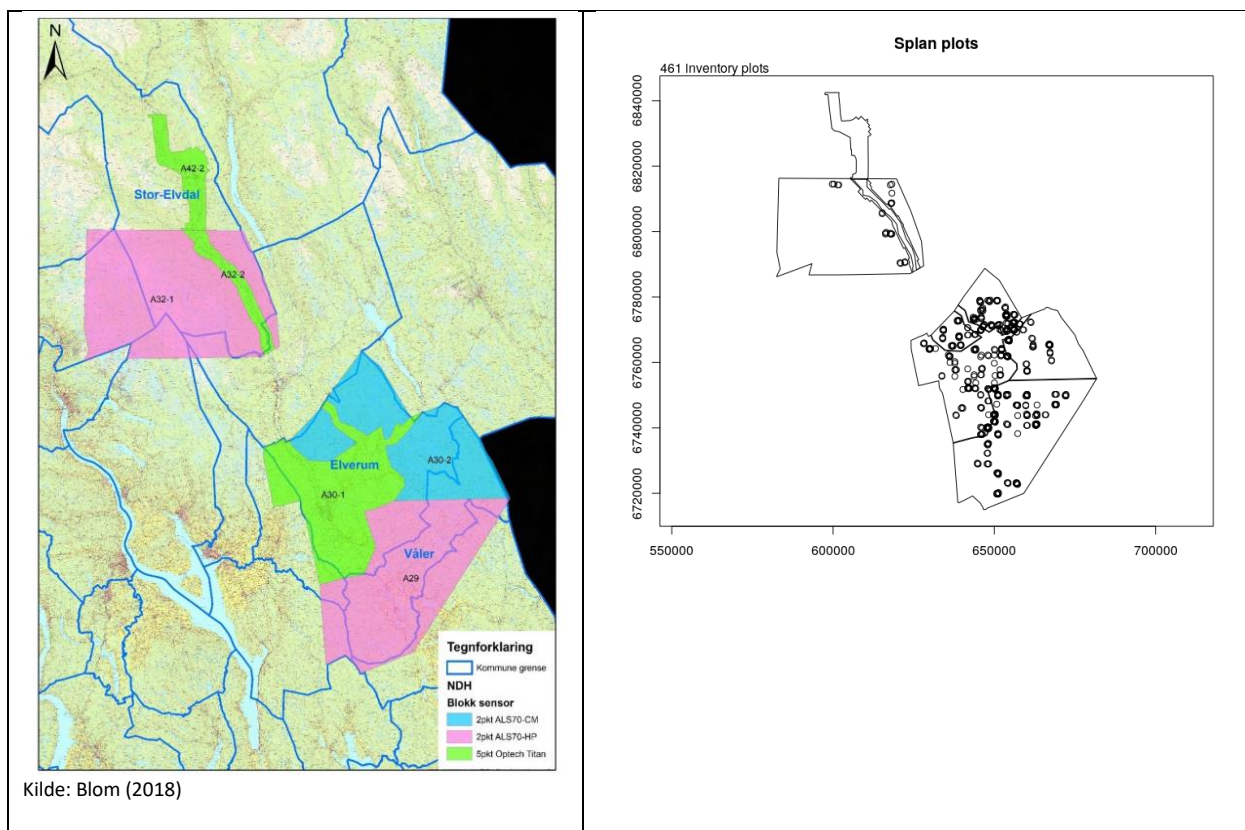
Skogbruksplanen (splan) i Elverum-Våler ble levert av Mjøsen skog (Figur 1). En detaljert beskrivelse av splan-beregningene finnes i prosjektbeskrivelsen (Blom 2018). Fjernmålingsdata som ligger til grunn for skogbruksplanen i Elverum-Våler er tre laserprosjekter (Tabell 1) fra sommer-høst 2016

som er en del av skanningen til Kartverkets Nye digitale høydemodell (NDH). Hele området ble, ved bruk av manuell inntegning på grunnlag av flyfoto, delt inn i bestand som samtidig ble klassifisert som tilhørende en av fem strata basert på treslag og hogstklasse (Tabell 2). For hvert stratum og lasersensor ble det laget statistiske modeller for volum og andre egenskaper basert på 33 – 51 prøveflater. For å øke antall observasjoner, ble også prøveflater fra et annet prosjektområde nord fra Elverum-Våler brukt i den statistiske modelleringen. Tømmervolum ble ikke beregnet i stratum 5 som er derfor ikke en del av denne dokumentasjonen.

Mer enn 480 temporære sirkulære prøveflater med en størrelse av 250 m<sup>2</sup> ble i mai-november 2017 registrert i felt i strata 1 til 4. Flatene ble lagt ut som 3x3 cluster med en avstand på 250 m mellom flatene i nord-sør og øst-vest retning. Clustere ble delvis utvidet til 3x4 eller 4x3. Distansen mellom clustere var 2,5 km i nord-sør og øst-vest retning. Flater ved en bestandsgrense ble trukket inn i bestandet for å ligge fullstendig inne i et bestand. Flater i bestand med mer enn 50% lauvtrær ble ikke registrert. Flatekoordinatene ble målt med postprosessert GPS basert på basedata fra Kartverket.

Hver flate ble totalklavet (1,1 m over stubbeavskjær, dvs. 1,3 m over midlere marknivå) for trær med en minimumdiameter av 6 cm. Også skadete eller døde trær klaves. Om lag 10 høydetrær ble utvalgt ved bruk av relaskopfaktor 1 eller 2 ved å ta hvert n-te tre der n kommer fra en tabell i instruksen.

Enkeltreda fra flatene ble overlevert til NIBIO som har beregnet tømmervolum på flatenivå. Dette var nødvendig siden modelleringsdata beskrevet i Blom (2018) ikke ble stilt til rådighet for dette prosjektet.



Figur 1: Oversikt over prosjektområdet (venstre) og fordeling av flater for splan (høyre).

Tabell 1: Laser data brukt i prosjektet. Kilde: Blom (2018)

Laserdata i prosjektområdet Elverum-Våler (NB: NDH-blokk nummer for Våler er A29, ikke A42-1):

Områdenavn	NDH-blokk nummer	Punkttetthet (punkt/m <sup>2</sup> )	Sensor	Dato
Elverum	A30-2	2	ALS70-CM	Mai-Okt 2016
Elverum	A30-1	5	Optech Titan	Mai-Juni 2016
Våler	A42-1	2	ALS70-HP	Juni-Okt 2016

Laserdata i nordlige del rundt Stor-Elvdal:

Områdenavn	NDH-blokk nummer	Punkttetthet (punkt/m <sup>2</sup> )	Sensor	Dato
Opphus, Koppang	A32-2, A42-2	5	Optech Titan	Mai 2016
Opphus	A32-1	2	ALS70 HP	4-29 Okt 2016

Tabell 2: Stratainndelingen.

Stratum	Treslag	HKI	Alder
1	Gran	4 og 5	
2	Furu	4 og 5	
3	Gran og Furu	3	yngre
4	Gran og Furu	3	eldre
5 (ingen måling av volum)	Gran og Furu	1 og 2	

## Landsskogtakseringen

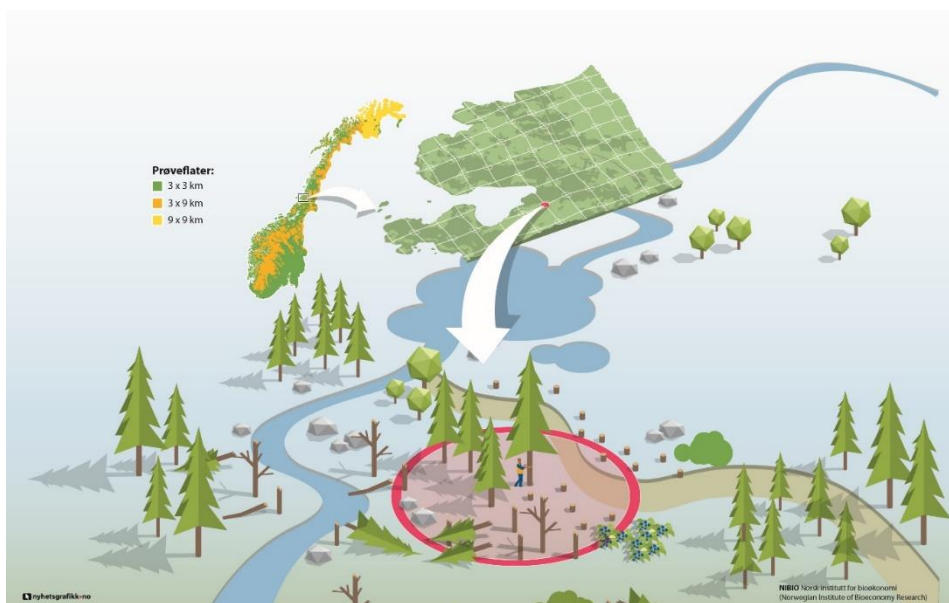
Skogressurskart SR16 er basert på Landsskogtakseringens felldata. Den følgende beskrivelsen av Landsskogtakseringen er basert på Breidenbach m.fl. (2017).

