



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA)

Registrering av skogsbilveistandard med ulike typer fjernmålingsmetoder

Forest Road Standard registration using different types of remote sensing methods

Martin Sundt

Skogfag

Forord

Denne masteroppgaven på 30 studiepoeng markerer slutten på en toårig mastergrad i skogfag ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU).

Dette prosjektet startet etter at jeg høsten 2016 kontaktet Jan Bjerketvedt, førsteamanuensis ved INA (Institutt for Naturforvaltning) på NMBU og forsker ved NIBIO (Norsk Institutt for Bioøkonomi), med et ønske om å skrive en masteroppgave innen GIS og skogsbilveg.

Jeg vil gjerne takke min veileder Jan Bjerketvedt for all hjelp og støtte i løpet av denne prosessen. Hans kunnskap og brennende engasjement om temaet, har virkelig vært til stor nytte.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, mai 2017

Martin Sundt

Sammendrag

Formålet med denne oppgaven var å undersøke om ulike typer fjernmåling kan registrere skogsbilveiens standard. Fjernmålingsmetodene som ble analysert, var to flybårne laserskanninger med punkttetthet på henholdsvis 2 og 5 punkter per m², en mobil laserskanning med punkttetthet på 600 punkter per m² og to høydekurve-datasett fra FKB med ekvidistanse på hhv. 1 og 5 meter.

For å ha et sammenligningsgrunnlag for å beregne nøyaktigheten til fjernmålingsmetodene, ble det gjennomført en referansemåling på en skogsbilvei i Frogn kommune i Akershus. Denne målingen ble gjennomført med landmålingsutstyr som benyttet seg av Real Time Kinematics (RTK) for posisjonsbestemmelse. Det ble totalt målt 202 høydeverdier på 32 tverrprofiler av veien. GIS-programmet ArcMap ble benyttet til å gjennomføre analysene.

Sammenlignet med referansemålingen, så hadde den flybårne laserskanningen med 5 punkter per m² best nøyaktighet med et gjennomsnittlig høydeavvik på 0,3 m. Høydekurve-datasettet fra FKB med ekvidistanse på 5 m hadde størst unøyaktighet med et gjennomsnittlig høydeavvik på 0,86 meter.

Høydedata fra de to flybårne laserskanningene kunne i noen grad benyttes til å registrere veibredde, grøftedybde og helningsgrad på skjæringer eller fyllinger. På tverrprofiler der det var lite vegetasjon på veiskulderen, kunne høydedata fra den mobile laserskanningen registrere veibredde. Høydekurver fra FKB kunne ikke benyttes til å beskrive skogsbilveiens geometriske egenskaper.

Abstract

The purpose of this study was to investigate whether different types of remote sensing can register the standard of forest roads. The remote sensing methods that were analyzed, were two airborne laser scannings with point density of 2 and 5 points per m², a mobile laser scanning with a point density of 600 points per m² and two contour line data sets from FKB with equidistances of respectively 1 and 5 meters.

In order to have a comparison basis for calculating the accuracy of the remote sensing methods, a reference measurement was carried out on a forest road in Frogn, in Akershus county. This measurement was conducted with Real Time Kinematics (RTK), which uses satellite signals for high position determination. A total of 202 height values were measured on 32 cross sections of the road. The GIS program ArcMap was used to carry out the analysis.

Compared to the reference measurement, the airborne laser scanning with 5 points per m² had the best accuracy with an average height deviation of 0.3 m. The FKB contour curve data set with 5 m equidistance had the greatest inaccuracy with an average height deviation of 0.86 meters.

Data from the two airborne laser scannings could to some extent be used to detect road widths, ditch depths and degrees of inclination on cuts or fillings. On cross profiles where there was little vegetation on the road shafts, altitude data from the mobile laser scanning could detect road widths. Contour curves from FKB could not be used to describe the geometric properties of the forest road.

Innhold

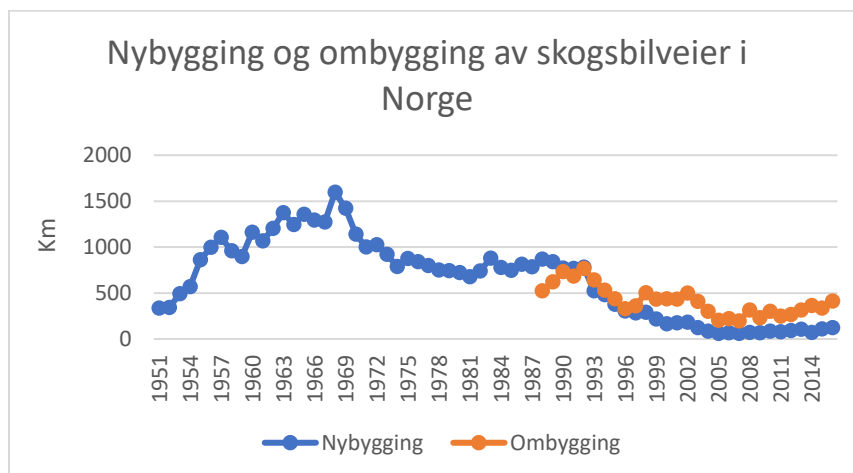
1. Innledning.....	6
1.1. Skogsbilveier	6
1.2. LiDAR.....	7
1.3. FKB	8
1.4. Tidligere studier	8
1.5. Problemstilling	9
2. Materiale og metode.....	10
2.1. Studieområde.....	10
2.2. Datainnsamling.....	11
2.2.1. Flybåren laserskanning	11
2.2.2. Mobil laserskanning	13
2.2.3. Høydekurve-data fra FKB	13
2.2.4 Referansemålinger	14
2.3. Databehandling.....	16
2.3.1. Sammenligning av høydedata.....	16
2.3.2. Tverrprofiler	17
3. Resultater.....	18
3.1. Referansemålinger.....	18
3.2. Høydeforskjeller mellom referansemålingen og de ulike fjernmålingsmetodene	18
3.3. Veigeometriske egenskaper.....	24
3.3.1. Flybåren laserskanning	25
3.3.2. Mobil laserskanning	28
3.3.3. Høydekurver fra FKB.....	30
4. Diskusjon.....	33
4.1. Feilkilder ved referansemålingen	33
4.2. Fjernmålingsmetodenes nøyaktighet	33
4.3. Fjernmålingsmetodenes evne til å registrere skogsbilveiens geometriske egenskaper	36
4.4. Andre fjernmålingsmetoder.....	37
5. Konklusjon	38
6. Litteratur	39

1. Innledning

Skogbruket i Norge er en stor og viktig næring. Bare i 2016 ble det avvirket og solgt i underkant av 10,4 millioner kubikk til industrien, noe som var en økning på 1,8 % fra 2015 (SSB 2017). I løpet av de siste fem årene har dette salgskvantumet økt med 20,5 %, noe som beviser at skogbruksaktiviteten i landet fortsatt er høy. I Norge i dag utgjør skogarealet nesten 122 000 km², og med et stående volum på 822,5 millioner kubikk produktivt tømmer, ligger forholdene til rette for videre økning av denne aktiviteten (NIBIO 2017). For å nå disse produktive skogarealene, og for å få fraktet slike kvanta fra velteplass i skogen ut til næringen, er et velfungerende skogsbilveinettverk nødvendig. De fleste treforedlingsbedriftene vil ha ferskt virke (Wormdahl 1998), noe som betyr at hovedvegnettet frakter tømmer hele året.

1.1. Skogsbilveier

Transporten av tømmer fra skog til industritomt er avhengig av god infrastruktur på veinettet. Tilgjengeligheten til ressursene i skogen er helt avgjørende for å oppnå effektive og lønnsomme skogsdrifter. Skogsveier, og da særlig skogsbilveier, frigjør mer areal til tømmerdrift og senker driftskostnadene av tømmer som står langt fra veg. I følge beregninger gjort av Norsk Institutt for Bioøkonomi, er det 20-30 ganger mer effektivt å transportere tømmeret med vogntog på skogsbilvei, sammenlignet med terrengtransport med lassbærer (NIBIO 2008). Ved vanskelige terrengforhold kan innsparingen per hundre meter innspart terrengtransportavstand komme opp i 12 - 15 kr. per kubikkmeter. Skogsbilveier er også med på å redusere både maskinelle, materielle og personelle kostander, samt at de bidrar til å fremme interesser som jordbruk, jakt og fiske, rekreasjon og hytteliv (Wormdahl 1998).



Figur 1: Nybygging og ombygging (i km) av skogsbilveier i Norge i perioden 1951-2016 (Landbruksdirektoratet 2016; SSB 2016).

I Norge i dag er det registrert ca. 48 000 km med skogsbilveier (Landbruksdirektoratet 2016). Nybyggingen av skogsbilveier opplevde et veldig løft fra 1951 til rekordåret i 1968, da det ble bygd nesten 1600 km (figur 1). Sett bort i fra perioden 1980-1993, så opplevde nybyggingsaktiviteten i landet en jevn nedgang frem til 2005, da den stabiliserte seg på ca. 80 km i året. I 2016 ble det bygd 122 km med ny skogsbilvei i Norge, som var en økning på 13 km (12 %) fra 2015. Siden 1988 har det blitt ombygget over 12 000 km med skogsbilvei, som betyr at de gamle veiene har blitt oppgradert til en høyere veilklasse. Det ble ferdigstilt 412 kilometer med ombygde skogsbilveier i 2016, noe som var en økning på 77 kilometer (23 %) fra 2015. Tallene viser at det har vært mer fokus på å ruste opp de gamle veiene, framfor å bygge nye.

Byggeaktiviteten av skogsbilveier i Norge har gått drastisk ned de siste årene (figur 1). Så mye som 68 % av bilveinettet i Norge ble bygd før 1980 (Skogsvei 2016). For å opprettholde kravene til gjeldende veinormal, vil vedlikehold og restaurering være noe som er svært nødvendig på flere veistrekninger (Landbruks- og matdepartementet 2016). I 2014 innledet Landbruksdirektoratet og Kartverket et prosjekt, «*Skogsvei og Kart*», som har som mål å ajourføre og komplementere informasjonen om alle skogsbilveier i Norge, samt samle all data i en felles kartbase som kan presenteres i en nasjonal kartløsning (Landbruksdirektoratet 2014). En slik løsning vil gi en nyttig oversikt over den ressursen som disse veiene kan være, både for skognæringa, landbruket og naturforvaltningen i landet.

1.2. LiDAR

Flybåren laserskanning (FLS) baseres på en optisk fjernmålingsteknikk som heter LiDAR (Light detection and ranging). Laseren, som enten blir festet på et helikopter eller småfly, sender opp til hundre tusen infrarøde laserstråler ned mot bakken i sekundet (Wehr & Lohr 1999). Strålene reflekteres av vegetasjon og andre objekter på overflaten, og signalet (ekkoet) som sendes tilbake mottas av en sensor som er plassert på skanneren. Denne sensoren måler tiden det tar for hver stråle å treffe bakkeoverflaten, og ved hjelp av globale satellittsystemer (GNSS - Global Navigation Satellite System) og treghetsnavigasjon (INS - Inertial Navigation System) inne i flyet, kan man måle flyets posisjon og laserskannerens vinkling. Posisjonen til hvert enkelt refleksjonspunkt blir deretter georeferert med x, y og z-koordinater, og de punktene som beregnes til å være bakketreff kan benyttes til å lage digitale terrengmodeller (Bolansås et al. 2012).

Mobil laserskanning (MLS) baseres også på LiDAR, men ved denne metoden så blir en eller flere laserskannere montert på et kjøretøy, som f.eks. en bil eller en ATV (Lehtomäki 2015). Posisjonen (xyz-data) for hvert refleksjonspunkt blir beregnet ved hjelp av GNSS og INS/IMU (Inertial measurement unit) (Yin et al. 2014). Sammenlignet med FLS, vil veioverflaten og vertikale objekter langs veien, komme bedre frem ved bruk av MLS, pga. høyere punkttetthet og bedre nøyaktighet på 3D-punktskyer (Yu et al. 2015).

1.3. FKB

Felles kartdatabase (FKB) er en samling med datasett på vektorform, som inneholder de mest detaljerte kartdataene (Kartverket 2016b). FKB-data er spesifisert i fire standarder (FKB-A, FKB-B, FKB-C og FKB-D) ut i fra datasettets detaljgrad (Kartverket 2013). FKB-A er mest detaljrikt og benyttes i tettbebyggelse, mens FKB-D er minst detaljert og benyttes i fjellområder. Høydekurvene kan ha ulik ekvidistanse avhengig av bruksbehovet. I bebygde områder (FKB-A og FKB-B) finnes normalt høydekurver med ekvidistanse 1 meter, mens i ubebygde områder (FKB-C) finnes kurver med ekvidistanse 5 meter. I fjellområdene (FKB-D) benyttes normalt høydekurver fra N50 som har en ekvidistanse lik 20 meter.

Hensikten med dette studiet er å undersøke alternative metoder for registrering av skogsbilveiens tilstand og geometriske egenskaper, med spesielt fokus på veibredde, grøftedybde og skjærings-/fyllingsskråning. I dag blir mye av denne jobben gjort manuelt med GPS, målebånd og stigningsmålere, noe som er tidskrevende og kostbart arbeid. Det vil derfor være interessant å undersøke og utvikle alternative metoder som kan gjennomføre dette arbeidet.

