



Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på et 5-årig masterløp innen skogfag. Studiene startet med en bachelorgrad ved Høgskolen i Hedmark avdeling Evenstad med påfølgende 2 år mastergrad ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet på Ås.

Prosjektet startet etter et møte med Jan Bjerketvedt, førsteamanuensis ved INA (Institutt for Naturforvaltning) på NMBU og forsker ved Skog og Landskap, om muligheten for en masteroppgave innen temaet skogsbilveg.

Jeg vil først og fremst rette en stor takk til min veileder Jan Bjerketvedt som ikke har mistet troen på meg og hjulpet meg videre frem mot målet. Hvert veiledningsmøte har motivert meg, og gitt meg ny glød og iver for dette teamet. Bjerketvedt var også til stor hjelp under databearbeidingen og utarbeidelsene med resultatene. Her skal det også rettes en stor takk til Roman Bryzgalov, prosjektleder ved Visimind AB i Sverige. Han jobber med bearbeiding av laser data til daglig, og har hjulpet meg med innføring av laser data i GIS. Under feltarbeidet til prosjektet fikk jeg gleden av å jobbe med Andreas Saxi Jensen så vel som Jan Bjerketvedt. Jensen var på den tiden geomatikk-student ved NMBU, og var med i prosjektet for å måle senterlinjen på skogsbilvegen ved landmålingsutstyr. Takk til Rolf Knoph ved Blinken A.S. for at vi fikk låne dette utstyret. Til slutt vil jeg rette en stor takk til Jon Anders Krokann og min søster Ingunn Holden for korrekturlesing av oppgaven.

Ås, mai 2015

Geir Bjørnar Holden

Sammendrag

Denne oppgaven undersøker om flybåren laserskanning (LiDAR) kan registrere horisontal og vertikal kurvatur, og om håndholdt GPS kan registrere horisontal kurvatur for å klassifisere en skogsbilveg.

Registreringer ble gjort på en skogsbilveg i Lardal kommune i Vestfold, med mange kurver og stigningsvariasjon som tilfredsstilte kravet til undersøkelsen.

For å kunne gi et sammenligningsgrunnlag for nøyaktigheten til vegdata fra LiDAR og GPS, ble det utført målinger med Real Time Kinematics (RTK) som gir en høy posisjonerings nøyaktighet. RTK-målingene ble utført hvor vegens senterlinje forandret seg i horisontal eller vertikal retning. GPS-registreringene ble registrert med håndholdte GPS'er ved å kjøre bil på vegen i tre ulike kjørehastigheter; 10km/t, 20 km/t og 30km/t. Dataene ble hentet inn i GIS-programvare for analyser.

Resultatene viste at LiDAR hadde en horisontalnøyaktighet på 0,82 meter og en vertikalnøyaktighet på 0,08 cm. Stigningsnøyaktighet til LiDAR var 1,24 %, og var mer nøyaktig enn tradisjonelle stigningsmålere som viste en stigningsnøyaktighet på 1,80 % med Suunto og 2,54 % med Oti-logic. LiDAR vil være en god metode for å identifisere stigningen og kurvaturene til en skogsbilveg.

Håndholdt GPS' viste en nøyaktighet på 1,3 – 2,4 meter i horisontal kurvaturer, og er mindre nøyaktig enn LiDAR. Målinger utført med håndholdt GPS er ikke nøyaktige nok til å registrere kurvaturene til en skogsbilveg.

Nøkkelord: LiDAR, laserdata, skogsbilveg, Real Time Kinematics, GIS, GPS

Abstract

This paper investigates whether LiDAR (Light Detection And Ranging) can register horizontal and vertical curvature, and if a handheld GPS can detect horizontal curvature to classify forest road.

The registrations were carried out on a forest road in Lardal, in Vestfold County, with lots of curves and gradient variation to satisfy the thesis.

In order to provide a basis for comparison for the accuracy of the road data from LiDAR and GPS, measurements with Real Time Kinematics (RTK) were carried out to provide a high positioning accuracy. The RTK measurements were carried out where the road center line changed in horizontal or vertical direction. The GPS registrations were recorded with different handheld GPS-devices by driving a car along the road at 3 different driving speeds; 10km/h, 20 km/h and 30km/h. The data were transferred to GIS software for analysis.

The results showed that LiDAR had a horizontal accuracy of 0.82 meters and a vertical accuracy of 0.08 cm. Gradient accuracy of LiDAR was 1.24%, and was more accurate than traditional gradient meters which showed a gradient accuracy of 1.80% with Suunto and 2.54% with Oti-logic. The study shows that LiDAR is a good method to identify the gradient and curvatures of a forest road.

Handheld GPS 'displayed a precision of 1.3 - 2.4 meters in horizontal curvatures, and is less accurate than LiDAR. Measurements carried out with handheld GPS are not accurate enough to register curvatures of a forest road.

Keywords: *LiDAR, laser data, forest roads, Real Time Kinematics, GIS, GPS*

Innhold

1. Innledning.....	8
1.1 Tidligere studier.....	10
1.2 Problemstilling.....	11
2. Materiale og metode.....	12
2.1 Studieområde.....	12
2.2 Datainnsamling.....	14
2.2.1 LiDAR-data.....	14
2.2.2 RTK.....	14
2.2.3 Stigning.....	15
2.2.4 GPS.....	15
2.3 Utstyr.....	16
2.3.1 Referanse-utstyr.....	16
2.3.2 Stigningsmålere.....	17
2.3.3 GPS.....	17
2.3.4 Annet utstyr.....	18
2.4 Databehandling.....	18
2.4.1 Digitalisert senterlinje.....	19
2.4.2 Stigning.....	19
2.4.3 GPS XY-avstand fra RTK.....	20
3. Resultater.....	21
3.1 Horisontale og vertikale forskjeller på LiDAR- og RTK-data.....	21

3.2 Stigning	21
3.3 GPS XY-avstand fra RTK	22
4. Diskusjon	24
4.1 Feilkilder ved feltmålingene	24
4.1.1 RTK-måling.....	24
4.1.2 Stigningsmål	25
4.1.3 GPS registrering.....	26
4.2 Resultater	27
4.2.1 Horisontale og vertikale forskjeller på LiDAR- og RTK-data	27
4.2.2 Stigning	28
4.2.3 GPS XY-avstand fra RTK	28
4.3 Muligheter med LiDAR	29
4.3.1 Beregning av kurvatur	29
4.3.2 Eksisterende vegkart	31
4.3.3 Andre registreringer av vegen.....	31
4.3.4 Veien videre.....	32
5. Konklusjon	33
6. Litteratur.....	34

1. Innledning

Tømmertransporten ut av skogen og inn på industritomt er avhengig av god infrastruktur, ikke bare på det offentlige vegnettet, men også ute i skogen. Desto bedre infrastrukturen i skogen er, desto letter blir det å få ut tømmeret. Skogsbilveger frigjør mer areal til tømmerdrift og senker driftskostnadene på hogst av tømmer som står langt fra veg. Skogsbilveger reduserer terrengtransporten av tømmer på lassbærer, og kan derfor også være en miljømessig vinn-vinn situasjon ved at det blir mindre og kortere transport ute i bestandene. Vegnettet reduserer også kostnaden ved flytting av personell, maskiner og materiell i tillegg til administrasjonskostnadene ved tømmerdrift (Wormdal 1998). Hovedformålet til en skogsbilveg er å få transportert tømmer ut av skogen og inn på det offentlige vegnettet, men det kan også være andre grupper med interesser som bruker vegen slik som jordbruk, rekreasjon, jegere og fiskere, hytteeiere og lignende.

Landbruks- og matdepartementet uttaler i Landbruksmeldingen fra 2011 at en større andel av skogarealet skal tas i aktiv bruk, og at «For å kunne utnytte disse ressursene, er det behov for modernisering og videre utvikling av dagens veinett» (Meld. St. 9 (2011-2012) 2011). Regjeringen vil derfor at skogeiere skal bygge og vedlikeholde skogsbilveger og gjøre en større andel av skogarealet tilgjengelig for utnyttelse. Den norske regjeringen la i 2013 frem en tiltakspakke for skognæringa på 750 millioner kroner, hvorav 60 millioner kroner skulle tildeles til opprustning av skogsbilveger og kaier (Landbruks- og matdepartementet 2013b). Det ser dermed ut til at regjeringen har tro på skognæringa fremover og at de vil satse mer på skog og grønn energi. Vi vil se mer aktivitet i skogen med skogsbilvegbygging i årene som kommer med denne tiltakspakken.

Det eksisterende skogsbilvegnettet i Norge er svært gammel, så mye som 75 % av vegene er eldre enn 25 år (Bjerketvedt 2014). Dette forteller at mange av disse vegene har et stort behov for vedlikehold og opprustning for fortsatt å kunne holde kravene til vegnormalene (Landbruks- og matdepartementet 2013a). Derfor er det stor interesse for å kunne kartlegge dagens skogsbilveger og i hvilken stand de er i for å kartlegge disse behovene. Landbruksdirektoratet har startet prosjektet «Skogsvei og Kart» med Kartverket med formål om å lage et veiarkiv over alle skogsbilveger i Norge der man kan registrere egenskapene og tilstanden til vegene. Behovet for et veiarkiv er at det skal sikre at forvaltningen har korrekt oversikt over alle skogsbilveger og at dette finnes i et hensiktsmessig format. Dette vil også føre til oppdatert veg- og kartinformasjon er tilgjengelig for alle (Landbruksdirektoratet 2015).