Landsskogtakseringen er et omfattende og landsdekkende overvåkingssystem for skog basert på utvalgskartlegging (Landsskogtakseringen 2008). Gjennom Landsskogtakseringen får man fram viktige utviklingstrekk ved våre skoger, samt ressurs- og miljøinformasjon om skog. Blant annet blir Landsskogtakseringens prøveflater brukt i den nasjonale overvåkingen av skogens sunnhetstilstand og i det nasjonale regnskap for sektoren for skog og annen arealbruk (LULUCF) under FNs Klimakonvensjon og Kyotoprotokollen.

Landsskogtakseringen har opprettet et nett med permanente observasjonsflater (prøveflater) med forband 3x3 km under barskoggrensen, 3x9 km over barskoggrensen og 9x9 km over barskoggrensen i Finnmark (Figur 2). Om en prøveflate blir oppsøkt i felt er avhengig av om den er eller var tresatt; noe som på forhånd bedømmes ut fra flybilder, tidligere feltobservasjoner, og andre data. Permanente prøveflater under barskoggrensen utenfor Finnmark ble etablert mellom 1986 og 1993.

Flatene over barskogsgrensen utenfor Finnmark ble etablert mellom 2005 og 2009, og flatene i Finnmark ble etablert mellom 2005 og 2011.

Hver flate er sirkulær med en radius på 8,92 m (areal 250 m<sup>2</sup>), og på hver flate som blir oppsøkt i felt registreres mer enn 120 tre-, skog-, miljø- og landskapsvariabler (Figur 2). Trevariabler som registreres er blant annet treslag, diameter, høyde og posisjon av hvert tre med en brysthøydiameter på 5 cm eller mer. Diameter og høyde brukes for å bestemme biomassen (over og under jord) av hvert tre ved hjelp av biomassefunksjoner. På samme måten brukes det volumfunksjoner for å bestemme tømmer volumet av hvert tre. Skogvariabler som registreres er blant annet treslagssammensetning, bonitet, alder, driftsforhold, og jordbunnsforhold (organisk eller mineraljord). Miljøvariabler som registreres er blant annet vegetasjonstype, dekningsgrad av blåbærlyng og forekomst av miljøfigurer i skog. Landskapsvariabler som registreres er blant annet arealtype (dekning av arealet) og arealanvendelse (bruk av arealet) som i kombinasjon beskriver arealkategoriene. Hver prøveflate kan bli delt mellom inntil to arealkategorier (for eksempel skog og dyrket mark), hvis begge arealkategoriene dekker minst 15 % av flatearealet. Flateposisjonene holdes hemmelig for å forhindre at eventuelle tiltak på arealet (f.eks. skogbehandling) påvirkes av at det ligger en prøveflate der. Dette sikrer representativiteten av flatene for hele arealet.



Figur 2: Skjematisk opplegg av Landsskogtakseringen

I Landsskogtakseringen registreres 1/5 av flatene over hele landet hvert år, og alle flater retakseres i løpet av 5 år. Dette gir landsdekkende resultater hvert år. Det kan også beregnes resultater for regioner eller større områder. Årlige registreringer over hele landet muliggjør dessuten tilleggsregistreringer det enkelte år for å belyse spesielle forhold. Til sammen finnes det mer enn 22 000 prøveflater, fordelt over alle arealkategorier. Av de 22 000 flater er mer enn 12 000 tresatt og oppsøkes i felt av erfarne felteksperter. En viss andel av flatene blir kontrolltaksert (målt to ganger av forskjellige personer) for å sikre konsistens mellom målingene og for å videreutvikle felteksperternes vurderinger.

I naturen vil det ofte forekomme systematiske variasjoner knyttet til for eksempel topografi eller klimatiske gradienter. Det kan være store variasjoner i f.eks. bonitet eller treslagssammensetning innenfor et fylke eller store dalførere. For å få representative registreringer hvert år er det viktig at

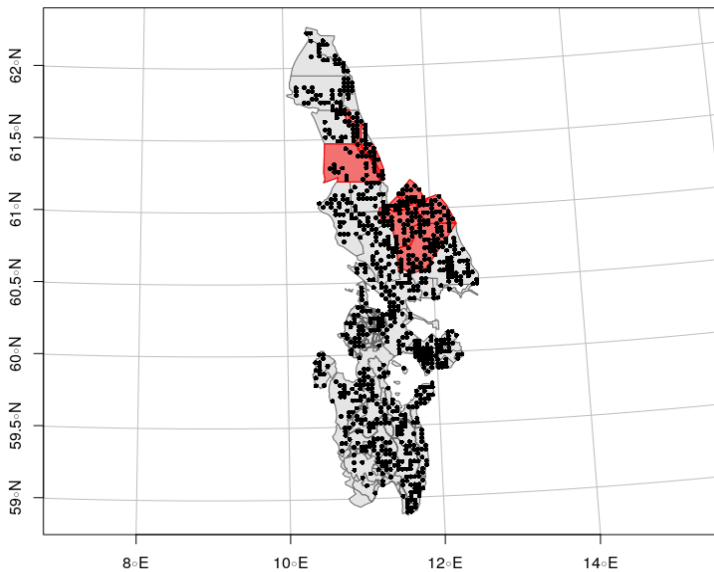
flatene er spredt over større områder i alle landsdeler, og å unngå geografiske mønstre som f.eks. at større dalfører i en region hovedsakelig har nord – sør retning. Dette gjøres ved at utvelgelsen av prøveflater er basert på latinsk kvadrat (se Landsskogtakseringen (2008) for detaljer).

Landsskogtakseringens flatenett gir oss muligheten til å estimere mengde og tilstand for ulike naturressurser, som er informasjon som brukes i en rekke rapporter. Ved å gjenta registreringene av de samme flatene med jevne mellomrom, kan forandringer over tid overvåkes. Registrering av utviklingen på de samme flatene øker presisjonen i estimeringen betydelig. For eksempel innhentes det data om hvor mange trær som ble hogget ved overganger til bebyggelse, beite eller andre arealkategorier. Dessuten kan opptak av CO<sub>2</sub> pga. trærnes vekst estimeres for arealene der ingen arealbruksendring fant sted. De permanente prøveflatene blir også brukt til kalibrering av fjernmålingsdata. Etablerte statistiske metoder brukes for å lage estimater, dvs. for å multiplisere opp utvalget av trær på prøveflatene til å gjelde hele populasjonen (inferens). Basert på Landsskogtakseringen kan vi si at skogarealet for tiden er på 12,1 millioner ha ( $\pm 1$  % standardfeil) som tilsvarer 38 % av landarealet, og det stående tømmervolum med bark er på 1,1 milliard m<sup>3</sup> ( $\pm 1$  % standardfeil) når alle arealkategorier medregnes. Egne estimater kan gjøres på det følgende nettsted: <https://landsskog.nibio.no/>.

## Metode for bruk av SR16

Skogegenskapene (volum) på Landsskogtakseringens (LS) flatene ble fremskrevet til etter august 2017, slik at de passet omtrent til registreringsdato av splan (mai til november 2017).

LS flatene ble videre delt inn i de strata som ble brukt i splan (Tabell 2). Trær med en diameter < 6 cm ble tatt ut i alle strata; for flater i stratum 1 og 2 ble også trær med diameter < 10 cm tatt ut. Basert på LS flater for hele Østlandet der laserdata var tilgjengelig ble det laget separate modeller for hvert stratum. På grunnlag av tidligere erfaring fra tilsvarende modeller, ble det benyttet lineære regresjonsmodeller med en forholdsvis enkel struktur. Middelerverdi av laserhøydene og kvadratet av denne verdien ble brukt som hovedforklaringsvariabler. For å ta hensyn til forhold som kan variere mellom laserprosjekter – som punktetthet eller ulike sensorer – ble det inkludert i modellene en tilfeldig effekt på laservariabelen innen hvert laserprosjektområde.



Figur 3: Landsskogflater som ble brukt i modellene. Prosjektområdet vises som rødt polygon.

Modellene ble så brukt for å lage volumkart for alle strata og hele splan-området med en pikselstørrelse på 16x16 m. Bestandskartet som ble stilt til rådighet av Mjøsen skog ble brukt for å beregne bestandsvis gjennomsnitt av pikslene. Alle piksler med sentrum i et bestand, ble den regnet som tilhørende til dette bestandet. Denne metoden avviker noe fra det som ble gjort i splan, der bestandskartet blir brukt for å dele opp pikslene og laservariabler ble beregnet for pikseldeler.