1.4. Tidligere studier

Azizi et al. (2013) utviklet et trestegs klassifikasjonssystem for å skaffe skogsbilveisinformasjon fra LiDAR-data. I det første steget benyttet de seg av IDW-metoden (invers distance weighted) i et GIS-verktøy for å interpolere LiDAR-dataene (første og siste puls). Deretter ble det laget digitale terrengmodeller (DTM) og digitale overflatemodeller (DSM) med 1 meter oppløsning. Resultatet ble en kvadratrotfeil (RMSE) på 0,19. I det andre steget ble LiDAR-datasettet klassifisert i to klasser, vei og ikke-vei, av en SVM (support vector machine). Etter klassifiseringen, så utnyttet maskinen de sammenslåtte avstandslagene og intensitetsdataene for å gi bedre informasjon om veiens beliggenhet. Resultatet viste 63 % korrekthet, 75 % fullstendighet og 52 % kvalitet for klassifiseringen. I det siste trinnet ble vegskuldrene identifisert, noe som gjorde det lettere å digitalisere senterlinjen. Resultatene viste at mer enn 95 % av veien i LiDAR-datasettet var digitalisert innenfor 1,3 meter av

feltmålingene av veien. De konkluderer med at trestegsmodellen kan gi grundige og nøyaktige vegdata som kan støtte skogforvaltningen.

Craven & Wing (2014) brukte LiDAR til å måle og registrere strukturen på en eksisterende skogsbilvei under fire forskjellige kronedekke-forhold. Sammenligninger av senterlinjen fra LiDAR med feltregistreringer, viste at LiDAR hadde en vertikal RMSE på 0,28 meter og en horisontal RMSE på 1,21 meter. Beregnet helning var innenfor 1 % av helningen målt ute i felt, og den horisontale kurveradiusen ble estimert til å ha en gjennomsnittlig absolutt feil på 3,17 meter. De konkluderte med at flybåren LiDAR var en akseptabel metode for å registrere senterlinje og helningsgrad på en skogsbilvei, men at den måtte brukes med forsiktighet ved måling av horisontal kurveradius i skarpe svinger.

Kiss et al. (2015) sammenlignet to flybårne LiDAR-datasett med ulik punkttetthet (høy og lav), for å vurdere kvaliteten på skogsbilveier i Finland. Datasettet med høy punkttetthet hadde 12 refleksjonspunkt per m², mens det med lav punkttetthet hadde 1,1 punkter per m². Det ble framstilt to digitale terrengmodeller fra LiDAR-dataene, som ble interpolert i ulike oppløsninger (2 m, 1 m, 0,5 m, 0,25 m og 0,1 m). Det ble også kalkulert TPI-indeks (topographic position index) og SI-indeks (standardized elevation index) fra DTM-modellene, som er indekser som beskriver landskapets struktur. Disse ble videre sammenlignet med feltregistreringer. Resultatet viste at datasettet med høy punkttetthet og oppløsning, oppdaget grøfter og omkringliggende vegetasjon best. Det samme var tilfellet ved klassifisering av veiens struktur, overflateslitasje og flathet. Datasettet med høy punkttetthet ga TPI- og SI-indeks fra 31-92 %, mens datasettet med lav punkttetthet ga indekser fra 25-40 %. De konkluderte likevel med at sparsomme datasett kunne benyttes til oppdaging av grøfter og veiklassifisering. Bruk av flybåren laserskanning kan gi god informasjon om skogsbilveiens kvalitet.

1.5. Problemstilling

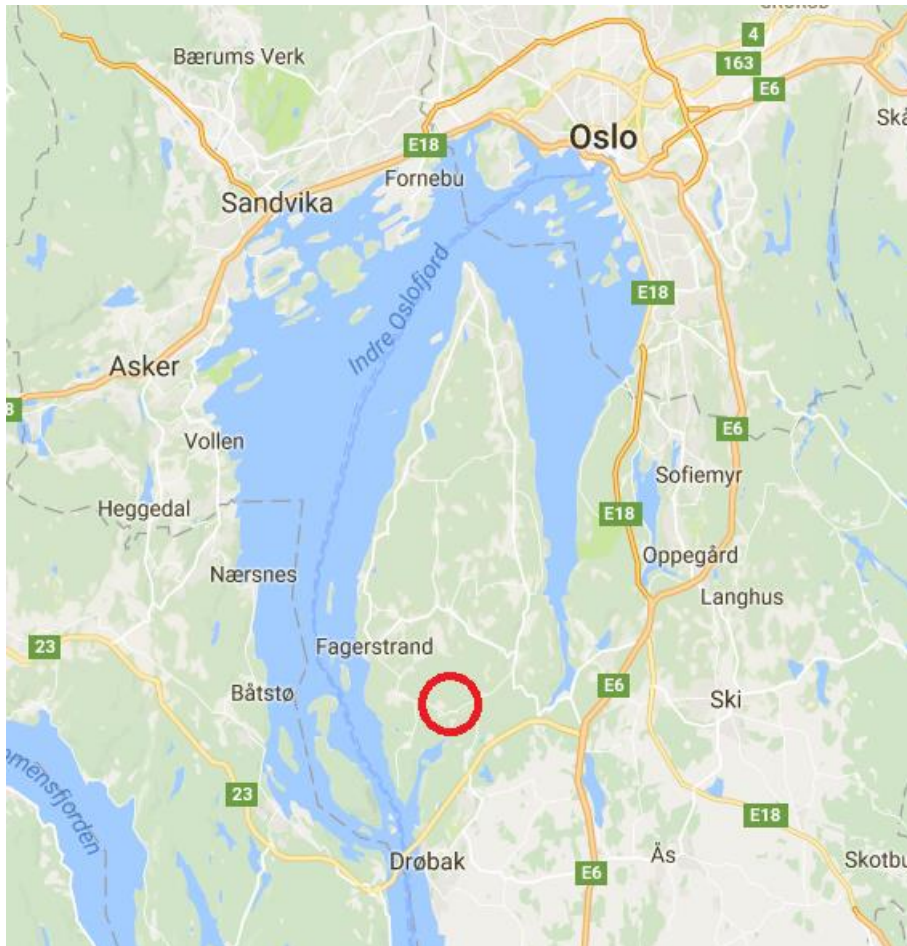
Denne studien skal undersøke om høydedata fra ulike typer fjernmålingsmetoder er nøyaktige nok til å registrere skogsbilveiens standard. Oppgaven består av følgende delspørsmål:

- Hvordan er nøyaktigheten til fjernmålingsmetoden sammenlignet med feltregistreringer?
- Kan fjernmålingsmetoden benyttes til å registrere skogsbilveiens geometriske egenskaper?

2. Materiale og metode

2.1. Studieområde

Denne studien ble gjennomført på en skogsbilveg som tilhører Mellemdahl gård i Frogn kommune (figur 2 og 3). Strekningen det er gjort undersøkelser og beregninger på utgjør 1200 m, og har en høydevariasjon på 15 m fra start- til endepunkt.



Figur 2: Oversiktskart over skogsbilveiens plassering i Akershus fylke (Google maps 2017). Veien ligger midt i den røde sirkelen.

Veistrekningen inneholder få kurver og har relativt lite stigninger. Kun de siste 200 m av strekningen inneholder en bakke av betydning, men denne er i gjengjeld veldig bratt (figur 3). Landskapet langs veien er varierende, og skiller mellom gammel blandingskog i sør og hogstflater i nord. I de sørlige og midtre delene av strekningen, er kronedekket veldig tett, og på flere deler av veien henger det greiner over veiskulderen.



Figur 3: Skogsbilveiens plassering i Frogn kommune (Kartverket 2017a). Veien er markert i rødt.

2.2 Datainnsamling

2.2.1. Flybåren laserskanning

Lidar-dataene er hentet fra to områdetakseringer som ble gjennomført med flybåren laserskanning i Follo-distriktet i henholdsvis 2008 og 2014. Takseringen som ble gjort i 2008, ble utført av Blom Geomatics AS, og var en del av laserprosjekt Follo 2008 (Blom Geomatics 2008). Laserskanningene i prosjektet ble gjennomført med en punkttetthet fra 1,5 til 2,8 punkt per kvadratmeter.

Tabell 1: Utvalgte parametere fra Follo-prosjektet 2008

Prosjektkode	BNO08749
Dato	17.-19. april 2008
Flyhøyde (m)	1200
Hastighet (m/s)	75
Repetisjonsfrekvens (Hz)	100 000
Speilfrekvens (Hz)	51
Punkttetthet (per m ²)	1,5-2,8

Områdetakseringen som ble gjort i Follo-distriktet i 2014, ble utført av Blom Geomatics As på oppdrag fra Plan- og bygningsetaten i Oslo kommune. Dette var en del av laserprosjekt Follo 2014. Laserskanningene ble gjennomført med en punkttetthet på 5 punkt per kvadratmeter.

Tabell 2: Utvalgte parametere fra Follo-prosjektet 2014

Prosjektkode	BNO14004
Dato	30.10, 06.11, 25.11 og 08.12.2014
Flyhøyde (m)	1030
Hastighet (m/s)	80
Repetisjonsfrekvens (Hz)	266 000
Speilfrekvens (Hz)	93
Punkttetthet (per m ²)	5

2.2.2. Mobil laserskanning

Trimble MX2 er en mobil, kjøretøysmontert laserskanner som kombinerer høyoppløselig laserskanning og LiDAR, for å samle inn georefererte punktskyer (Trimble 2017).

Tabell 3: Utvalgte parametere for den mobile laserskanningen

Dato	12.12.2014
Hastighet (km/t)	5
Repetisjonsfrekvens (Hz)	2 x 36 000
Punkttetthet (per m ²)	Ca. 600

Under forsøket ble skanneren, som var utstyrt med to laserhoder, montert på en ATV (figur 4). Den 1200 m lange veistrekningen ble kjørt frem og tilbake tre ganger. Laserhodene på skanneren er vinklet til hver sin side (høyre og venstre), så kjøretøyet lå litt til høyre i veibanen på turene innover, og litt til venstre på turene tilbake. Målingene ble gjennomført i desember 2014. Under etterarbeidet av datamaterialet, ble det ikke gjort noen klassifisering av refleksjonspunktene. Dvs. at hvert enkelt laserpunkt inneholder null informasjon om hva det har truffet (bakke, vegetasjon, objekttype osv.)



Figur 4: Trimble MX2 montert på en ATV. Foto: Jan Bjerketvedt

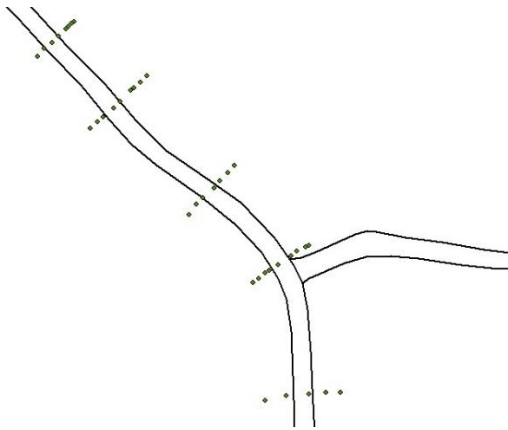
2.2.3. Høydekurve-data fra FKB

FKB-data for Frogn kommune ble lastet ned fra Kartverkets gratisportal for nedlastning av kartdata. Høydekurve-datasett fra FKB kommer i tre ulike standarder (H1, H5 og H20), ut i

fra hvilken ekvidistanse det er på høydekurvene (1 m, 5 m eller 20 m). I dette forsøket er det gjort analyser av H1 og H5.

2.2.4 Referansemålinger

For å ha et sammenligningsgrunnlag for å vurdere nøyaktigheten til laser- og høydekurvedatasettene, ble det gjennomført en registrering av dagens tilstand på skogsbilveien. Dette ble gjort ved å måle punkter på tvers av veien, for å visualisere veibredde, eventuelle grøfter og skjærings-/fyllingshelninger (figur 5).



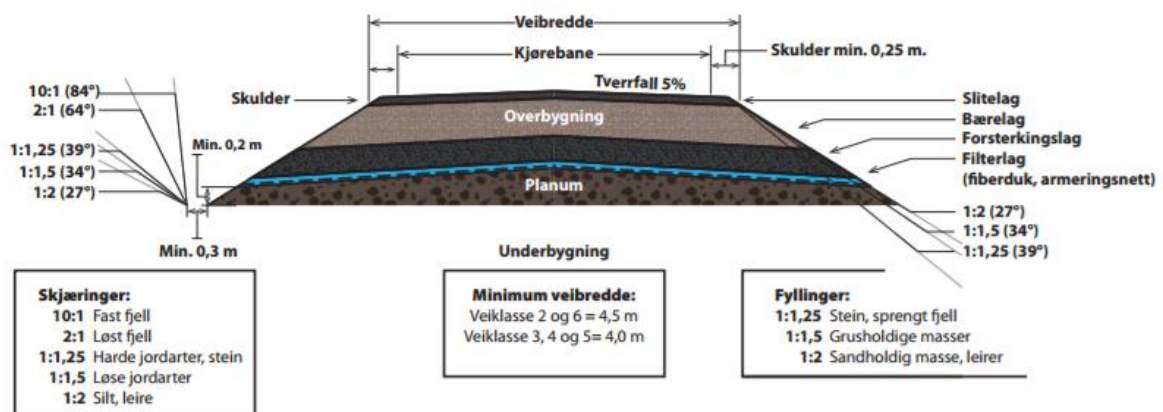
Figur 5: RTK-målinger av veiprofiler.

Punktene ble målt med landmålingsutstyr som benytter seg av Real Time Kinematics (RTK) for posisjonsbestemmelse. For å få nøyaktig posisjon, så benytter RTK korreksjonsdata fra en posisjonstjeneste eller basestasjon til å korrigere satellittsignalene (Kartverket 2017b). Posisjonstjenesten som ble brukt var CPOS, som mottar korreksjonsdata i sanntid ved hjelp av et GSM- eller GPRS-modem (Kartverket 2017a). Dette fører til en posisjonsbestemmelse nedpå centimeter-nivå. Referanseutstyret bestod av en Topcon Tesla RTK satellittmottaker, en Topcon Gr-5 antenne og en Topcon magnet Field målebok, som ble festet på en to meters målestang (figur 6). Målingene ble gjennomført 18. november 2016.