Viken Skog søkte i 2011 Fylkesmannen i Akershus om del-finansiering til en stilling som veiplanlegger i Akershus, men fikk tilbakemelding på søknaden om at de ønsket mer informasjon om tilstanden til det eksisterende vegnettet før de kunne bevilge finansiering av en slik stilling (Mjøsen Skog & Viken Skog 2012). Tall fra Statens landbruksforvaltning viser at det i 2014 ble bygd 72 km ny skogsbilveg i Norge, mens ombyggingen av eksisterende skogsbilveger var 368 km (Statens landbruksforvaltning 2015). Dette viser at det har vært større fokus på å ruste opp dagens veger fremfor å bygge ny. Det er forventet at ombyggingskostnadene til skogsbilvegene kommer til å bli like høye som nybygging de neste årene. Det gir grunneier en økonomisk fordel å kunne bruke skogfond på bygging av skogsbilveger. Skogfond gir en skattefordel for skogeier ved at man kun beskattes 15 % av beløpet som investeres i skogen om det har vært innom skogfondskontoen (Statens landbruksforvaltning 2013).

Flybåren laserskanning, LiDAR (Light Detection And Ranging) har de siste 2 tiårene utviklet seg til å gi nøyaktige og presise kartdata over store områder. Metoden går ut på å montere en kraftig laser på et helikopter eller småfly som sender flere tusen infrarøde laserstråler ned mot bakken i sekundet (Risbøl et al. 2006). Disse strålene reflekteres av vegetasjon eller terrengoverflaten, og sender signalet tilbake til mottakeren i flyet. Posisjonen til hvert enkelt refleksjonspunkt beregnes til x, y og z-data som gjør det mulig å lage digitale terrengmodeller eller vegetasjonsmodeller for videre bruk. Posisjonen til hvert enkelt punkt blir beregnet på bakgrunn av at flyets posisjon og orientering i rommet er kjent, skannevinkelen og tiden det tok fra laserstrålen ble sendt ut fra skanneren til det returnerte til sensoren (Risbøl et al. 2011). Nøyaktigheten på høydedata fra laserskanning oppfylder kravet til DTM10 (digital terrengmodell med høyder i et rutenett på 10 x 10 meter) som er bedre enn 10 centimeter for harde og veldefinerte terrengoverflater (Kartverket 2013b).

Formålet med denne undersøkelsen er å undersøke hvordan vi kan effektivisere standard registreringen av de geometriske egenskapene til en skogsbilveg, med spesielt fokus på egenskaper som stigning og kurvatur. Dette kan være positivt med tanke på å redusere tidsforbruket av feltmålinger av skogsbilvegen. Dagens registreringsmetode er manuelle feltbefaringer med GPS, stigningsmålere og måleband for å registrere geometriske egenskaper, men også tilstanden og kvaliteten til vegen. Dette kan være svært tidskrevende og dyrt.

1.1 Tidligere studier

I 2010 undersøkte en gruppe forskere nøyaktigheten av skogsvegegenskaper ved bruk av LiDAR med en punkttetthet på 6 punkter pr m² i California, USA (White et al. 2010). De sammenlignet verdiene av terrengmodellen fra LiDAR med feltregistreringer. Resultatene viste at senterlinjen (midtlinjen på vegen som ligger midt i kjørefeltet) fra LiDAR viste en posisjonsnøyaktighet på 1,5 meter i sammenligning med feltregistreringene. Stigningsprosenten på vegen i LiDAR hadde en gjennomsnittlig absolutt differanse på 0,53 % fra feltregistreringene, og veglengden var innenfor 0,2 % av feltregistreringene. De konkluderte med at LiDAR kan gi nøyaktige vegdata for å støtte opp skogforvaltningsaktiviteter.

Craven (2011) skrev i sin masteroppgave på Oregon State University om bruken av LiDAR til å måle eksisterende skogsbilveger. Ved å sammenlikne senterlinjen til LiDAR og feltmålinger, fant han at den vertikale kvadratrotfeilen (RMSE) var på 0,28 meter og den horisontale RMSE på 1,21 meter. Beregnet helning fra LiDAR-data var innenfor 1 % av helningen målt ute i felt. I tillegg ble den horisontale kurveradiusen estimert til å ha en gjennomsnittlig absolutt feil på 3,17 meter. Craven konkluderte til slutt med at flybåren LiDAR var en akseptabel måte for å måle en skogsbilveg, men at metoden måtte brukes med forsiktighet i målinger av horisontal kurveradius i skarpe kurver.

Azizi et al. (2013) utviklet et tre-steps modell for å klassifisere skogsbilveger gjennom å utnytte LiDAR-data. Det første steget gikk ut på å lage digitale terrengmodeller (DTM) og digitale overflatemodeller (DSM) med 1 meter oppløsning i GIS. For denne interpolasjonen ble RMSE 0,19 meter, dette beskriver avviket mellom modellen og originaldataene. Det andre steget klassifiserte LiDAR-data inn i to klasser, vei og ikke-vei. I det siste trinnet ble vegskuldrene identifisert noe som gjort utarbeidelsen av den digitaliserte senterlinjen enklere. Resultatene viste at 95 % av den digitaliserte senterlinjen havnet innenfor 1,3 meter av feltmålingene av senterlinjen. Forskergruppen konkluderer til slutt med at denne modellen kan gi grundige og nøyaktige vegdata som kan brukes til skogforvaltningen.

1.2 Problemstilling

Denne studien skal undersøke om dataene fra laserskanning og GPS er nøyaktige nok til å kunne registrere egenskapsparameterne stigning og kurvatur. Problemstillingen er:

- Kan laserdata brukes til å registrere horisontal kurvatur på vegen?
- Kan laserdata brukes til å registrere vertikal stigning på vegen?
- Er målinger fra håndholdte GPS'er nøyaktige nok til å registrere horisontal kurvatur for en skogsbilveg klassifisering?

2. Materiale og metode

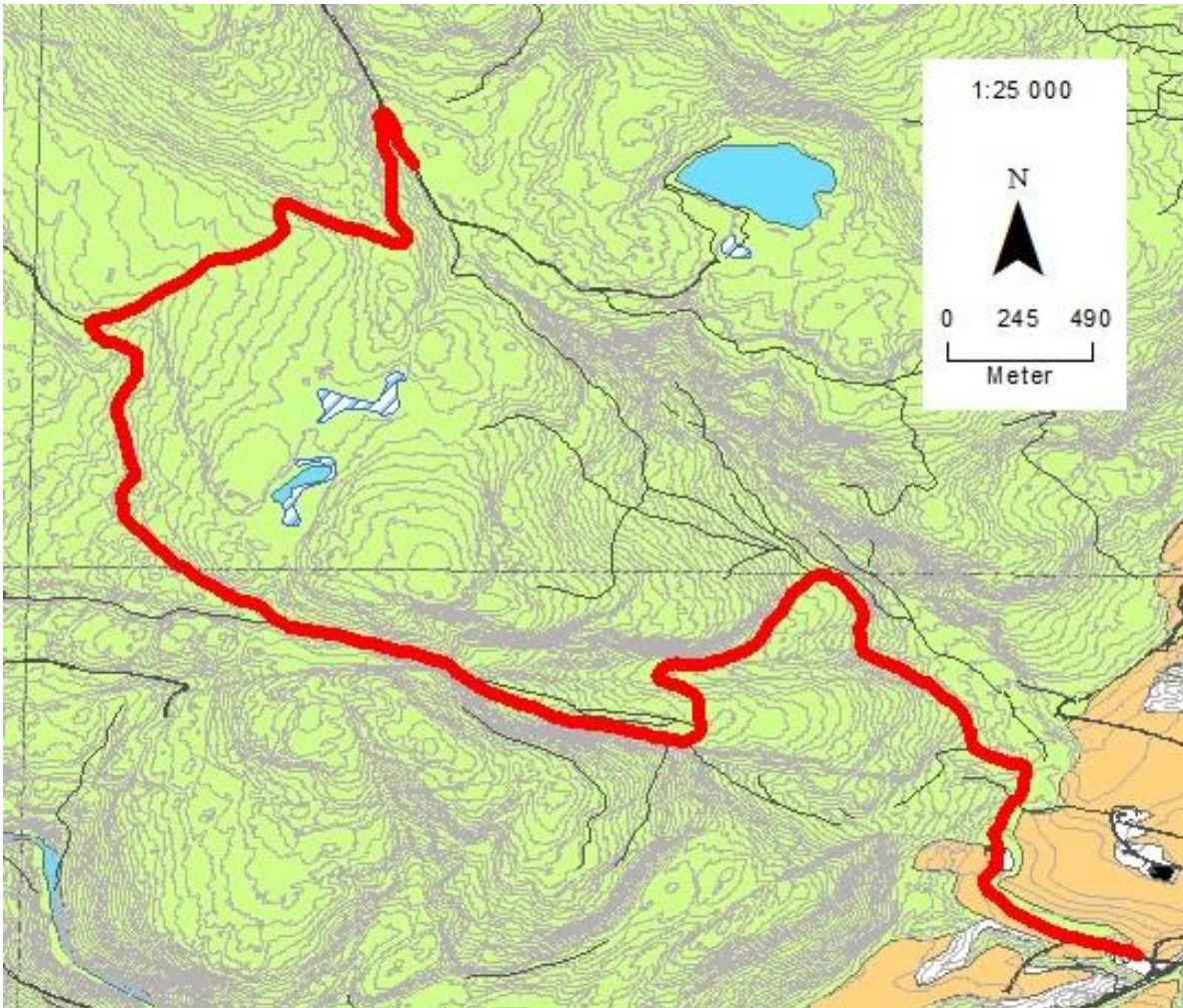
2.1 Studieområde

Denne studien ble foretatt på en skogsbilveg tilknyttet fylkesveg 40 i Lardal kommune i Vestfold fylke (figur 1 og 2). Den aktuelle skogsbilvegen ble plukket ut for å tilfredsstille kravet om en veg med mange kurver og mye stigningsvariasjon. Skogsbilvegen var drøye 5 kilometer lang og hadde en total stigning på nesten 300 meter. Skogen som sto langs ve-gen var av varierende størrelse.