Det resulterende gjennomsnittsvolum fra SR16 per bestand ble så sammenlignet med gjennomsnittsvolum fra splan for 200 bestand per stratum og prosjektområde, med et areal på mellom 1 og 4 ha. Sammenligningen er altså basert på  $200 \times 3$  (laserområder)  $\times 4$  (strata) = 2400 bestand av totalt 21682 bestand med et areal på mellom 1 og 4 ha. Denne bestandsstørrelsen ble valgt for å minimere differanser mellom SR16 og splan estimater på grunn av ulike beregningsmetoder for piksler ved bestandskanter.

To statistiske uttrykk ble benyttet for å beskrive differansen mellom volumestimer fra SR16 og splan på bestandsnivå.

Root mean squared difference (RMSD) beskriver den samlede forskjellen, og omfatter både tilfeldige og systematiske forskjeller. Denne er definert som

$$RMSD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (SR16_i - splan_i)^2}$$

der N er antall bestand, i er indeksen for bestand,  $SR16_i$  er SR16 estimatet for den i-te bestand og  $splan_i$  er splan estimatet.

Mean difference (MD) beskriver en gjennomsnittlig systematisk forskjell

$$MD = \frac{1}{N} \sum_i SR16_i - splan_i$$

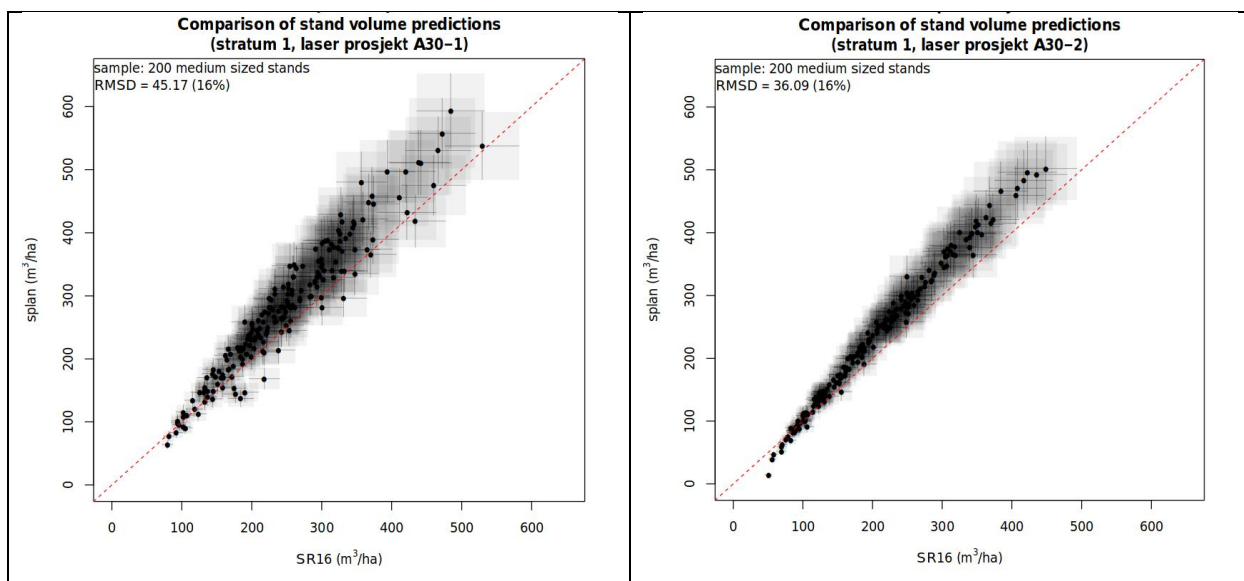


## Resultater

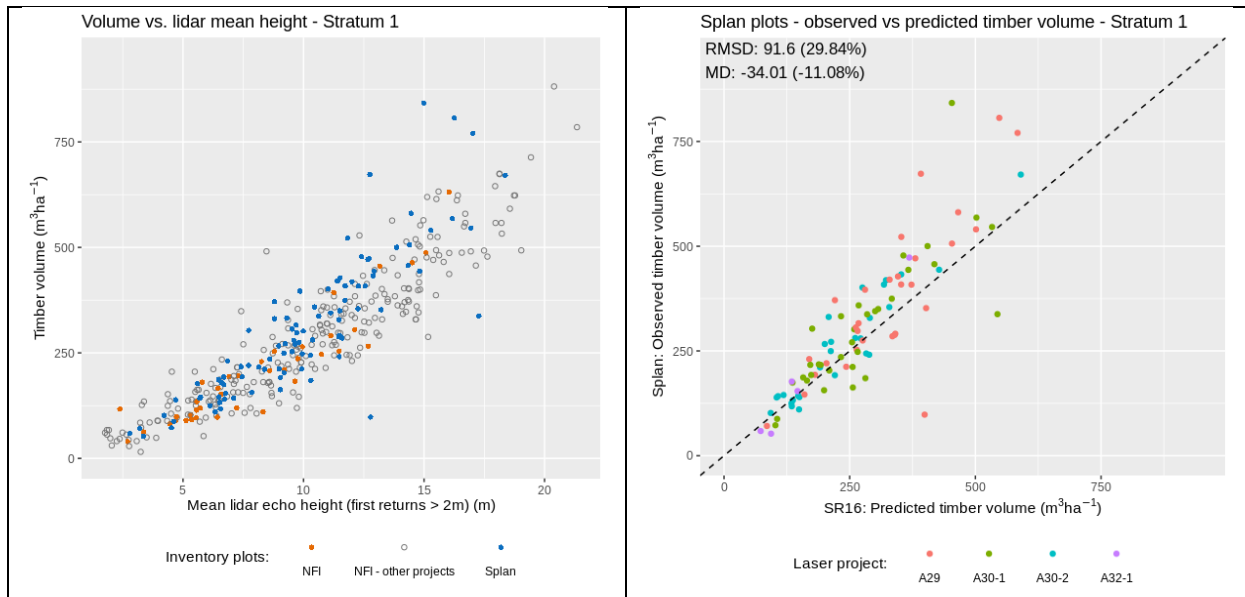
### Stratum 1 – Gran i HKI 4+5

For to laserprosjektområder passer SR16 og splan estimatene godt overens, men SR16 har en tendens til å ha lavere estimater enn splan for bestand med volum på mer enn ca 120 m<sup>3</sup>/ha (Figur 4). I område A30-1 er det mer tilfeldig variasjon mellom SR16 og splan enn i område A30-2. Det er ikke klart om det er SR16 eller splan som passer best overens med virkeligheten for disse bestandene. Men man ser tegn på at sammenhengen mellom laservariabler og tømmer volum kan være annenledes i Elverum-Våler enn i resten av Østlandet. Spesiell for bestand med en gjennomsnittlig laserhøyde > 15 m er det i tendens et høyere tømmer volum i Elverum-Våler – gitt laserhøyden – enn på resten av Østlandet (Figur 5). I SR16 blir slike sammenhengs-variasjoner mellom prosjektområder ivaretatt av en tilfeldig effekt i modellen. Det er mulig at det ikke var nok LS flater i Elverum-Våler til at modellen blir tilpasset tilstrekkelig. Den gjennomsnittlige og systematiske differansen mellom SR16 og splan estimater for alle prosjektområder vises i Tabell 4.

Også en uavhengig validering av SR16 modellen med splan flater viser samme tendensen som sammenligning på bestandsnivå og tyder på at SR16 modellen underestimerer volum i bestand med høyt tømmer volum (Figur 5).



Figur 4 Sammenligning av estimert tømmer volum fra splan og SR16. Hvis begge estimater var de samme, ville alle punkter ligge på den stiplede 1:1 linjen. Det vises en feilmargin på  $\pm 10\%$  for hvert bestand. NB: Det virkelige volumet i disse bestandene er ikke kjent. Figuren viser kun hvordan bestandsvise volumestimater fra SR16 samsvarer med de fra splan.



Figur 5. Venstre: Tømmervolum gitt gjennomsnittlig laserhøyde. Høyre: Validering av SR16-modell på splan flater.