Figur 6: Referansemåling med landmålingsutstyr. Foto: Jan Bjerketvedt

I følge normalen for veiklasse 3, så skal veibredden (kjørebane pluss skulder) minimum være 4,0 m (figur 7) (Landbruks- og matdepartementet 2013). Grøftedybde skal minimum være 20 cm under planum, med bunnbredde på minimum 30 cm. Ved fyllinger høyere enn 2 m, målt på veikant skal veien ha en breddeutvidelse på 0,5 m.

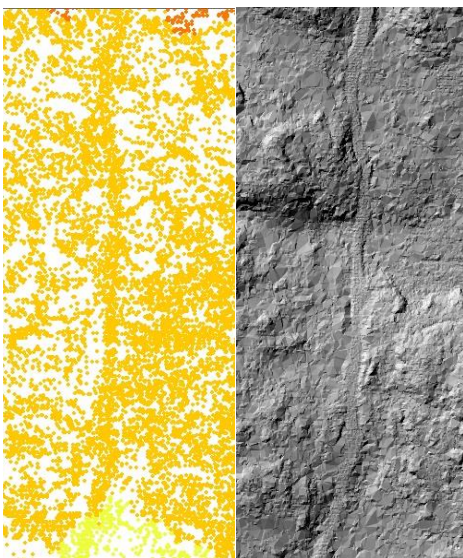


Figur 7: Tverrprofil av veikroppen med krav til geometriske egenskaper.

2.3. Databehandling

2.3.1. Sammenligning av høydedata

Databehandlingen av laser- og høydekurve-datasettene, samt GNSS-punktene fra feltregistreringen, har blitt utført i GIS-tjenesten ArcMap (versjon 10.5). ArcMap er en av flere applikasjoner i programvaren ArcGis, og benyttes for å lage, analysere og visualisere ulike modeller og kartlag. Ved bruk av verktøyet «LASstools», ble det først gjort et utvalg på hvilke lasertreff som skulle vises i de to flybårne laserskanningene. Begge skanningene ble angitt med verdien 2, som betyr at det bare er bakketreff som tas med. Det ble deretter lagd digitale terrengmodeller av de to laserdatasettene med konverteringsverktøyet «LAS Dataset To Raster» (figur 8). I dette verktøyet kan det gjøres valg på hvordan det skal regnes ut verdier av celler som ikke ble truffet av noen laserstråler. Her ble «Natural neighbor» valgt, som betyr at celleverdier blir regnet ut på bakgrunn av en interpolering av den nærmeste nabo-cellen. Den nye terrengmodellen ble angitt med cellestørrelser på 10x10 cm. Det ble også lagd en DTM fra den mobile laserskanningen. Refleksjonspunktene i dette lasersettet hadde ikke fått noen klassifisering ut i fra hva de hadde truffet, så her ble det ikke gjort utvalg på treffpunkt. Bestemmelsen av celleverdier der det ikke var noen lasertreff, ble gjort ved interpolasjon av det nærmeste lasertreffet. Størrelsen på cellene ble angitt til å være 10x10 cm. Interpoleringsverktøyet «Topo to raster», ble benyttet til å lage digitale terrengmodeller av de to høydekurve-datasettene fra FKB. Begge modellene fikk cellestørrelser på 25x25 cm. Laserdatasettene fikk mindre cellestørrelser pga. de inneholder større datamengder, og krever dermed bedre oppløsning for at de skal være lesbare.



Figur 8: Fra laserpunkter til DTM

For å sammenligne høydeverdiene fra feltmålingen med de ulike terrengmodellene, ble verktøyet «Extract values to points» benyttet. Dette verktøyet ekstraherer celleverdien til et raster basert på punktverdier, så de nye punktene vil ha høydedataene til terrengmodellen. Høydeverdier for hvert datasett fra 202 punkter ble overført til Excel (versjon 2016), der det ble gjort utregninger av nøyaktigheten til fjernmålingsteknikkene. For den flybårne laserskanningen i 2008 ble det kun gjort beregninger på 112 punkter, da veistrekningen var 300 m kortere den gangen. Punktene som ble målt innenfor denne strekningen ble fjernet fra datasettet. Det ble gjort en klassifisering mellom punkt som var på eller utenfor vegbanen, for å se om dette påvirket nøyaktigheten til teknikkene. Utregningene ble gjort for alle høydeverdier samlet, samt for verdier som enten var på eller utenfor vegbanen. Det ble sett på høydeavvik fra feltregistreringene, samt standardavvik og RMSE. Datamaterialet ble også hentet inn i statistikk-programmet JMP (versjon 13 SW), der det ble gjort statistiske analyser.

2.3.2. Tverrprofiler

For å vurdere de geometriske egenskapene av veien, og da spesielt grøft og skjærings-/hellingsskråninger, ble det lagd tverrprofiler av utvalgte tverrsnitt av veien i Excel. For hvert tverrsnitt, ble det lagd en tverrprofil for hver fjernmålingsteknikk. Tverrsnittene ble lagd der det etter befaring var blitt bekreftet at det var ulike grader av grøfter eller skjærings-/fyllingsskråninger.

3. Resultater

3.1. Referansemålinger

På de 32 tverrprofilene som ble tatt av veien, ble det i alt målt 202 punkter. Dette gir et snitt på litt over 6 punkter per profil. På 7 av de 32 profilene ble det målt fire eller færre punkter. Figur 9 viser et utsnitt av skogsbilveien der det har blitt forsøkt å gjennomføre målinger av tre tverrprofiler, men som har resultert i ett eller to punkter på veiskulderen. Strekninger med mye tett skog langs veien gjorde at GNSS-antenna ikke fikk kontakt med nok satellitter for å bestemme posisjonen. Dette resulterte i at det ble registrert færre punkter enn det som var ønskelig på forhånd.



Figur 9: Dårlige satellittsignal gjorde at det mange plasser ble registrert færre punkter enn ønsket

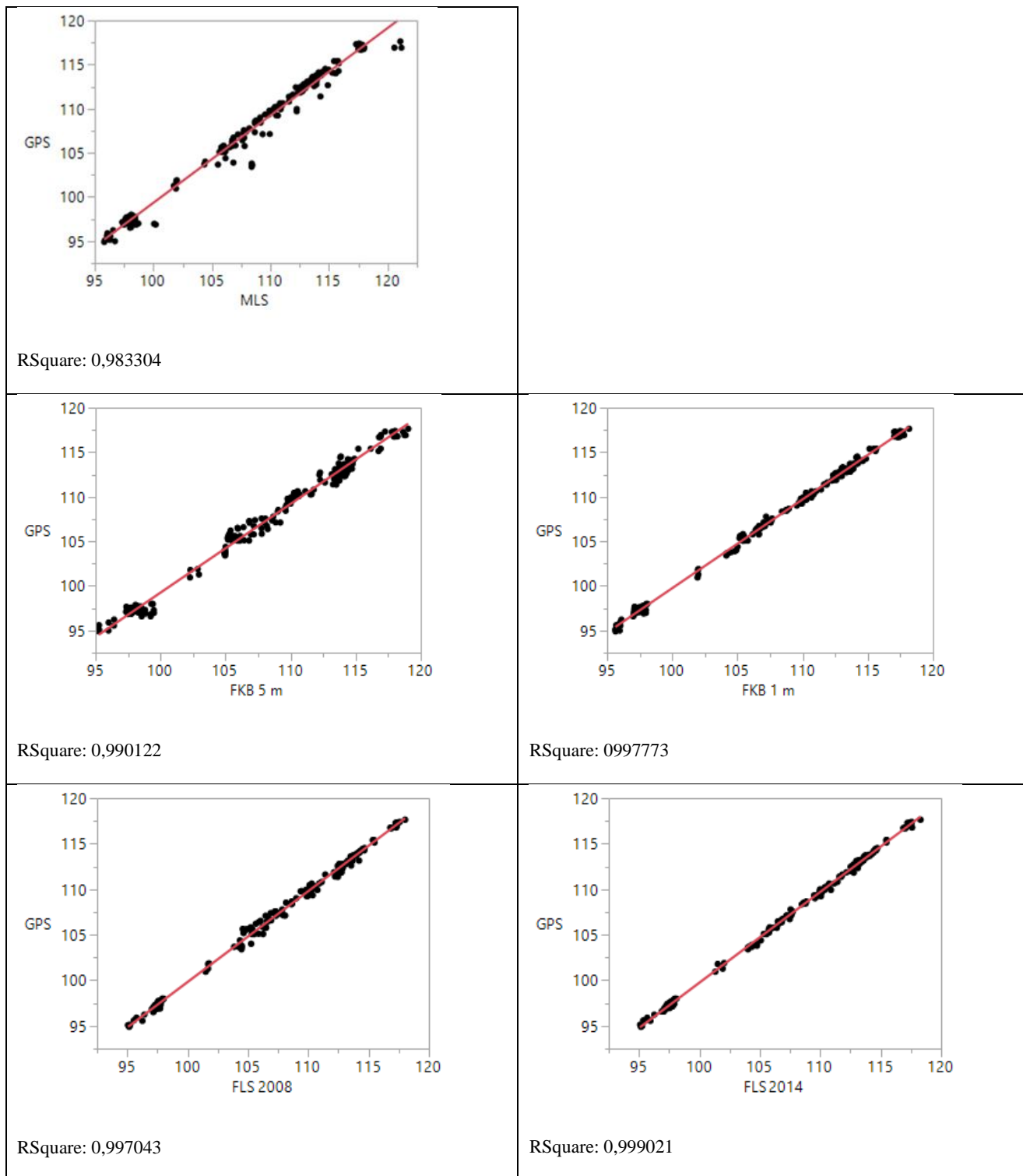
3.2. Høydeforskjeller mellom referansemålingen og de ulike fjernmålingsmetodene

Tabell 4 viser gjennomsnittlig høydeforskjell for hver fjernmålingsmetode i forhold til feltregistreringen. Høydekurve-datasettet fra FKB med 5-meters ekvidistanse (FKB 5 m) og den mobile laserskanningen med Trimble MX2 (MLS), er de to metodene som i gjennomsnitt skilte seg mest fra feltregistreringen, med hhv. 0,86 og 0,73 m gjennomsnittlig høydeforskjell, 0,57 og 0,88 m standardavvik, og 1,04 og 1,15 m RMSE. Høydekurve-datasettet fra FKB med 1 meter ekvidistanse (FKB 1 m) og den flybårne laserskanningen i 2008 (FLS 2008), hadde hhv. 0,35 og 0,32 m gjennomsnittlig høydeavvik, 0,24 og 0,23 m standardavvik, og 0,42 og 0,34 m RMSE. Den flybårne laserskanningen fra 2014 (FLS 2014) skilte seg minst fra feltmålingene, med en gjennomsnittlig differanse på 0,30 m, standardavvik på 0,20 m og RMSE på 0,36 m.

Tabell 4: Gjennomsnittlig høydeforskjell for fjernmålingsmetodene i forhold til feltregistreringen.

Alle punkter			
	Gj.snittlig høydeforskjell (m)	Standardavvik (m)	RMSE (m)
FKB 5 m	0,86	0,57	1,04
FKB 1 m	0,35	0,24	0,42
MLS	0,73	0,88	1,15
FLS 2008	0,32	0,23	0,34
FLS 2014	0,30	0,20	0,36

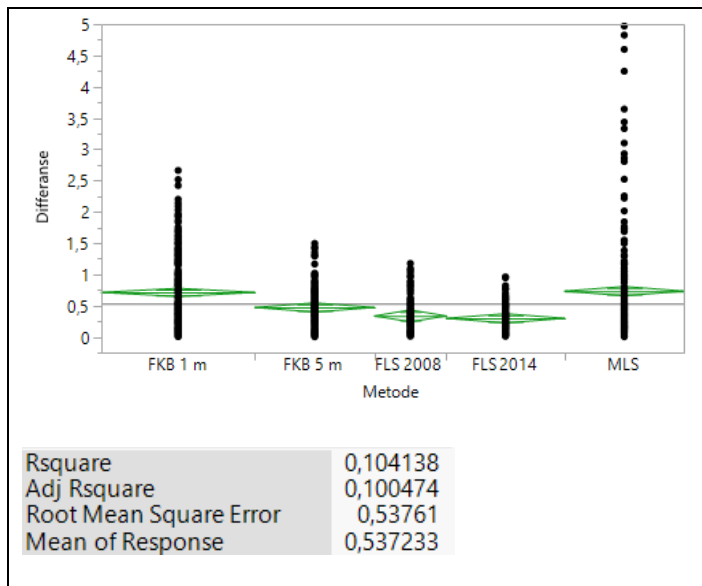
Figur 10 viser den statistiske sammenhengen mellom feltregistreringen og hver fjernmålingsmetode. Den røde linja er en regressjon av høydeverdiene fra feltregistreringen, og de sorte plottene indikerer hvert punkt for den aktuelle fjernmålingsmetoden. FLS 2014 har best R^2 -verdi med 0,999021. Hadde R^2 -verdien vært 1, ville alle plottene ha vært midt på regressjonslinja. FKB 1 m, FKB 5 m og FLS 2008 hadde R^2 -verdier på hhv. 0,997773, 0,990122 og 0,997043. MLS hadde lavest R^2 -verdi med 0,983304



Figur 10: Statistisk sammenligning mellom referansemålingen og hver fjernmålingsmetode.

Figur 11 viser en statistisk sammenligning mellom hver fjernmålingsmetode. Hvert plott representerer differansen fra referansemålingen for hvert punkt. Den horisontale grå linja markerer gjennomsnittlig differanse for alle metodene. I de grønne firkantene representer den midterste linja gjennomsnittlig differanse for gitte metode, og firkantens horisontale

utstrekning representerer et 95 % konfidensintervall av gjennomsnittet for hver metode. En R^2 -verdi på 0,10 beviser at det er liten statistisk sammenheng mellom metodene.



Figur 11: Statistisk sammenligning mellom alle fjernmålingsmetodene.