Figur 1.: Kart over Sør-Norge. Studieområdet er innenfor den røde firkanten i Vestfold fylke (Kartverket 2015b).

På enkelte strekninger sto det eldre skog nært veggen med greiner som strakte seg ut og over deler av vegbanen. I nedre del av veggen var det også strekninger med bergvegger på den ene siden av vegbanen og bratte skråninger på den andre siden. Veggen hadde stigninger i den nedre delen, mens det flatet ut den siste kilometeren.



Figur 2.: Studieområdet i Lardal kommune med den registrerte veggen merket i rødt.

2.2 Datainnsamling

2.2.1 LiDAR-data

LiDAR data ble hentet ut fra områdetakster utført med flybåren laserskanning i 2009. Dette var en taksering av Lardal kommune utført av Blom Geomatics AS for Statens Kartverk Skien og var en del av prosjektet Vestfold 2009 (Blom Geomatics AS 2009). Skanningen ble utført med en punkttetthet på 10 punkter pr m² (tabell 1) og en forventet vertikal nøyaktighet på 0,1 meter.

Tabell 1.: Detaljerte skannerparametere for laserprosjekt Lardal fra 2009 (Blom Geomatics AS 2009).

	Lardal 2009
Prosjekt kode	BNO097010
Laserskanner	Optech ALTM05SEN180 og ALTM04SEN161
Flydato	21.-25. mai 2009
Flyhøyde (AGL)	690 m
Flyhastighet	80 m/s
Repetisjonsfrekvens	125 000 Hz
Speil frekvens	70 Hz
Punktetthet	10,00 /m ²

2.2.2 RTK

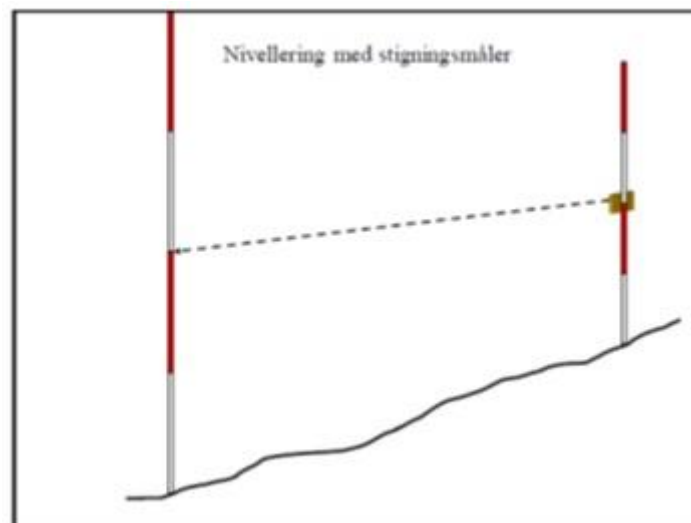
For å kunne gi et sammenligningsgrunnlag for nøyaktigheten til vegdata fra LiDAR og GPS, ble vegen registrert med landmålingsutstyr for å kunne gi en nøyaktig posisjon på vegen. Til dette ble det brukt Real Time Kinematics (RTK) målinger. RTK er en måleteknikk som bruker korreksjonsdata fra en posisjonstjeneste eller basestasjon til å korrigere satellittsignalene for å gi en nøyaktig posisjonsbestemmelse (Kartverket 2015c). Posisjonstjenesten som ble benyttet var CPOS fra Kartverket. CPOS er en tjeneste hvor brukeren mottar korreksjonsdata i sanntid via oppringt tilkobling, GSM, eller internett via GPRS. På denne måten kan en bruker av dette systemet beregne nøyaktig posisjon til en hver tid ned til centimeternivå. Nøyaktigheten av CPOS-tjenesten er bedre enn 5 centimeter horisontalt og 8 centimeter vertikalt i 95 % av tiden den brukes (Kartverket 2015a).

RTK målingene ble utført på punkter hvor vegens senterlinje forandret seg i horisontal eller vertikal retning. Klassifiseringen av nøyaktigheten på RTK-punktene ble satt til tre datakvalitetsnivåer. Den første kategorien var «fixed-posisjon» hvor satellittmottakeren hadde kontakt med 2 eller flere

basestasjoner førte til en punktnøyaktighet på 0,02 meter. Den andre kategorien var «float-posisjon» hvor satellittmottakeren hadde kontakt med bare 1 basestasjon og en punktnøyaktighet på 1,00 meter. Den siste kategorien «standalone» hadde ikke satellittmottakeren kontakt med noen av basestasjonene men registrerte et punkt basert direkte fra satellitt. Under bearbeidningen av datasettene ble bare fixed-posisjon bruksom sammenligningsgrunnlag til LiDAR- og GPS-datasettene siden den kategorien hadde best horisontal punktnøyaktighet med 0,02 meter.

2.2.3 Stigning

På enkelte steder ble det registrert stigning mellom to punkter med håndholdte stigningsmålere. Disse målingene ble utført på tilfeldige steder på vegen mellom to punkter som også ble målt med RTK. På hver av de to punktene ble det satt opp en stikkstang til hjelp for å måle nøyaktig stigning mellom punktene (figur 3). Stigningsmåleren ble siktet fra den ene stikkstangen mot samme høyde på den andre og stigningen ble målt i prosent. Dette ga et sammenligningsgrunnlag for nøyaktigheten på stigningsmålerne, som er vanlig utstyr ved tradisjonell oppmåling, sammenlignet med RTK- og LiDAR-datasettet.



Figur 3.: Stigningsmåling med stikkstenger (Bjerketvedt 2012).

2.2.4 GPS

I tillegg ble det benyttet 5 ulike typer håndholdte GPS'er for oppmåling av vegens senterlinje. Disse dataene ble innhentet da registreringsarbeidet startet høsten 2013, hvor GPS'ene ble kjørt med bil i tre forskjellige kjørehastigheter; 10 km/t, 20 km/t og 30 km/t. GPS'ene ble montert fast i midten av dashbordet inne i bilen for å kunne kjøres på senterlinjen av vegen.

2.3 Utstyr

2.3.1 Referanse-utstyr

Det aktuelle referanseutstyret som ble benyttet var RTK CPOS. RTK-utstyret ble lånt av Rolf Knoph ved Blinken A.S. og inkluderte:

- TOPCON Tesla RTK
- TOPCON HiPer II antenne
- TOPCON Magnet field målebok (programvare)



Figur 4.: Topcon HiPer II antenne for GPS satellitter (Blinken a.s 2015a).



Figur 5.: Topcon Tesla RTK satellittmottaker (Blinken a.s 2015b).

Dette utstyret var montert på en målestang hvor antennen var 2 meter over bakken. Måleboken registrerte nøyaktigheten på posisjonsbestemmelsen.

2.3.2 Stigningsmålere

Stigningsmålerne er to verktøy som brukes i tradisjonell registrering av skogsbilveger. Den analoge Suunto-varianten er den vanligste, men digitale utgaver er på full fart inn i skogbruket.

- Suunto PM-5
- Opti Logic Insight 400 LH



Figur 6.: Sunnto PM-5 stigningsmåler (Suunto 2015).



Figur 7.: Opti-logic Insight 400LH rangefinder (Opti-logic 2015).

2.3.3 GPS

GPS-ene ble valgt ut til å være normale GPS'er som kan være tilgjengelig for skogbrukere. Garmins GPS'er er to enheter laget for friluft, mens Forerunner 210 er en kombinert GPS og pulsklokke. Det ble også benyttet to mobiltelefoner med hver sin app for registrering av GPS veipunkter.