Tabell 3: Modellparametere brukt i splan og SR16 (HMED=gjennomsnittlig laserhøyde, PERC\_ABOVE2M\_F= andel første ekkoe større enn 2m. Andre forkortelser er forklart i Blom (2018))

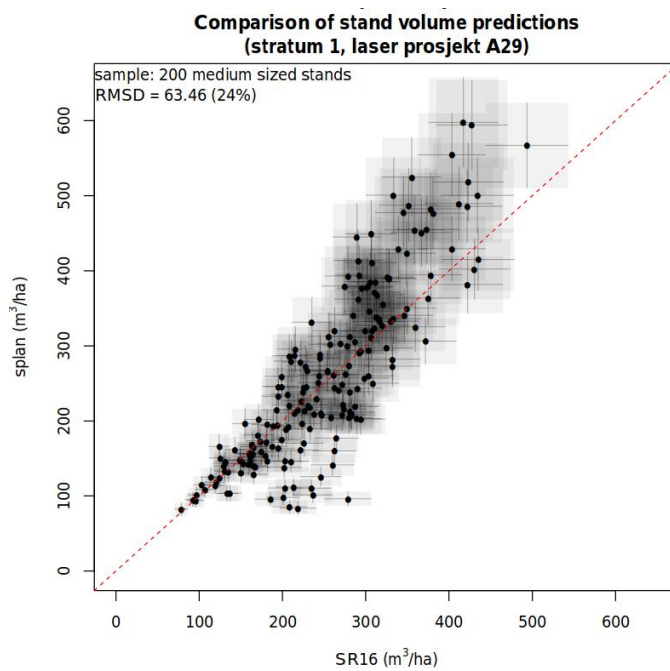
Område	SR16	splan
A30-1	$VOL = 40.104 + (22.962 - 0.775) * HMED\_F + 0.725 * HMED\_F^2 - 1.037 * PERC\_ABOVE2M\_F$	$\log(VOL) = -2.70876 + 1.58241 * \log(H99\_F) + 0.89252 * \log(D3\_F)$
A29	$VOL = 40.104 + (22.962 + 1.683) * HMED\_F + 0.725 * HMED\_F^2 - 1.037 * PERC\_ABOVE2M\_F$	$\log(VOL) = 1.16830 - 5.64643 * \log(H60\_F) + 0.7595 * \log(D5\_L) + 6.67105 * \log(HMED\_L)$
A30-2	$VOL = 40.104 + (22.962 - 0.942) * HMED\_F + 0.725 * HMED\_F^2 - 1.037 * PERC\_ABOVE2M\_F$	$\log(V_{11}) = -1.50334 + 1.4047 * \log(H70\_F) + 0.80519 * \log(D2\_F)$

For ett laserprosjektområde var det lite sammenheng mellom SR16 og splan (Figur 6). Det viste seg i etterkant, at det var en feil i splan-beregningene som resulterte i store forskjeller. Før vi fant ut at de store forskjellene skyldes feil i splan, gjennomførte vi egne målinger i seks av bestandene med de største forskjellene. Høsten 2018 ble det målt 10 flater per bestand etter instruksen som brukes for Landsskogtakseringens temporære flater i fylkestakster (Landsskogtakseringen 2008). Flatene ble tilfeldig valgt fra et 20x20 m grid. Feltmålingene ble tilbakeskrevet til August 2017 ( $Vol = vol\_m\ddot{a}lt - [0,028 * vol\_m\ddot{a}lt * 1,25 \text{ \AA}r]$ ) for å sammenligne dem med SR16 og splan estimatene. Vi fant da at SR16 passet godt overens med estimater basert på feltmålingene (Figur 7, Tabell 5), mens ukorrigerede splan-estimatene var svært forskjellig og alltid overestimerte det målte volum. Korrigerte splan-estimer ble i mellomtiden (i slutten av mars 2019) levert til Mjøsen Skog fra leverandøren. Dataene ble ikke tilgjengelig tidnok for alle analyser i denne rapporten. Men det var mulig å bruke dem i sammenligningen med feltbaserte målinger i de seks ovennevnte bestandene. Den gjennomsnittlige differansen mellom korrigerte splan estimater og feltbaserte estimater var 31 m<sup>3</sup>/ha sammenlignet med 51 m<sup>3</sup>/ha for SR16 (Figur 7, Tabell 5). Splan estimater stemmer altså bedre overens med feltbaserte estimater enn SR16 i dette stratum, spesielt for bestand med høyt tømmervolum.

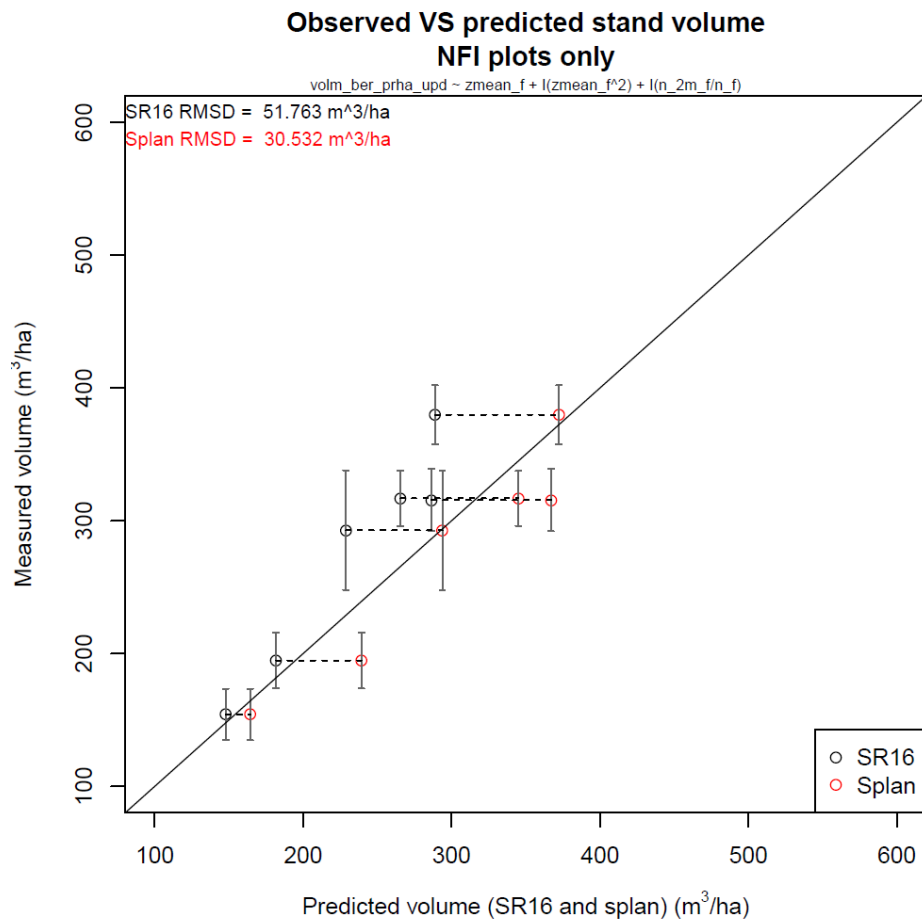


Tabell 4: Sammenligning av estimater basert på SR16 og splan

Laserprosjekt	RMSD	RMSD%	MD	MD%	SR16 gjennomsn. volum	Splan gjennomsn. volum
A30-1	45.2	16.3	-33.1	-11.9	245	278
A30-2	36.1	15.6	-28.4	-12.3	203	231
A29. NB: feil i splan	63.5	24.3	-8.09	-3.10	253	261



Figur 6: Sammenligning av estimert tømmervolum med splan og SR16 i et laserområde med feil i splan.



Figur 7: Sammenligning av estimater basert på feltmålinger, SR16 og splan i seks bestand. Vertikale linjer viser  $\pm 2$  standardfeil av feltbaserte estimater. Hvert punkt representerer ett bestand. Punkt som ligger på samme horisontal linje representerer samme bestand.

Den gjennomsnittlige og systematiske differansen mellom estimater basert på feltmålinger, SR16 og splan vises i Tabell 5.

Tabell 5: Sammenligning av estimater basert på SR16 og splan med feltbaserte estimater

	RMSD	RMSD%	MD	MD%
SR16	51.76	18.78	-42.46	-15.4
splan	30.53	11.08	21.3	7.73

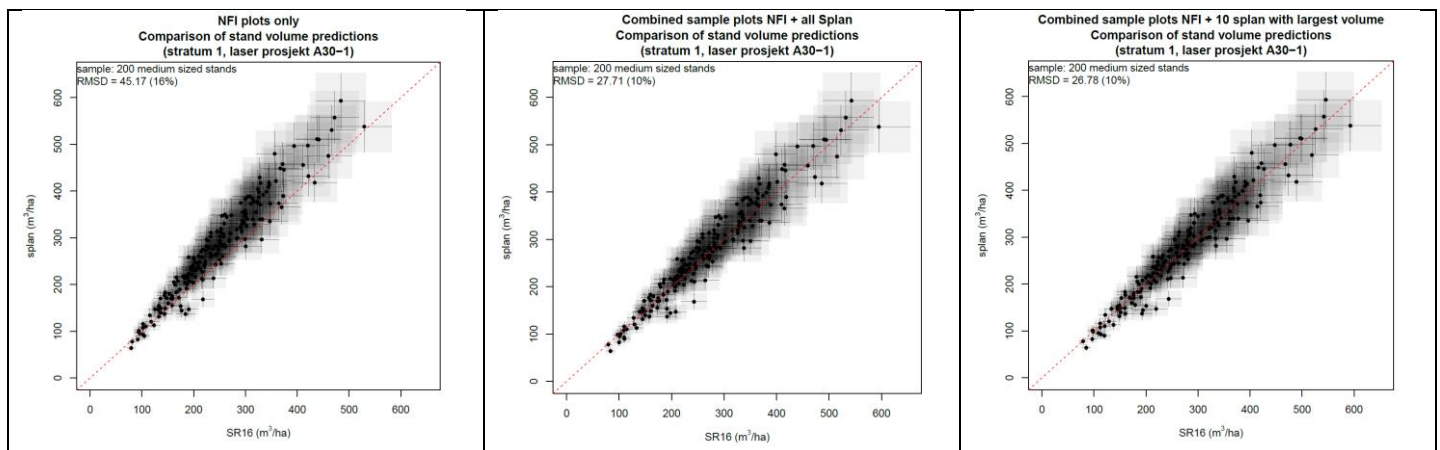
## Stratum 1 – Gran i HKI 4+5: kombinasjon av SR16 og skogbruksplanflater