Tabell 5 viser gjennomsnittlig høydeforskjell mellom hver fjernmålingsmetode og feltregistreringen, der det kun er sett på punkter i veibanen. FKB 5 m er den metoden som i gjennomsnitt skiller seg mest fra feltregistreringen, med 0,60 m gjennomsnittlig høydeforskjell, 0,41 m standardavvik og 0,73 m RMSE. MLS hadde et gjennomsnittsavvik på 0,22 m, og standardavvik og RMSE på hhv. 0,19 og 0,32 m. FLS 2008 og FKB 1 m hadde hhv. 0,20 og 0,18 m gjennomsnittlig høydeavvik, 0,19 og 0,13 m standardavvik, og 0,30 og 0,29 m RMSE. FLS 2014 var mest lik feltmålingene, med en gjennomsnittlig differanse på 0,16 m, standardavvik på 0,09 m og RMSE på 0,18 m.

Tabell 5: Gjennomsnittlig høydeforskjell for hver fjernmålingsmetode i forhold til feltregistreringen, der det kun er sett på punkter i veibanen.

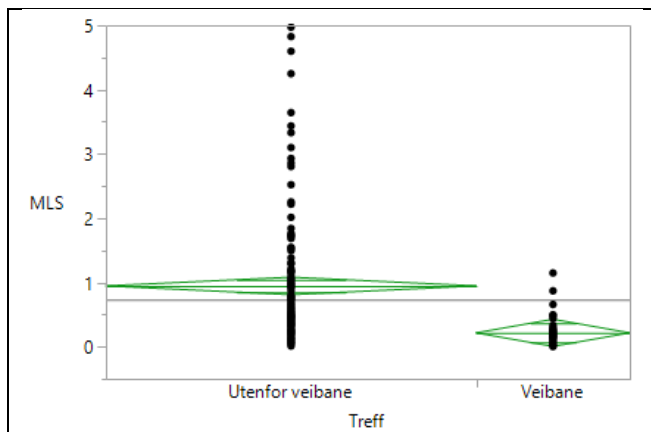
Punkter på veibanen			
	Gj.snittlig høydeforskjell (m)	Standardavvik (m)	RMSE (m)
FKB 5 m	0,60	0,41	0,73
FKB 1 m	0,18	0,13	0,29
MLS	0,22	0,19	0,32
FLS 2008	0,20	0,19	0,30
FLS 2014	0,16	0,09	0,18

Tabell 6 viser gjennomsnittlig høydeforskjell for hver fjernmålingsmetode i forhold til feltregistreringen, der det kun er sett på punkter utenfor veibanen. FKB 5 m og MLS skiller seg i gjennomsnitt hhv. 0,98 og 0,95 m fra feltregistreringen. MLS har høyere standardavvik (0,97 m) og RMSE (1,35 m) enn FKB 5 m (hhv. 0,60 og 1,14 m). FKB 1 m og FLS 2008 hadde hhv. 0,42 og 0,39 m gjennomsnittlig høydeavvik, 0,24 og 0,23 m standardavvik, og 0,48 og 0,47 m RMSE. FLS 2014 er mest lik feltmålingene med en gjennomsnittlig differanse på 0,36 m, standardavvik på 0,20 m og RMSE på 0,41 m.

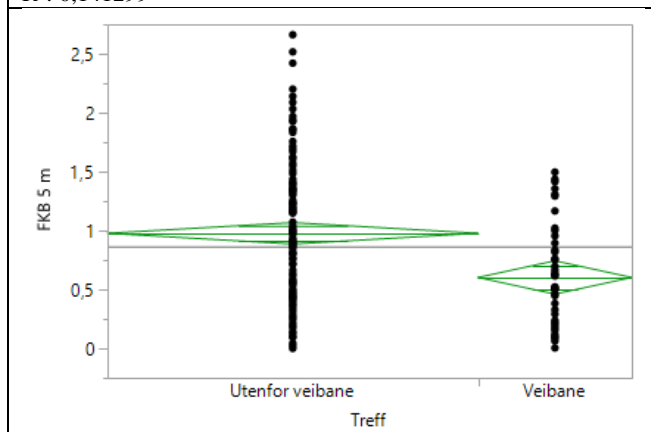
Tabell 6: Gjennomsnittlig høydeforskjell for hver fjernmålingsmetode i forhold til feltregistreringen, der det kun er sett på punkter utenfor veibanen.

Punkter utenfor veibanen			
	Gj.snittlig høydeforskjell (m)	Standardavvik (m)	RMSE (m)
FKB 5 m	0,98	0,60	1,14
FKB 1 m	0,42	0,24	0,48
MLS	0,95	0,97	1,35
FLS 2008	0,39	0,23	0,47
FLS 2014	0,36	0,20	0,41

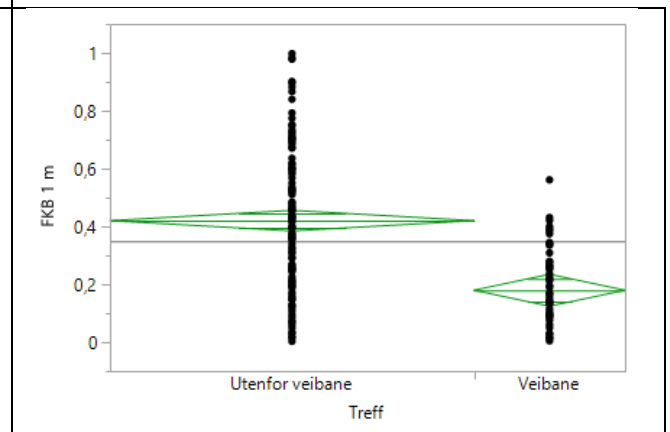
Figur 12 viser en statistisk sammenligning mellom hver fjernmålingsmetode basert på punkt plassering (på eller utenfor veibanen). Hvert plott representerer differansen fra referansemålingen for hvert punkt. Den horisontale grå linja markerer gjennomsnittlig differanse for alle punkter. I de grønne firkantene representer den midterste linja gjennomsnittlig differanse for gitte metode, og firkantens horisontale utstrekning representerer et 95 % konfidensintervall av gjennomsnittet for hver metode. FLS 2014 har best R^2 -verdi med 0,222654. FKB 1 m, FKB 5 m, FLS 2008 og MLS har R^2 -verdier på hhv. 0,207931, 0,088546, 0,097053 og 0,141299.



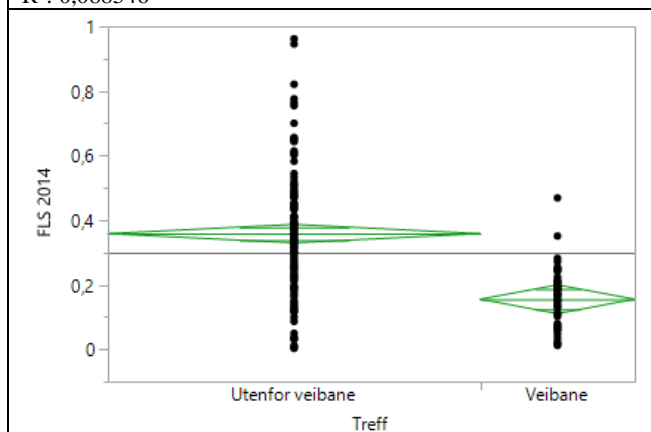
R²: 0,141299



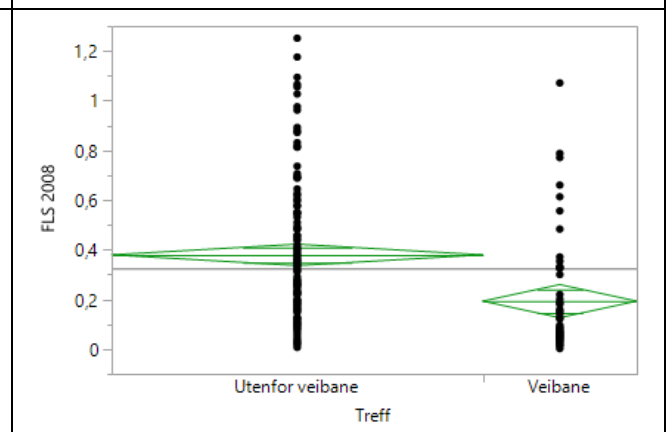
R²: 0,088546



R²: 0,207931



R²: 0,222654

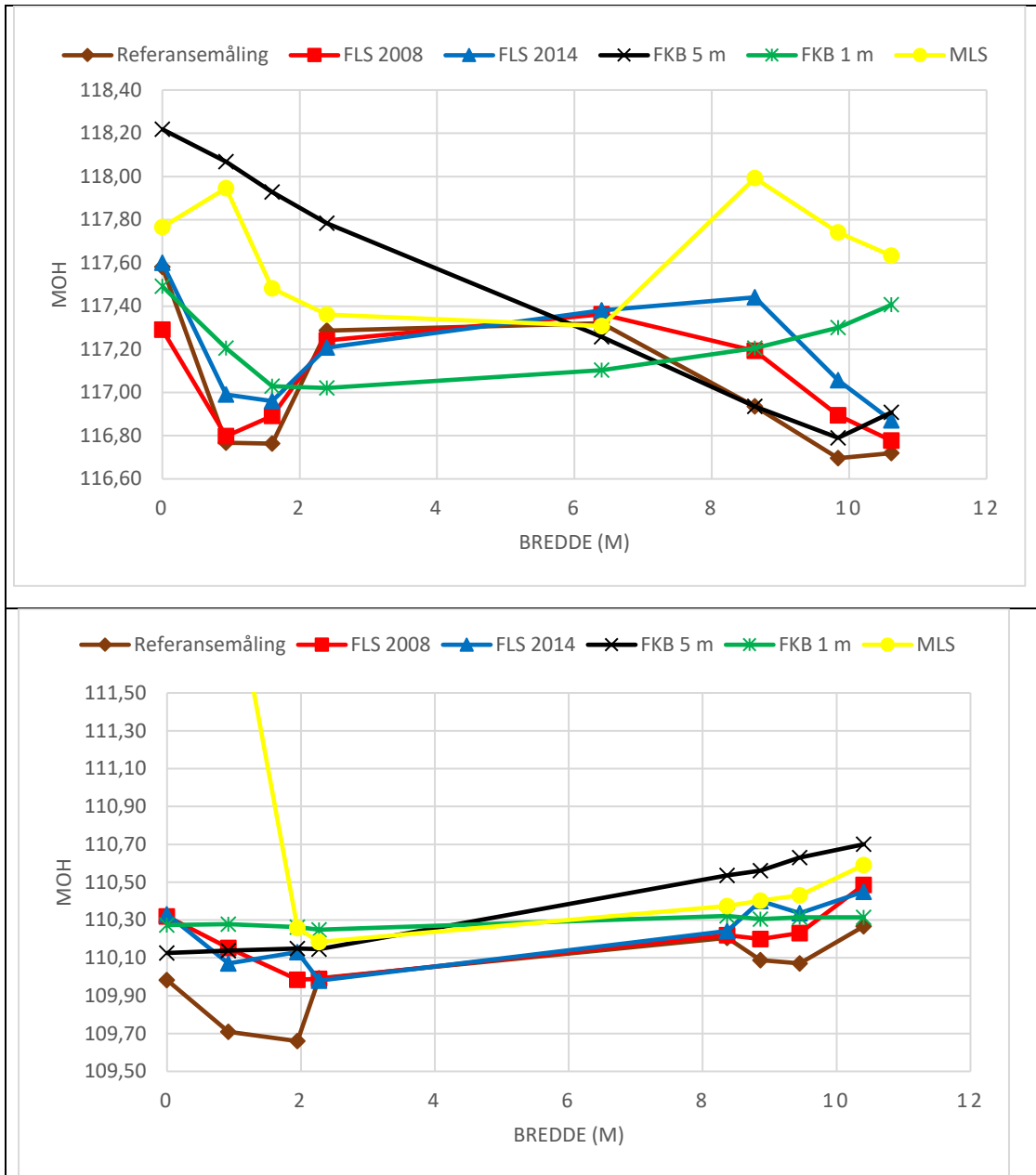


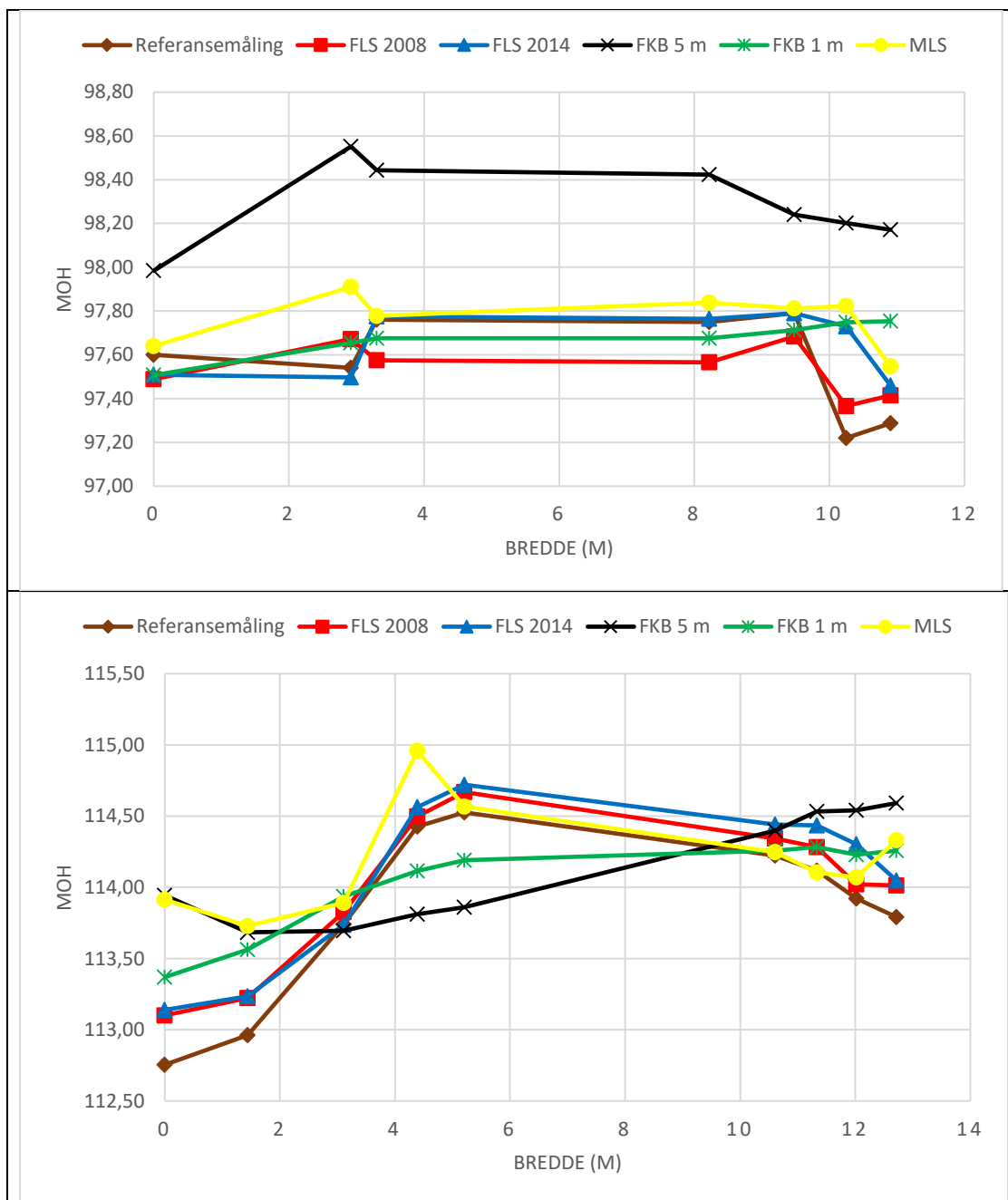
R²: 0,097053

Figur 12: Statistisk sammenheng mellom punktplassering og differanse for hver fjernmålingsmetode.