- Garmin 60CSx
- Garmin Oregon 450
- Garmin Forerunner 210
- Apple iPhone 5S med iOS – Track app for lagring av data
- Samsung Galaxy S4 med Android OS – Spor app for lagring av data



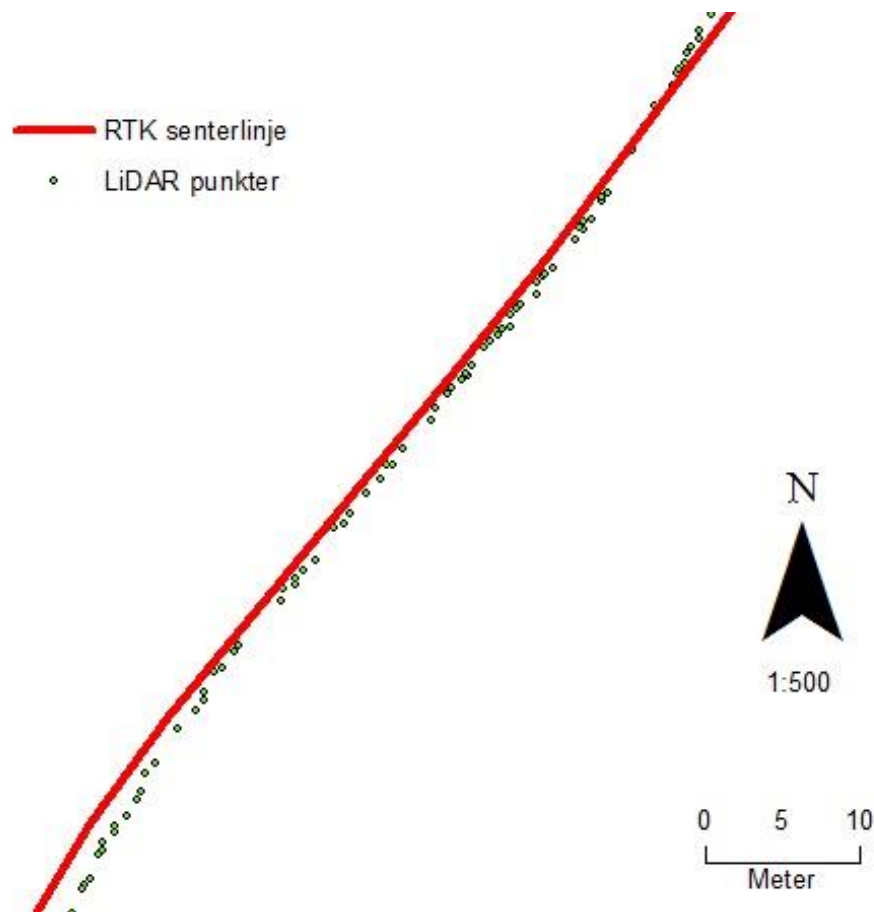
Figur 8.: Håndholdt GNSS fra Garmin som benytter GPS satellitter (Garmin Ltd. 2015a).

2.3.4 Annet utstyr

- Sprayboks
- Måleband
- Stikkstenger

2.4 Databehandling

All databehandling av datasettet fra feltmålinger og LiDAR ble utført i ArcMap (versjon 10.2.2). ArcMap er en applikasjon i programmet ArcGIS fra ESRI, som brukes til å vise de geografiske egenskapene ved ulike kart. Her kan man legge flere kart over hverandre og gjøre analyser av kartene og lage nye kart. I denne studien ble ArcMap benyttet til å lage en senterlinje av vegen på bakgrunn av LiDAR- og RTK-punktene. Senterlinjen på bakgrunn av RTK-punktene ble brukt til å sammenligne den horisontale avstanden til LiDAR-punktene for å finne nøyaktigheten på punktene til LiDAR (figur 9). RTK punktene ble i denne oppgaven brukt som en slags fasit for hvordan vegen i virkeligheten ser ut geografisk sett.



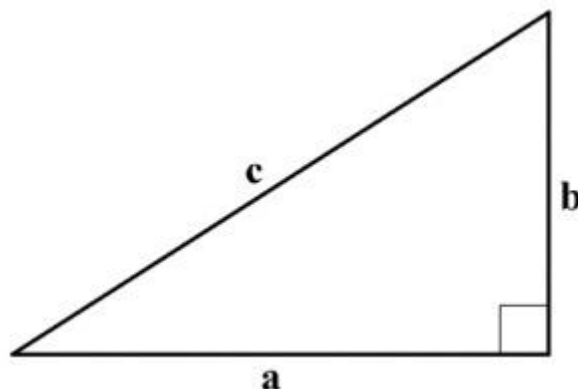
Figur 9.: LiDAR-punktenees posisjon i forhold til den digitaliserte senterlinjen fra RTK-data.

2.4.1 Digitalisert senterlinje

For å identifisere en senterlinje av vegen på bakgrunn av LiDAR data, ble det i første omgang benyttet ortofoto (Norgebilder.no 2014) som en visuell referanse for å danne en omtrentlig korridor av vegen. Videre ble Thiessen-polygon metoden benyttet for å generere polygoner rundt hvert punkt og beregne arealet av hver enkelt polygon på vegen. Polygoner som var innenfor den omtrentlige formen på vegen og som hadde et areal mindre enn $0,1 \text{ m}^2$ ble valgt ut. Det ble gjort en antagelse om at tettheten av punktene var høy i vegbanen og lav på vegskulderen, og at dette var proporsjonalt med arealet til Thiessen-polygon for hvert punkt. Disse polygonene ble klassifisert som overflaten av vegen. Deretter ble det hentet ut LiDAR-punkter som lå innenfor polygonene og hele vegen ble slått sammen til ett polygon. Dette ble videre konvertert til en digital terrengmodell som ble brukt til å generere en senterlinje for vegen ved å strekke en midtlinje mellom ytterkantene av vegbanen. For å sammenligne høyden på LiDAR-dataene mot RTK punktene, ble Z-verdiene av terrengmodellen hentet ut ved å legge RTK-punktene over terrengmodellen og registrere høydeverdiene. Alle høydeverdiene ble konvertert til absolutt verdi for å gjøre gjennomsnittsberegningene riktige.

2.4.2 Stigning

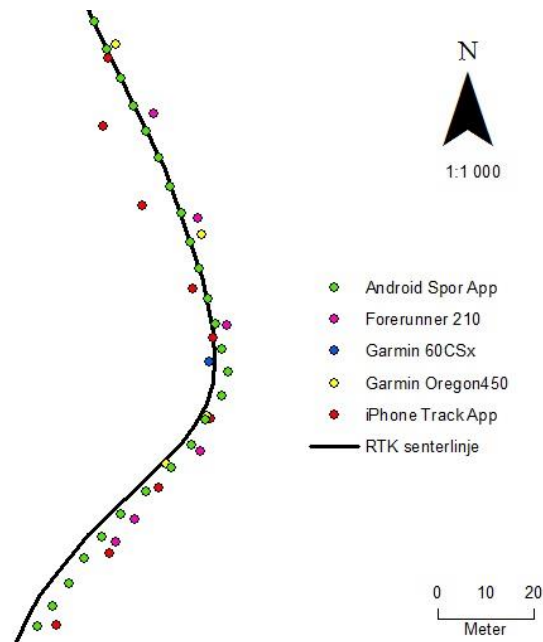
Stigningen mellom to registrerte punkter, ble kalkulert ved å dividere differansen i høyde (Z) på avstanden mellom de to punktene. Avstanden mellom to punkter ble beregnet ved å bruke pythagoras' læresetning $a^2 + b^2 = c^2$ Som sier at en rettvinklet trekant er summen av kvadratene av katetenes lengder er lik kvadratet av hypotenusens lengde (Matematikk.org 2015). Dette ble kalkulert ved at differansen i punktenes X-koordinater (a) og Y-koordinater (b) ble brukt som katetene for å beregne avstanden (c) mellom de to punktene (figur 10). Stigningsprosenten mellom utvalgte punkter ble sammenlignet med verdiene fra stigningsmålerne for å finne en differanse i verdiene.



Figur 10.: Rettvinklet trekant.

2.4.3 GPS XY-avstand fra RTK

Under registreringen med GPS, ble det registrert store mengder xy-data fra hver GPS. Dette datasettet ble lagt inn i ArcMap sammen med RTK-målingene for å sammenligne avstanden mellom punktene (figur 11). I motsetning til de manuelle beregningene utført for å finne stigning mellom punktene, ble dette utført i programvaren ArcMap. For denne analysen ble funksjonen «Near» benyttet, som ligger i «Arc Toolbox» under «Analysis Tools» og «Proximity». Hvert GPS-punkt ble sammenlignet med linjen fra RTK data som gav avstanden fra GPS punktene til denne linjen. En analyse av resultatene fra sammenligningen ble utført for å finne den gjennomsnittlige avstanden fra hver GPS til RTK-dataene under de tre ulike kjørehastighetene 10km/t, 20km/t og 30km/t.



Figur 11.: Avstanden fra GPS punktene til hver GPS ga uttrykk for hvor nøyaktige GPS-dataene var.

3. Resultater

3.1 Horisontale og vertikale forskjeller på LiDAR- og RTK-data

Differanseverdien av horisontal og vertikal posisjon mellom LiDAR- og RTK- dataene ble beregnet for å vise gjennomsnittlig avstand samt standardavviket SD og RMSE. Den horisontale avstanden mellom LiDAR- og RTK- dataene var i gjennomsnitt 0,82 meter med standardavvik på 0,86 meter og en RMSE på 0,19 (tabell 2). Forskjellen i høyde mellom LiDAR- og RTK- dataene, basert på 383 RTK punkter, var i gjennomsnitt 0,08 meter med standardavvik på 0,06 meter og en RMSE på 0,10.

Tabell 2.: Resultater av forskjellen i horisontal og vertikal posisjon mellom LiDAR- og RTK-data.

Retning	Gj.snitt avstand (m)	Standardavvik (m)	RMSE (m)
Horisontal	0,82	0,86	1,19
Vertikal	0,08	0,06	0,10

3.2 Stigning

Det ble utført målinger av stigning på vegen ved 7 steder med jevn stigning for å sammenligne nøyaktigheten til stigningsmålerne mot RTK-målingene. Den største differansen hadde stigningsmåleren fra Suunto med 4,6 % mellom RTK-punkene 58 og 59 (tabell 3). Den laveste differansen hadde også Suunto med 0,2 % mellom punkt 40 og 41. Den gjennomsnittlige differansen var minst hos Suunto med 1,80 % og størst hos Opti-logic med 2,54 %. Alle differanseverdiene er oppført med absolutt verdi.