Vi har undersøkt om differansen mellom estimert tømmer volum på bestandsnivå basert på SR16 og splan blir mindre, hvis man kombinerer SR16 med skogbruksplanflater. To scenarier ble undersøkt:

- Kombinasjon av SR16 med alle skogbruksplanflater i stratum 1 (94 flater).
- Kombinasjon av SR16 med 10 skogbruksplanflater som har de største lasermiddelhøyder. De 10 skogbruksplanflater kommer fra alle laserprosjekter i området. Dette ble gjort fordi Figur 5 og Figur 9 kan tolkes slik at det er for få Landsskogflater i skoger med høy volum i Elverum-Våler til å gi en god tilpasning i dette området.

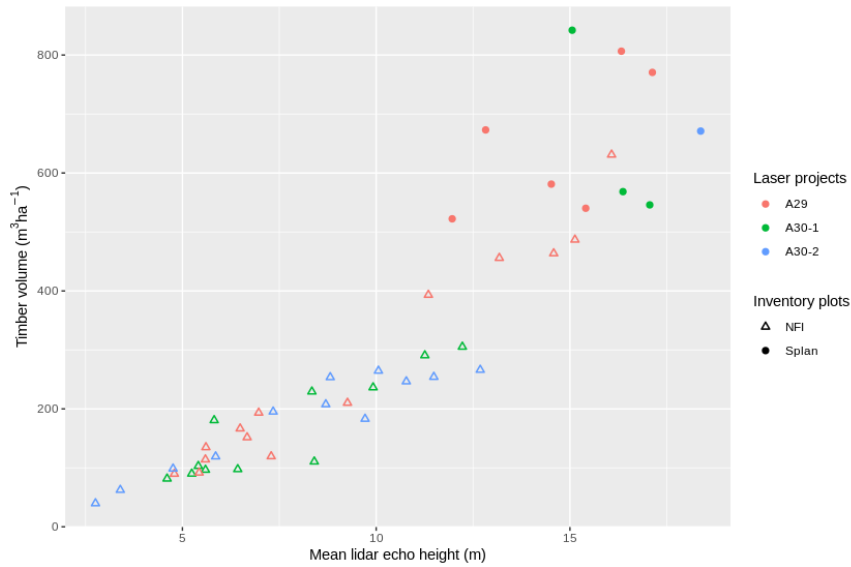
Differansen mellom estimert tømmer volum på bestandsnivå basert på SR16 og splan blir betydelig mindre ved å integrere alle skogbruksplanflater i stratum 1 i SR16 modellen (Figur 8). Men omtrent det samme resultat oppnås, hvis bare 10 skogbruksplanflater med de største lasermiddelhøyder blir brukt i tillegg til Landsskogflater (Figur 8). Tre (3) av 10 skogbruksplanflater brukt var fra det aktuelle området A30-1. Den systematiske differansen blir i begge scenarier fullstendig eliminert.

SR16 modellen kombinert med 10 skogbruksplanflater passer også bedre til estimater basert på feltmålinger og gjennomsnittsdifferansen blir litt lavere enn for splan estimater (Figur 10). RMSD, RMSD%, MD og MD% for den utvidede SR16 modellen er 25 m<sup>3</sup>/ha, 9%, 0.6 m<sup>3</sup>/ha og 0.2%.

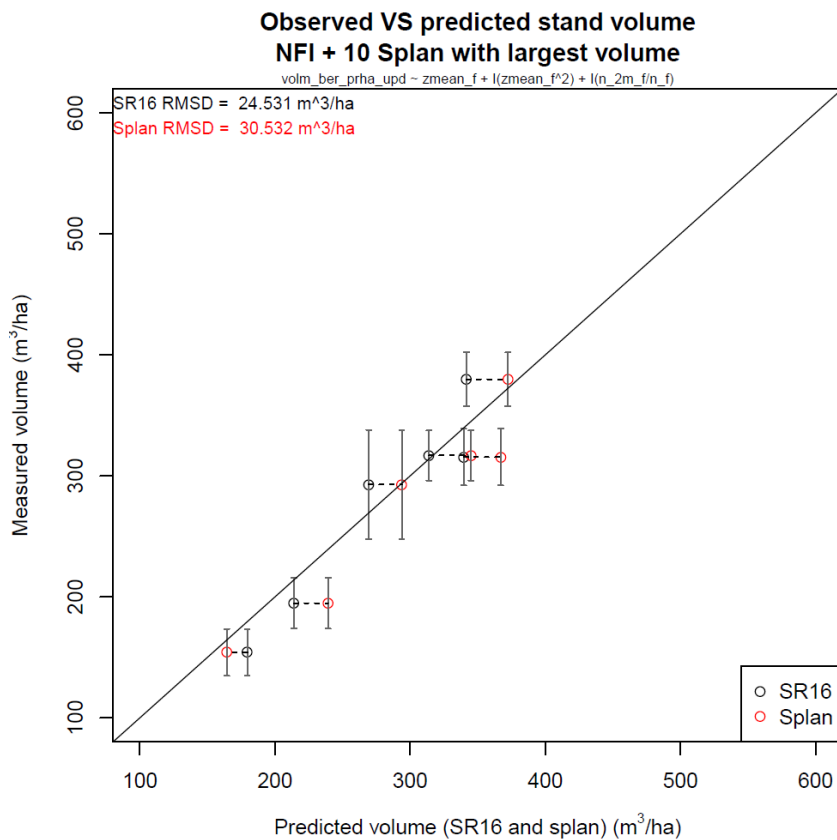


Figur 8: Sammenligning av estimert tømmer volum fra splan og SR16. Venstre: SR16 uten skogbruksplanflater. Midten: SR16 kombinert med alle skogbruksplanflater. Høyre: SR16 kombinert med 10 skogbruksplanflater som har de største lasermiddelhøyder. Tre (3) av 10 skogbruksplanflater brukt var fra det aktuelle området A30-1.

Hvis begge estimater var de samme, ville alle punkter ligge på den stiplede 1:1 linjen. Det vises en feilmargen på  $\pm 10\%$  for hvert bestand. NB: Det virkelige volumet i disse bestandene er ikke kjent. Figuren viser kun hvordan bestandvis volumestimater fra SR16 samsvarer med de fra splan.