3.3. Veigeometriske egenskaper

Figur 13 viser veiprofiler for referansemålingen og de fem fjernmålingsmetodene fra fire forskjellige tverrsnitt av skogsbilveien. Disse tverrsnittene er valgt fordi de er representative for hver metodes evne til å vise veiens veibredde, grøfter og skjærings- eller fyllingsskråninger.



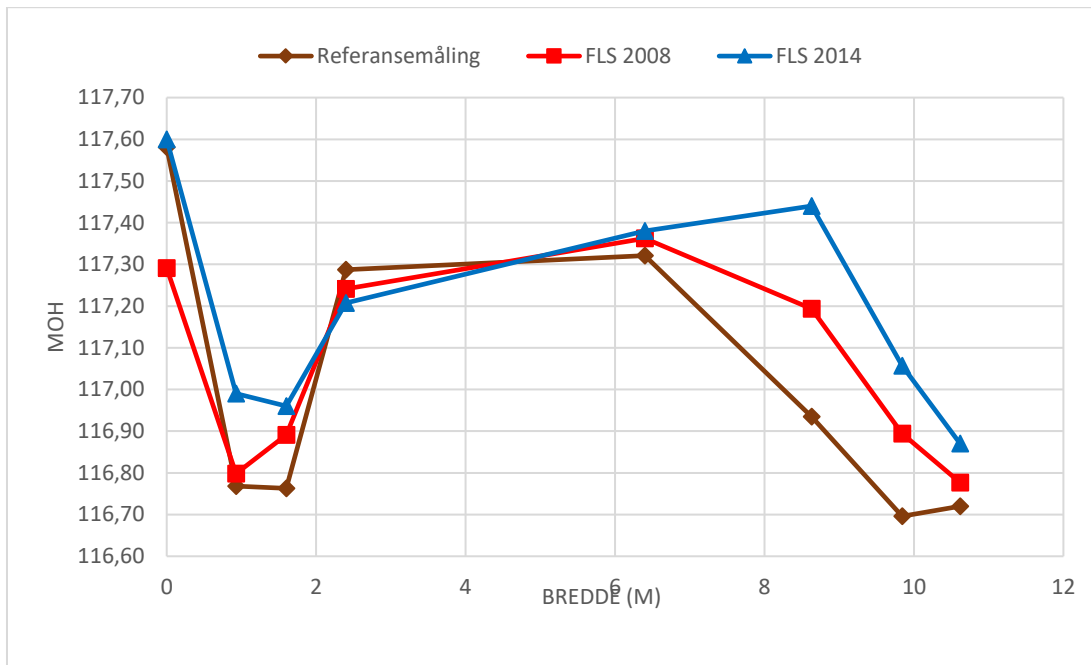


Figur 13: Veiprofiler fra fire forskjellige tverrsnitt, som viser fjernmålingsmetodenes evne til å beskrive skogsbilveiens geometriske egenskaper.

3.3.1. Flybåren laserskanning

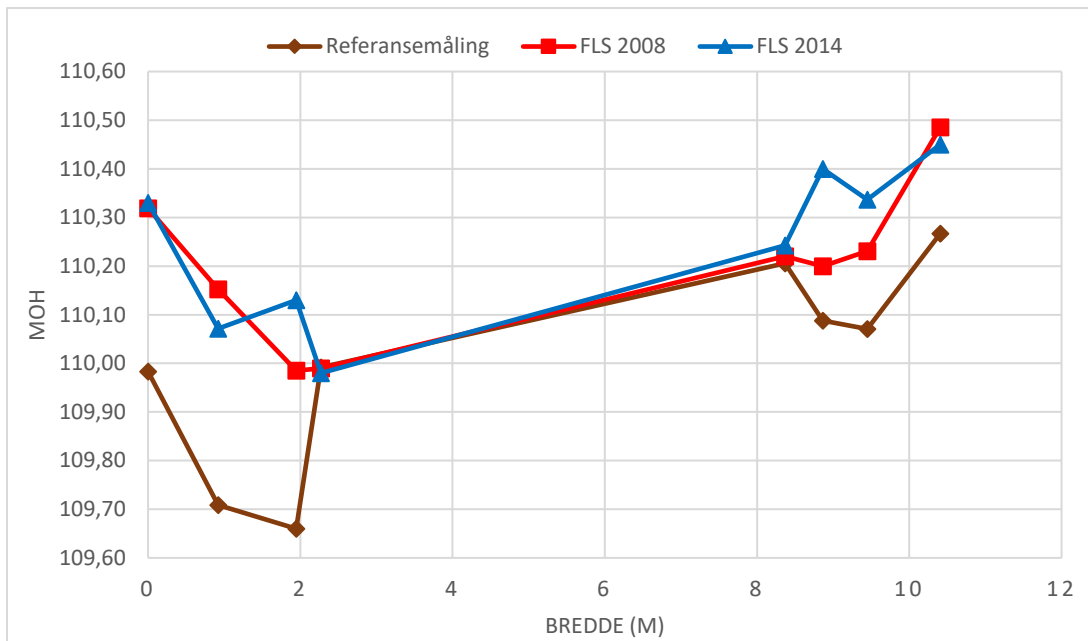
I figur 14 viser tverrprofilen for referansemålingen at det er en grøft på venstre side av veibanen. Ved å avlese figuren, kan grøftedybde avleses til å være ca. 50 cm, og bunnbredde til å være ca. 70 cm. Dette er mål som tilfredsstill minimumskravene i normalen for veiklasse 3. Tverrprofilene for de flybårne laserskanningene i 2008 og 2014, viser grøftedybder på ca. 50 og 30 cm. Grøftedybden for referansemålingen og FLS 2008 er relativt like, men for FLS 2014 er den ca. 20 cm høyere. Dette skyldes trolig vegetasjon i grøfta, slik

at laserstrålene ikke har klart og truffet bakken. Referansemålingen viser en veibredde på ca. 4 meter, og en skråning på utsiden av veien på høyre side. Veibredden kommer ikke så godt frem av laserskanningene, og særlig ikke for FLS 2014. Skråningen er også dårlig visualisert av de to metodene, som trolig skyldes få bakketreff pga. vegetasjon utenfor veibanen.



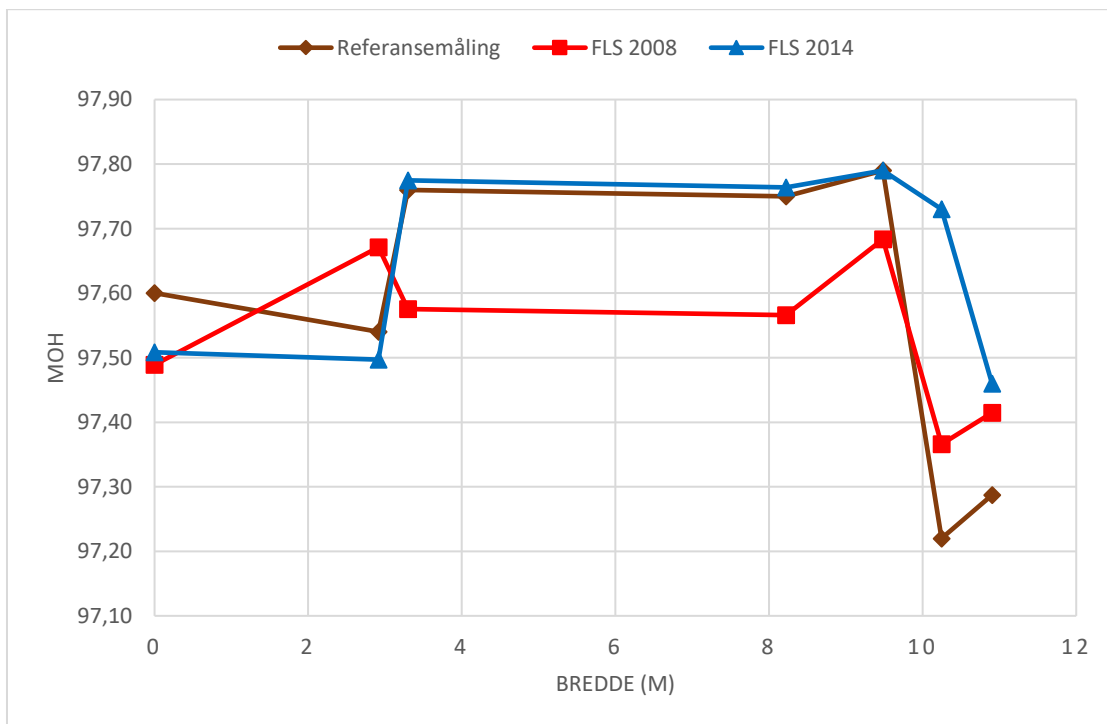
Figur 14: Veiprofiler av referansemålingen og de to flybårne laserskanningene. Tverrsnitt 1.

I figur 15 viser tverrprofilen for referansemålingen at det er en grøft på venstre side av veibanen. Ved å avlese figuren, kan grøftedybde anslås til å være ca. 30 cm, og bunnbredde til å være ca. 1 meter. Begge disse målene er innenfor normalens krav. Tverrprofilene for de flybårne laserskanningene i 2008 og 2014 viser ikke denne grøften. Veibredden fra referansemålingen er ca. 6 meter, noe det kan se ut som den er for begge laserskanningene også.



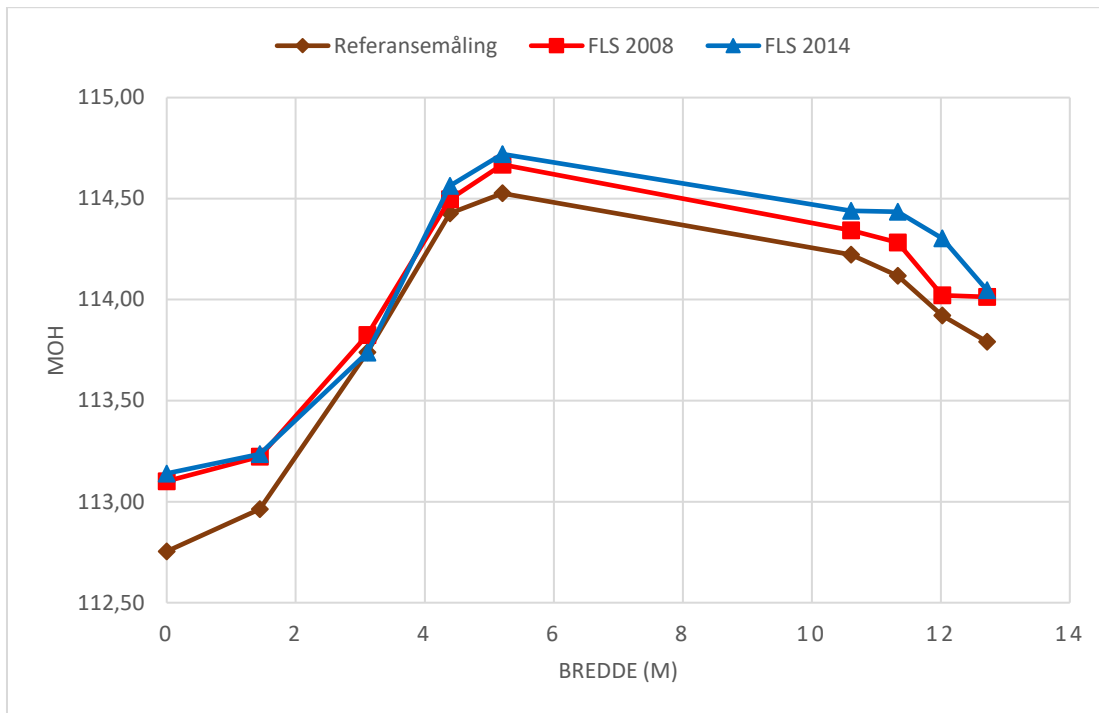
Figur 15: Veiprofiler av referansemålingen og de to flybårne laserskanningene. Tverrsnitt 2.