Tabell 3.: Sammenligning over differansen i stigningsprosenten registrert med to ulike stigningsmålere og RTK ved 7 strekninger på vegen.

Stigning						
Mellom punkter	RTK-målinger	Opti-logic	Differanse	Suunto	Differanse	
5 og 6	7,3 %	4,0 %	3,3 %	5,0 %	2,3 %	
10 og 11	9,5 %	6,8 %	2,7 %	9,0 %	0,5 %	
26 og 27	10,7 %	7,1 %	3,6 %	10,0 %	0,7 %	
40 og 41	17,7 %	13,4 %	4,3 %	17,5 %	0,2 %	
57 og 58	10,4 %	9,1 %	1,3 %	13,0 %	2,6 %	
58 og 59	8,4 %	9,4 %	1,0 %	13,0 %	4,6 %	
67 og 69	17,7 %	16,1 %	1,6 %	16,0 %	1,7 %	
Gj.snitt			2,54 %	Gj.snitt		1,80 %

Det ble også utført en sammenligning av stigningen til punktene i LiDAR-datasettet med stigningen på RTK-punktene. Av de 7 stigningsstrekningene som ble registrert, var den største stigningsdifferansen mellom punktene 58 og 59 på 4,4 %, mens den minste differansen var 0,2 % mellom punktene 26 og 27 (tabell 4). Den gjennomsnittlige stigningsdifferansen var på 1,24 %.

Tabell 4.: Sammenligning over differansen i stigningsprosenten til LiDAR- og RTK-data ved de samme 7 strekningene på vegen som ved stigningsmålerne.

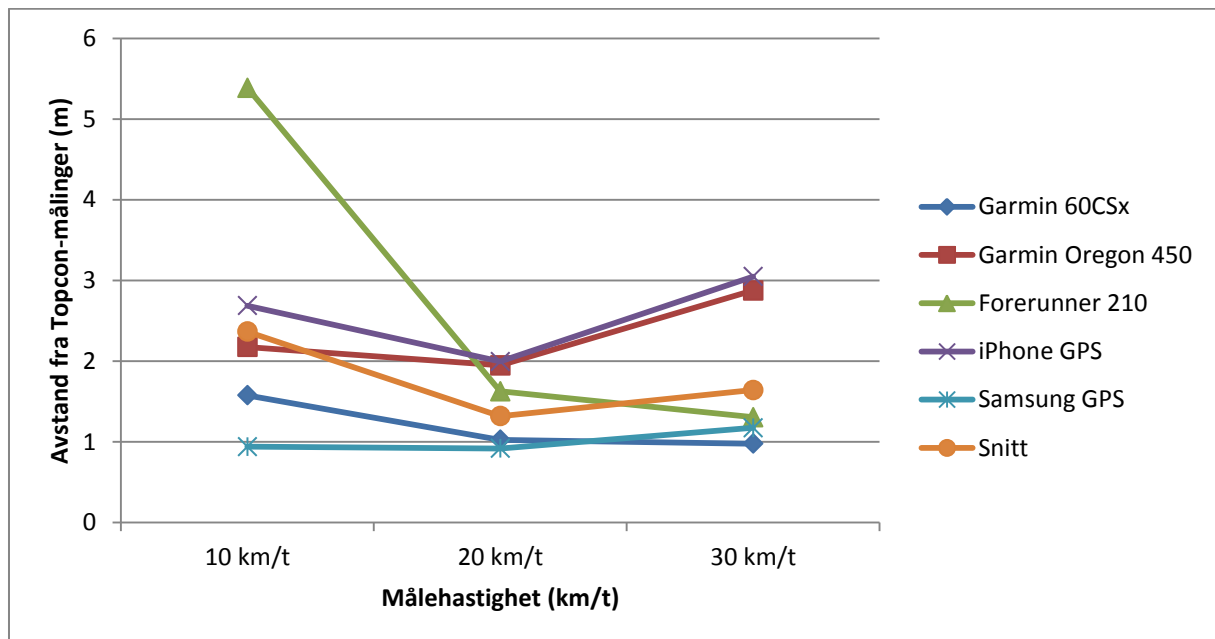
Stigning			
Mellom punkter	RTK-målinger	LiDAR	Differanse
5 og 6	7,3 %	7,7 %	0,4 %
10 og 11	9,5 %	9,8 %	0,3 %
26 og 27	10,7 %	10,4 %	0,3 %
40 og 41	17,7 %	16,4 %	1,3 %
57 og 58	10,4 %	12,1 %	1,7 %
58 og 59	8,4 %	12,8 %	4,4 %
67 og 69	17,7 %	17,5 %	0,2 %
Gj.snitt		1,24 %	

3.3 GPS XY-avstand fra RTK

De fem GPS'ene viste ulike avstander fra feltmålingene gjort med RTK-målinger.

Gjennomsnittsavstanden fra GPS punktene til RTK-målingene var 2,37 meter ved kjørehastighet 10km/t, 1,32 meter ved 20km/t og 1,63 meter ved 30km/t (figur 12). Den høyeste horisontale avstanden fra RTK-målingene ble målt med Garmin Forerunner 210 med en gjennomsnittlig avstand

på 5,39 meter ved en kjørehastighet på 10 km/t. GPS'en til mobiltelefonen Samsung Galaxy S4 hadde den laveste avstanden fra RTK-målingene gjennomsnittlig avstand på 0,92 meter ved en kjørehastighet på 20km/t. Garmin Oregon 450, og GPS-applikasjonene til mobiltelefonene iPhone 5 og Samsung Galaxy S4 hadde laveste avstand fra RTK målingene på kjørehastigheten 20km/t. Garmin 60SCx og pulsklokken Forerunner 210 hadde laveste på den høyeste kjørehastigheten på 30km/t.



Figur 12.: De fem forskjellige GPS'enes horisontale avstand fra RTK-målingen i meter.

Antall satellitter GPS'ene hadde kontakt med, var minst ved laveste kjørehastighet på 10km/t med et gjennomsnitt på 8,68 satellitter. Ved kjørehastigheten på 20 km/t var det i gjennomsnitt kontakt med 9,81 satellitter, mens den høyeste kontakten med satellitter ble registrert med 10,20 ved den høyeste kjørehastigheten på 30km/t. Den geometriske styrken på signalene (PDOP) fra GPS satellittene var minst ved laveste kjørehastighet på 10km/t med en verdi på 1,92. Ved kjørehastighet på 20 km/t var verdien av PDOP på 1,94, mens den var høyeste verdien av PDOP var 2,01 ved den høyeste kjørehastigheten på 30km/t.

4. Diskusjon

4.1 Feilkilder ved feltmålingene

4.1.1 RTK-måling

Under registreringsarbeidet med RTK ute i felt var målet å få gode og nøyaktige data for å kunne bruke de som sammenligningsgrunn for andre datasett. Grunnen til at enkelte av punktene ikke ble registrert med fixed-posisjon var vegetasjon og bergvegger nær vegen som ga forstyrrelser i form av signal kvalitet og signal styrke fra satellittene. Trær som stod tett inntil vegen og/eller dekket over vegen gjorde det vanskelig for mottakeren på RTK-stativet å få kontakt med nok satellitter til å få en fixed-posisjon. I tillegg spiller breddegrad en viktig rolle innenfor satellittgeometri for å få gode resultater ved målinger. Norges nordlige beliggenhet på 55° gjør at satellittene ikke er rett opp på himmelen, men lengre sør. Dette påvirker nøyaktigheten i horisontalplanet som gir noe dårligere nøyaktighet på signalene enn de landene lengre sør (Norsk Romsenter 2013). Målinger med dårlig kontakt med få satellitter ble registrert som float-posisjon med lavere nøyaktighet, og ble derfor tatt ut av datasettet for videre bearbeiding av RTK-datasettet som skulle brukes som en fasit på vegen. God satellittgeometri måles i en verdi som kalles point dilution of precision (PDOP), og er en indikasjon for geometrien på de tilgjengelige satellittene. En høy PDOP-verdi angir dårlig satellittgeometri, mens en lav PDOP angir en god satellittgeometri. En PDOP-verdi på under 4,0 er definert til å vise en god satellittgeometri (Statens Kartverk 2009). Verdiene av PDOP i dette studiet ble kalkulert til å ha en gjennomsnittsverdi på 2,0 som sier at vi hadde en god satellittgeometri under registreringsarbeidet.

Global Navigation Satellite System (GNSS) er en fellesbetegnelse på satellittnavigasjonssystemer, og bruker satellitter fra det amerikanske GPS, det russiske GLONASS, det kinesiske BeiDou og den europeiske Galileo (Kartverket 2013a). CPOS brukes for å forbedre nøyaktigheten til disse systemene, i fremtiden vil håndholdt GPS kunne ta inn alle typer satellitter, som vil føre til bedre satellittgeometri og flere kontakter med satellitt for GPS og RTK.

For å måle et geografisk punkt må en ha signaler fra satellitter. Disse signalene er baserte på tid som igjen gir avstander. Signalet som sendes ut fra satellitten til mottaker, blir tidsstemplet som en ren tidsberegning i form av kodemåling, eller antall bølger i en fasemåling (Saxi Jensen 2014). Den geografiske plasseringen på en GPS-posisjon hadde vært veldig nøyaktig om signalet hadde gått rett fra satellitten til mottakerantennen, men møter isteden en av de største feilkildene innen GNSS-teknologien kalt multipath, eller flerveisinterferens. Dette oppstår når signalet fra satellitten går via

andre objekter før det treffer mottakerantennen. Signalet får dermed en lengre veg fra satellitten til antennen før det blir registrert og fører til unøyaktige posisjoneringer. Disse objektene kan være trær, bakken, bergvegger eller andre objekter som står nært mottakerantennen. Dette betyr at man kan få enkelte tvilsomme RTK-data selv om man har en fixed-posisjon.