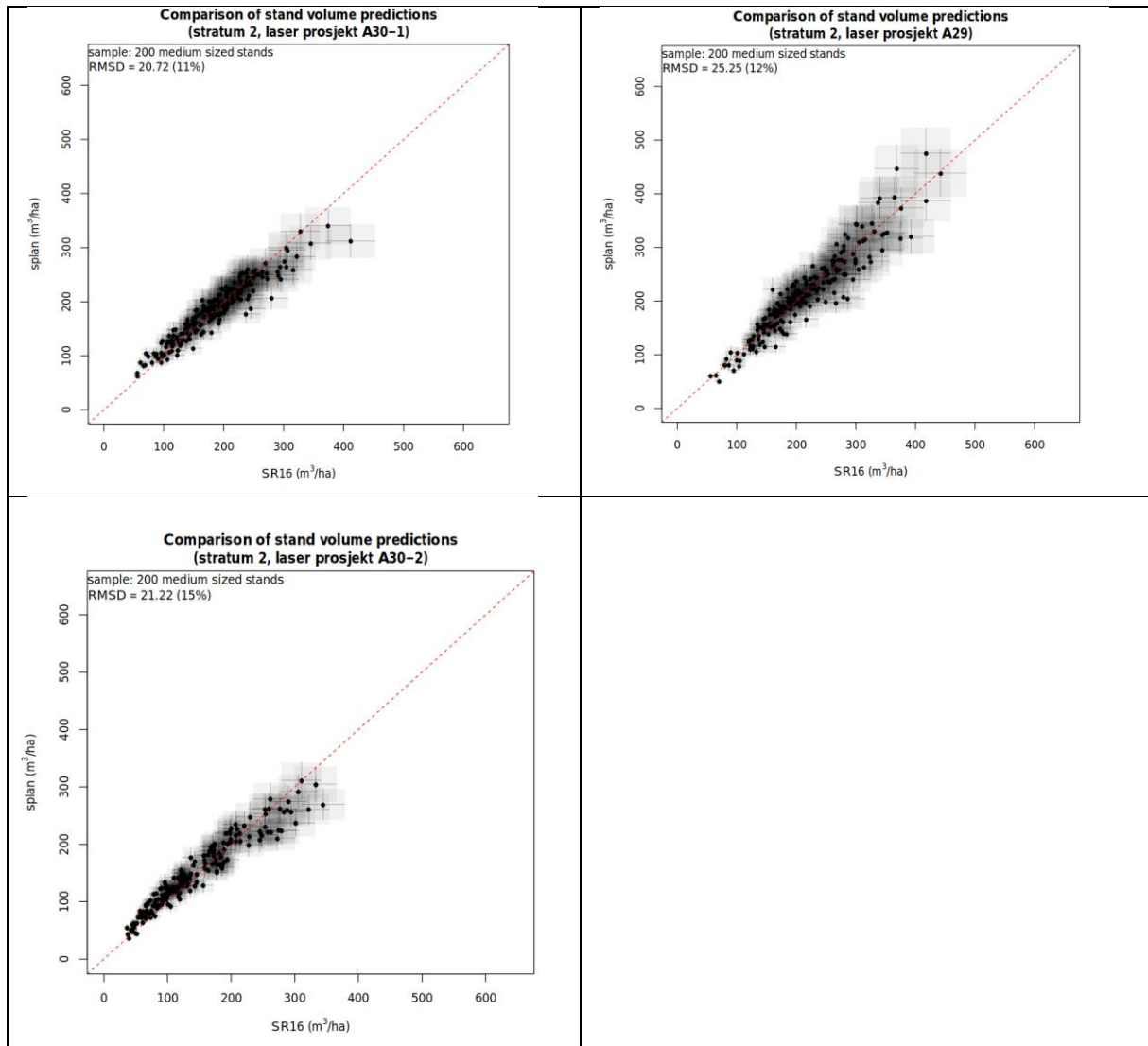
Figur 9: Kombinasjon av Landsskogflater (triangler) innenfor Elverum-Våler området med 10 skogbruksplanflater (sirkler) med de største lasermiddelhøyder. Fargene koder laserprosjekter.



Figur 10: Sammenligning av estimater basert på feltmålinger, SR16 kombinert med 10 skogbruksplanflater og splan i seks bestand. Vertikale linjer viser  $\pm 2$  standardfeil av feltbaserte estimater. Hvert punkt representerer ett bestand. Punkt som ligger på samme horisontal linje representerer samme bestand.

## Stratum 2 – Furu i HKI 4+5

Det var generelt en god overenstemmelse mellom SR16 og splan i det største stratum i Elverum-Våler med en gjennomsnittlig differanse på 11% (Figur 11, Tabell 7). Sammenheng mellom laservariabler og tømmer volum er lignende på LS og splan flater (Figur 12).



Figur 11 Sammenligning av estimert tømmer volum fra splan og SR16. Hvis begge estimater var de samme, ville alle punkter ligge på den røde 1:1 linjen. Som orientering vises det en feilmargin av  $\pm 10\%$  for hver bestand. NB: Det virkelige volumet i disse bestandene er ikke kjent. Figuren viser kun hvordan bestandsvise volumestimater fra SR16 samsvarer med de fra splan.



Figur 12: Venstre: Tømmervolum gitt gjennomsnittlig laserhøyde. Høyre: Validering av SR16-modell på splan flater.

Tabell 6: Modellparametere brukt i splan og SR16 (HMED=gjennomsnittlig laserhøyde, PERC\_ABOVE2M\_F= andel første ekkoe større enn 2m. Andre forkortelser er forklart i Blom (2018))

Område	SR16	splan
A30-1	$VOL = 13.512 + (25.255 + 0.904) * HMED\_F + 0.547 * HMED\_F^2 - 1.073 * PERC\_ABOVE2M\_F$	$\log(VOL) = -0.1469 + 0.96145 * \log(H40\_F) + 0.76619 * \log(D0\_F)$
A29	$VOL = 13.512 + (25.255 + 3.144) * HMED\_F + 0.547 * HMED\_F^2 - 1.073 * PERC\_ABOVE2M\_F$	$\log(VOL) = -2.12454 + 1.13398 * \log(D0\_L) + 1.26798 * \log(HMED\_L)$
A30-2	$VOL = 13.512 + (25.255 - 0.806) * HMED\_F + 0.547 * HMED\_F^2 - 1.073 * PERC\_ABOVE2M\_F$	$\log(VOL) = -2.11307 + 1.42436 * \log(H99\_F) + 0.77814 * \log(D1\_F)$

Tabell 7: Sammenligning av estimater basert på SR16 og splan

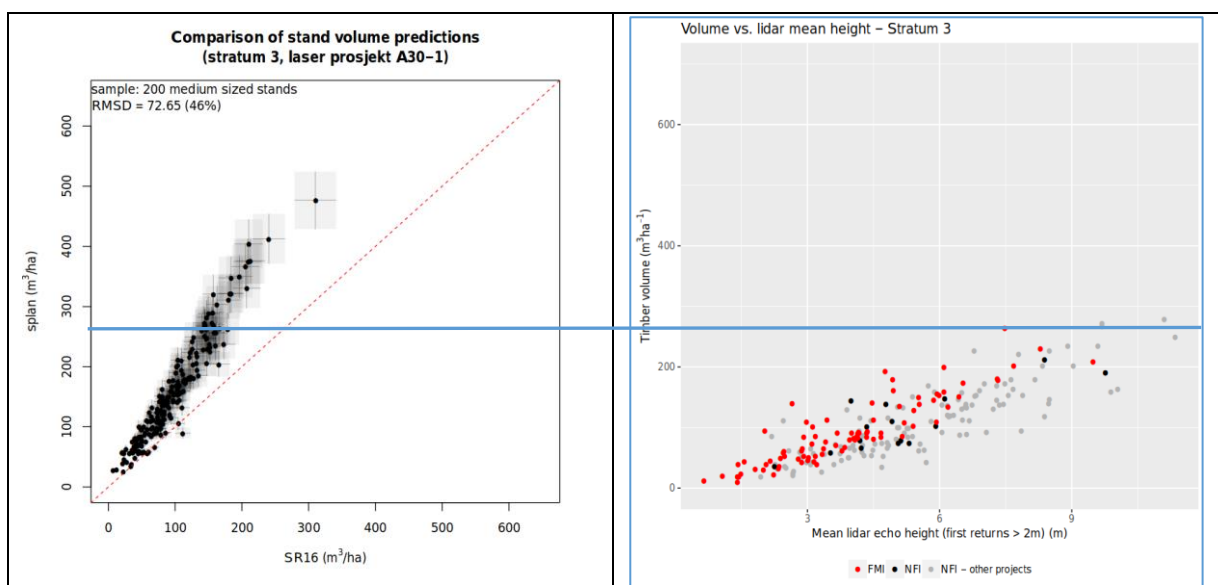
Laserprosjekt	RMSD	RMSD%	MD	MD%	SR16 gjennomsn. volum	Splan gjennomsn. volum
A30-1	20.7	11.3	-0.216	-0.118	183	183
A30-2	21.2	14.6	-5.62	-3.85	140	146
A29	25.3	11.9	1.02	0.484	212	211