I figur 16 viser metodene relativt lik veibredde, ca. 5 meter, men profilen for FLS 2008 er 20 cm lavere i terrenget enn referansemålingen og FLS 2014.



Figur16: Veiprofiler av referansemålingen og de to flybårne laserskanningene. Tverrsnitt 3.

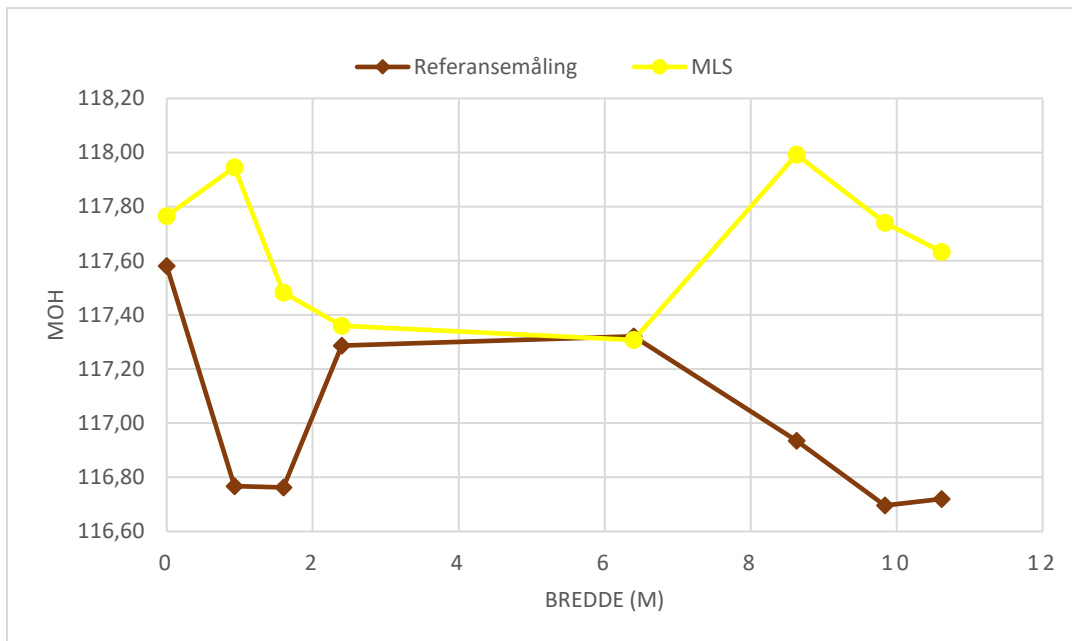
I figur 17 fremgår det av profilen for referansemålingen at det er en skråning utenfor veibanen på venstre side. Begge de flybårne laserskanningene følger profilen i ca. halvparten av skråningen, men har litt større høydeverdier i den nedre delen. Dette kan nok en gang skyldes at laserpunktene ikke har truffet bakken pga. vegetasjon.



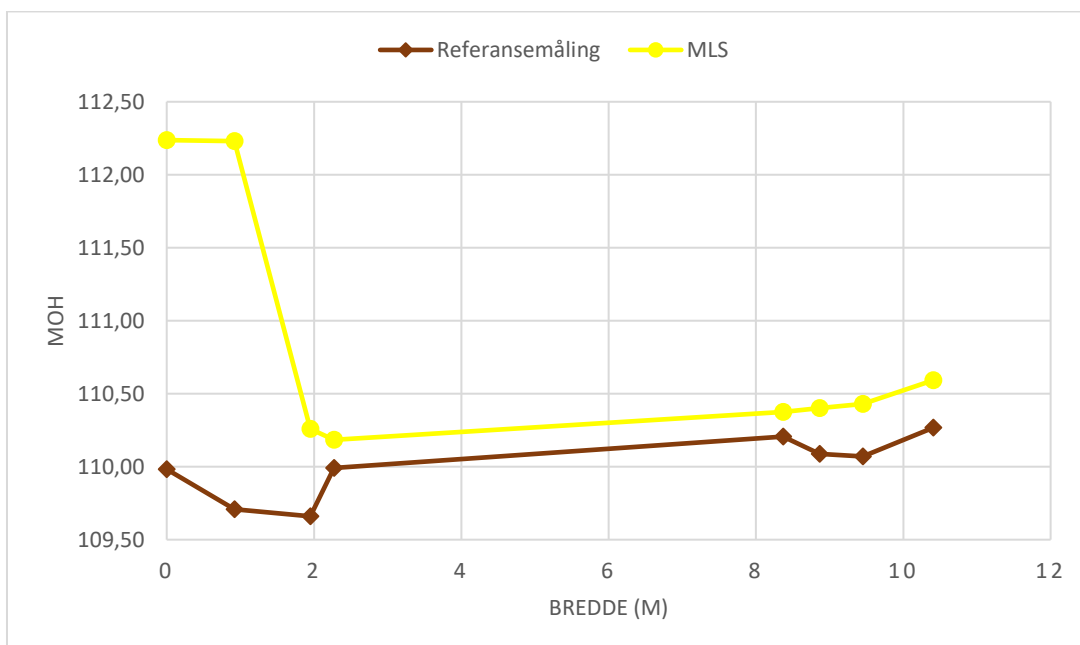
Figur 17: Veiprofiler av referansemålingen og de to flybårne laserskanningene. Tverrsnitt 4.

3.3.2. Mobil laserskanning

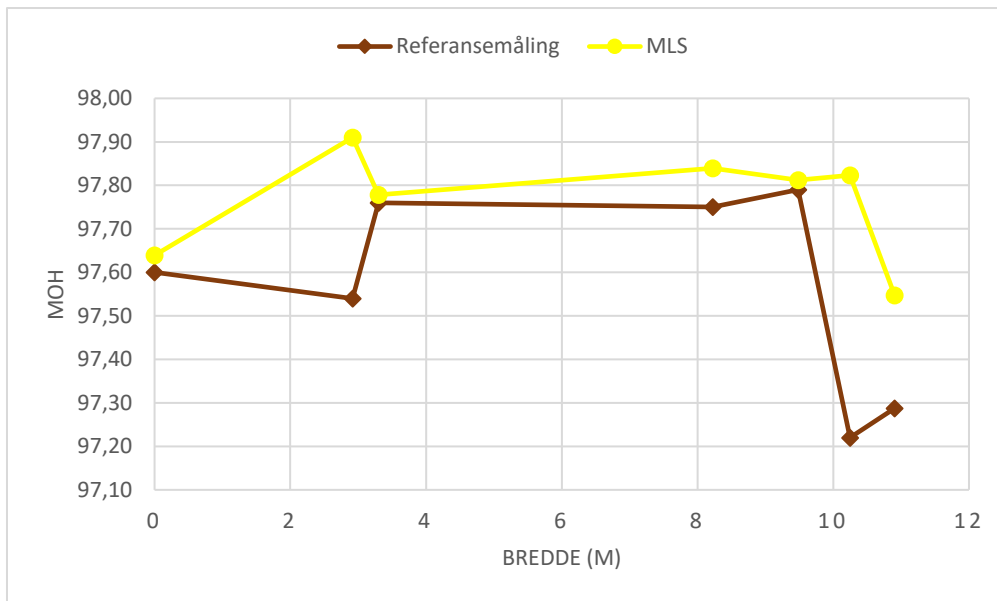
Figur 18-21 viser sammenligninger av veiprofiler for referansemålingen og den mobile laserskanneren. I figur 17 så viser referansemålingen at veien har en bredde på ca. 4 meter, og at grøfta ute til venstre har en dybde på ca. 50 cm. MLS viser også en veibredde på ca. 4 meter, men får ikke med seg grøfta. Dette har vært gjennomgående for resultatene fra den mobile laseren, med uklassifiserte data som inneholder både bakke- og vegetasjonstreff. Den viser veibredden relativt godt, men klarer ikke å registrere grøfter og skråninger. Dette fremgår også av figur 19, 20 og 21.



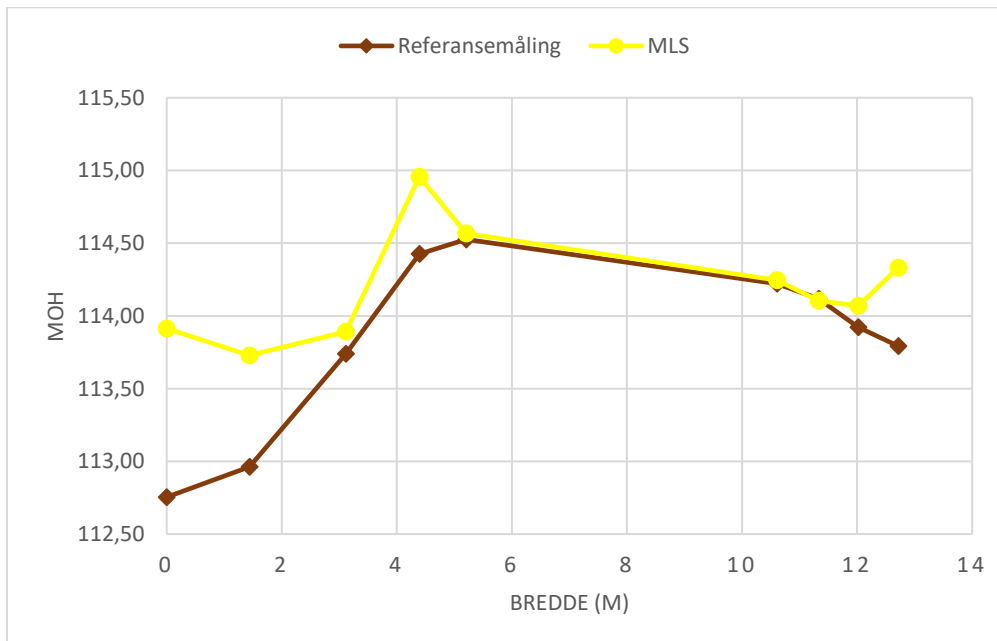
Figur 18: Veiprofiler av referansemålingen og den mobile laserskanningen. Tverrsnitt 1.



Figur 19: Veiprofiler av referansemålingen og den mobile laserskanningen. Tverrsnitt 2.



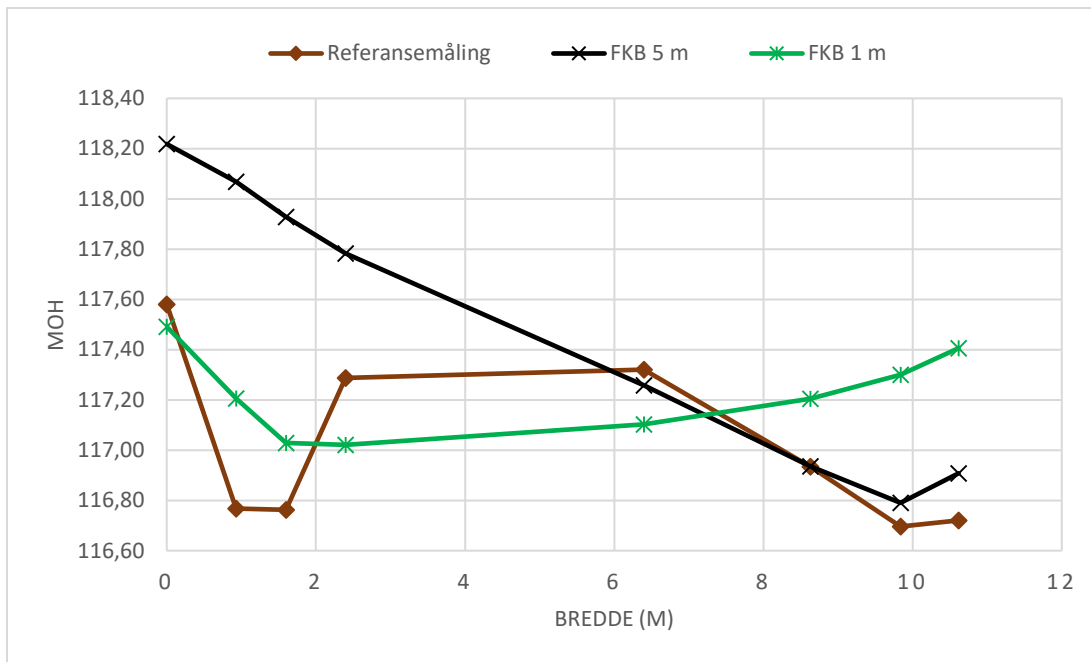
Figur 20: Veiprofiler av referansemålingen og den mobile laserskanningen. Tverrsnitt 3.



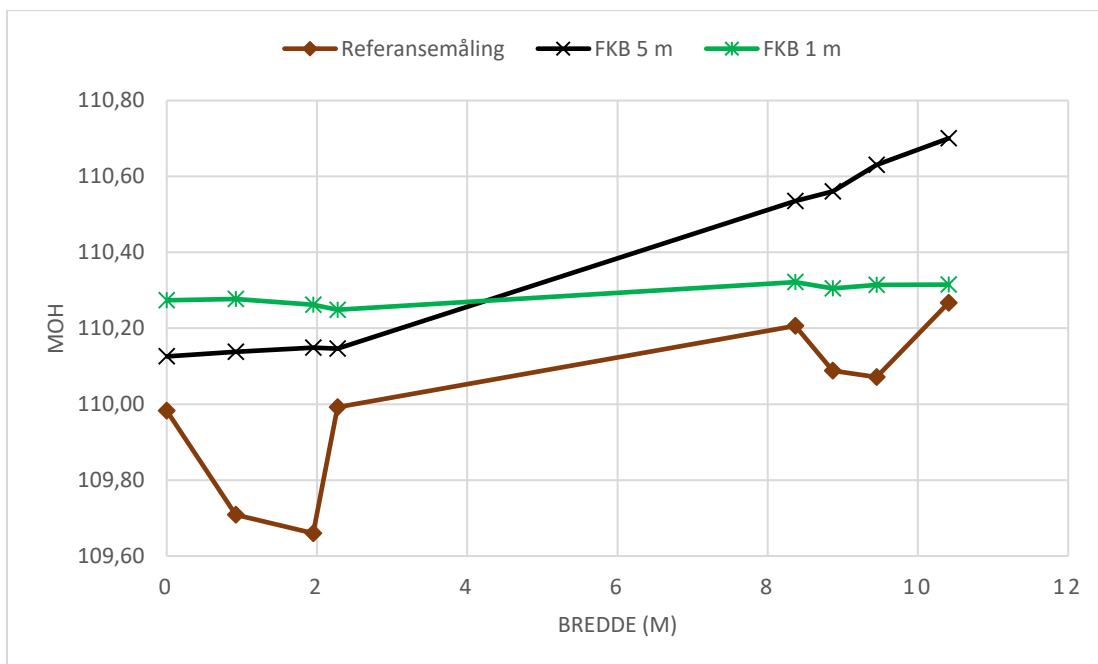
Figur 21: Veiprofiler av referansemålingen og den mobile laserskanningen. Tverrsnitt 4.