Punktene som ble registrert med RTK ute i felt, ble registrert ved en skjønnsmessig vurdering av hvor vegen forandret seg i horisontal og vertikal retning. Dette ble utført fremfor å registrere punkter i intervall på en gitt avstand. I kurver vil det være store retningsforskjeller som bør registreres hyppigere enn på lange strekninger hvor vegen hverken svinger til siden eller har en stigning/helning.

Egnetheten av å registrere eksisterende skogsbilvegers egenskapsparametere med RTK-målinger er begrenset selv om man kan få svært nøyaktige målinger. Med store mengder veg som skal måles vil man måtte bruke mye tid på å registrere punkter på vegen. Vegen som ble registrert i dette studiet var over 5 km lang og registreringen ble gjort over to dager. Mye av denne tiden ble brukt til å vente på at antennen skulle få gode nok signaler fra satellittene til å få en fixed-posisjon. RTK-målinger ute i skogen er også lite egnet grunnet den høye graden av signalforstyrrende objekter som står nært der målingene skal utføres. Signalene fra satellittene til antennen vil for eksempel bli forstyrret av høye trær og greiner som ødelegger sikten mot himmelen. Det vil også bli vanskelig for antennen å få kontakt med mange nok satellitter. Kvaliteten på RTK-målingene vil være best i åpne landskaper, noe ikke skogen kan sies å være. Kontrollmålinger av nybygde skogsbilveger kan ha stor nøyaktighet da det skal ryddes for trær og vegetasjon i en bredde på minst tre meter utenfor grøftekant, skjæringstopp og fyllingsfot (Landbruks- og matdepartementet 2013a).

4.1.2 Stigningsmål

Det ble utført målinger på stigning mellom to RTK-målte punkter på enkelte steder på vegen med vanlige stigningsmålere for å kunne sammenligne stigningsmålerens nøyaktighet. For denne målingen ble det satt opp to stikkstenger på to RTK-målte punkter og målt stigningen mellom dem. Disse stikkstengene var merket med to ulike farger i 50 centimeter intervaller, og var totalt 2 meter høye. Ved måling med stigningsmålerne måtte man passe på at man målte til det samme punktet på stikkstangen man målte til som med punktet på stikkstangen man målte fra. Hvis man målte på stigningen mot feil punkt, kunne dette føre til brattere/slakere stigning som igjen førte til høyere/lavere stigning mellom punktene. Stikkstengene bør også stå loddrett når man skal måle, for å unngå for høy eller for lav stigningsprosent.

4.1.3 GPS registrering

Håndholdte GPS'er har ikke like stor nøyaktighet sammenlignet med landmålingsutstyr som RTK-mottakere. Mens RTK opererer med nøyaktighet på centimeternivå, har tradisjonelle håndholdte GPS'er en gjennomsnittlig nøyaktighet på 15 meter (Garmin Ltd. 2015b). Dette gjør at registreringer av veger utført med håndholdte GPS'er bare bør sees på som veiledende og ikke nøyaktige nok. Nøyaktigheten hadde sannsynligvis vært bedre om GPS'ene hadde hatt kontakt med flere satellitter eller stått stille ved registreringen.

GPS'ene ble plassert på dashbordet med en vertikalhøyde på 100cm over vegen, og en horisontal lengde på 70cm fra venstre til høyre. Det hadde vært fornuftig å trekke fra høydeforskjellen ved sammenligning av høydene fra RTK, men denne sammenligningen ble ikke utført. Avstanden i horisontal retning ble ikke trukket fra resultatene i XY-data fra hver GPS.

Under registreringen ble det kjørt i tre forskjellige kjørehastigheter med bil, men disse kjørehastighetene bør bare sees på som veiledende hastigheter da det ble vanskelig å holde jevn hastighet under hele registreringen. På den høyeste hastigheten på 30km/t ble det utfordrende å holde bilen på senterlinjen i enkelte kurvaturer. Registreringene i disse kurvene kan derfor sees på som svært unøyaktige. Da vegen ble registrert, ble startet GPS'ene registreringen ved første tur med laveste kjørehastighet på 10km/t. I enden av vegen ble bilen snudd og kjørt i retur retning for å kunne starte på en ny registrering med en ny kjørehastighet. Sporloggen på GPS'en ble ikke lagret for hver kjørehastighet som ble avsluttet og dermed registrerte GPS'en vegen i returretningen også.

Registreringsarbeidet av GPS-data ble utført under tre forskjellige kjørehastigheter for å se om man oppnådde ulike resultater. Det var forventet at nøyaktigheten ville bli redusert med økende kjørehastighet. Det viste seg at samtidig som kjørehastigheten ble økt, så økte også antall tilgjengelige satellitter for GPS'ene og dermed også nøyaktigheten på registreringene (PDOP). Dette gjør at sammenhengen mellom kjørehastighet og målenøyaktighet har blitt påvirket av andre faktorer.

4.2 Resultater

Alle digitale data som ble registrert under feltarbeidet og LiDAR-dataene ble hentet inn i GIS programvaren ArcMap for videre databearbeiding og analyser. Tallberegninger ble hentet inn som regneark i programmet Excel.

4.2.1 Horisontale og vertikale forskjeller på LiDAR- og RTK-data

For å kunne bruke RTK-dataene til å sammenligne forskjellene i datasettene fra LiDAR og GPS, ble RTK-dataene kontrollert for å fjerne punkter med høye HRMS-verdier. Under RTK-målingen ute i felt, ble det målt 423 punkter på vegen. 402 av disse punktene hadde fixed posisjon med en horisontal nøyaktighet på under 0,022 meter. 20 av de registrerte punktene hadde float posisjon med en HRMS på over 0,292 meter, mens ett av punktene ble registrert som en standalone med en HRMS på 1,844 meter.

Den vertikale differansen mellom LiDAR- og RTK-data ble utført ved å måle høydeverdiene på RTK-punktene i terrengmodellen utformet av LiDAR-data. Dette ble gjort for å få et bedre sammenligningsgrunnlag for stigning i forhold til om høydeverdiene hadde blitt hentet ut fra punktene på den digitaliserte senterlinjen fra LiDAR. Høydedifferansen mellom LiDAR- og RTK-data hadde både positive og negative verdier, men ble omgjort til absolutt verdi med lik fortegn for å kunne sammenligne differansen i høyde mer nøyaktig. Det ble fjernet 9 RTK-punkter fra sammenligningen da differansen i høyde mellom LiDAR- og RTK var urealistiske høye. Grenseverdien på punktene ble satt til 0,5 meter på bakgrunn av den vertikale nøyaktigheten til LiDAR-data. Den store forskjellen i høydeverdiene kan forklares med mulige forstyrrelser på satellittsignalene under registreringsarbeidet.

Den horisontale differansen mellom LiDAR- og RTK-data ble utført ved å bruke funksjonen «Near» i ArcMap for å beregne avstanden mellom RTK-punktene og den digitaliserte senterlinjen på bakgrunn av LiDAR. Resultatene viser en relativ høy differanse i gjennomsnittlig avstand mellom LiDAR- og RTK-data. Av de 402 RTK-punktene som hadde fixed-posisjon, var det 48 punkter som hadde en horisontal differanse på over 2,0 meter mellom LiDAR- og RTK-data. De fleste av disse punktene lå i horisontalkurvatur. Den digitaliserte senterlinjen på bakgrunn av LiDAR-data har en annen form på kurvene enn punktene fra RTK-data. Senterlinjen fra LiDAR ble utformet ved hjelp av ortofoto som kan ha påvirket utformingen og lokaliseringen av senterlinjen. I enkelte kurver på vegen var det en møteplass på utsiden av kurven som gjorde identifiseringen av senterlinjen på vegen vanskelig. Det hadde kanskje vært mer nøyaktig og sammenlignet den horisontale differansen mellom LiDAR- og

RTK-data i to kategorier; på rettstrekninger og i kurver. Dette hadde gitt et bedre resultat på den horisontale nøyaktigheten på LiDAR-data.

4.2.2 Stigning

Stigningen mellom to punkter ble beregnet ved å bruke avstanden og høydeforskjellen mellom punktene. Høydeverdiene på GPS- og RTK-data ble registrert ute i felt, mens høydeverdiene på RTK-punktene i terrengmodellen utformet av LiDAR-data ble benyttet for å representere høydeverdiene til LiDAR. Den gjennomsnittlige differansen i stigningsprosenten registrert med stigningsmåleren fra Suunto og RTK-punktene var lavere enn hva som ble oppgitt i brukermanualen til stigningsmåleren. Der oppgir Suunto at den har en nøyaktighet på $\pm 2\%$ (Suunto 2014).

Den høyeste differansen i stigningsprosent fra en stigningsmåler og RTK-punktene, ble registrert med stigningsmåleren fra Opti-logic. Den hadde nesten dobbelt så stor differanse som målingene utført med Suunto. Dette kan forklares med at stigningsmåleren fra Opti-logic egentlig er en avstandsmåler og derfor har mye lavere nøyaktighet på stigningsprosent enn stigningsmåleren fra Suunto. Stigningsmåleren til Opti-logic oppgir i sin brukermanual at den har en stigningsnøyaktighet på 2% (Opti-logic 2008).