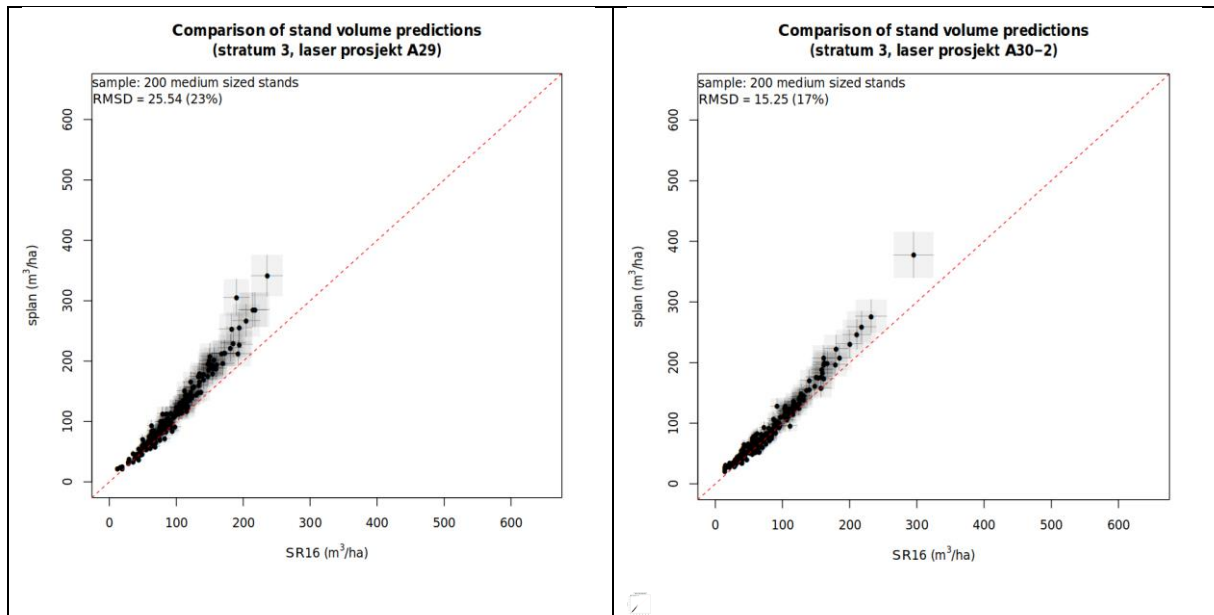
### Stratum 3 – Gran og furu Hkl 3 yngre

Sammenheng mellom SR16 og splan estimatene varierte sterkt mellom laserområder (Figur 13, Figur 14). De største differanser ble synlig for bestand i ekstrapolasjonsområdet til splan-modellen (Figur 13). Det frarådes å bruke et regresjonsmodell i ekstrapolasjonsområdet. Det høyeste volum på skogbruksplanflater målt i dette stratum var på ca 260 m<sup>3</sup>/ha. Omtrent 5% av arealet i dette stratum hadde et estimert volum som var betraktelig større enn det (opp mot 500 m<sup>3</sup>/ha). I dette tilfellet er det ikke usannsynlig at estimatene har store feil. Dette gjelder begge modeller (splan og SR16) og tyder på at noen bestand har blitt satt i feil stratum da bestandsinndelingen ble gjennomført. Dette er uavhengig av sammenligningen av SR16 og splan og ble derfor ikke nærmere undersøkt.

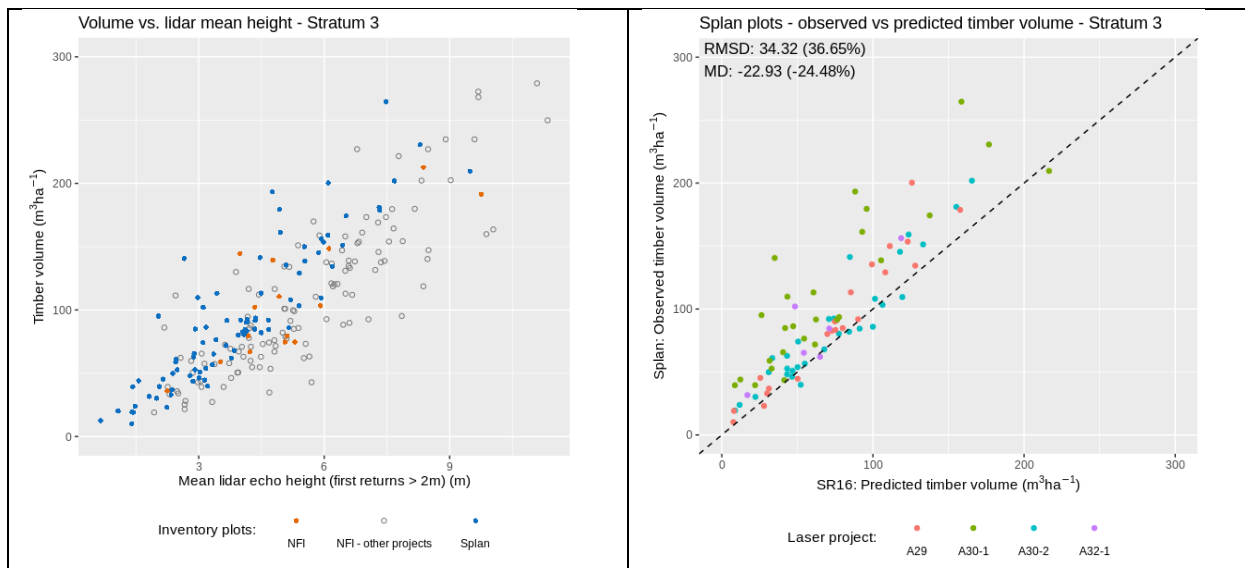
Uansett tyder valideringen av SR16 modellen ved hjelp av splan flater også på at SR16 underestimerer volumet noe i stratum 3 (Figur 15).



Figur 13: Venstre: Sammenligning av estimert tømmer volum fra splan og SR16. Hvis begge estimater var de samme, ville alle punkter ligge på den røde 1:1 linjen. Som orientering vises det en feilmargen av  $\pm 10\%$  for hver bestand. NB: Det virkelige volumet i disse bestandene er ikke kjent. Figuren viser kun hvordan bestandsvise volumestimerer fra SR16 samsvarer med de fra splan. Høyre: Tømmer volum gitt gjennomsnittlig laser høyde (FMI=splan, NFI=Landsskogtakseringen). Begge sider: I bestand ovenfor den blå linje ble den statistiske modellen brukt utenfor området den ble laget for (ekstrapolasjon).



Figur 14 Sammenligning av estimert tømmervolum fra splan og SR16. Hvis begge estimater var de samme, ville alle punkter ligge på den røde 1:1 linjen. Som orientering vises det en feilmargin av  $\pm 10\%$  for hver bestand. NB: Det virkelige volumet i disse bestandene er ikke kjent. Figuren viser kun hvordan bestandsvise volumestimater fra SR16 samsvarer med de fra splan.



Figur 15: Tømmervolum gitt gjennomsnittlig laserhøyde. Høyre: Validering av SR16-modell på splan flater.

Tabell 8: Tabell med modellparametere i splan og SR16 (HMED=gjennomsnittlig laserhøyde, PERC\_ABOVE2M\_F= andel første ekkoer større enn 2m. Andre forkortelser er forklart i Blom (2018))