3.3.3. Høydekurver fra FKB

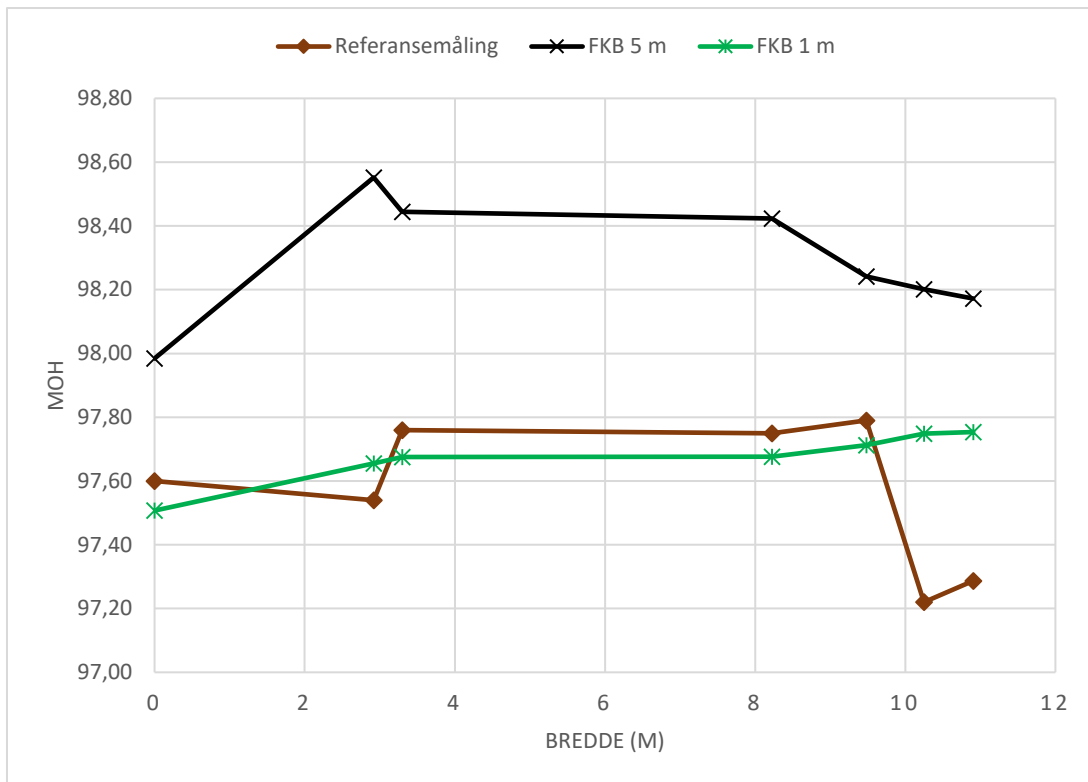
Figur 22-25 viser en sammenligning av veiprofiler for referansemålingen og de to høydekurve-datasettene fra FKB. Både FKB 1 m og FKB 5 m viser i liten grad egnethet til å beskrive veibredde, grøfter eller skråninger. Ekvidistansene gjør at de ikke fanger opp hyppige høydeforskjeller som ikke overskrider 1 eller 5 m.



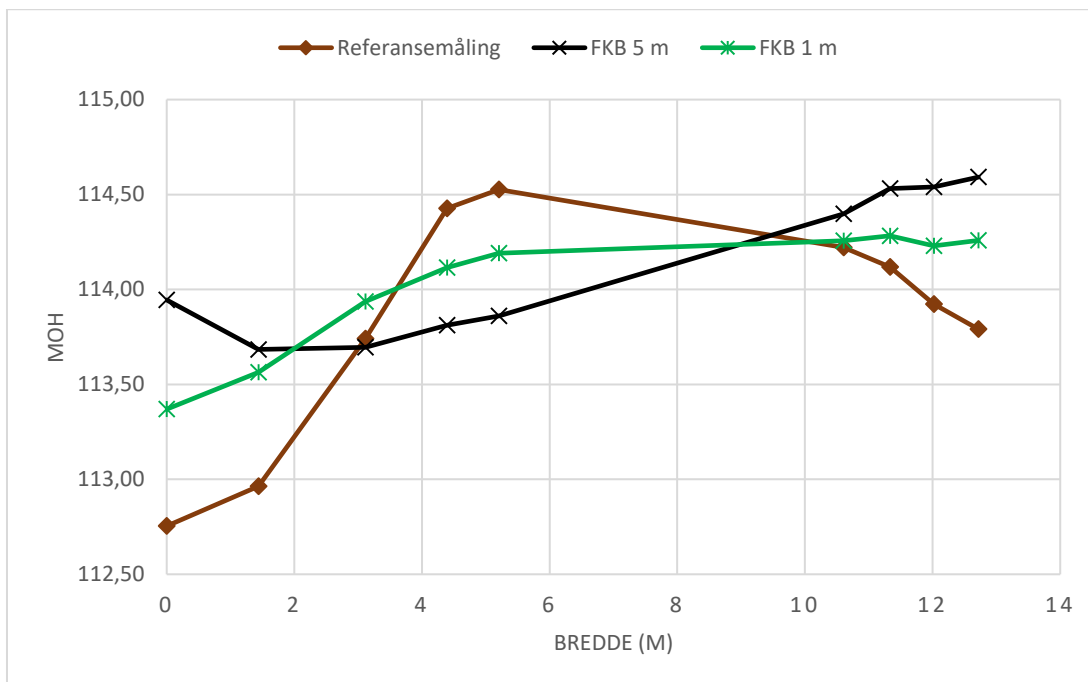
Figur 22: Veiprofiler av referansemålingen og høydekurvedatasettene fra FKB. Tverrsnitt 1.



Figur 23: Veiprofiler av referansemålingen og høydekurvedatasettene fra FKB. Tverrsnitt 2.



Figur 24: Veiprofiler av referansemålingen og høydekurvedatasettene fra FKB. Tverrsnitt 3.



Figur 25: Veiprofiler av referansemålingen og høydekurvedatasettene fra FKB. Tverrsnitt 4.

4. Diskusjon

4.1. Feilkilder ved referansemålingen

Referansemålingen ble gjennomført for å gi en fasit på dagens standard på skogsbilveien, og dermed et sammenligningsgrunnlag til hver fjernmålingsmetode. Målingen ble gjennomført med RTK-landmålingsutstyr, som benytter seg av satellittsignaler for å gi nøyaktig posisjonsbestemmelse. På flere strekninger med tett skog langs veien, hadde GNSS-mottakeren problemer med å få kontakt med nok satellitter til å registrere en posisjon. Dette gjaldt også på strekninger med tett kronedekke der greiner hang over veibanen. Dette resulterte i at det på noen tverrprofiler kun ble registrert ett eller to punkter (figur 9), eller i verste fall ingen punkter i det hele tatt. Dette førte dermed til at det ble registrert mange færre tverrprofiler enn det som var planlagt.

På noen tverrprofiler skilte høydeverdiene fra RTK-målingen unormalt mye fra LiDAR-målingene, som ble påvist å ha best nøyaktighet. Dette kan ha vært et resultat av flerveisinterferens (multipath). Dette skjer når GNSS-antenna mottar et satellittsignal som er reflektert fra en gjenstand i nærheten av antenna, i stedet for direkte fra satellitten (Kartverket 2016a). Dette betyr at GNSS-mottakeren ikke registrerer den riktige avstanden mellom satellitten og antenna, men i stedet avstanden via refleksjonsobjektet og til antenna. Det er derfor viktig at operatøren er oppmerksom på mulige refleksjonskilder allerede under planleggingen av registreringen.

RTK har bevist at den kan gi veldig nøyaktige målinger av veibredde, grøfter og skråninger. Egnetheten for å beskrive skogsbilveiens geometriske egenskaper er likevel begrenset, da det kan være utfordringer knyttet til tidsforbruk og resultat. Under feltmålingen av den 1200 m lange skogsbilveien, ble mye tid benyttet til å vente på satellittsignal. Tett skog og overhengende greiner, gjorde det både vanskelig og umulig å foreta posisjonsbestemmelser på store deler av veistrekningen. Kvaliteten på data fra RTK-målinger kan også være nedsatt, da satellittsignalet kan ha blitt reflektert av et nærliggende objekt, som f.eks. et høyt tre.

4.2. Fjernmålingsmetodenes nøyaktighet

Den flybårne laserskanningen fra 2014 var den fjernmålingsmetoden som i gjennomsnitt skilte seg minst fra feltregistreringen (tabell 4). Den ble gjennomført med en punkttetthet på 5 lasertreff per kvadratmeter, mens skanningen fra 2008 ble gjennomført med en tetthet fra 1,5 til 2,8 punkt per m². At skanningen med flest punkter per kvadratmeter er den mest nøyaktige

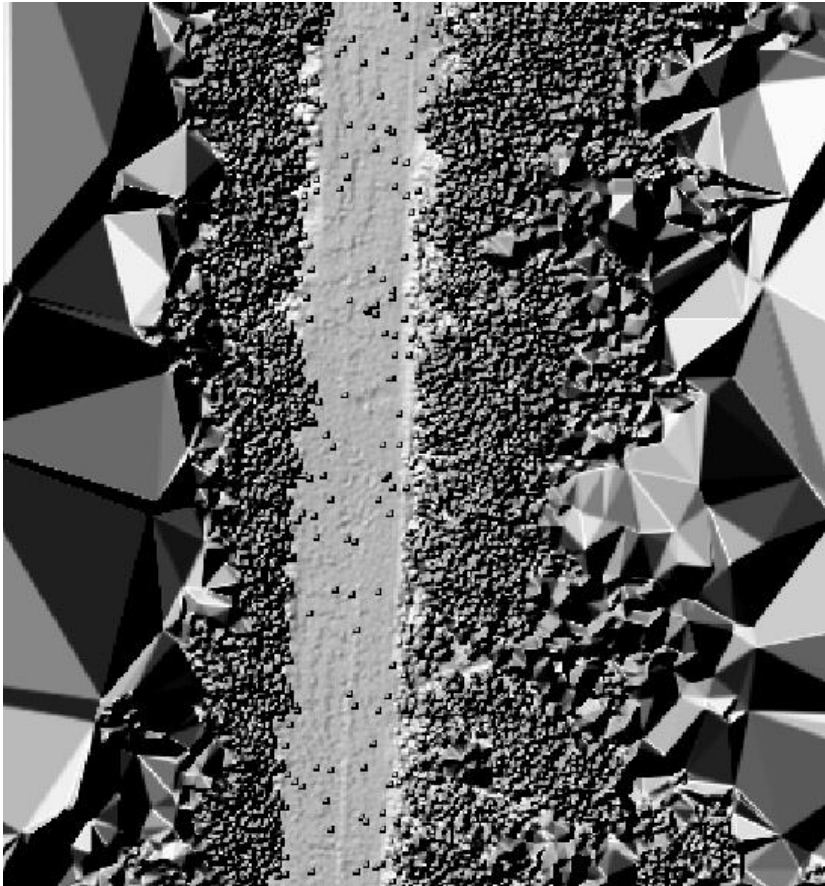
av de to er som forventet, da høyere antall punkter vil beskrive overflaten bedre. De to skanningene ble gjennomført i 2008 og 2014, altså for 9 og 3 år siden. Ingen av registreringene ble gjennomført samtidig, noe som kan være med på å forklare noe av forskjellen i nøyaktighetsresultatet. Figur 26 viser tre flyfoto av den innerste delen av veistrekningen, der bildene er tatt i hhv. 2008, 2014 og 2016. Store endringer har skjedd på og rundt skogsbilveien i dette tidsrommet. Bildene viser at det har blitt hogget et bestand på venstre side av veien en gang i perioden mellom 2014 og 2016. Frakt av tømmer, og mye ferdsel i perioder, kan ofte føre til slitasje på veien i form av kjørespor og hull. Skogsbilveiene skal til enhver tid ha god standard, så vedlikehold må utføres regelmessig av kompetent personell med riktig utstyr (Viken skog 2017). Slike vedlikehold omfatter bla. veikanthogst, grøfterensk, skraping, høvling og grusing. Om laserskanningen blir gjennomført før eller etter slike behandlinger, vil uten tvil ha noe å si for høydeverdiresultatet. Vegetasjon utenfor veibanen har spesielt mye å si for nøyaktigheten, noe som kommer godt frem i tabell 5 og 6. Alle fjernmålingsmetodene hadde større avvik i høyde på punktene som var utenfor veibanen. Dette kan forklares med at måleapparatet på landsmålingsutstyret er i direkte kontakt med bakken, mens laserstrålene ofte blir reflektert i vegetasjonen før de treffer underlaget. Flyfotoet fra 2008 viser også at skogsbilveien var 300 meter kortere den gangen. Den siste strekningen, som kommer fram av figur 25, var en kjerrevei uten oppfyllende krav til gjeldende veinormal. Innen 2014 hadde veistrekningen blitt ombygd til den standarden den har i dag.