Differanse i stigningsprosenten mellom RTK og LiDAR var lavere enn den gjennomsnittlige differansen til begge stigningsmålerne. Dette tilsier at man kan måle stigningen på en skogsbilveg mer nøyaktig enn ved bruk av tradisjonelle stigningsmålere. Strekningen mellom RTK-punktene 57 og 58 viste en betydelig høyere stigningsprosent enn de andre målte punktene, og kan igjen forklares med forstyrrelser ved disse punktene under RTK-registreringen. Beregninger av stigning på bakgrunn av LiDAR-data er derfor tilfredsstillende for å kunne klassifisere for vegen oppfyller kravene til vegnormalen.

4.2.3 GPS XY-avstand fra RTK

Det var stor variasjon mellom GPS'enes horisontale avstand mellom RTK-punktene. I gjennomsnitt lå GPS'ene på mellom 1,5 – 2,5 meters avstand fra RTK-punktene med den laveste avstanden på den mellomste kjørehastigheten. Det var forventet at forskjell i avstanden mellom kjørehastigheten skulle være lineær, men det viste seg at den laveste horisontale avstanden til RTK-punktene ble registrert ved den midterste kjørehastigheten.

GPS og pulsklokken Forerunner 210 hadde en uvanlig høy verdi ved den laveste kjørehastigheten som kan forklares med at datagrunnlaget er for lite. Det er mulig at Forerunner 210 benyttet et annet

satellitssystem enn de andre GPS'en. For å lage et bedre sammenligningsgrunnlag, burde GPS'ene vært satt opp til å ha likt registreringsintervall, enten i avstand eller i tid. Dette hadde gitt en lik registreringsfrekvens for alle GPS'ene. Det er også knyttet en viss usikkerhet til nedlastede mobilapplikasjoner og i hvilken grad de aksepterer GPS-registreringene, eller utfører en form av kvalitetsregistrering som mer profesjonelle programmer gjør.

Den ene håndholdte GPS'en hadde begrenset mulighet for lagring av vegpunkter i trackloggen til 500 punkter, og med en registreringstid på 1 punkt hvert femte sekund var det mange vegpunkter som ikke ble i databehandlingen. Dette vises tydelig i figur 12 hvor denne GPS'en hadde høyest horisontale avstand fra RTK-punktene. Når trackloggen på GPS'en lagres, registrerer den kun 500 punkter og tynner ut datasettet ved å fjerne punkter som har tilnærmet lik verdi. Dette medfører mindre nøyaktighet på datasettet sammenlignet med andre GPS'er som lagrer alle punktene som er registrert i trackloggen. Siden denne GPS'en hadde en mindre punkttetthet enn noen av de andre, blir dermed avstandsverdien til RTK-linjen høyere enn det kunne ha blitt sammenlignet med hvis trackloggen hadde inneholdt alle de registrerte punktene.

4.3 Muligheter med LiDAR

4.3.1 Beregning av kurvatur

Det ble utført enkle utregninger på kurvatur i GIS. En metode var å bruke tre punkter som lå i kurven med koordinatene (x_1, y_1) , (x_2, y_2) og (x_3, y_3) for å beregne radiusen på kurven (Imran et al. 2006).

$$\Delta x = \frac{d(a^2 + c^2) - c(b^2 + d^2)}{2(ad - bc)}$$

$$\Delta y = \frac{a(b^2 + d^2) - b(a^2 + c^2)}{2(ad - bc)}$$

$$x_0 = x_1 - \Delta x$$

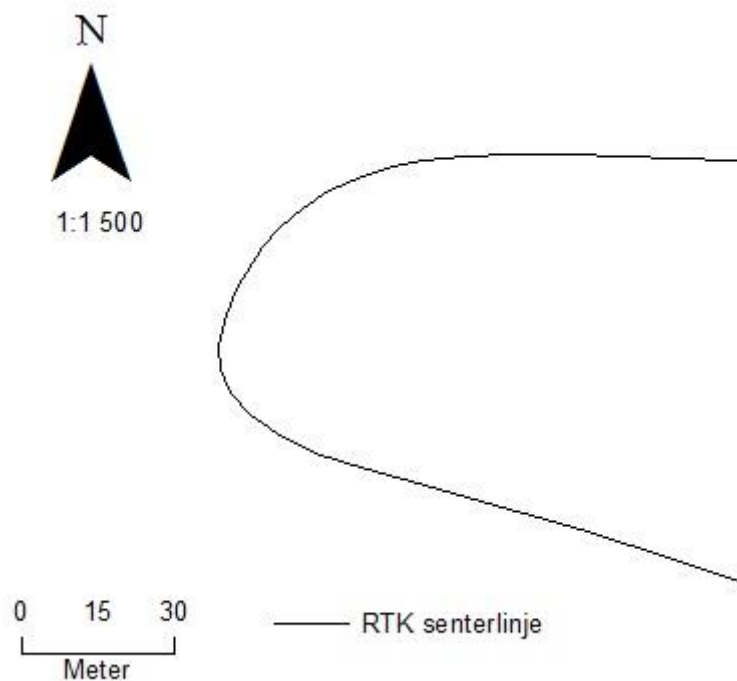
$$y_0 = y_1 - \Delta y$$

$$r = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}$$

Hvor $a = x_2 - x_1$; $b = x_3 - x_1$; $c = y_2 - y_1$; $d = y_3 - y_1$.

Ved å kalkulere radius og lengde i GIS og Excel, kan man redusere tidsforbruket på feltmålinger ute på en skogsbilveg. Dette er mulig ved å bruke en senterlinje basert på vegdata for å beregne radiusen, lengden på kurven i grader og stigningen i kurven. Disse resultatene kan brukes for å se om vegen holder standarden til vegnormalene og se på kravet til vegbredde i den aktuelle kurvaturen.

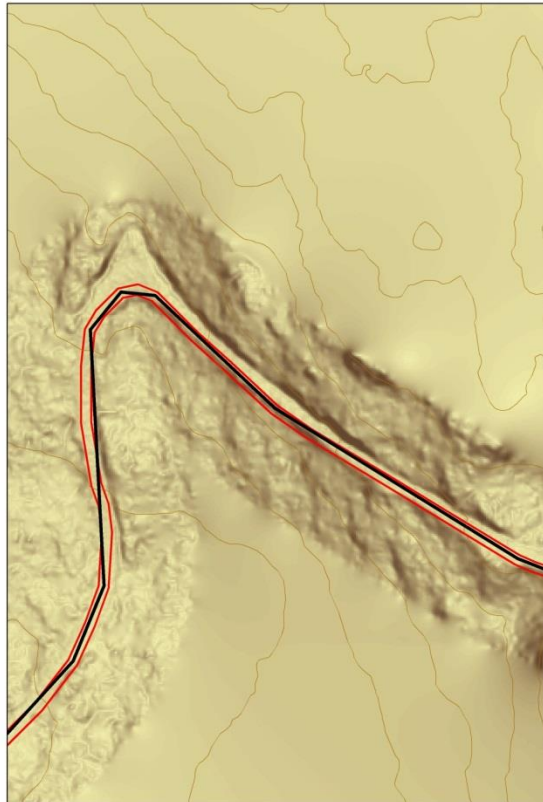
Måten kurveradius måles ved dagens registreringer er noe varierende. Enkelte bruker en «bakvendt rundstikkingsmetode» for å måle eksisterende avsett i kurven og bruker dette i tabellverket for rundstikkingsmetoden for å se hvilken radius det tilsvarer. En av utfordringene i denne sammenheng er at mange skogsbilveger ikke er helt i tråd med vegnormalene, og har varierende kurveradius i kurven (figur 13).



Figur 13.: Varierende kurveradius på senterlinje fra RTK-data.

4.3.2 Eksisterende vegkart

Kartdata i Norge er generelt gode, men veg-informasjonen fra for eksempel N50 og FKB kan være for unøyaktige for den type detaljanalyser som skogbruket etterspør i forbindelse med vegstandardregistreringer (figur 14). Disse veglinjene ble identifisert ved fototolkning av flybilder og veger i skogsområder kan være noe unøyaktig registrert.



Figur 14.: Sammenligning av vegdekkekant fra 1 : 5 000 kart fra FBK (rødt) og veiens senterlinje fra N50 (svart) fra 1 : 50 000 kart på terrenngmodellen fra LiDAR (Bjerketvedt 2014).

4.3.3 Andre registreringer av vegen

Med høy punkttetthet på LiDAR-data burde det være mulig å kunne registrere vegbredde, helning på skjæringskråninger og fyllingskråninger, grøftebredde og grøftedybde. Her vil imidlertid skogforholdene ved vegen (kronedekning/bakketreff) ha stor betydning for resultatet av analysen. Med tilstrekkelig skannetetthet kan man også tenke seg å registrere jevnhet eller kjørespordannelse på vegoverflaten. Et annet bruksområde er behov for vegkantrydding. Dette vil imidlertid forandre seg langt oftere enn hva et optimistisk anslag av LiDAR-skanningsintervaller tilsier og vil derfor være mindre aktuelt.

4.3.4 Veien videre

For fremtidige studier kan det være interessant å måle bredden på vegen ute i felt for å se om dette kan identifiseres med LiDAR-data. På eldre veger uten vedlikehold vil det komme opp vegetasjon i grøften og i skråningen mot vegskulderen som medfører at det kan bli vanskelig å skille mellom veg og grøft. På enkelte steder kan grøften ikke være dyp nok til å klassifiseres som grøft, noe som gjør arbeidet med å identifisere bredden på vegen med LiDAR-data hvis punktettheten er høy nok. På veger der vegskulder er tydelig, kan det tenkes at bredden på vegen kan identifiseres ved bruk av LiDAR-data. Spørsmålet er om det er tilfredsstillende nok laserpunkter som treffer kanten av vegen med en punktetthet på 10 pkt/m², eller om man kan identifisere kanten ved en punktetthet på 5 pkt/m². Dette avhenger av skogsforholdene langs vegen. Ved utforming av digitale terrengmodeller på bakgrunn av LiDAR i tett skog, er en tilfredsstillende punktetthet på 5 pkt/m² da en økning av punktetthet ikke vil ha noen stor effekt (Kartverket 2013b). I tett skog vil punktene med lite lysåpninger vil punktene uansett fordele seg innenfor disse områdene.

5. Konklusjon

Formålet med denne oppgaven var å se på om LiDAR-data og data fra håndholdt GPS kan brukes til å registrere egenskapsparameterne stigning og kurvatur på en skogsbilveg nøyaktige nok til skogbruksformål.

Resultatene fra denne studien viser at LiDAR vil være en god metode for å identifisere stigningen og kurvaturene til en skogsbilveg. LiDAR har en stigningsnøyaktighet på 1,24 % og er mer nøyaktig enn tradisjonelle stigningsmålere som viste en stigningsnøyaktighet på 1,80 % med Suunto, og 2,54 % med Oti-logic. LiDAR gir også en nøyaktig horisontal og vertikal referanse, med en horisontalnøyaktighet på 0,82 meter og en vertikalnøyaktighet på 0,08 meter.

Håndholdt GPS er ikke nøyaktige nok til å registrere kurvaturene til en skogsbilveg. GPS'enes horisontalnøyaktighet ligger på 2 meter og er over dobbelt så høyt som horisontalnøyaktigheten til LiDAR.

6. Litteratur

Azizi, Z., Najafi, A. & Sadeghian, S. (2013). Forest Road Detection Using LiDAR Data. *Journal of Forestry Research*, 25 (4): 975-980.

Bjerketvedt, J. (2012). *Forelesningsnotat SKOG240*. Upublisert manuskript.

Bjerketvedt, J. (2014). *Forest Road Standard Registration*. Forest Engineering Conference 2014, Gerardmer, Frankrike.

Blinken a.s. (2015a). *Topcon HiPer V*. Tilgjengelig fra:

http://www.blinken.no/images/topcon/Gps/HiPer_V_stor.jpg (lest 2015, Mai 12).

Blinken a.s. (2015b). *Topcon Tesla RTK*. Tilgjengelig fra:

http://www.blinken.no/images/topcon/Gps/teslartk_stor.jpg (lest 2015, Mai 12).

Blom Geomatics AS. (2009). *LIDAR Rapport Vestfold 2009 LARDAL*. Oslo.

Craven, M. B. (2011). *Assessment of Airborne Light Detection and Ranging (LiDAR) for use in Common Forest Engineering Geomatic Applications*. Master's thesis: Oregon State University. 134 s.

Garmin Ltd. (2015a). *Garmin Oregon 450*. Tilgjengelig fra: <https://buy.garmin.com/en-US/US/on-the-trail/discontinued/oregon-450/prod63349.html#gallery-dialog> (lest 2015, Mai 12).

Garmin Ltd. (2015b). *What is GPS*. Tilgjengelig fra: <http://www8.garmin.com/aboutGPS/> (lest 2015, April 12).

Imran, M., Hassan, Y. & Patterson, D. (2006). GPS-GIS Procedure for Tracking Vehicle Path on Horizontal Alignments. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 21. 383-394 s.

Kartverket. (2013a). *GPS og GNSS*. Tilgjengelig fra: <http://kartverket.no/Kunnskap/Posisjon-og-navigasjon/GPS-og-GNSS/> (lest 2015, Mai 13).

Kartverket. (2013b). *Testprosjekt laserskanning - Hvordan bestilt punkttetthet og skannetidspunkt påvirker antall bakketreff og nøyaktighet*. Hamar. 62 s.

Kartverket. (2015a). *CPOS: Kartverket*. Tilgjengelig fra: <http://kartverket.no/Posisjonstjenester/CPOS/> (lest 2015, April 29).

Kartverket. (2015b). *Norgeskart.no*: Kartverket. Tilgjengelig fra:

<http://www.norgeskart.no/#6/268274/6618220> (lest 2015, Mai 12).

Kartverket. (2015c). *RTK*: Kartverket. Tilgjengelig fra:

<http://kartverket.no/Systemsider/Ordbok/R/RTK/> (lest 2015, April 25).

Landbruks- og matdepartementet. (2013a). *Normaler for landbruksveier med byggebeskrivelse*. Oslo: Landbruks- og matdepartementet.

Landbruks- og matdepartementet. (2013b). *Skog og tre: Nye tiltak for skogsektoren*. Tilgjengelig fra:

http://www.regjeringen.no/nb/dep/lmd/aktuelt/nyheter/2013/april-13/tre-nye-tiltak-for-skogsektoren.html?id=725474&WT.tsrc=epost&WT.mc_id=epostvarsel_lmd (lest 2013, April 29).

Landbruksdirektoratet. (2015). *Prosjektet 'Skogsvei og kart'*. Tilgjengelig fra:

<https://www.slf.dep.no/no/eiendom-og-skog/infrastruktur/skogsveier-og-kart#om-prosjektet--skogsvei-og-kart-> (lest 2015, April 22).

Matematikk.org. (2015). *Pytagoras' læresetning*. Tilgjengelig fra:

<https://www.matematikk.org/artikkel.html?tid=63132> (lest 2015, Mai 14).

Meld. St. 9 (2011-2012). (2011). Landbruks- og matpolitikken: Velkommen til bords. Oslo: Landbruks- og matdepartementet.

Mjøsen Skog & Viken Skog. (2012). Registrering av skogsbilveier. Lillehammer: Mjøsen Skog.

Norgebilder.no. (2014). Tilgjengelig fra:

<http://www.norgebilder.no/?zoom=10&lat=6579162.9375&lon=551861.79688&srs=EPSG:32632> (lest 2014, Oktober 20).

Norsk Romsenter. (2013). Vurdering av sårbarhet ved bruk av globale satellittnavigasjonssystemer i kritisk infrastruktur. Oslo: NRS-Rapport 2013/3.

Opti-logic. (2008). *Operating Instructions for the InSight Laser Rangefinder/Hypsometer*: Opti-logic corporation. Tilgjengelig fra:

<http://geog.sfsu.edu/sites/sites7.sfsu.edu/geog/files/OptiLogicInstructionsPrint600.pdf> (lest 2014, November 14).

- Opti-logic. (2015). *Opti-logic Insight 400LH*. Tilgjengelig fra: <http://www.opti-logic.com/400-LH-Horizontal-Angle-Height-3ft-Accuracy-p/00415b.htm> (lest 2015, Mai 12).
- Risbøl, O., Gjertsen, A. K. & Skare, K. (2006). Flybåren laserskanning og kulturminner i skog. Et pilotprosjekt. *Rapport Miljøovervåking 03/06*. 32 s.
- Risbøl, O., Amundsen, H. R., Bollandsås, O. M. & Nesbakken, A. (2011). Flybåren laserskanning til bruk i forskning og til forvaltning av kulturminner og kulturmiljøer. Dokumentasjon og overvåking av kulturminner. *NIKU Rapport 45*. 40 s.
- Saxi Jensen, A. (2014). *Precise Point Positioning under degraderte skogsforhold*. Masteroppgave. Ås: Norges Miljø- og Biovitenskaplige Universitet (NMBU), Institutt for matematiske realfag og teknologi. 126 s.
- Statens Kartverk. (2009). Satellittbasert posisjonsbestemmelse. Hønefoss: Geodesidivisjonen. 60 s.
- Statens landbruksforvaltning. (2013). *Skogfond for bærekraftig skogbruk*. Tilgjengelig fra: <https://www.slf.dep.no/no/eiendom-og-skog/skogbruk/skogfond;jsessionid=243B0FDB841824499A07C6EB871B45A7#hva-betyr-skattefordelen> (lest 2013, April 28).
- Statens landbruksforvaltning. (2015). *Skogsveier*. Tilgjengelig fra: <https://www.slf.dep.no/no/statistikk/skogbruk/skogsveier/skogsveier> (lest 2015, April 29).
- Suunto. (2014). *Suunto Precision Instruments User Guide*: Suunto Oy. Tilgjengelig fra: http://ns.suunto.com/Manuals/PM-5/Userguides/SUUNTO_PrecisionInstruments_QG_NO.pdf (lest 2014, November 14).
- Suunto. (2015). *Suunto PM-5*. Tilgjengelig fra: http://www.suunto.com/Global/ProductImages/Suunto-PM-5-360-PC/SS011096010_Suunto_PM-5_360PC-v2.png (lest 2015, Mai 12).
- White, R. A., Dietterick, B. C., Mastin, T. & Strohmman, R. (2010). Forest Roads Mapped Using LiDAR in Steep Forested Terrain. *Remote Sense*, 2: 1120-1141.
- Wormdal, S. (1998). *Skogsbilveger*: Landbruksforlaget.



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no