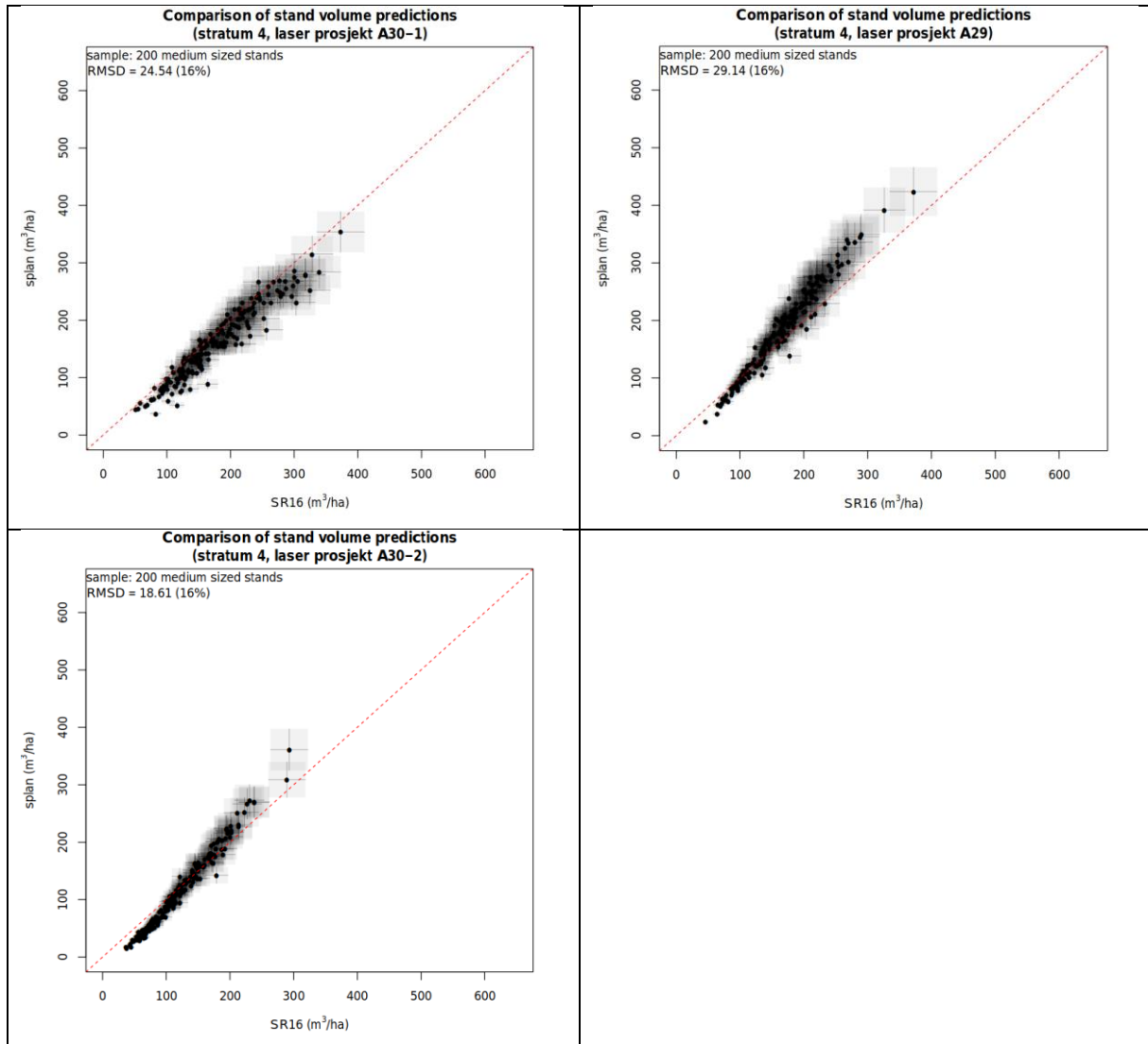
Område	SR16	splan
A30-1	$VOL = -3.73 + (37.472 - 0.681) * HMED\_F - 0.336 * HMED\_F^2 - 1.223 * PERC\_ABOVE2M\_F$	$\log(VOL) = -1.55788 + 1.65212 * \log(H99\_F) - 0.44838 * \log(H20\_F) + 0.93404 * \log(D5\_F)$
A29	$VOL = -3.73 + (37.472 + 0.787) * HMED\_F - 0.336 * HMED\_F^2 - 1.223 * PERC\_ABOVE2M\_F$	$\log(VOL) = -2.27468 + 0.98405 * \log(D0\_F) + 1.45928 * \log(H60\_L)$
A30-2	$VOL = -3.73 + (37.472 - 0.583) * HMED\_F - 0.336 * HMED\_F^2 - 1.223 * PERC\_ABOVE2M\_F$	$\log(VOL) = -0.96864 + 1.20662 * \log(H99\_F) + 0.78214 * \log(D5\_F)$

Tabell 9: Sammenligning av estimater basert på SR16 og splan

Laserprosjekt	RMSD	RMSD%	MD	MD%	SR16 gjennomsn. volum	Splan gjennomsn. volum
A30-1	65.6	44.2	-56.1	-37.8	92.5	149
A30-2	22.2	22.5	-17.5	-17.7	81.3	98.9
A29	25.2	21.5	-19.6	-16.7	97.5	117

## Stratum 4 – Gran og furu Hkl 3 eldre

Det er relativt god sammenheng mellom SR16 og splan estimatene med en gjennomsnittlig differanse av 16% (Figur 16). SR16 har i tendens noe større estimater for bestand med lavt volum og noe mindre estimater for bestand med høyt volum (Figur 16). Men i valideringen av SR16 med splanflater finnes det ingen tegn på underestimering av bestand med høyt volum (Figur 17). Derimot finnes det tegn på noe overestimering av bestand med lavt volum (Figur 17).



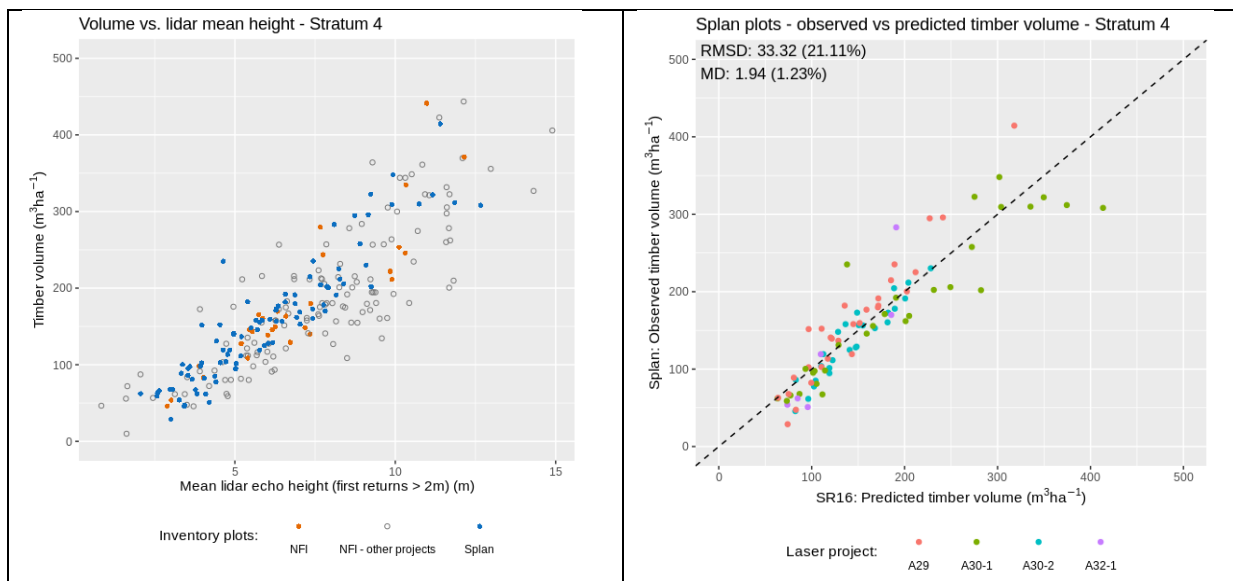
Figur 16 Sammenligning av estimert tømmer volum fra splan og SR16. Hvis begge estimater var de samme, ville alle punkter ligge på den røde 1:1 linjen. Som orientering vises det en feilmargin av  $\pm 10\%$  for hver bestand. NB: Det virkelige volumet i disse bestandene er ikke kjent. Figuren viser kun hvordan bestandsvise volumestimater fra SR16 samsvarer med de fra splan.

Tabell 10: Tabell med modellparametere i splan og SR16. (HMED=gjennomsnittlig laserhøyde, PERC\_ABOVE2M\_F= andel første ekkoer større enn 2m. Andre forkortelser er forklart i Blom (2018))

Område	SR16	splan
A30-1	$VOL = 17.206 + (25.243 + 5.16) * HMED\_F + 0.398 * HMED\_F^2 - 0.689 * PERC\_ABOVE2M\_F$	$\log(VOL) = -0.83923 + 1.14378 * \log(H70\_F) + 0.81123 * \log(D1\_F)$
A29	$VOL = 17.206 + (25.243 + 1.482) * HMED\_F + 0.398 * HMED\_F^2 - 0.689 * PERC\_ABOVE2M\_F$	$\log(VOL) = -2.79158 + 1.20331 * \log(H99\_F) + 1.19194 * \log(D3\_F)$
A30-2	$VOL = 17.206 + (25.243 + 0.628) * HMED\_F + 0.398 * HMED\_F^2 - 0.689 * PERC\_ABOVE2M\_F$	$\log(VOL) = -2.52377 + 1.43701 * \log(H99\_F) + 0.97305 * \log(D4\_F)$

Tabell 11: Sammenligning av estimater basert på SR16 og splan

Laserprosjekt	RMSD	RMSD%	MD	MD%	SR16 gjennomsn. volum	Splan gjennomsn. volum
A30-1	24.5	15.6	16.8	10.7	174	158
A30-2	18.6	16.3	6.39	5.61	120	114
A29	29.1	15.9	-17.8	-9.72	166	184



Figur 17: Tømmervolum gitt gjennomsnittlig laserhøyde. Høyre: Validering av SR16-modell på splan flater.

## Takk

Takk til Vegard Lien ved Mjøsen Skog for nyttige innspill til denne teksten og ekspertise rundt feltdatainnsamlingen i skogbruksplanen.

## Referanser

Astrup et al. (2019): Forest information at multiple scales: development, evaluation and application of the Norwegian forest resources map SR16. Scandinavian Journal of Forest Research.

<https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1588989> Blom (2018): Prosjektrapport Beregning av skogvariable basert på laserdata i Elverum-Våler 2018, Mjøsen Skog BA 2093.

Breidenbach m.fl. (2017): Analyse av størrelse, årsaker til og reduksjonsmuligheter for avskoging i Norge. NIBIO Rapport 3/152/2017.

Landsskogtakseringen (2008): Landsskogtakseringens feltinstruks 2008, Håndbok fra Skog og landskap 05/08.