Figur 26: Sammenligning av flyfoto over samme veistrekning for hhv. 2008 (t.v.), 2014 og 2016 (t.h.) (Kilden 2016).

Resultatene viste at høydedata fra den mobile laserskanningen hadde et gjennomsnittlig avvik på 0,73 m fra feltregistreringen. Dette store avviket var overraskende. Trimble MX2-laserskanneren sender ut opp mot 72 000 laserstråler per sekund, og med en punkttetthet på ca. 600 lasertreff per m², var det forventet god nøyaktighet. En årsak som kan være med på å

forklare denne forskjellen, og som er en svakhet for bakkelasere og lasere generelt, var værforholdene under dagen laserskanningen ble gjennomført. Det skal ikke store gjenstanden til for at laserstrålene blir reflektert tilbake til mottakeren. På dagen da den mobile laserskanningen ble utført var det snø/sludd i luften, noe som var nok til at laserstråler ble reflektert (figur 27). Dette førte til at det ble noen ekstreme høydeverdier på noen punkter i MLS-datasettet. Disse ble korrigert med nye verdier ved å ta gjennomsnittet av høydeverdiene til nabo-laserpunkter som hadde truffet bakken.



Figur 27: Digital terrengmodell av den mobile laserskanningen, som viser at flere laserstråler ble reflektert av nedbør i luften.

En annen grunn som kan forklare det store høydeavviket mellom skanningen med Trimble MX2 og feltregistreringen, er at det ikke var gjort noen klassifisering av lasertreffene fra den mobile laserskanningen. De to flybårne laserskanningene var klassifisert etter FKBs produktspesifikasjon for høydedata fra laser, så de hadde tallverdier og fargekoder ut i fra hvor de hadde truffet. Produktspesifikasjonen kategoriserer treffsted som enten terrengoverflate, støypunkt (skyer, fugler, multipath, systemfeil osv.), bruer eller uklassifiserte punkt (Statens kartverk 2013). Det er også mulig å bestille ytterligere klassifisering som skiller mellom lav, middels og høy vegetasjon, og om laserstrålen har truffet en bygning, vann eller store, enkeltstående steiner. For de to flybårne laserskanningene ble det gjort et utvalg på

at det kun var bakketreff som skulle vises. Dette ble ikke gjort for den mobile laserskanningen, da ikke var gjort noen klassifisering. Dette er trolig en grunn til at høydeverdiene er for høye i datasettet, fordi de har refleksjonspunkt over terrengoverflaten (vegetasjon).

Datasettene fra FKB med 1 og 5 m ekvidistanse på høydekurvene, hadde hhv. 0,35 og 0,86 m gjennomsnittlig høydeforskjell fra referansemålingen (tabell 4). På punktene som hadde truffet veibanen, så hadde FKB 1 m et standardavvik på 0,13 m. Dette er innenfor kravet til absolutt høydenøyaktighet over TerrenglinjeVeg i produktspesifikasjonen for høydekurver (Kartverket 2013) Høydekurvestandarden for høydekurver med 1 m ekvidistanse tolererer standardavvik på 0,20 m over veier. FKB 5 m hadde et standardavvik på 0,57 m uansett punkttreff. Høydekurvestandarden for FKB tolerer standardavvik på opp til 2 meter på alle objekttyper.

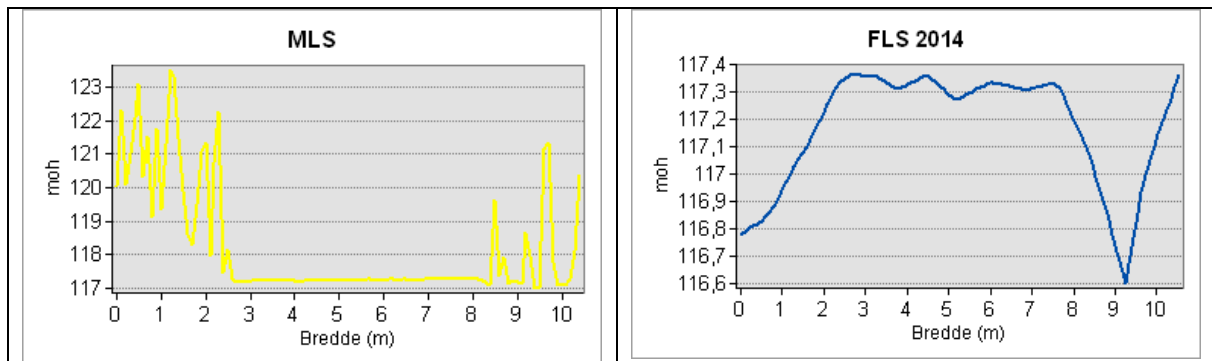
4.3. Fjernmålingsmetodenes evne til å registrere skogsbilveiens geometriske egenskaper

De to flybårne laserskanningene hadde best egnethet av fjernmålingsmetodene til å registrere de geometriske egenskapene på veien. Som for nøyaktighetsvurderingen, så har registreringstidspunkt veldig mye å si for dette resultatet. Mye kan ha endret seg både på og rundt veien mellom årene de ulike fjernmålingsmetodene ble gjennomført. Dette kommer godt frem av figur 16, der tverrprofilen til FLS 2008 ligger 20 cm lavere i terrenget enn referansemålingen og FLS 2014. Dette skyldes trolig at veien har blitt gruset etter laserskanningen i 2008. Vegetasjon utenfor veibanen ga begge skanningene problemer med å få frem hele arealet av grøften (dybde og bredde), samt helningsgraden på skjæringen eller fyllingen. Dette kommer nok en gang av at laserstrålene ikke treffer bakken der vegetasjonen er for tett. For at flybårne laserskanninger skal visualisere de geometriske egenskapene best mulig, så burde de ideelt sett ha blitt gjennomført rett etter at det har blitt utført vedlikehold på veien.

Den mobile laserskanningen klarte å registrere veibredden brukbart, men fikk ikke med seg grøfter eller skråninger. Figur 28 viser det samme veiprofilet for MLS og FLS 2014.

Metodene har registrert relativt lik veibredde, men MLS får verken med seg grøften eller skråningen. Nedbøren under dagen den mobile laserskanningen må ta mye av skylden til dette, samt vegetasjon utenfor veien. En annen grunn kan være monteringen av skanneren på

kjøretøyet (figur 4). Trimble MX2-laserskanneren kan ha blitt festet for lavt, slik at laserstrålene ikke fikk sjans til å treffe de laveste fordypningene i terrenget.



Figur 28: Sammenligning av samme veiprofiler mellom den mobile laserskanningen og den flybårne laserskanningen i 2014.

4.4. Andre fjernmålingsmetoder

På dagen det ble kjørt med den mobile laserskanneren, så ble det testet ut en alternativ fjernmålingsmetode. En drone ble fløyet over veistrekningen, der målet var å se om bildene fra dronen kunne benyttes til å registrere standarden på skogsbilveien, samt vurdere vedlikeholdstiltak (figur 29). Resultatet var ikke så vellykket, da få referansepunkter og vegetasjon langs veien gjorde det vanskelig å tolke bildene. Bilder som er tatt av kjøretøysmonterte kameraer kan benyttes til å bygge opp digitale terrengmodeller, men også her er det fare for at det blir mange vegetasjonshøyder i datasettet.



Figur 29: Dronebilde av veistrekningen.

5. Konklusjon

Formålet med denne oppgaven var å undersøke om høydedata fra ulike fjernmålingsmetoder kunne benyttes for å registrere skogsbilveistandard.

Resultatene viste at den flybårne laserskanningen med 5 punkter per m² hadde best nøyaktighet, med et gjennomsnittlig høydeavvik på 0,3 m. Høydekurve-datasettet fra FKB med ekvidistanse på 5 m hadde størst unøyaktighet med et gjennomsnittlig høydeavvik på 0,86 meter.

Høydedata fra de to flybårne laserskanningene kunne i noen grad benyttes til å registrere veibredde, grøftedybde og helningsgrad på skjæringer eller fyllinger. På tverrprofiler der det var lite vegetasjon på veiskulderen, kunne høydedata fra den mobile laserskanningen registrere veibredde. Høydekurver fra FKB kunne ikke benyttes til å beskrive skogsbilveiens geometriske egenskaper

6. Litteratur

- Azizi, Z., Najafi, A. & Sadeghian, S. (2013). *Forest Road Detection Using LiDAR Data*.
Journal of Forestry Research, 25 (4): 975-980
- Blinken. (2016). *Topcon GR-5*. Hentet fra: http://www.blinken.no/dokumenter/pdf/topcon/gr-5_broch_7010_2071_revk_sm.pdf (lest 04.05.2017).
- Blom Geomatics AS. (2008). *LIDAR Rapport Follo 2008*. Oslo.
- Blom Geomatics AS. (2014). *LIDAR Rapport Follo 2014*. Oslo.
- Bolansås, O.M., Risbøl, O., Ene, L.E., Nesbakken, A., Gobakken, T. & Næsset, E. (2012).
Using airborne small-footprint laser scanner data for detection of cultural remains in forests: an experimental study of the effects of pulse density and DTM smoothing. Journal of Archaeological Science 39 s. 2733-2743.
- Craven, M. & Wing, M. (2014). *Applying airbourne LiDAR for forested road geomatics*.
Scandinavian Journal of Forest Research, Vol. 29, no. 2.
- Google maps. (2017). Hentet fra:
<https://www.google.no/maps/@59.734516,10.7474393,11.5z> (lest 25.04.2017).
- Kartverket. (2013). *Produktspesifikasjon for FKB – Høydekurve*. Hentet fra:
<http://kartverket.no/globalassets/standard/sosi-kap3-produktspesifikasjoner/fkb02/1-hydekurve-2013-01-01.pdf> (lest 13.05.2017).
- Kartverket (2016a). *DPOS brukerveiledning*. Hentet fra:
<http://www.kartverket.no/posisjonstjenester/DPOS/DPOS-brukerveiledning/>
(lest 09.05.2017).
- Kartverket (2016b). *FKB – felles kartdatabase*. Hentet fra:
<http://www.kartverket.no/data/kartdata/Vektorkart/FKB/> (lest 07.05.2017).
- Kartverket. (2017a). *Norgeskart*. Hentet fra:
http://www.norgeskart.no/?_ga=2.179443111.227737651.1494752972-975624019.1491555609#!?project=seeiendom&layers=1002,1014&zoom=13&lat=6628814.91&lon=255540.97 (lest 25.04.2017).
- Kartverket. (2017b). *RTK*. Hentet fra: <http://kartverket.no/Systemsider/Ordbok/R/RTK/>
(lest 06.05.2017).
- Kilden. (2016). Hentet fra:
https://kilden.nibio.no/?X=6629163.00&Y=255209.96&zoom=11&lang=nb&topic=arealinformasjon&bgLayer=norgebilder_cache2&layers=norgebilder_2

- (lest 10.05.2017)
- Landbruksdirektoratet. (2014). *Prosjektet «Skogsvei og kart»*. Hentet fra:
<https://www.landbruksdirektoratet.no/no/eiendom-og-skog/infrastruktur/skogsveier-og-kart#om-prosjektet--skogsvei-og-kart-> (lest 04.05.2017).
- Landbruksdirektoratet. (2016). *Skogsveier*. Hentet fra:
<https://www.landbruksdirektoratet.no/no/statistikk/skogbruk/skogsveier> (lest 04.05.2017).
- Landbruks- og matdepartementet (2016) *Normaler for landbruksveier – med byggebeskrivelse*. Oslo: Landbruks- og matdepartementet.
- Lehtomäki, M., Jaakkola, A., Hyypä, J., Lampinen, J., Kaartinen, H., Kukko, A., Puttonen, E. & Hyypä, H. (2015). *Object Classification and Recognition From Mobile Laser Scanning Point Clouds in a Road Environment*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 54, no. 2.
- NIBIO. (2008). *Skogsveier i Norge - historisk utvikling og dagens situasjon*. Hentet fra:
http://www.skogoglandskap.no/fagartikler/2008/skogsveier_i_norge_historisk_og_na (lest 04.05.2017).
- NIBIO. (2017). *Skogfakta*. Hentet fra: <http://www.skogoglandskap.no/temaer/skogfakta> (lest 04.05.2017).
- Skogsvei (2016). *Skogsveier*. Hentet fra: http://www.skogsvei.no/2_skogsveier.cfm (lest 05.05.2017)
- SSB. (2016). *Flere ombygde skogsveier*. Hentet fra: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/flere-ombygde-skogsveier> (lest 04.05.2017).
- SSB. (2017). *Skogavvirkning for salg, 2016, foreløpige tall*. Hentet fra:
<https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/skogav/aar-forelopige/2017-01-23> (lest 04.05.2017).
- Statens kartverk (2013). *Produktspesifikasjon for FKB-laser*. Hentet fra:
http://sosi.geonorge.no/Produktspesifikasjoner/tidligere/fkb-laser-v20_2013-02-01.pdf (lest 12.05.2017).
- Trimble. (2017). *Trimble MX2*. Hentet fra: <http://www.trimble.com/imaging/Trimble-MX2.aspx> (lest 05.05.2017).

Viken skog. (2017). *Veivedlikehold*. Hentet fra:

<http://www.viken.skog.no/tjenester/vegplanlegging/veivedlikehold> (lest 13.05.2017).

Wehr, A. & Lohr, U. (1999). *Airborne laser scanning -*

an introduction and overview. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*,
54 (2-3): 68-82.

Wormdal, S. (1998). *Skogsbilveger*. Landbruksforlaget.

Yu, Y., Guan, H. & Ji, Z. (2015). *Automated Detection of Urban Road Manhole Covers*

Using Mobile Laser Scanning Data. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation
Systems*, Vol. 16, no. 6.



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway