



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Kvalitetsundersøkelse av laserdata til digitale terrengmodeller

Christine Hyllestad

Geomatikk

Gabriel Skjærpe

Geomatikk

Tor Christian Storhaug

Geomatikk

Forord

Med denne oppgaven avslutter vi vår mastergrad i Geomatikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Vi ønsker å takke vår hovedveileder Ivar Maalen-Johansen for god veiledning og støtte. I tillegg vil vi også rette en stor takk til våre gode veiledere i Statens vegvesen, Trond Arve Haakonsen og Asbjørn Eilefsen. Vi vil også takke Leica Geosystems AS for lån av utstyr og god rådgivning. Videre vil vi takke Powel AS for lån av Gemini programpakke til utførelse av masteroppgaven. Til slutt vil vi takke TerraTec AS som har stått for datainnsamlingen.

Christine Hyllestad

Ås, 12.05.2017

Tor Christian Storhaug

Ås, 12.05.2017

Gabriel Skjærpe

Ås, 12.05.2017

Sammendrag

Denne masteroppgaven har som hovedmål å undersøke nøyaktighet, fullstendighet og anvendelighet til data fanget med forskjellige metoder. Disse metodene er laserskanning fra bil, fly og helikopter. Basert på innsamlede data ønsker vi å si noe om forskjeller ved ulike metoder og underlag. Laserdata har blitt samlet fra fire delområder langs Valebøveien utenfor Skien i Telemark. I disse områdene har vi utført en fasitmåling med totalstasjon som skal sammenlignes med resultatene fra skanningene. Hvert av de fire områdene har varierende typer av vegetasjon og terreng som vil påvirke laserens evne til å treffe terrenget.

Vi har sammenlignet disse metodene med å se på høydeavviket mellom fasitmålingene og den genererte TIN-modellen for hver metode. Deretter har vi gjort en statistisk analyse og beregnet gjennomsnitt, standardavvik og RMS som vi har sammenlignet mot nøyaktighetskrav i standardene FKB-Laser og Geodatakvalitet. Vi har også gjort en undersøkelse på hvor fullstendig og dekkende modellene er i hvert av de fire områdene for hver metode.

Resultatene vi har fått i oppgaven viser oss at bil og helikopter leverer de mest nøyaktige laserdataene. Fly får noe dårligere nøyaktighet, men det er fortsatt gode resultater. Bil, fly og helikopter har hver sine fordeler og ulemper. Bil egner seg godt nærme veien, men punktettheten blir dårligere når avstanden fra skanneren blir lenger. Fly dekker større områder raskere enn både helikopter og bil, men har lavere punktetthet ettersom avstanden ned til terrenget skaper et større fotavtrykk.

Fullstendighetsanalysen vi utførte gir oss en prosentandel av det totale arealet innenfor hvert område som modellene har dekket. Helikopter dekker store deler av områdene, og har ikke store problemer med å treffe terrenget i middels og høy vegetasjon. Bil får heldekkende modeller innenfor rekkevidden sin. Fly har problemer med spredt, middels og høy vegetasjon. Dette gjør at modellen ikke dekker området like godt som de to andre metodene.

Resultatene våre viser også at tidspunkt for skanning har noe å si for nøyaktigheten. Flyskanningen ble utført på sommerhalvåret, mens bil og helikopter skanningen ble utført på høsten. Dette har preget resultatet, siden det er tettere vegetasjon på sommeren enn på høsten.

Abstract

The main goal of the thesis is to investigate accuracy, completeness and usability using different methods of laser scanning. These methods are laser scanning from car, airplane and helicopter. Based on the collected data, we will investigate the difference between varying types of vegetation and terrain. Laser data has been collected from four sub areas along the Valebøveien outside of Skien in Telemark. In these areas, we have done measurements with total station, which will be compared with the results from the scanning. Each of the four areas have varying types of vegetation and terrain which will affect the laser's ability to reach the terrain surface.

These methods are compared by looking at height deviation between measurements and the generated TIN-model. Further we did a statistical analysis and calculated mean, standard deviation and RMS. These results are then compared to accuracy requirements in the standards FKB-laser and Geodatakvalitet.

The results we have received in the thesis shows that car and helicopter delivers the most precise laser data. Aircraft get slightly worse accuracy, but the results are still satisfying. Car, airplane and helicopter each have their advantages and disadvantages. Car is well suited close to the road, but the point density gets worse further away from the scanner. Airborne laser scanning covers larger areas faster than helicopter and car, but has lower point density since the distance down to the terrain creates a larger footprint.

The completeness analysis we performed is giving us a percentage of what the models have covered. Helicopter covers large parts of the areas, and medium and high vegetation doesn't affect the accuracy of the generated model. Car produces solid models within the range limit of the laser. The Airplane has problems with scattered, medium and high vegetation. This will affect the model to the extent that it does not cover the area as well as the other two methods.

Our results show that time of the year affects the accuracy. Aircraft scanning was performed in the summer, while car and helicopter scan was performed out in the fall. This has affected the result, since the summer months consists of closer vegetation than in the fall.

Innhold

1	Innledning.....	6
1.1	Om oss	6
1.2	Bakgrunn for oppgaven	6
1.3	Problemstilling.....	7
1.4	Forventninger til nøyaktighet	8
1.5	Samarbeidsbedrifter.....	9
2	Teori og bakgrunns litteratur	10
2.1	Laserskanningskonseptet	10
2.2	Bilbåren laserskanning.....	12
2.3	Flybåren laserskanning	17
2.4	Helikopter skanning.....	20
3	Programvare.....	22
3.1	Gemini Terreng & Entreprenør.....	22
4	Presentasjon av området	23
4.1	Felt 1	24
4.2	Felt 2	25
4.3	Felt 3	26
4.4	Felt 4	27
5	Metode.....	29
5.1	Fasitmåling.....	29
5.2	Tilrettelegging for videre analyse	33
5.3	Geometrisk kontroll.....	38
5.4	Statistikk	40
6	Resultater	44
6.1	Usikkerhet fasitmåling	44

6.2	Bil	46
6.3	Bil avgrenset av polygon.....	56
6.4	Fly.....	58
6.5	Helikopter	67
7	Diskusjon	76
7.1	Utførelse av prosjektet	76
7.2	Nøyaktighet for ulike metoder	78
7.3	Fullstendighetsanalyse	86
7.4	Teori og praksis.....	92
7.5	Kostnad	93
7.6	Anvendelighet.....	93
8	Konklusjon	95
9	Veien videre.....	96
10	Bibliografi og vedlegg	97
10.1	Referanseliste	97
10.2	Vedlegg	99
	Figurliste	100
	Tabelliste	102
	Formelliste.....	104

1 Innledning

1.1 Om oss

Vi er tre studenter med samme interesse innenfor feltet laserskanning. Opprinnelig skulle vi skrive hver vår individuelle masteroppgave med ulikt tema, men dette var før vi deltok på et møte med Statens vegvesen (SVV) der vi fikk spilt inn et veldig interessant masteroppgaveforslag.

Oppgaven vi tok på oss gikk ut på å vurdere ulike metoder for innsamling av grunnlagsdata til Digitale Terrengmodeller (DTM). Det var enighet om at denne oppgaven ville vært for stor for en enkelt student å skrive, så derfor ble vi enige om å gå sammen for å gjøre denne oppgaven i samarbeid med SVV.

Vi har delt opp oppgaven slik at hver enkelt student tar for seg en bestemt metode og skriver resultater og teori om den valgte metoden. Innsamling av data fra feltundersøkelser, diskusjon av resultater og alt utenom de spesifiserte temaene er gjort i fellesskap.

Oppdelingen er som følger:

- Tor Christian Storhaug presenterer teori og resultater om bilbåren laserskanning.
- Christine Hyllestad presenterer teori og resultater for flybåren laserskanning.
- Gabriel Skjærpe presenterer teori og resultater for laserskanning fra helikopter.

1.2 Bakgrunn for oppgaven

I nyere tid har laserskanning tatt steget fram som den nye og mest effektive metoden for å samle inn grunnlagsdata fra terrenget på. Supplert med data fra tradisjonell landmåling og GNSS (Global Navigation Satellite System) kan man lage nøyaktige digitale terrengmodeller som beskriver terrenget helt ned til den minste kul med høy nøyaktighet. Dette betyr at man kan gjøre beregninger på en god og nøyaktig terrengmodell, og redusere bruken av penger og ressurser på å dra ut og måle i terrenget. En undersøkelse av hva som egner seg best til forskjellige oppdrag vil være nyttig for oppdragsgiver og -taker.

De tre mest brukte metodene for laserskanning er bilbåren, flybåren og terrestrisk laserskanning. Hver metode har sine styrker og svakheter når man tar vegetasjonstyper og terrengformasjoner med i betraktningen. Metodene egner seg best på forskjellige områder og hver leverandør kan vise til forskjellig punktnøyaktighet. Dette har stor påvirkning på de forskjellige prosjektene som SVV drifter. Derfor er det viktig at parter som leverer geodata på oppdrag fra SVV forholder seg til de kravene som er spesifisert i standardene Geodatakvalitet, FKB-Laser v2.0 og Statens vegvesen Håndbok v770.

1.3 Problemstilling

SVV mener det er viktig med standarder for nøyaktighet når de skal bestille geodata fra ulike leverandører, og har derfor utfordret oss studenter til å se på disse kravene i Geodatakvalitet, FKB-Laser v2.0 og Statens vegvesen Håndbok v770. Deretter komme med anbefalinger om hva de burde forvente av nøyaktighet, fullstendighet og anvendelighet for laserdata fra fly, bil og helikopter slik at de har noe å referere til ved fremtidige bestillinger.

Problemstillingen for denne oppgaven vil derfor gå ut på å undersøke nøyaktighet, fullstendighet og anvendelighet for de ulike metodene bil, fly og helikopter i ulike terreng- og vegetasjonstyper.

Denne problemstillingen er ikke unik, og det har blitt gjort forskning på dette tidligere slik at vår oppgave blir en videreføring av denne forskningen. Det er heller ikke slik at resultatene fra våre undersøkelser blir endelige siden dette feltet stadig er i utvikling.

1.4 Forventninger til nøyaktighet

Statens vegvesen Håndbok v770 brukes som mal for nøyaktighetskrav til prosjekter. Tabell 1 gir en anbefaling om nøyaktighet i ulike prosjektfaser (Vegdirektoratet, 2015).

Prosjektfase	Høydegrunnlag
Oversiktsplan	FKB-DTM 10
Reguleringsplan	FKB-DTM 10, +/- 3 eller 6 cm, samt innmåling av objekter som trenger bedre nøyaktighet med landmåling
Konkurransgrunnlag	+/- 3cm eller 6cm, samt innmåling av objekter som trenger bedre nøyaktighet med landmåling
Bygging	+/- 3cm eller 6cm, samt innmåling av objekter som trenger bedre nøyaktighet med landmåling

Tabell 1: Stedfestingsnøyaktighet for terrengoverflatemodell i ulike prosjektfaser (Vegdirektoratet,2015)

Vi har i forkant av prosjektet kommet fram til egne forventninger for nøyaktighet. Våre forventninger for de ulike metodene er presentert i tabell 2.

	Bil		Fly		Helikopter	
Vegetasjon	Harde flater	Tett vegetasjon	Harde flater	Tett vegetasjon	Harde flater	Tett vegetasjon
Forventet nøyaktighet	2 cm	5-8 cm	2-3 cm	< 10 cm	2-3 cm	8-9 cm

Tabell 2: Tabell over forventet nøyaktighet

Disse forventningene er basert på både det vi har lest om sensorene og de forskjellige metodene, i tillegg til hva leverandører sier de kan levere og kravene i standardene FKB-Laser og Geodatakvalitet. Derfor håper vi at våre undersøkelser kan bekrefte at den reelle nøyaktigheten er i nærheten av våre forventninger.

1.5 Samarbeidsbedrifter

Statens vegvesen

Består av Vegdirektoratet og fem regioner som sammen har til oppgave å planlegge, bygge og holde ved like riks- og fylkesveger i Norge.

TerraTec AS

Startet opp i 2004 og har vokst seg opp til å bli en av Norges største totalleverandører av kart- og geodata.

Powel AS

Powel utvikler programvareløsninger for blant annet energiselskaper, nettselskap, kommuner og entreprenører.

Leica Geosystems AS

Norges største leverandør av måle- og maskinstyringssystemer til privat og offentlig sektor.

2 Teori og bakgrunns litteratur

2.1 Laserskanningskonseptet

Laserskanning registrerer objekter på terrenget med hjelp av avstand- og vinkelmåling. Resultatet blir en 3D digital presentasjon av området, og presentasjonen kan for eksempel være en punktsky der alle punktene har 3D koordinatsystem (x, y, z).

Målemetoder

Det er to grunnleggende metoder å måle av en 3D overflate. De to metodene er estimering av lystiden (light transit time estimation) og triangulering. Triangulering blir brukt når avstanden er mindre enn 5 meter. Siden triangulering ikke er aktuelt i denne oppgaven blir ikke denne metoden videre forklart. Estimering av lystiden går ut på at det blir sendt ut lys fra en kilde som treffer terrenget eller objekter i terrenget, og lyset blir reflektert tilbake til en lysdetektor. Dette målesystemet er kjent som time-of-flight eller LIDAR system (Light Detection and Ranging), og blir brukt for flybåren og terrestrisk laserskanning.

Time-of-flight

Det er to målemetoder i time-of-flight, pulsmåling og fasemåling. Pulsmåling måler reisetiden til korte laserpulser som sendes ut fra laserskanneren til den treffer objektet, og blir reflektert tilbake til mottakeren. Laserpulsen sin fart er kjent i ett gitt medium og er lik lysets hastighet. Når man har målt tiden fra laserpulsen blir sendt ut og reflektert tilbake kan man beregne avstanden til objektet.

$$\rho = \frac{c}{n} \times \frac{\tau}{2}$$

Formel 1: Beregne avstand. Hentet fra Vosselman & Maas, 2010, s.3

ρ = avstand

c = lysets hastighet

n = refraksjonsindeks

τ = reisetid

Fasemåling har forskjellig målemetoder, de mest brukte er amplitude modulation (AM) og frequency modulation (FM). AM bruker fase forskjellen, mens FM bruker komprimering av

fasekoder. Denne målemetoden sender ut kontinuerlige signaler med kjent bølgelengde. Intensiteten av laserstrålen blir modulert til en sinusbølge.

Laserstrålen som blir sendt ut og den reflekterte laserstrålen blir sammenlignet.

Faseforskjellen mellom de to bølgeformene gir da en tidsforsinkelse gitt ved:

$$\tau = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \times \frac{\lambda}{c}$$

Formel 2: Beregne tidsforsinkelse. Hentet fra Vosselman & Maas, 2010, s.6

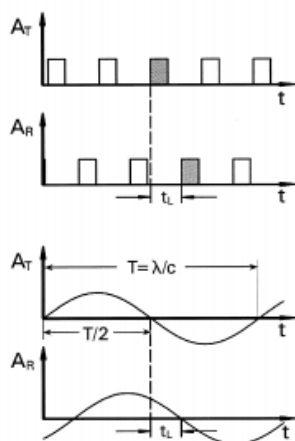
$\Delta\varphi$ = faseforskjellen

λ = bølgelengden

c = lysets hastighet

Når man finner tidsforsinkelsen kan man bruke formel 2 for å finne avstanden fra objektet.

Forskjellen mellom pulsmåling og fasemåling er vist på figur 1.



Figur 1: Pulsmåling øverst og fasemåling nederst (Wehr & Lohr 1999, s. 71)

2.2 Bilbåren laserskanning

Til denne masteroppgaven har vi fått laserpunktskyer samlet inn fra to skannere montert på bil, henholdsvis fra TerraTec og Viatech. Problemet er at disse to datasettene er helt forskjellige fra hverandre, da Viatech-datasettet kun er rådata som ikke har blitt prosessert og klassifisert slik at de ikke kan sammenlignes. Det har vært en vurderingssak om vi skulle prøve oss på Viatech-datasettet, men kom frem til at siden dette datasettet kun er rådata og ikke etter-prosessert og referert tar vi ikke disse med i analysen vår.

Bilbåren laserskanning er en metode for å samle inn romlig geografisk data på og baserer seg på samme prinsipp som flybåren laserskanning. En plattform som er montert på bilen består av en eller flere lasersensorer i kombinasjon med GNSS mottaker(e), og en IMU (Inertial Measurement Unit) som igjen består av 3 gyroer og 3 akselerometre for bestemmelse av orientering. I tillegg er det som oftest montert et par fotokameraer på denne plattformen.

Laserskanning fra bil kan oppnå en absolutt punktnøyaktighet ned på centimeternivå og det er denne nøyaktigheten vi skal teste i vår oppgave i de fire delområdene langs Valebøveien utenfor Skien. Testområdene har variert vegetasjon og består av dyrket mark, fjell, tett skog og andre objekter som påvirker nøyaktigheten til lasersensoren.

Om man tar en løs sammenligning av flybåren og bilbåren laserskanning til å begynne med så vil man anta at flybåren laserskanning vil gi en mer uniform punkttetthet over terrenget som følge av flyhøyde og skannebredde. Bilskanning gir en mer ujevn fordeling av punkter alt etter hvor kjøretøyet befinner seg i terrenget. Langs veien og i nærheten av bilen vil det oppnås en jevn og god nøyaktighet i grunnriss og høyde, som deretter vil avta jo lenger vekk man kommer fra laseren.

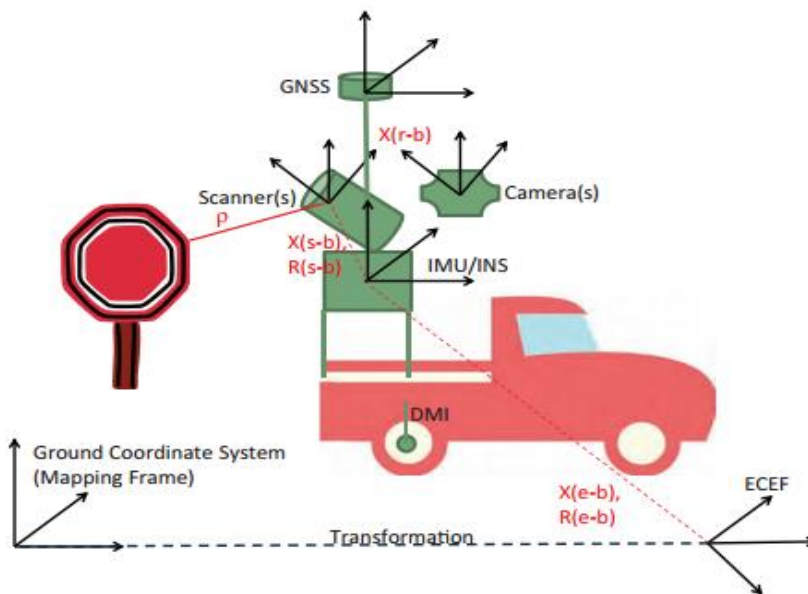
Direkte georeferering

Mobil kartlegging (mobile mapping) benytter, i likhet med flybåren kartlegging, konseptet med direkte georeferering av alle punkt. Konseptet går ut på å bestemme de ytre orienteringselementene til sensorene uten å benytte kontrollpunkt på bakken og blokkutjevning som man benytter i tradisjonell fotogrammetri og aerotriangulering.

Kontrollpunkt blir for eksempel målt med CPOS i etter-prosesseringen for å forbedre nøyaktigheten til punktskyen.

Kalkulering av koordinater fra laserdata

Koordinater for punkter i en laserpunktsky blir kalkulert ved å kombinere informasjon fra de forskjellige lokale referanserammer på plattformen. Figur 2 viser de lokale referanserammene til GNSS, skanner, IMU og kamera.



Figur 2: Lokale referanserammer hentet fra NCHRP REPORT 748 (Transportation research board 2013, 2013)

Formel 3 viser de geometriske referansesystemene og vektorene mellom dem som inngår i en observasjonsligning. Denne observasjonsligningen, som er lik den som brukes i flyskanning, gir ut koordinater til punkter i ECEF planet, altså det jordsentriske planet.

$$\mathbf{x}_p^e(t) = \mathbf{x}_b^e(t) + \mathbf{R}_l^e(\varphi(t), \lambda(t)) \mathbf{R}_b^l(r(t), p(t), y(t)) \mathbf{R}_s^b(\omega, \varphi, \kappa) \left(\mathbf{x}_b^s + \rho(t) \begin{pmatrix} 0 \\ \sin \theta(t) \\ \cos \theta(t) \end{pmatrix} \right);$$

Formel 3: Observasjonsligning. Hentet fra Vosselman & Maas, 2010, s.90.

Feilkilder

De to feilkildene som forekommer oftest er sikteaksefeil og lever-arm feil, og de gjelder for alle metodene.

Sikteakse feil (Bore-sight error), R_s^b , er en feilkilde som kan kobles til usikkerheten i orienteringen mellom IMU-systemet og skannersystemet s . Denne feilen avhenger av systemets design og kan føre til avvik i roll, pitch og yaw.

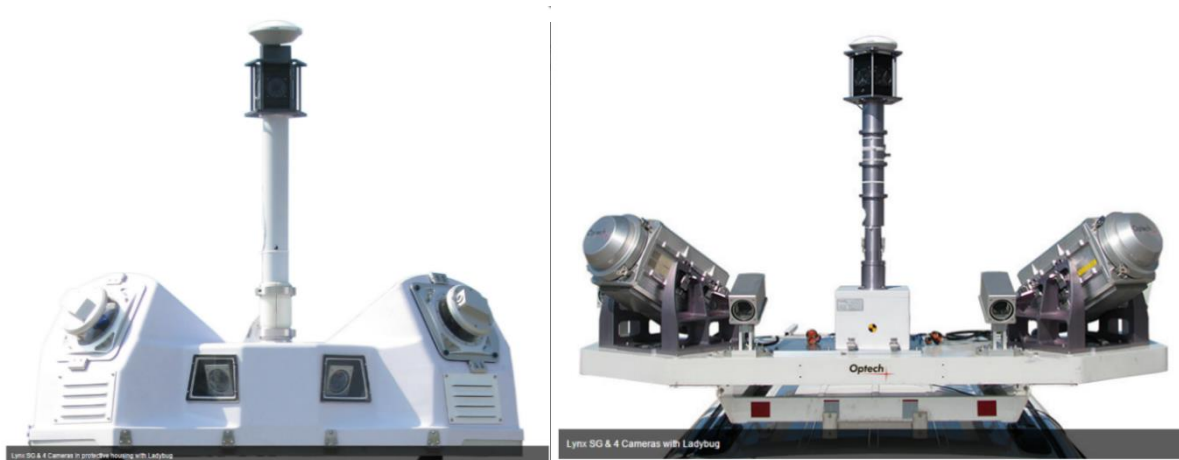
En annen viktig feilkilde er det som kalles lever-arm feil. Vektorene markert i rødt på figur 2 kan bli feil vinklet hvis justeringen mellom sensorene i systemet er feil. Lever-arm $X(s-b)$ er bestemt av systemets utvikler og er i en liten størrelsesorden slik at den ikke har stor innvirkning. Det er lever-arm mellom GNSS antennen og resten, $X(r-b)$, som kan variere i meter-størrelse og feil her vil ha større og merkbare innflytelse på resultatene.

Bruksområder

Laserskanning fra bil er mulig på alle steder hvor man enkelt kommer frem med bil. Bilskanning blir brukt mye i tunneller for å lage analysemodeller av veggene og taket. Det er også en fordel å bruke bilskanning i store byer for å få med alle fasadene til bygningene som man ikke får med ved skanning fra fly. I tillegg til å bli brukt på veien brukes metoden også på jernbanen. Skanneren settes på en jernbanevogn og det kjøres i samme hastighet som på veien for å få best mulig punktetthet.

Utstyr

Optech Lynx SG Mobile Mapper



Figur 3: Skanner plattformen med og uten beskyttelse

To laserskannere er montert i ulik retning for å få en optimal dekningsgrad under skanningen. Plasseringen til lasersensorene gir et uhindret 360 graders siktefelt for en mulighet til å dekke alle objekter langs kjøreruten. Hver skanner er programmerbare til å oppnå en samplingsrate på 600 kHz som betyr hele 1 200 000 punkter i sekundet totalt ved maksimal utnyttelse. TerraTec bruker en samplingsrate på 200 kHz og dette gjør det mulig å registrere 200 000 punkter per sekund (TerraTec AS, 2017).



Figur 4: Sensor med kamera og Ladybug 360 kamera til høyre

Mellom skannerne er det montert et hevbart kamera kalt Ladybug, som tar bilder i 360 graders vinkel og er tilpasset til Lynx programvaren. I tillegg til Ladybug-kameraet er det også montert to justerbare kameraer på plattformen som peker bakover og tar RGB-bilder som brukes til å farge punktskyen som genereres. Disse kameraene har en oppløsning på 5 megapixel.

Det er også montert et kamera og et videokamera i bilens frontrute som de bruker for visualisering av området i programvaren de bruker i etter-prosesseringen.

IMU, GNSS og DMI (Distance Measurement Indicator)



Figur 5: Applanix POS LV 420 Systemet og IMU til høyre

Posisjonering og orienteringssystemet som benyttes i bilen til TerraTec er levert av Applanix Corporation og heter POS LV 420. Denne typen teknologi kan levere posisjon -og orienteringsdata selv i områder der GNSS-signalene uteblir innenfor et intervall på 60 sekunder (Applanix Corporation, 2017).

Applanix POS LV 420 består av:

- POS Computer System (PCS)
- Inertial Measurement Unit (IMU)
- Distance Measurement Indicator (DMI)
- 2 GNSS antenner
- 1 GNSS mottaker

IMU-en er hjertet i dette systemet. Med en samplingsrate på 200 Hz kalkulerer den posisjon og orientering til kjøretøy og sensorplattform ved å kombinere data fra tre akselerometre og tre gyroer.

Avstandsindikatoren (DMI) er montert på hjulet og måler den lineære avstanden kjøretøyet har tilbakelagt. Den logger nøyaktige hastighetsdata som korrigerer for drift som oppstår når GNSS signalene forsvinner.

2.3 Flybåren laserskanning

Flybåren laserskanning teknikken er basert på to hovedkomponenter. Disse er et laserskanningssystem som måler avstanden og vinkel til ett punkt på bakken, og kombinasjon av GNSS og IMU som måler posisjonen og orientering til systemet. Systemet i flybåren laserskanner er ikke avhengig av sollys, så det fører til at man kan både måle på dagen og natten. I flybåren laserskanning bruker man mest time-of-flight målesystem med pulsmålinger. Det blir sendt ut kontinuerlig laserpulser mens flyet flyr. Disse laserpulserne treffer terrenget og blir reflektert tilbake, der en mottaker samler inn den reflekterte laserpulsen. TerraTec har utført skanningen om sommeren, og det er blitt skannet med en punkttetthet på 5 punkt/m².

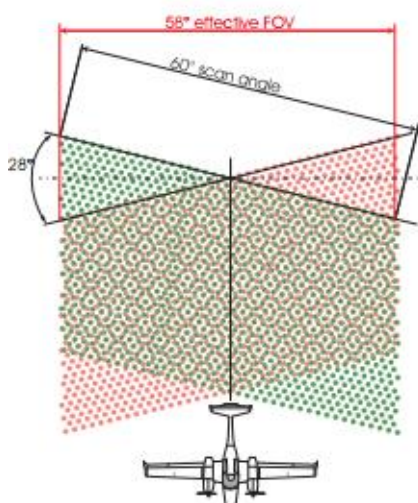
Utstyr

I denne masteroppgaven har fly skanningen brukt lasersensoren Riegl LMS Q-1560. Sensoren



Figur 6: Riegl LMS Q-1560(Riegl Corporation, 2015, Info Sheet)

kan skanne fremover og bakover, og har integrert to lasere. Dette fører til at man kan skanne fra flere vinkler mer effektivt og kan få høyere punkttettheten. Sensoren kan måle opp til 532,000 målinger per sekund. Field of view (FOV) dekker 58 grader. Lasersensoren er montert i en gyrostabilisert ramme, dette er også kalt gyro-mount. Sensoren kan ha flere enn 10 pulser i lufta samtidig, dette fører til at flytiden blir redusert og man kan fly mer effektivt (Riegl Corporation, 2015).



Figur 7: Skanne situasjon (Riegl Corporation, 2015, Data Sheet)

GNSS mottaker og IMU er integrert i lasersensoren. Under fly skanningen har de brukt IMU og GNSS fra Applanix. Det er også integrert to kameraer i lasersensoren, et RGB kamera og IR-kamera.

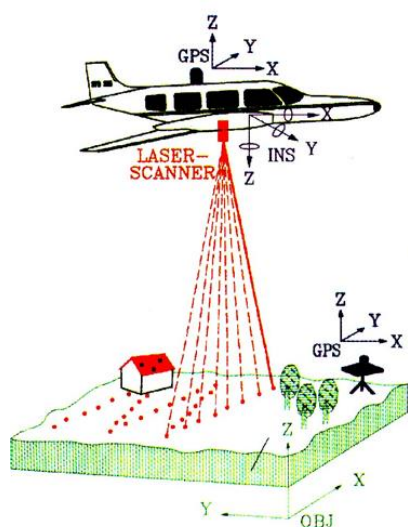
Konfigurasjon	5
Lasersensor	
Fabrikat	Riegl
Type	LMS Q-1560
Serienr	2221114
Kalibrering	22.2.2016
IMU	
Type	Applanix model IMU57
Gyromount	
Fabrikat	SOMAG
Type	GSM4000
GNSS	
Fabrikat	Trimble Applanix
Type	AV-610 ver 6
Serienr	6675
Loggrate	5 Hz
Fly	
Fabrikat	Piper Aircraft
Type	PA-31 Navajo
Kallesignal	LN-NAB
Trykkabin	Nei

Bildene under opptaksituasjonen kan brukes til å gi en RGB-verdi til punktskyen. Tabell 3 viser utstyret til fly skanningen, som er hentet fra prosjektrapporten NDH Skien-Porsgrunn 5pkt (TerraTec AS, 2016).

Tabell 3: Utstyr til fly skanningen

Kombinasjon IMU og GNSS

Kombinasjon av GNSS mottaker og IMU gir en direkte georeferering og kombinasjonen mellom disse gir oss posisjon og orientering til punktskyen. Vektoren fra GNSS antenna til laseren må være kjent og blir kalt GNSS offset eller lever-arm. GNSS blir brukt til to ting, fortelle piloten om han holder seg til den planlagte flyruten og den registrerer satellittsignalene for påfølgende differensial etterbehandling.



Figur 8: Flybåren laserskanning situasjon (NIBIO,2007)

IMU logger posisjonsdata og vinkler for orientering (roll, pitch og yaw). Det blir brukt Kalman filter på observasjonene av orienteringen. Vinkelen mellom IMU og laserskannerenheten blir målt med å utføre en kalibrering mens man flyr. Dette kan også forbedre GNSS offset. IMU har en systematisk drifts effekt som gjør at man ikke kan operere i en lengre periode uten å miste nøyaktigheten. For å unngå det blir posisjoneringen i IMU oppdatert av posisjonene til GNSS, som har en mer pålitelig måling over lengre tid. Under flyvingen beveger flyet seg lineært med liten bevegelse i orienteringen, dette kan føre

til at IMU «slokner» siden den trenger bevegelse i orienteringen for å fungere. For å hindre

dette kan man planlegge lengden på flystripa slik at dette ikke inntreffer. Når flyet er ferdig med en flystripe og starter på en ny, så er dette tilstrekkelig nok til å starte opp IMU.

For å integrere IMU, GNSS og laserdata nøyaktig må forholdene mellom skannerenheten, IMU og GNSS antenna være kjent. Man må også synkronisere tiden mellom disse enhetene. Dette skjer ved å tidssynkronisere med PPS (puls per sekund) signal fra GNSS, som oppdaterer klokken til laserskanneren og IMU. Tiden blir brukt for å koble avstandsmålinger og baneposisjon.

Matematiske formelen for å finne terrengkoordinatene er:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} + \mathbf{R}_{\omega\phi k}(\mathbf{t} + \mathbf{R}_m \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -r \end{pmatrix})$$

Formel 4: Beregne terrengkoordinater. Hentet fra Pfeifer & Briese, 2007, s.11.

(x, y, z) = terrengkoordinater

(x_0, y_0, z_0) = koordinat for antennes fasesenter

$\mathbf{R}_{\omega\phi k}$ = rotasjonsmatrise for orientering i IMU

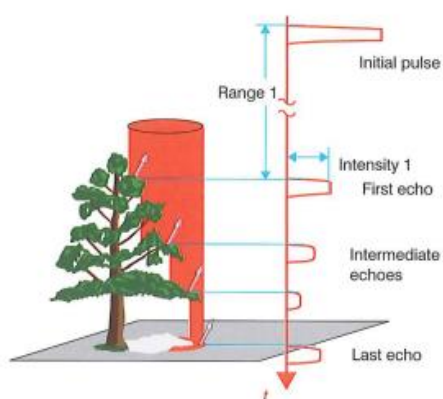
\mathbf{t} = GNSS antenne offset (lever-arm)

\mathbf{R}_m = rotasjonsmatrise for vinkelen mellom IMU og laserskannerenheten

α = skannevinkelen

r = målt avstand

Flere retursignaler



Figur 9: Illustrasjon av flere retursignaler (Vosselman & Maas, 2010, s.29)

Ved målemetoden Time-of-flight kan mottakeren motta opp til flere retursignaler fra en utsendt puls. I for eksempel skog kan første retursignalet være fra toppen av treet, mens siste kan være fra terrenget. Dette forutsetter at laserpulsen trenger gjennom skogen.

2.4 Helikopter skanning

Skanning med helikopter er en av metodene vi har brukt i dette prosjektet. Laserskanning med helikopter har de samme grunnprinsippene som fly, og vi har dermed valgt å ikke gå nøyere inn på dem. Helikopteret bruker de samme GNSS og IMU prinsippene som fly, bare med andre parameter. Selve utstyret er montert på en rigg. Ved helikopterskanning kan vi forvente en nøyaktighet ned på centimeternivå.

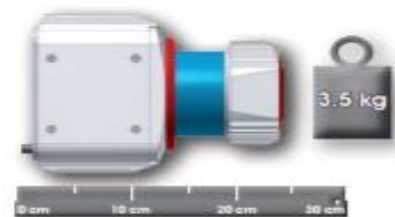
Utstyr



Figur 10: Produktdetaljer Riegl VUX-1 (Riegl Corporation, 2015)

Helikopteret som TerraTec bruker har to skannere av typen Riegl Vux-1UAV. Dette gir en bred FOV, field of view.

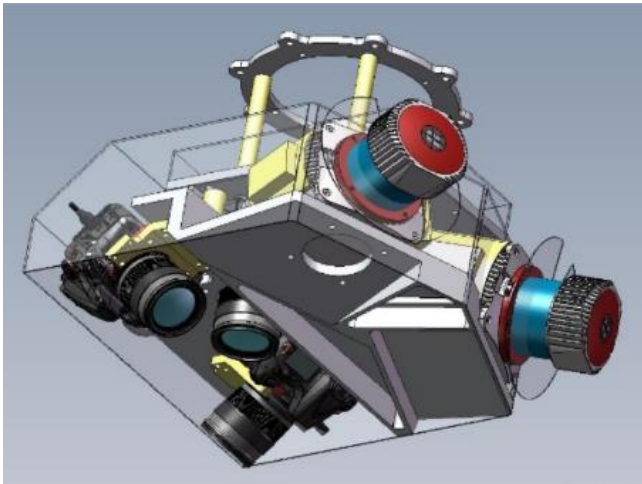
Riegl Vux-UAV er en lettvekts Lidar skanner på 3,6 kg. Den kan monteres på flere enheter. Den har høy-repetisjonsrate og kan måle opp til 550kHz.



Figur 11: Riegl VUX-1

Posisjonering og orienteringssystemet som TerraTec benytter er levert av Applanix Corporation og heter Applanix AP50 (POS AV/510) GNSS/INS system. Dette systemet består av både GNSS og IMU kombinert. Det kan kalkulere posisjon og orientering med en samplingsrate på 200 Hz (Applanix Corporation, 2016).

I vårt forsøk har det blitt gjort helikopterskann i en 120 meters høyde. Riggen er i tillegg montert med 3 RGB kameraer. Bilder tatt under opptaksituasjon er nyttige ved etablering av terrengoverflatemodell, og som informasjonskilde i planlegging og prosjektering.



Figur 12: Laserskanner og kamera

Nikon D810 (Vedlegg 5):

- *Image Size: 7360 x 4912 pixels (36 Megapixel)*
- *Pixels Size: 4.88 μ m*
- *Capture Interval: 0.5 sec (2 images/sec)*

Lenses:

- *Nadir: Carl Zeiss Makro-Planar T* 2.0/35mm*
- *Oblique: Carl Zeiss Planar T* 1.4/85mm*

Viewing angle for the oblique cameras:

- *45 deg. forward*
- *45 deg. Backward*

Bruksområde



Figur 13: Helikopter med montert med laserskanner

Fordelen med helikopter i forhold til fly er mobiliteten. Helikopter kan fly i lav høyde over terrenget og produsere gode punktskyer. I tillegg kan det manøvrere seg gjennom trange og vanskelige områder. Dette gjør at det kan nå områder der bil og terrestrisk skanning ikke kommer til. I luften ligger helikopteret mer stabilt enn ubemannede droner. Dette gjør at det er mindre utsatt for nedbør og vind.

3 Programvare

3.1 Gemini Terreng & Entreprenør

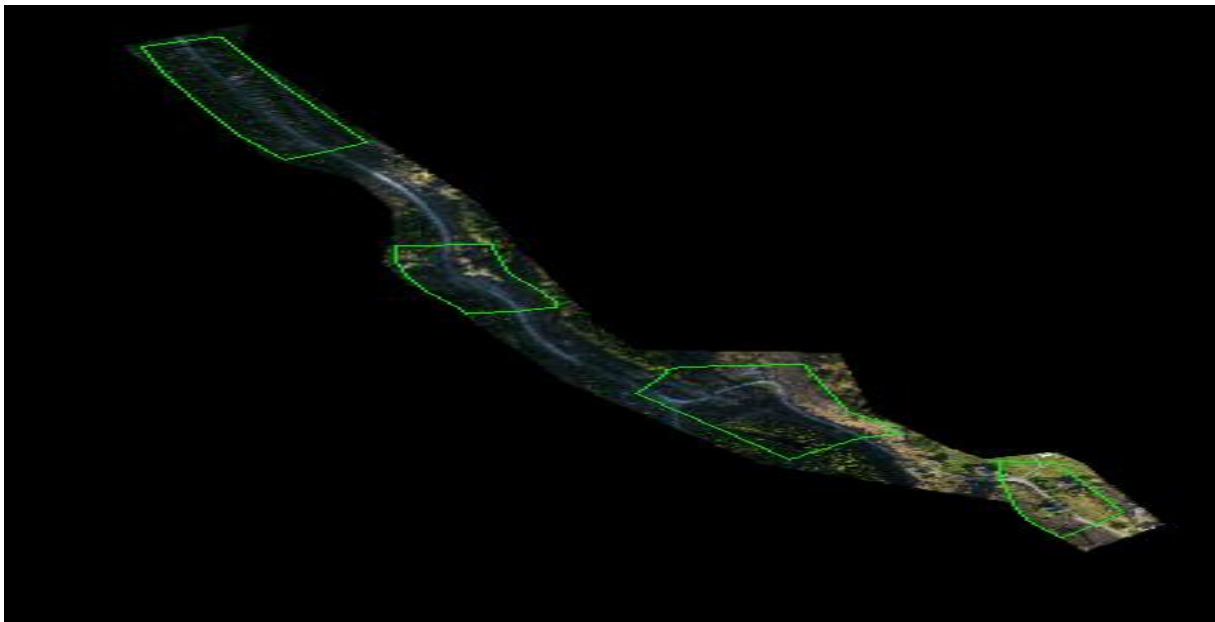
Gemini Terreng & Entreprenør er et program utviklet av Powel. Powel utvikler stadig nye versjoner. Programmet egner seg til prosjektering av infrastruktur. Gemini er et populært verktøy, og flere norske entreprenørselskaper bruker programvaren. Vi har fått lisens av Powel for utførelse av masteroppgaven. Programmet har en rekke funksjoner for redigering og analyse, og oppgaver kan utføres i både 2D og 3D. I tillegg er det kompatibelt med et bredt utvalg av filformater. Det er også mulighet for å transformere koordinat og høydesystem.

I vårt prosjekt har vi brukt Gemini i alle faser av prosjektet. I forkant av feltarbeidet har vi laget fastmerke-fil med polygoner til måleboken. I etterkant har vi redigert de landmålte dataene og laget TIN-modeller av las-punktskyer. Videre er analyse mellom fasitmåling og laserdata behandlet med funksjonen geometrisk kontroll. Fullstendighetsanalyse er utført med kontroll av horisontalt areal. Resultater er skrevet direkte til Excel-fil.

4 Presentasjon av området

SVV har avgrenset et område langs Valebøveien utenfor Skien. Der er det bestilt skanning med bil og helikopter i tillegg til flyskanning som ble gjort i forbindelse med nasjonal digital høydemodell (NDH). I dette området har SVV valgt å dele opp i fire testområder med varierende typer av vegetasjon og terreng, som skal teste de tre skannemetodenes nøyaktighet, fullstendighet og anvendelighet.

Skanningen fra bil og helikopter ble utført sent på høsten før snøen hadde lagt seg. Det var når vi skulle måle fasitpunkter at snø og is hadde lagt seg langs veien og i terrenget. Punkt i grøftene langs veien ble derfor ikke målt inn som fasitpunkt på grunn av is som ville gjort målingene unøyaktig i høyden.



Figur 14: Oversiktsbilde av området med de fire testområdene

Hvert område har sin egen unike vegetasjon, varierer fra lav til høy vegetasjon, som påvirker nøyaktigheten til hver av skanningsmetodene. Fra høyre mot venstre i figur 14 er områdene navngitt som felt 1, felt 2, felt 3 og felt 4.

I hvert område, med unntak av felt 2, har vi målt inn seks linjeprofiler for å spre fasitpunktene godt nok ut. Det ble gått tre linjer i hver ende av feltene.

4.1 Felt 1

Felt 1 består for det meste av åpent område med lav vegetasjon og et par hus. Det er lite varierende terreng og vi antar at alle skannemetodene vil oppnå god nøyaktighet i dette feltet.



Figur 15: Bilder av felt 1

På første oppstillingen med totalstasjon ser man hvor likt terrenget er på begge sider av veien. Figur 15 viser et jorde med jevn stigning og dyrket mark uten mye variasjon i vegetasjon, og vi forventer jevn punktfordeling fra alle metodene i dette område.



Figur 16: Forhøyet jordekant med lav vegetasjon på toppen



Figur 17: Fra andre oppstilling

Ved andre oppstilling varierer terrenget mye mer i forhold til første oppstilling. Den forhøyede jordekanten vist på figur 16 kan skape dårlig punkttetthet på andre siden av toppen når det blir skannet med bil. Vi forventer at både fly og helikopter oppnår bedre nøyaktighet her.

På andre siden av veien er det et par bygninger og en tett hekk som vil blokkere laserpulsen fra bilskanneren fra å motta signaler bak disse objektene. Fasitpunktene går fra toppen av jordet i figur 16 og over veien noen meter videre inn i på jordet i figur 17.

4.2 Felt 2

Dette området er det mest varierte med tanke på vegetasjon og objekter. Høy fjellvegg med tett vegetasjon følger den ene siden av veien, mens på den andre siden er det spredt vegetasjon med tette kratt og høye bjørketre. I midten går det også en elv (Falkum elva). Det står et hus ved veien i den ene svingen og en jernbane går over veien på andre siden av bruene. Det var også nevnt tidligere at dette området var problematisk, så det resulterte i at vi målte bare tre linjeprofiler. Dette fordi vi på fjerde oppstilling målte utenfor angitt testfelt, slik at punktene her blir vurdert som overskytende og vil ikke bli tatt med i den geometriske kontrollen senere i oppgaven. Dette gjelder for området på andre siden av jernbanen i felt 2.

Her er det altså flere faktorer som vil påvirke både nøyaktigheten og fullstendigheten til de forskjellige metodene. Vi anser dette området som det mest vanskelige med tanke på den veldig varierende vegetasjonen. Det er også viktig å tenke på at både fasitmålingene våre og skanningen fra helikopter og bil ble tatt relativt sent. Derfor er området kanskje ikke så representativt som det ville vært hvis alt hadde blitt gjort om sommeren med tettere vegetasjon. Vi forventer dårligere nøyaktighet og fullstendighet enn de andre testfeltene, men innenfor nøyaktighetskravene i produktspesifikasjonen for høydedata fra laserskanning.



Figur 18: Tredje oppstilling ved felt 2



Figur 19: Utsikt fra tredje oppstilling

4.3 Felt 3

Dette feltet hadde stor variasjon i terrenget og spredt vegetasjon, der det var åpne områder mellom trær og busker. To parkeringsplasser på hver side av veien skaper de åpne områdene, samt at en tursti med lett skog på hver side er synlig fra hovedveien.



Figur 20: Oversiktsbilde for femte oppstilling

Siden området består av mange høye trær kan det være at fly og helikopterskanneren får dårligere nøyaktighet på de stedene med tette vegetasjon, men god nøyaktighet innenfor de åpne områdene langs veien. Bilskanneren forventes å ha god nøyaktighet i dette området siden det er så åpent, men der det er trær og tettere skog vil den antageligvis få dårligere nøyaktighet.



Figur 21: Bilde av den høye vegetasjonen i området

Figur 21 er fra sjette oppstilling som kan sees på andre siden av bruene i venstre hjørne på figur 20. Denne delen består for det meste av tett skog med en fjellvegg på venstre siden av veien og tett skog på høyre side med jernbanespor like bak der igjen.

4.4 Felt 4

Området består for det meste av høy og tett barskog med stigende terreng på en side av veien og avtagende på andre siden. Nede på bakken er det for det meste lyng og mose under trærne, men også noen områder med fjell.



Figur 22: Bilder av den høye vegetasjonen

Figur 22 er fra siste oppstilling helt øverst i felt 4 der man kan se at vegetasjonen er ganske tett. Det antas at området rundt veien og grøftene er det som alle skannermetodene kommer til å få ganske god dekning på.

Det finnes ingen store fjellsider så vi forventer ganske bra nøyaktighet på de åpne områdene og dårligere lenger inn i skogen.



Figur 23: Viser sjuende oppstillingen i den sørlige delen av felt.

5 Metode

I følgende kapittel er det forklart utførelse av feltarbeid og dataarbeid.

5.1 Fasitmåling

For å sammenligne terrengmodellene trengte vi å lage en egen representasjon av terrenget. Denne fremstillingen av testområdet er det lagt vekt på at det skal være så nøyaktig som mulig. Videre har vi betegnet de målte punktene som "fasit".

I forkant av fasitmålingen har SVV etablert et boltsatt fastmerkenettverk i testområdet. Fastmerkene er innmålt med GNSS fra landsnettpunktet F37T0871 over flere dager. I tillegg er fastmerkene forsterket innbyrdes med satsmålinger. Det er gjort fire helsatser med totalstasjon. Disse fastmerkene er målt inn fra landsnettet. Fastmerkene er etablert i Euref89 UTM32, NN2000.



Figur 24: Fastmerkenettverk

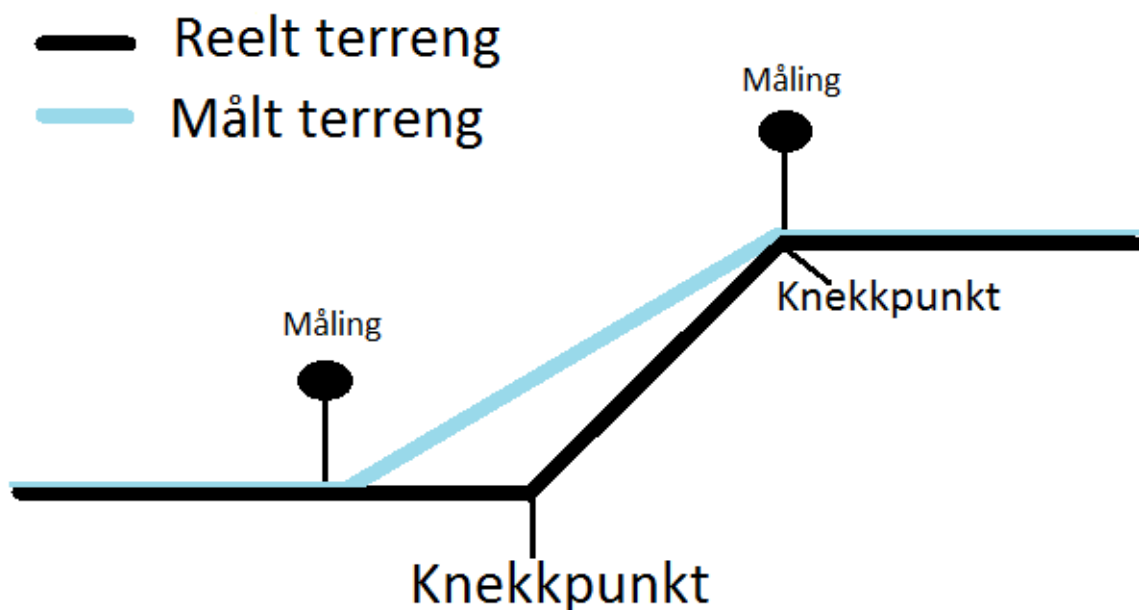
Under feltarbeidet ble det målt høydeprofiler av området. Det ble avgjort at å gå flere profil-linjer og for å så lage en 3d-modell av dem, ble for mye arbeid. Istedenfor å lage en modell, så ble det heller målt færre linjer. Der det er lagt vekt på at de få punktene som er målt er presise.

Profilene ble lagt på tvers av veien. Etter hvor god sikt det var fra totalstasjonen, ble det gått 20 - 40m linjer i hver retning ut i fra veien.

Under planleggingen ble det lagt vekt på at profilene skulle gå gjennom ulike typer terreng og vegetasjon, istedenfor å dekke et felt. På denne måten unngikk man at en vegetasjonstype ble oversett.

I tillegg var det begrensninger på hvor totalstasjonen kunne stå. For å sikre nøyaktig resultat måtte vi ha to eller helst tre kjentpunkt ved oppstilling.

Avstanden mellom hvert punkt ble vurdert etter terrenget. I flate områder kan man gå lengre uten at det gir stor feil i høyde. I brattere terreng og kupert terreng er det viktigere med flere punkt. Da er det spesielt viktig å treffe knekkpunktene i terrenget. Slik at forskjellen mellom reelt terreng og målt terreng blir minst mulig.

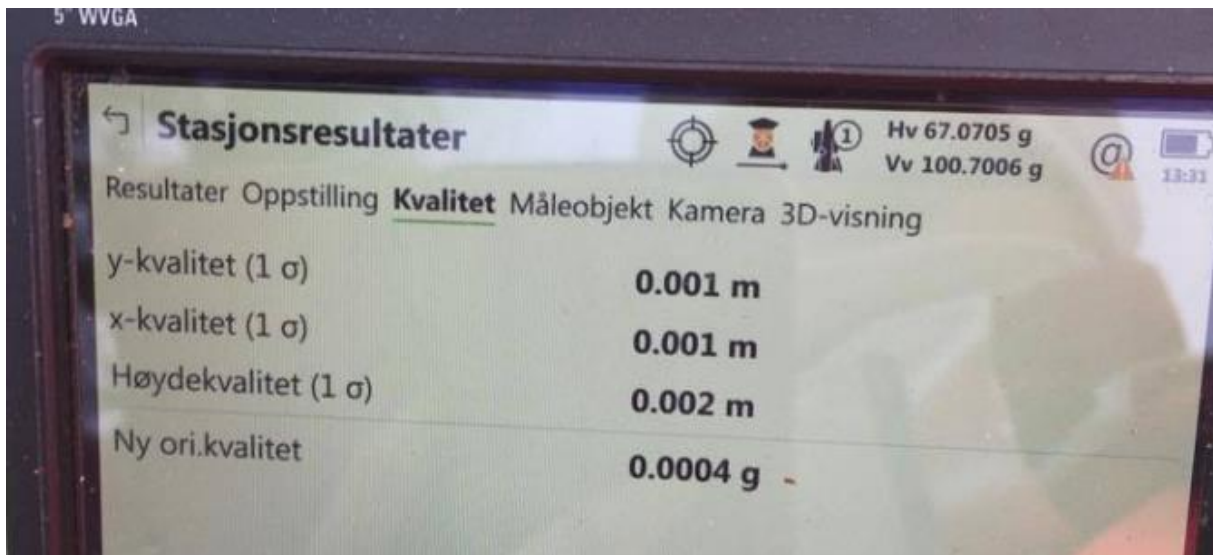


Figur 25: Illustrasjon av virkningen mellom feil plassering av knekkpunkt

En utfordring under feltarbeidet var snø og is. Snø og is ble fjernet slik at måling ble gjort på bar bakke. I grøftene var det store mengder is. Siden det var vanskelig å bestemme bakken og arbeidet var tidkrevende, ble det vurdert å ikke måle bunnen av grøften. Samtidig var det mye

vegetasjon i området. Her ble det forsøkt å treffe bakken så godt som mulig. Ved for eksempel å rydde mose og busker.

Alle fasitmålingene ble målt med totalstasjon. Til sammen ble det åtte oppstillinger over de fire testområdene. Oppstilling ble gjort med fristasjon. Vårt krav til oppstilling var at vi skulle være på millimeternivå i grunnriss og høyde.



Figur 26: Kvalitet ved oppstilling

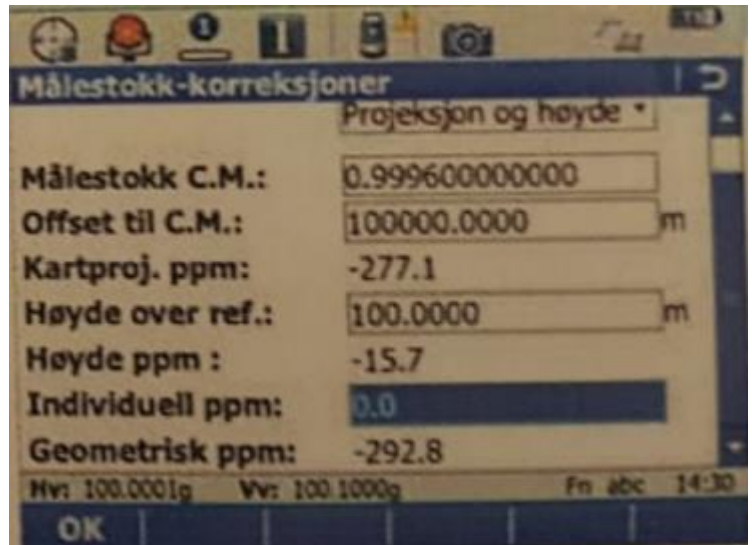
Fasitmålingen ble utført i Euref89 UTM32, NN2000. Ved oppstart fikk vi ikke kvalitetsmålene ned på god nok nøyaktighet. Dette skyldes feil i målestokk.

En kartprojeksjon overfører krummingen i jordoverflaten til kartplanet. Dette gjøres ved matematiske formler, også kalt geometrisk projeksjon. Det er umulig å lage en projeksjon over hele verden, uten å få fortegningsfeil. Ved å dele opp projeksjonen i mindre deler, blir fortegningsfeilen mindre. UTM projeksjonen løser dette ved å dele opp i tre soner i Norge.

Størrelsen på korreksjonen vil variere etter hvor i sonen man befinner seg.

Ettersom vi fikk store standardavvik ved oppstilling, endret vi målestokken manuelt. Dette ble utført etter Leica sin brukermanual som vist under.

- **Målestokk C.M.:** Målestokk ved sentermeridianen.
- **Offset til C.M.:** Avstand fra sentermeridianen (UTM: Y - 500 000)
- **Høyde over ref:** Høyde over havet.
- **Ppm over ref:** totale ppm fra høyden.
- **Individuell ppm.** Mulig å legge inn en egen ppm.
- **Geometrisk ppm.** Summen av alle verdiene på denne siden. NB: Blir påført av den horisontale avstanden.



Figur 27: Målestokk korreksjon

5.2 Tilrettelegging for videre analyse




De innmålte punktene ble lastet inn i Gemini terreng/entreprenør. Der ble overfløydige punkter fjernet. En oppstilling var målt utenfor testområdet og ble derfor utelatt. Dette kom av unøyaktig avlesning av kartplottet under feltarbeidet.

Etter en vurdering om hvordan vi skulle sammenligne dataene besluttet vi at det var mest hensiktsmessig å sammenligne vegetasjonen i testområdene. Punkter ble klassifisert etter hvilken vegetasjon de befant seg i. Her ble det brukt bilder og notater fra utferd. Ortofoto og bilder fra google maps ble også brukt til å fastslå vegetasjonstypen.

I tillegg ble fasitmålingen utført i vinterhalvåret. Dette gjorde at klassifisering av vegetasjon er noe mer usikkert enn ved observasjon i sommerhalvåret. For eksempel hvor stor utbredelsen av buskvekster det var, og dekket de over områder som ble klassifisert som lav vegetasjon.

Klassifisering av vegetasjon er gjort på følgende måte:

Navn	Forklaring	Høydeforskjell i terreng	
Fjell	Fjellskjæring, bratt og vanskelig terreng med overlapp i høyde.	0 m	
Høy	Høy vegetasjon - Tett skog med høye trær	5-20 m	
Lav	Lav vegetasjon - Jorder, gressplen og blåbærlyng.	0.05 - 0.20 m	

Middels	Middels vegetasjon - Større busker og tykkere busker. Bringebær- og einerbusker	0.20 - 1.5 m	
Spredt	Spredt skog - Åpnere skoglandskap, der trær ikke står tett.	5-15 m	
Grus	Grusvei og parkeringsplass - Harde flater	0 - 0.05 m	
Vei	Valebøveien, asfaltert vei. - Harde flater	0 m	

Tabell 4: Klassifisering av de ulike vegetasjonstypene

TerraTec har levert ferdig georeferert og klassifisert punktsky. En uklassifisert punktsky inneholder mye data. Det er resultat av flere returer per laserpunkt. I tillegg inneholder den støy. Dette kan for eksempel være fugler eller komme som følge av multipath. For å kunne fremstille en terrengmodell er man avhengig av å vite hvilke punkter som hører til terrengoverflaten.

Standard klasser i LAS-formatet	Forklaring
1	Uklassifisert (Unclassified). Alle punkter som ikke er klassifisert som klasse 2, 7 eller 10
2	Punkter på terrengoverflate (Ground). Denne klassen omfatter som standard også punkt på vannoverflater (innsjø, hav, elv). Punkter innenfor vannpolygon som ligger over vann-/terrengoverflate (vegetasjon, brygger og lignende) leveres i klasse 1 (uklassifisert).
7	Støy-punkter (Lowpoints) forårsaket av skyer, fugler, "multipath", system feil etc. Denne klassen omfatter unormalt høye og lave punkt (spikere) og punkt som under bakkeklassifiseringen blir definert til å ligge under terrengoverflaten.
10	Punkter som ligger på bru (Bridge) Denne klassen innføres først i LAS-format versjon 2.0, men den forskutteres i denne spesifikasjonen. Minstemål for klassifisering er 10 m ² . Eksisterende FKB-data av best mulig kvalitet benyttes som støtte til klassifiseringen. Alle punkter innenfor bru-avgrensingen skal klassifiseres som Bru (Klasse 10). Det presiseres at FKB-dataene kun benyttes som støtte i klassifiseringen. Kravet til klassifisering gjelder uavhengig av fullstendigheten i FKB-dataene.

Tabell 5: Klassifisering, Statens kartverk (2013) Produktspesifikasjon FKB-Laser Versjon

I arbeidet videre ble det kun brukt klasse 2 klassifisering for alle datasettene. For å sammenligne fasitpunkt mot laserdata, så ble det generert en 3d-modell. Vi valgte TIN (Triangulated Irregular Network). Videre i oppgaven er den produserte TIN-modellen omtalt som modell.

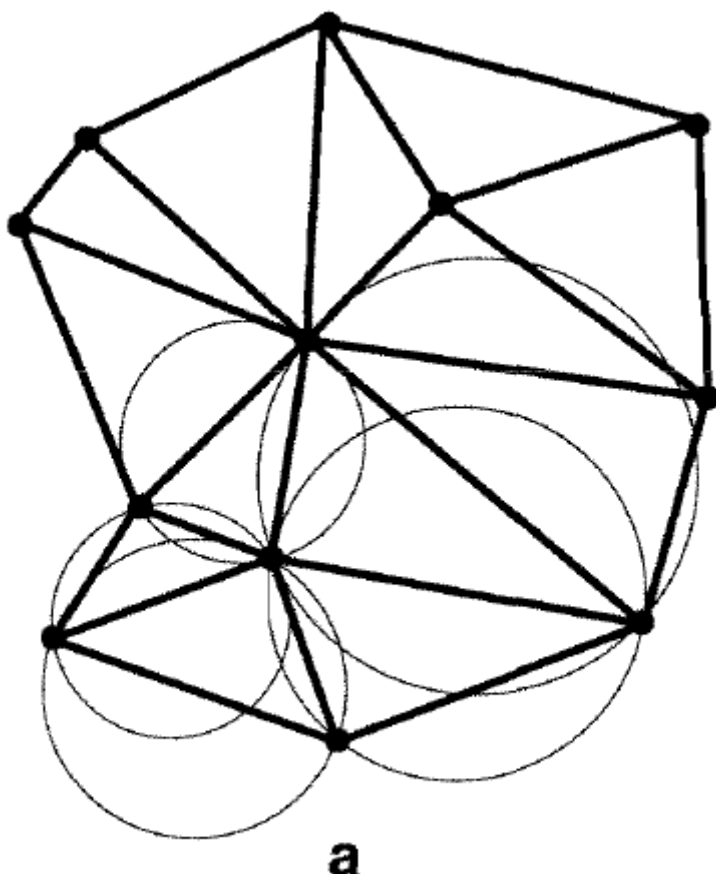
TIN er en måte å fremstille digitale terrengmodeller. Datamodellen består av punkt og linjer som danner trekantene. Disse trekantene er koblet sammen og danner et bilde av terrenget. Helningen på trekantflaten, beskrevet av koordinatene til hjørnepunktene, beskriver høyden over modellen.

TIN har flere bruksområder, blant annet kan det brukes til masseberegning, tverrprofiler og visuell fremstilling av terrenget, for eksempel i forbindelse med planlegging og profilering.

Gemini bruker triangelmetoden Delaunay for å bygge TIN-modeller. Denne metoden lager trekantene av punkter og linjer.

Hovedregel for Delaunay triangulering er sirkel-vilkåret:

«Et Delaunay nettverk i to dimensjoner er satt sammen av ikke-overlappende trekanter, slik at ingen node i nettverket er omslutta av noen av de omskrivende sirklene til trekantene i nettverket.» (Midtbø, 1993)



Figur 28: Illustrasjon av oppbygging av Delaunay nettverk

Det vil si at man lager et nettverk av trekanter mellom punkt og linjer. Hver node er omsluttet av bare sin egen trekants sirkel og ikke av noen andre trekanter i nettverket. Slik blir nettverket bygget opp til en TIN-modell.

Gemini gir flere valg for hvordan man vil bygge opp et triangulært nettverk. Etter å ha eksperimentert med forskjellige innstillinger i veiviseren har vi kommet fram til følgende oppsett:

3D-triangulering av punktskyer



Triangulering 1. iterasjon	
Cellestørrelse for forenkling av triangelnett	<input type="text" value="0.500"/>
Inkluder punkter som sannsynligvis ligger på en kant	<input checked="" type="checkbox"/>
Simuler 3d bruddlinjer med å generere punkt langs linjene i utvalget	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Triangulering 2. iterasjon	
Maks. avstand fra originale punkt (påkrevd nøyaktighet):	<input type="text" value="0.300"/>
Kjør ekstra iterasjoner for å legge til punkt utenfor nøyaktighet	<input type="checkbox"/>
Stopp iterasjonene når antall punkt lagt til er mindre enn:	<input type="text" value="0.100"/> %
<input type="checkbox"/> Fyll hull i triangelnettet	
Maksimal omkrets for hull som skal fylles:	<input type="text" value="100.000"/>
Maksimalt 3d areal for hull som skal fylles:	<input type="text" value="10.000"/>
Kopier egenskaper fra punktskyer til triangelnett	<input type="checkbox"/>
Resultataplag:	<input type="text" value="testlas fil"/>
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Avbryt"/> <input type="button" value="Hjelp"/>	

Figur 29: Spesifikasjoner for 3D-triangulering i Gemini Terreng

Her har vi funnet det vi mener er den optimale løsningen for vårt prosjekt. Der vi har gjort stikkprøver med forskjellig oppløsning.

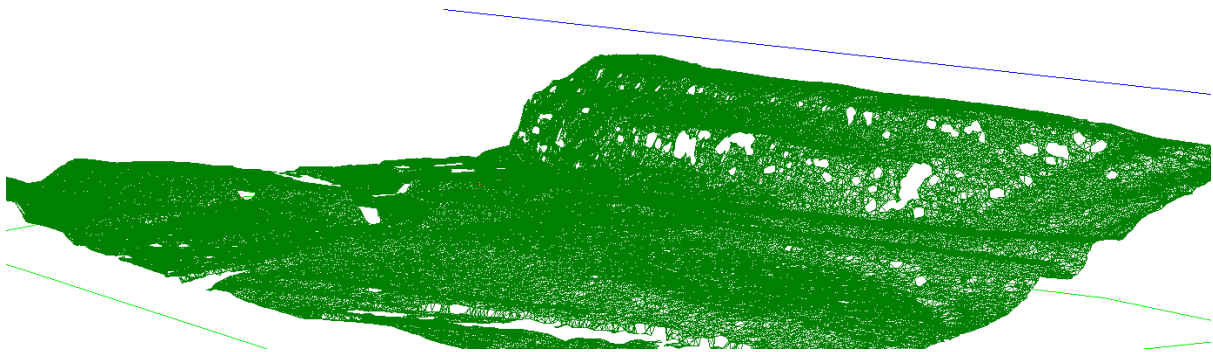
I første iterasjon oppgir vi en cellestørrelse for å redusere antall punkter i trianguleringen. På grunnlag av cellestørrelsen velger algoritmen et vilkårlig punkt til å representere hver celle.

I andre trinn setter vi nøyaktigheten vi ønsker for triangelnettet. Dette gjør vi med å oppgi en verdi for maksimal avstand fra originale punkt.

Vi har tatt med punkt som sannsynligvis ligger på en kant. Dette kan gi en skarpere modell, som kanskje ikke er så glatt som en modell uten kant. Her var tanken å fremstille knekkpunkt og overganger på overflater som vei og fjell. Modell med og uten punkter på kant ga ikke nevneverdige forskjeller.

Strengere krav og flere iterasjoner fører til en tyngre prosess for datamaskinen å håndtere. Denne prosessen kan reduseres ved å dele opp punktskyen i mindre områder.

Etter å ha gjort forsøk med forskjellige typer bestemte vi oss for cellestørrelse 0.500 og maks avstand 0.300. Det ble gjort stikkprøver mot fasitmåling med tøffere krav til nøyaktighet, uten at disse ga nevneverdig forskjellig resultat. I tillegg ville tøffere krav føre til at mindre av modellen ble modellert, altså flere "hvite områder".

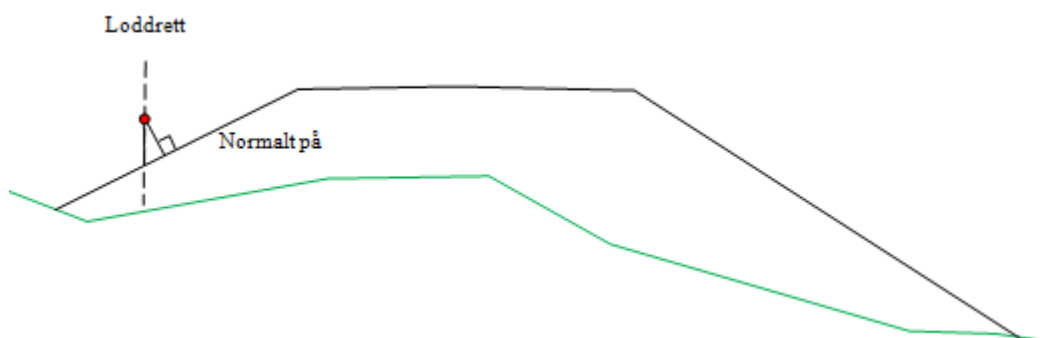


Figur 30: Tin-modell fra helikopter

5.3 Geometrisk Kontroll

Det fins flere måter å sammenligne modell og fasitmåling. Gemini bruker funksjonen geometrisk kontroll. Den har valget mellom å beregne avstandsavvik ut i fra kriteriene loddrett og normalt på. Programmet beregner avstanden mellom det teoretiske punktet i modellen og det målte punktet.

$$H_i = \text{modellverdi} - \text{målt høyde}$$



Figur 31: Forskjellen mellom loddrett og normal avstandsberging

Vi har valgt å analysere høydeavviket og dermed loddrett avstand mellom punkt og modell. I tillegg er det lagt inn toleranse for avvik. Videre er det bare beskrevet hva som er gjort, begrunnelse til metodene ligger under statistikk.

Gemini produserer resultater i Excel. Videre har vi gjort grovfeilsøk for de ulike metodene. Her har vi funnet grovfeil, etter å ha søkt etter avvik større enn tre ganger forventet standardavvik. Disse er blitt telt opp og fjernet fra undersøkelsen. Videre er det beregnet gjennomsnitt, standardavvik og RMS for metodene.

Geometrisk kontroll triangelnett/polygon

Fil: Helikopter.aly: Triangle 1

Loddrett Normalt på

Lag:

Flateutvalg:

Vertikalt offset: m

Flatekontroll

Min. toleranse: mm

Maks. toleranse: mm

Figur 32: Geometrisk kontroll

Punkt	Teo. høyde	Flatekontroll			Målt punkt		
		Differanse	Forkastet	Flate	Øst	Nord	Høyde
Lav	47.305	0.022			530401.691	6570286.188	47.327
Lav	47.113	0.033			530407.744	6570289.246	47.146
Lav	46.809	-0.007			530410.551	6570290.732	46.802
Lav	46.551	-0.013			530415.315	6570296.614	46.538
Lav	46.665	-0.055			530413.417	6570296.317	46.610
Lav	46.752	-0.005			530411.277	6570295.621	46.747
Lav	46.794	0.052			530410.041	6570295.113	46.846
Lav	47.159	0.022			530406.183	6570294.033	47.181
Lav	47.367	0.039			530400.020	6570291.603	47.406
Lav	47.402	0.027			530399.228	6570293.705	47.429
Lav	47.189	0.037			530405.136	6570297.620	47.226
Lav	46.913	0.038			530408.754	6570298.985	46.951
Lav	46.829	0.039			530410.693	6570300.656	46.868
Totalt antall målepunkt:			13				
Punkt innenfor krav:			13				
Punkt utenfor krav (avvist):			0				
Standardavvik:			0.030				
Middel:			0.018				
Minimum:			-0.055				
Maksimum:			0.052				
Minimum absolutt verdi:			0.005				
Maksimum absolutt verdi:			0.055				

Figur 33: Resultat av geometrisk kontroll

5.4 Statistikk

I dette delkapittelet skal vi presentere statistikken vi har brukt i analysen. Sammenligning av modell og fasitpunkt kan analyseres på flere måter. En av dem er å måle en loddrett linje mellom punkt og modell, som gir oss differansen mellom modell og fasit. Statistikkene vi har brukt er gjennomsnitt, standardavvik og RMS.

I en analyse vil det alltid oppstå feil. Disse kan kategoriseres som grove, tilfeldige og systematiske feil.

Grove feil

Når man måler flere punkt er det naturlig at avvikene varierer. Grove feil er feil som er vesentlig større enn disse naturlige avvikene.

“Prinsipp 4 Grove feil – Grensen for grove feil er definert som 3 ganger kravet til standardavviket gitt i produktspesifikasjonen.”

Statens kartverk (2015) Geodatakvalitet, versjon 1.0

I vår undersøkelse har vi tatt utgangspunkt i Produktspesifikasjon FKB-Laser Versjon 2.0 2013-02-01, se tabell 6 under.

Kvalitetsэлеment	Delelement	Kvalitetsmål	Høydegrunnlag		
			FKB-Laser10	FKB-Laser20	FKB-Laser50
			Toleranse	Toleranse	Toleranse
Stedfestingsnøyaktighet	Absolutt høydenøyaktighet	Standardavvik	0.04 m (0)	0.07 m (0)	0.17 m (0)
Stedfestingsnøyaktighet	Absolutt høydenøyaktighet	Systematisk avvik	0.10 m (1)	0.20 m (1)	0.50 m (1)

Tabell 6: Produktspesifikasjon FKB-Laser Versjon 2.0 2013-02-01

I produktspesifikasjonen til FKB-laser fremhever Kartverket noen merknader:

«(0) Tallet referer til harde veldefinerte flater, for eksempel veg eller parkeringsplass. I områder med vegetasjon på terrengoverflaten kan stedfestingsnøyaktigheten være noe dårligere.

(1) Laserdataene skal ha en jevn og homogen stedfestingsnøyaktighet i høyde. Kvalitetsmålet for høydenøyaktighet er systematisk avvik. Ved kontroll av høydenøyaktigheten skal man benyttekontrollflater som ligger jevnt utover prosjektområdet.

(Statens kartverk (2013) Produktspesifikasjon FKB-Laser Versjon 2.0 2013-02-01)

I områder med vegetasjon skal avviket være noe høyere. I vårt prosjekt har vi satt standardavvik i terreng som ikke er harde flater til 0,10 m. For harde flater er standardavviket hentet ut i fra tabell 6. Dette gjør at vi har følgende grovfeilkraav.

Krav til grovfeil	Standardavvik	Krav for grove feil
Harde flater	0.04 m	0.12 m
Terreng	0.10 m	0.30 m

Tabell 7: Grovfeilkraav

Systematiske og tilfeldig avvik

Nøyaktigheten til målingene avhenger av hvor nærme de målte verdiene er de sanne verdiene av det som blir målt. Denne nøyaktigheten blir ofte redusert av det man kaller systematiske feil som er veldig vanskelig å oppdage fordi de kan ligge gjemt i forskjellige parametere. Når man gjør målinger med mange forskjellige sammensatte komponenter er det i de fleste tilfeller alltid småfeil som gjør at målingene aldri er helt fullkomne. Dette er grunnen til at man foretar et antall målinger istedenfor kun en måling, i tillegg til å supplere målingene med andre datasett for å kunne oppnå større nøyaktighet i sluttresultatet.

Slike feil kan ligge i hvilken som helst komponent benyttet til å måle resultater i datasettet. Det kan være uriktige målemetoder, feilkalibrerte instrumenter eller uriktige avlesninger av de som bruker utstyret.

Tilfeldig feil er feil som forekommer uten at man har kontroll på hvorfor. Disse feilene kan aldri elimineres helt. I vårt forsøk har vi ingen metode for å finne tilfeldige feil, men vi er klar over at de eksisterer. Dermed blir ikke tilfeldige feil innenfor grovfeilkraavet fjernet fra analysen. Tilfeldige feil påvirker ikke gjennomsnittet, men kun variasjonen rundt gjennomsnittet.

Til forskjell fra tilfeldige avvik er det veldig vanskelig å oppdage systematiske avvik dersom man ikke vet hva man skal se etter i målingene. Ved å kjenne begrensningene til utstyret man bruker, og ved å kjenne til hele arbeidsgangen i målingsprosedyren kan man identifisere områder som er veldig påvirkningsbare for systematiske feil. Et kjent område som er utsatt for systematiske feil i laserskanning fra fly og bil er selve sensorens montering og skannevinkel.

Typisk vil dette føre til et off-set i resultatene på centimeternivå som man da kan ta høyde for når man prosesserer datasettene etter innsamlingen og dermed oppnå bedre nøyaktighet på den digitale terrengmodellen som skal lages. Systematisk avvik har vi brukt for å se om resultatene vi har fått er innenfor kravet til FKB-laser produktspesifikasjonen. I vår undersøkelse har vi brukt gjennomsnitt som grunnlag for beregning av systematisk avvik.

Gjennomsnitt

Gjennomsnitt av høydeavviket gir et mål på hvor nærme modellen ligger i forhold til fasitmålingen.

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$$

Formel 5: Beregne gjennomsnitt. Hentet fra Geodatakvalitet, 2015, s. 53.

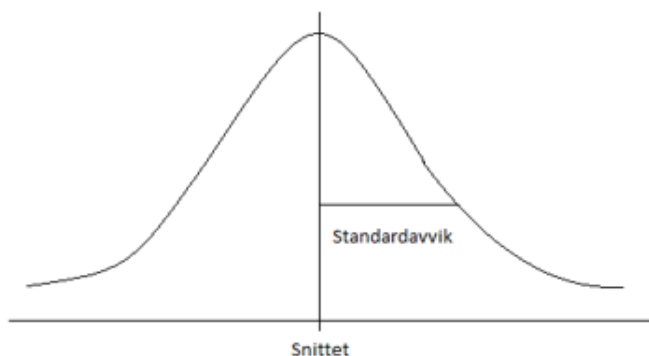
\bar{h} = gjennomsnitt (systematisk avvik)

h_i = høydeavvik, avvik mellom modell- og fasithøyde.

n = antall avvik

Standardavvik

Standardavviket gir oss et mål på spredningen av høydeavvikene i modellen i forhold til fasitmålingen. Vi har beregnet forventet standardavvik med grunnlag fra tabell 7. Figur 34 viser forholdet mellom standardavvik og snittet, når man forutsetter at det er normalfordeling.



Figur 34: Forholdet mellom standardavvik og snittet

Vårt tilfelle gir det oss usikkerhet i enkeltmåling. Standardavvik har vi brukt for å se om resultatene vi har fått er innenfor kravene til FKB-laser produktspesifikasjonen.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}$$

Formel 6: Beregne standardavvik. Hentet fra Geodatakvalitet, 2015, s. 53.

s = standardavvik

h_i = høydeavvik, avvik mellom modell- og fasithøyde

\bar{h} = gjennomsnitt (systematisk avvik)

n = antall avvik

RMS

RMS gir oss et forventningsrett estimat for standardavviket, hvis man har sanne feil. RMS og standardavvik skal ha tilnærmet lik verdi. Når det er stor forskjell mellom de to verdiene kan det ha oppstått en feil. En annen grunn kan være at snittet som blir brukt når man regner ut standardavviket er høyt. Siden snittet blir trukket fra høydeavviket når man regner ut standardavviket, mens RMS tar bare hensyn til høydeavvikene. Dette kan påvirke standardavviket til å bli mindre enn RMS.

$$h_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i^2}$$

Formel 7: Beregne RMS. Hentet fra Geodatakvalitet, 2015, s. 56.

h_{RMS} = RMS

h_i = høydeavvik, avvik mellom modell- og fasithøyde

n = antall avvik

6 Resultater

6.1 Usikkerhet fasitmåling

I dette prosjektet er vi avhengig av at fasiten er blitt målt nøyaktig. Ellers er det ikke grunnlag for sammenligningen mellom fasit og skanning. Her har vi sett på nøyaktigheten til en enkel måling.

Nøyaktigheten til en måling er avhengig av flere variabler som instrument, siktepunkt, sentrering, target, avstand osv. Når vi har beregnet nøyaktighet har vi forenklet og bare tatt med stasjonsoppstilling, instrument og rundprisme.

Instrument

	<i>Instrument detaljer</i>	<i>Beregning</i>	<i>Nøyaktighet</i>
<i>Vinkel fra instrument</i>	1" (0.3 mgon) = 0.000004848 rad	75 x 0.004848 mm/m	<u>± 0,36 mm</u>
<i>Avstand fra instrument</i>	1mm + 1.5 x10 ³ mm/m	1 mm + (75 m x 1,5 x 10 ⁻³ mm/m)	<u>± 1,11 mm</u>

Tabell 8: Nøyaktighet instrument

Target

Rundprisme (sort): ± 1 mm

Stasjonsoppstilling

Stasjonskoordinat:

$$E_{Sta} = \sqrt{2^2 + 2^2 + 3^2} = \pm 4,12 \text{ mm}$$



Figur 35: Standardavvik for oppstilling

Vinkelkvalitet:

0.00003 gon = 0.000000471 rad	75 x 0.000471 mm/m	<u>± 0,03 mm</u>
-------------------------------	--------------------	------------------

Tabell 9: Vinkelkvalitet

Nøyaktighet er hentet fra produktspesifikasjon til Leica TS16 (Leica Geosystems, 2015). Avvik er hentet fra vilkårlig oppstilling under feltarbeid. Orienteringskvalitet og posisjon nøyaktighet er tatt ut ifra målebok, se figur 35.

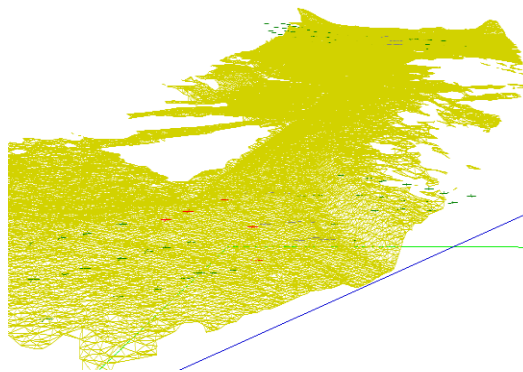
Nøyaktighet for måling (Ghilani, 2010, s.86-91)

$$E_{Tot} = \sqrt{0.36^2 + 1.11^2 + 1^2 + 4.12^2 + 0.03^2} \approx \pm 4,40 \text{ mm}$$

6.2 Bil

6.2.1 Felt 1

Fasitpunkt analyse	93
Antall grovfeil	7
Prosentandel grovfeil	7.53%
Maksimum grovfeil verdi	0.621 m
Standardavvik	0.039 m
Middel	-0.026 m
RMS	0.047 m



Figur 36: TIN-modell av felt 1

Tabell 10: Resultat felt 1

Felt 1 er det mest åpne området av alle testområdene. Dette kan man se ut fra TIN-modellen som er relativt flat over hele området bortsett fra en liten bakketopp nær veien. Syv av fasitpunktene på jordet bak denne toppen er fjernet fra statistikken siden de ville ha forverret resultatene fra den geometriske kontrollen. Dette området er også et område TerraTec ikke ville levert et ferdig produkt fra uten å supplere med data fra andre kilder. Dette fordi laserskanneren ikke treffer godt nok til å få en god punktsky på grunn av at veien er på et lavere nivå.

I felt 1 har vi målt inn 111 fasitpunkter, men noen punkter havnet i områder der TIN-modellen ikke genererte trekanten slik at disse ikke ble med i den geometriske kontrollen. Grunnen til at det ikke ble laget triangler i disse «hvite» områdene er fordi dette er steder i punktskyen med veldig lav punktethet eller ingen punkter i det hele tatt. Derfor ender vi opp med 93 fasitpunkter i terrenget i felt 1, der syv av disse blir definert som grovfeil. Disse punktene går over grensen for grovfeil som er definert som tre ganger kravet til standardavviket gitt i produktspesifikasjonen FKB-Laser. Dette kravet er for et slikt område satt til 0.100 m eller 10 cm.

Grovfeilene er fjernet, og de vil dermed ikke få innvirkning på standardavviket. RMS verdiene ligger også i nærheten av verdien for standardavviket. Dette forteller oss at fordelingen av

høydeverdiene for hele feltet ligger i området tre til fire cm, noe som er godt innenfor kravet satt i produktspesifikasjonen.

Vegetasjon	Lav	Middels	
Fasitpunkt analyse	83	10	Vegetasjonstypen i felt 1 består for det meste av lav til middels vegetasjon. Dette innebærer dyrket mark, åpne områder og busker, kratt og hekker som ikke er relativt høye. Resultatene fra de enkelte vegetasjonstypene i dette feltet viser hvor mye høydeforskjellen er fra våre fasitpunkt og til de teoretiske punktene generert fra TIN-modellen. Man kan se at den
Antall grovfeil	0	7	
Prosentandel grovfeil	0	70%	
Maksimum absolutt verdi	0.229 m	0.621 m	
Standardavvik	0.037 m	0.054 m	
Middel	-0.024 m	-0.091 m	
RMS	0.044 m	0.101 m	

Tabell 11: Resultat for ulike vegetasjoner

største usikkerheten ligger i middels vegetasjon og det passer også med virkeligheten da de syv grovfeilene ligger i området beskrevet tidligere. Verdiene for middels vegetasjon varierer mellom 10 til 60 cm i høydeforskjell som man kan se av maksimum absolutt verdi i tabellen. Dette skyldes at terrenget består av tett kratt. I tillegg til at området som sagt ligger på toppen av en liten bakke som laseren ikke treffer godt nok. Standardavviket for lav vegetasjon ligger godt innenfor hva man kan forvente fra en bilskanning i denne typen vegetasjon.

For middels vegetasjon ligger også standardavviket innenfor forventet verdi etter at vi har fjernet grovfeilene, og modellen treffer ganske bra med et avvik på 5 cm. RMS verdien og gjennomsnittet antyder at fordelingen av høydeverdier ligger i området 5-10 cm over fasitpunktene.

Totalt Areal	m²
Testområde	17436.912
Bilskann (blått)	9823.158
Differanse	7613.754
Dekket areal i prosent	56.34%
Punkt utenfor modell	18



Tabell 12: Dekket areal innenfor felt 1

Figur 37: Modell over felt 1

Vårt forsøk på å finne hvor fullstendig bilskanningen er, går ut på å benytte de avgrensede polygonene for testområdet og skille de skannede områdene fra de «hvite» områdene der modellen ikke har nok punkt. Da får vi ut et areal som vist i tabell 12. Vår analyse viser at modellen (blått) i bildet dekker litt over halvparten av hele området. Dermed vil det totale arealet som er skannet bli mindre sammenlignet med fly og helikopter som dekker hele testområdet.

	Toleranse	Resultat
Standardavvik	0.100 m	0.039 m
Systematisk avvik	0.100 m	-0.026 m

Tabell 13: Avvik felt 1

Toleransenivået på 10 cm er hentet fra FKB-Laser og vi sammenligner våre resultater med verdiene i denne tabellen.

Som man kan se er resultatene fra vår geometriske kontroll godt innenfor kravet på 10 cm. Dette kravet gjelder for ujevne flater og variert vegetasjon.

6.2.2 Felt 2

Fasitpunkt analyse	50
Antall grovfeil	5
Prosentandel grovfeil	10%
Maksimum grovfeil verdi	0.542 m
Standardavvik	0.075 m
Middel	-0.086 m
RMS	0.114 m



Tabell 14: Resultat felt 2

Figur 38: TIN-modell av felt 2

Felt 2 er det største området av alle testområdene. Dette er også området som har færrest fasitpunkter som følge av feil hos oss. Da vi målte et sett med punkter utenfor angitt område så disse vil dessverre ikke telle med i vår analyse. Utsnittet av TIN-modellen med fasitpunkter er vist i figur 38.

I felt 2 er det totalt 50 målepunkt som er tatt med i den geometriske kontrollen. Antall målepunkt er egentlig mye høyere, men siden mange av disse havner i de «hvite» områdene eller helt utenfor der modellen ikke har terrengpunkter så blir de heller ikke tatt med videre i beregningene. Av 50 punkter blir fem definert som grovfeil og er ikke med i standardavviket. Standardavviket for felt 2 er på 7.5 cm og gjennomsnittet ligger på omtrent -8 cm. Dette betyr at våre fasitpunkt ligger under modellen som er generert fra laserpunktene. Dette er forventet med tanke på det veldig varierte terrenget i dette området, og med systematiske avvik inkludert i standardavviket så havner man fortsatt innenfor 10 cm.

Vegetasjon	Lav	Middels	Spredt
Fasitpunkt analyse	8	26	16
Antall grovfeil	0	4	1
Prosentandel grovfeil	0	15.4%	6.3%
Maksimum absolutt verdi	0.081 m	0.542 m	0.364 m
Standardavvik	0.038 m	0.085 m	0.056 m
Middel	-0.042 m	-0.116 m	-0.065 m
RMS	0.056 m	0.143 m	0.085 m

Tabell 15: Resultat for ulike vegetasjoner

Vegetasjonen i felt 2 består av det vi har klassifisert som lav, middels og spredt vegetasjon som vist i tabell 4. Grovfeilene ligger i den delen av området som er minst gjennomtrengende med laseren. Etter å ha identifisert fire grovfeil i middels vegetasjon og en i spredt vegetasjon fjernes disse, og vi oppnår et bedre standardavvik på begge vegetasjonstypene. Usikkerheten ligger i middels vegetasjon som har en større andel grove feil enn de andre typene og antyder at modellen ligger 3-4 cm over fasitpunktene. Det er fortsatt gode resultater i dette terrenget når man tar høyde for systematiske avvik og grovfeil.

Totalt Areal	m²
Testområde	42124.420
Bilskann	15973.210
Differanse	26151.210
Dekket areal i prosent	37.92%
Punkt utenfor modell	6



Tabell 16: Dekket areal innenfor felt 2

Figur 39: Modell over felt 2

Innenfor testområdet er det bare punktene som ligger rundt veien som er blitt modellert godt nok og derfor dekker ikke bilskanningen mer enn 37.92% av det avgrensede polygonet over testområdet. Man kan se av figur 39 ovenfor hvor mye av felt 2 som ikke blir modellert etter at laserpunktskyen har blitt klassifisert og prosessert. De hvite og skraverte områdene befinner seg langt vekk fra veien og det er logisk at laseren ikke vil dekke disse områdene så godt som fly eller helikopter.

	Toleranse	Resultat
Standardavvik	0.100 m	0.075 m
Systematiske avvik	0.100 m	-0.086 m

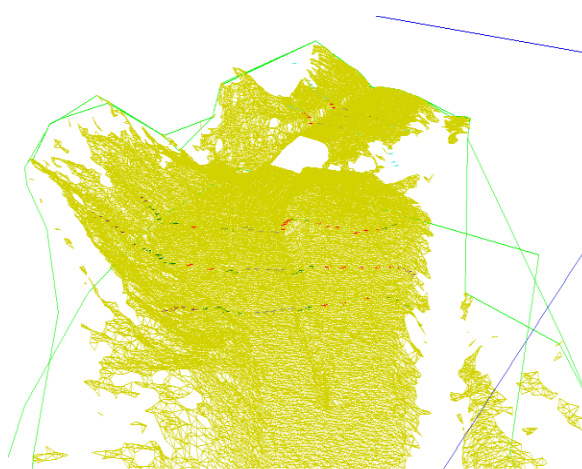
Tabell 17: Avvik felt 2

Modellen for felt 2 er innenfor kravet satt i produktspesifikasjonen med et standardavvik på 7.5 cm og et antatt systematisk avvik som ligger på 8 cm over vår fasitmåling.

6.2.3 Felt 3

Fasitpunkt analyse	86
Antall grovfeil	11
Prosentandel grovfeil	12.79%
Maksimum grovfeil verdi	1.344 m
Standardavvik	0.071 m
Middel	-0.034 m
RMS	0.078 m

Tabell 18: Resultat felt 3



Figur 40: TIN-modell av felt 3

Felt 3 består av totalt 94 fasitpunkter der åtte punkter havnet utenfor testområdet og er blitt fjernet. Modellen treffer ganske godt med virkeligheten, men området har høyest prosentandel med grovfeil til nå. De fleste grovfeil punktene stammer fra områdene i fjellskjæringene der det er litt overheng som skaper problemer. Fasitpunktene vi har målt i fjell får veldig store forskjeller i høyde når man sammenligner med de teoretiske punktene laget i modellen. Dette stammer fra feil i grunnriss som gjør at fjellskjæringene blir feil modellert. RMS verdien og standardavviket for hele området holder seg under 10 cm.

Vegetasjon	Fjell	Høy	Lav	Spredt
Fasitpunkt analyse	11	20	38	17
Antall grovfeil	7	1	3	0
Prosentandel grovfeil	63.6%	5%	7.9%	0%
Maksimum absolutt verdi	1.344 m	0.309 m	0.404 m	0.221 m
Standardavvik	0.181 m	0.064 m	0.053 m	0.062 m
Middel	0.019 m	-0.052 m	-0.016 m	-0.062 m
RMS	0.158 m	0.081 m	0.055 m	0.087 m

Tabell 19: Resultat for ulike vegetasjoner

Vegetasjonen i felt tre består av typene nevnt i tabellen over. Standardavviket ligger på 5-6 cm på alle typene unntatt fjell. Det er også her de største feilene forekommer. Modellen treffer ikke godt fjellskjæringene langs veien og med et standardavvik på nesten 20 cm er det problematisk å lage en god TIN-modell i disse utsatte fjellområdene.

Totalt Areal	m²
Testområde	21726.561
Bilskann	9784.087
Differanse	11942.474
Dekket areal i prosent	45.03%
Punkt utenfor modell	8



Figur 41: Modell over felt 3

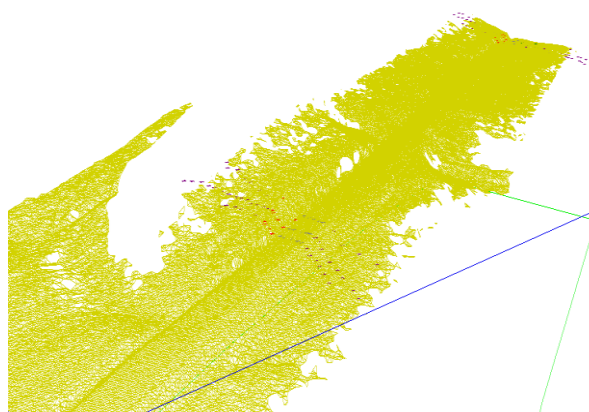
Fullstendighetsanalysen viser at modellen dekker 45.03% av hele testområdet. Dette er bra med tanke på at bilskanneren beveger seg langs veien og ikke i luften så det er helt umulig å få dekket hele testområdet. Den hvite firkanten i bildet er klassifisert som en bru og derfor ikke en del av selve terrenget.

	Toleranse	Resultat	
Standardavvik	0.100	0.071 m	Standardavviket for felt 3 er innenfor kravet på 10 cm og det antydes et systematisk avvik på 3.4 cm. Det vil si at modellen ligger 3.4 cm over våre fasitpunkter.
Systematisk avvik	0.100	-0.034 m	

Tabell 21: Avvik felt 3

6.2.4 Felt 4

Fasitpunkt analyse	118
Antall grovfeil	5
Prosentandel grovfeil	0.68%
Maksimum grovfeil verdi	0.474 m
Standardavvik	0.085 m
Middel	-0.033 m
RMS	0.091 m



Figur 42: TIN-modell av felt 4

Tabell 22: Resultat felt 4

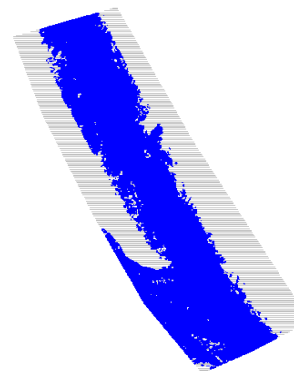
Felt 4 er det feltet som er mest homogent med tanke på vegetasjonstyper. Her finnes det nesten bare høy og tett skog med de mest åpne områdene rundt veikanten. Dette er med på å gjøre resultatene fra den geometriske kontrollen gode, og vi får en modell som stemmer godt med terrenget. Problemområdene oppstår som i felt 3 i fjellskjæringene. Standardavviket for området blir i underkant av kravet i FKB-Laser med 8.5 cm. Med en RMS verdi som er veldig nær standardavviket så tilsier dette at spredningen i høydeverdiene for dette feltet ligger 8 cm over fasitmålingene.

Vegetasjon	Fjell	Høy	Lav
Fasitpunkt analyse	20	85	13
Antall grovfeil	2	3	0
Prosentandel grovfeil	10%	3.5%	0.0%
Maksimum absolutt verdi	0.474 m	0.346 m	0.055 m
Standardavvik	0.106 m	0.069 m	0.030 m
Middel	0.053 m	-0.060 m	0.018 m
RMS	0.115 m	0.091 m	0.034 m

Tabell 23: Resultat for ulike vegetasjoner

Resultatene for de enkelte vegetasjonstypene viser hvor mange av punktene som er klassifisert som fjell, høy og lav vegetasjon. Den største usikkerheten ligger som vi ser i fjellskjæringen. Her er grovfeilen på 10% av de 20 målepunkt som er i fjellskjæring. For høy og lav vegetasjon ligger standardavviket på et forventet nivå siden vi vet at laserstrålen har vanskeligheter med å treffe terrenget perfekt. TIN-modellen ligger omtrent 6-7 cm over våre målte fasitpunkter.

Totalt Areal	m²
Testområde	36841.011
Bilskann	19701.836
Differanse	17139.175
Dekket areal i prosent	53.48%
Punkt utenfor modell	35



Tabell 24: Dekket areal for felt 4

Figur 43: Modell over felt 4

Modellen fra laserpunktene dekker 53.48% av hele området som vist i figuren. De hvite områdene er steder med tett skog og bratt fjell der laserstrålen ikke kommer til. Terrenget blir veldig godt dekket av punkter i nærheten av veien, men punkttettheten avtar drastisk når avstanden til laseren øker. Dermed oppstår de hvite områdene med for få punkter til å lage en god gjengivelse av terrenget.

Oppsummert er stedfestingsnøyaktigheten for felt 4 innenfor kravet satt i produktspesifikasjonen FKB-Laser kapittel 7.2.

	Toleranse	Resultat
Standardavvik	0.100 m	0.085 m
Systematisk avvik	0.100 m	-0.033 m

Tabell 25: Avvik felt 4

6.2.5 Harde flater

Harde flater er definert som vei, parkeringsplasser og grusvei. Siden dette er harde flater som er homogene for alle felt har vi samlet resultatene fra alle feltene i en tabell. Det finnes ingen grovfeil punkter som måtte lukes ut.

Med et standardavvik på 2.6 cm for grus og 2.0 cm for asfalt kan man si at modellen treffer godt og stemmer bra med overflaten på disse harde flatene. Høydeforskjellen mellom våre fasitpunkter og modellens teoretiske punkt er ikke større enn ca. 1- 2 cm som defineres som et systematisk avvik.

Harde flater:	Grus	Vei
Fasitpunkt analyse	23	91
Antall grovfeil	0	0
Prosentandel grovfeil	0.00%	0.00%
Maksimum grovfeil verdi	0.055 m	0.076 m
Standardavvik	0.026 m	0.020 m
Middel	0.022 m	0.014 m
RMS	0.033 m	0.024 m

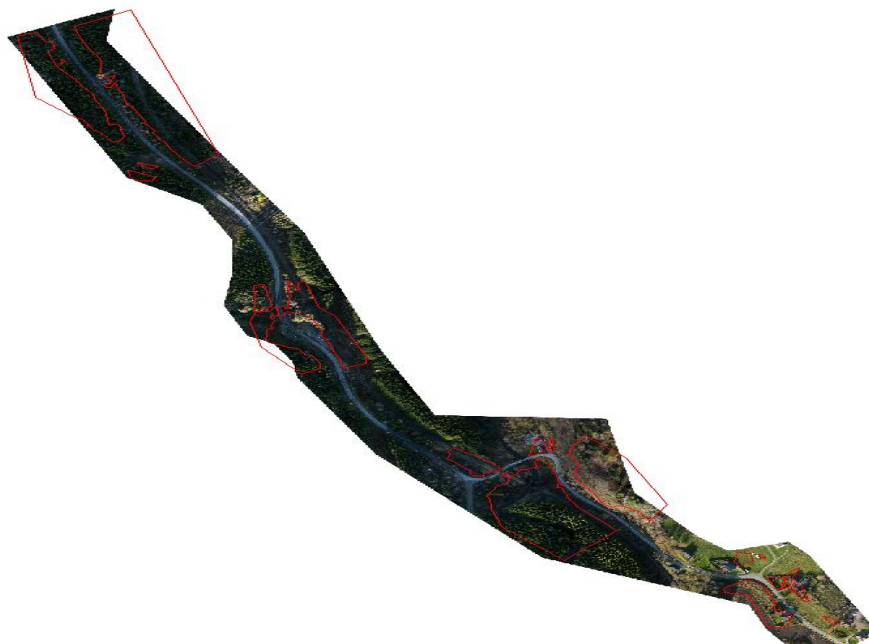
Tabell 26: Resultat harde flater

	Toleranse	Vei	Grus
Standardavvik	0.040	0.020 m	0.026 m
Systematisk avvik	0.100	0.014 m	0.022 m

Tabell 27: Avvik harde flater

6.3 Bil avgrenset av polygon

I et møte med TerraTec diskuterte vi områder der de mente bilskanneren oppnådde svake resultater. De ville ikke tatt med disse områdene med mindre de kunne supplere med data fra andre kilder. Vi kom fram til at vi ville presentere hvordan resultatet blir når vi tar bort fasitmålinger som havner innenfor de røde polygonene i oversiktsbildet under.





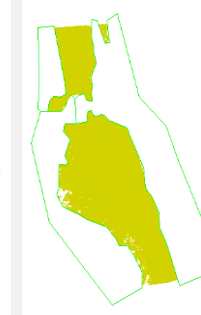

Figur 44: Oversiktsbilde av området med polygoner

Under følger en tabelloversikt med resultater fra geometrisk kontroll på alle feltene, der vi har fjernet fasitpunkter som havner innenfor polygonene TerraTec ikke ville levert data for uten å supplere med data fra andre kilder.

	Felt 1	Felt 2	Felt 3	Felt 4
Antall fasitpunkt fjernet	8	14	4	6
Totalt antall reelle målepunkt	85	36	82	112
Antall grovfeil	0	1	11	5
Prosentandel grovfeil	0%	2.78%	13.41%	4.46%
Maksimum grovfeilverdi	0.229 m	0.364 m	1.344 m	0.474 m
Standardavvik	0.038 m	0.062 m	0.069 m	0.081 m
Middel	-0.025 m	-0.069 m	-0.031 m	-0.029 m
RMS	0.045 m	0.092 m	0.075 m	0.085 m

Tabell 28: Resultat per felt

Felt 3 og 4 er fortsatt områdene som har høyest prosentandel av grovfeil. Dette kommer av problemområdene i fjellskjæringene som ikke blir modellert godt nok, slik at det blir en meter høydeavvik i felt 3 og en halv meter i felt 4. Standardavvikene i alle feltene blir marginalt forbedret når vi tar bort til sammen 32 fasitpunkt som havnet innenfor polygonene.

	Felt 1	Felt 2	Felt 3	Felt 4
Totalt areal	17436.912 m ²	42124.420 m ²	21726.561 m ²	36841.011 m ²
Bilskann redusert	8803.273 m ²	12752.930 m ²	7684.145 m ²	17217.56 m ²
Differanse	8633.639 m ²	29371.490 m ²	14042.416 m ²	19623.451 m ²
Dekket areal	50.49%	30.27%	35.37%	46.73%
Avgrensninger, illustrasjon				

Tabell 29: Resultat fullstendighet i avgrenset polygon

Fullstendigheten blir redusert som følge av polygonene som avgrenser modellen. Det som er blitt gjort er at laserpunkt som faller innenfor de hvite polygonene har blitt fjernet fra punktskyen og deretter er det blitt laget en TIN-modell av den reduserte punktskyen. På denne måten får vi en representasjon av fullstendigheten innenfor hvert testfelt lik den som er gjort for de enkelte feltene i første del, men redusert med 5-10% for de enkelte feltene.

6.4 Fly

6.4.1 Felt 1

Fasitpunkt analyse	108	I felt 1 er det målt 111 punkt, der det er gjort analyse på 108 punkt. Modellen treffer godt med terrenget, men dette var forventet siden felt 1 er så åpnet med lav vegetasjon. Modellen ligger i gjennomsnitt på omtrent 4 cm over fasiten.
Antall grovfeil	2	
Prosentandel grovfeil	1.85%	
Maksimum grovfeil verdi	0.873 m	
Standardavvik	0.097 m	
Gjennomsnitt	-0.044 m	Feltet har to grovfeil. Den største grovfeilen ligger i et område med busker. Den andre grovfeilen ligger inntil en hagehekk.
RMS	0.106 m	

Tabell 30: Resultat fra felt 1

Standardavviket og RMS har en høy verdi og ligger på omtrent 10 cm. Det vil si at snittet på 4 cm kan svinge fra ± 10 cm.

Vegetasjon	Lav	Middels	
Fasitpunkt analyse	94	14	For lav vegetasjon så er modellen 2.5 cm over fasitpunktene i gjennomsnitt. Dette er et godt resultat. Mens standardavviket og RMS ligger på omtrent 9 cm, noe som er dårligere.
Antall grovfeil	1	1	
Prosentandel grovfeil	1.1%	7.1%	
Maksimum absolutt verdi	0.386 m	0.873 m	
Standardavvik	0.084 m	0.079 m	
Gjennomsnitt	-0.025 m	-0.175 m	
RMS	0.088 m	0.191 m	

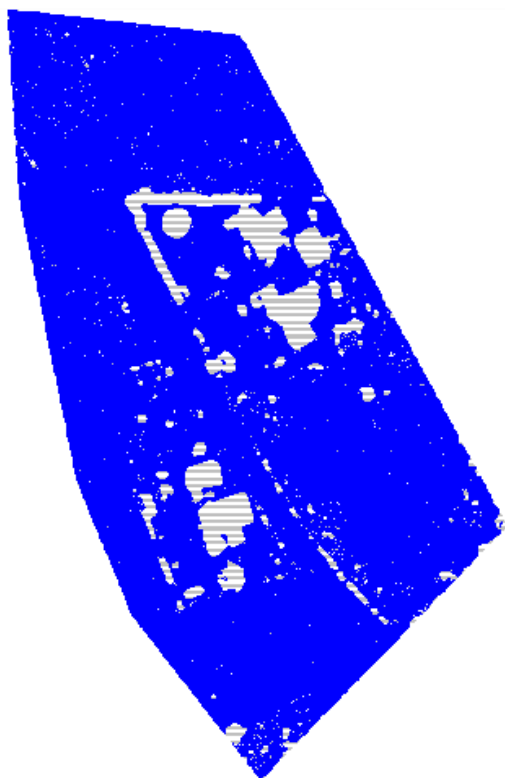
Tabell 31: Resultat for ulike vegetasjoner

For middels vegetasjon blir det dårligere resultat enn det blir for lav vegetasjon. Her er gjennomsnittet på omtrent 18 cm, der modellen ligger over fasitpunktene. Standardavviket ligger på 8 cm, men RMS-verdi ligger på 19 cm, noe som er mye høyere enn det standardavviket er. Grunnen til dette er at standardavviket blir regnet ut med hensyn på snittet og høydeavvikene, mens RMS bare tar hensyn til høydeavvikene. Siden snittet er ganske stort så påvirker det standardavviket, og det fører til at standardavviket blir en del lavere enn RMS.

Totalt Areal	m²	Fullstendighetsanalysen viser at modellen dekker store deler av området. 88.83 % av arealet for felt 1 er dekket. Det er også bare tre fasitpunkt som har falt utenfor modellen. Det er ikke noen overraskelse at modellen dekket så mye av området, i og med at det er åpent og ikke er så mye vegetasjon.
Testområde	17436.912	
Flyskann	15489.097	
Differanse	1947.815	
Dekket areal i prosent	88.83%	
Fasitpunkt utenfor modell	3	

Tabell 32: Dekket areal innenfor felt 1

Det som vises i blått er modellen, mens de «hvite» områdene er hull i modellen. De store «hvite» områdene modellen ikke har dekket er hus, garasje og et badebasseng. Det er også noen mindre hull i modellen som har kommet på grunn av hagebusker og at det er noen steder med middels vegetasjon, som har resultert til at skanningen ikke har truffet terrenget godt nok.



Figur 45: Modell over felt 1

	Toleranse	Resultat
Standardavvik	0.100 m	0.097 m
Systematisk avvik	0.100 m	-0.044 m

Tabell 33: Avvik felt 1

Toleranse er hentet fra produktspesifikasjonen for FKB-laser. For felt 1 er modellen akkurat innenfor produktspesifikasjonen når man ser på standardavviket, men systematisk avvik er godt innenfor. Standardavvik på 9.7 cm og et systematisk avvik på 4.4 cm.

6.4.2 Felt 2

Fasitpunkt analyse	48	I felt 2 er det målt totalt 56 punkt i terrenget. Det er egentlig målt dobbelt så mange punkt, men disse punktene ble dessverre målt utenfor testområdet.
Antall grovfeil	11	
Prosentandel grovfeil	21.15%	
Maksimum grovfeil verdi	0.550 m	
Standardavvik	0.097 m	Felt 2 var et utfordrende område med vanskelig vegetasjon. Dette gjør at modellen ikke treffer godt med fasiten. Modellen ligger i gjennomsnitt 13 cm over fasit. Det er 11 grovfeil, der den største feilen ligger på 55 cm. Disse grovfeilene ligger i middels og spredt vegetasjon.
Gjennomsnitt	-0.130 m	
RMS	0.161 m	

Tabell 34: Resultat for felt 2

Standardavviket er på omtrent 10 cm og RMS er på 16 cm. Her er det også ganske stor forskjell mellom standardavvik og RMS. Siden snittet er ganske høyt så har standardavviket blitt påvirket av det.

Vegetasjon	Lav	Middels	Spredt
Fasitpunkt analyse	8	27	13
Antall grovfeil	0	6	5
Prosentandel grovfeil	0	18.5%	38.5%
Maksimum absolutt verdi	0.072 m	0.523 m	0.550 m
Standardavvik	0.026 m	0.092 m	0.076 m
Gjennomsnitt	-0.037 m	-0.134 m	-0.211 m
RMS	0.044 m	0.162 m	0.222 m

Tabell 35: Resultat for ulike vegetasjoner

I lav vegetasjon er det bare målt åtte punkter, dette fører til at det blir vanskelig å gjøre en vurdering. Men standardavviket her er ganske lavt og ligger på omtrent 3 cm. I middels vegetasjon ligger modellen i gjennomsnitt på omtrent 13 cm over fasiten. Dette er ikke så gode resultater, men forventet siden det var ganske høy vegetasjon her. I spredt vegetasjon ligger modellen i gjennomsnitt på omtrent 21 cm. Både middels og spredt vegetasjon har store forskjeller på RMS og standardavvik, siden snittet er høyt.

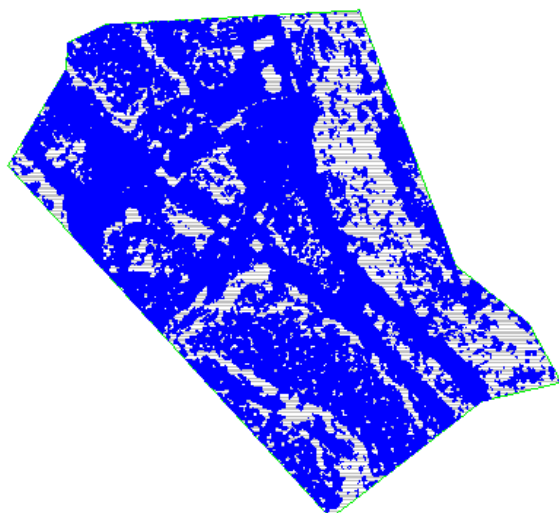
Det er fem grovfeil i spredt vegetasjon, dette er fordi det er dårlig modellert på disse områdene. Grunnen til det kommer av at laseren ikke har trengt gjennom vegetasjonen og truffet terrenget, og derfor har man for få punkt. Det er seks grovfeil i middels vegetasjon. Grunnen til dette er mye vegetasjon og laseren sliter med å treffe terrenget godt nok.

Totalt Areal	m²	
Testområde	42124.420	Fullstendighetsanalysen viser at modellen ikke dekker så godt området. Litt over halvparten av arealet for felt 2 er dekket og åtte fasitpunkter havner utenfor modellen.
Flyskann	26711.899	
Differanse	15412.521	
Dekket areal i prosent	63.41%	Figur 46 viser modellen i felt 2, her ser man at det er store og små hull i hele modellen. Til høyre i modellen er det mest kritiske området, her er det bratt terreng med mye skog. Nederst til venstre er det en elv som beveger seg oppover med lave trær rundt, her ser vi også at skanningen ikke har kommet så godt gjennom. Det er også et par hus i dette feltet, de ligger øverst til høyre.
Faitpunkt utenfor modell	8	

Tabell 36: Dekket areal innenfor felt 2

Det er store og små hull i hele modellen. Til høyre i modellen er det mest kritiske området, her er det bratt terreng med mye skog. Nederst til venstre er det en elv som beveger seg oppover med lave trær rundt, her ser vi også at skanningen ikke har kommet så godt gjennom. Det er også et par hus i dette feltet, de ligger øverst til høyre.

Flyskanningen har blitt utført på sommeren når det var blader på trærne og buskene hadde blomstret, vi ser at dette har preget fullstendigheten til modellen. Det må ha vært veldig tett vegetasjon når skanningen har blitt utført og dermed har ikke skanningen kommet gjennom vegetasjonen og truffet terrenget. Dette resulterer til at man får denne modellen med mye hull i seg.



Figur 46: Modell over felt 2

	Toleranse	Resultat
Standardavvik	0.100 m	0.097 m
Systematisk avvik	0.100 m	-0.130 m

Tabell 37: Avvik felt 2

For felt 2 er modellen akkurat innenfor kravet for standardavvik, der avviket er på 9.7 cm. Systematiske avviket ligger på 13 cm, som er 3 cm over kravet.

6.4.3 Felt 3

Fasitpunkt analyse	50	I felt 3 er det målt totalt 94 punkt i terrenget.
Antall grovfeil	1	Modellen ligger i gjennomsnitt på 5 cm over fasiten, noe som er bra. Men standardavviket ligger på omtrent 11 cm og RMS ligger på omtrent 12 cm, dette er høyt. Feltet har en grovfeil. Dette punktet ligger i spredt vegetasjon. Det er omtrent 39 cm høydeforskjell mellom modell og fasit i dette punktet.
Prosentandel grovfeil	2.00%	
Maksimum grovfeil verdi	0.387 m	
Standardavvik	0.109 m	
Gjennomsnitt	-0.050 m	
RMS	0.119 m	

Tabell 38: Resultat for felt 3

Vegetasjon	Fjell	Høy	Lav	Spredt
Fasitpunkt analyse	3	7	29	11
Antall grovfeil	0	0	0	1
Prosentandel grovfeil	0%	0%	0%	9%
Maksimum absolutt verdi	0.247 m	0.112 m	0.231 m	0.387 m
Standardavvik	0.193 m	0.071 m	0.100 m	0.119 m
Middel	0.026 m	-0.040 m	-0.040 m	-0.110 m
RMS	0.159 m	0.077 m	0.106 m	0.157 m

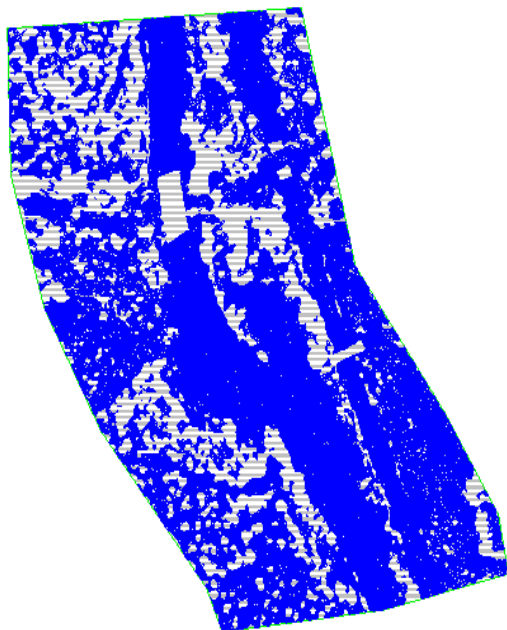
Tabell 39: Resultat for ulike vegetasjoner

Lav vegetasjon har et gjennomsnitt på 4 cm, der modellen ligger over fasitpunktene. Standardavviket og RMS ligger på omtrent 10 cm.

På spredt vegetasjon har man høye verdier for både standardavvik, gjennomsnitt og RMS. Gjennomsnittet på fjell ligger på omtrent 3 cm som er veldig bra, men standardavviket er på omtrent 19 cm som gjør det dårlig. Høy vegetasjon har gjennomsnitt på 4 cm, og standardavvik på omtrent 7 cm. Vegetasjonstypene fjell, høy og spredt har ikke mange målte punkter, som gjør det vanskelig å analysere resultatene.

Totalt Areal	m²
Testområde	21726.561
Flyskann	14310.416
Differanse	7416.145
Dekket areal i prosent	65.87%
Fasitpunkt utenfor modell	44

Tabell 40: Dekket areal innenfor felt 3



Figur 47: Modell over felt 3

Fullstendighetsanalysen viser at modellen ikke dekker området bra. Det er 65.87 % av arealet for felt 3 som er dekket, som er litt over halvparten av området. Det er også 44 fasitpunkt utenfor modellen.

Der det er hull i modellen er det høy vegetasjon med mye trær og fjell. Her ser man også at modellen har blitt preget av tidspunktet skanningen ble utført. Siden det ble utført på sommeren har det vært tett vegetasjon og dette har resultert i flere hull i modellen. Det er en bro i midten av figur 47 som ikke er blitt modellert.

	Toleranse	Resultat
Standardavvik	0.100 m	0.109 m
Systematisk avvik	0.100 m	-0.050 m

Tabell 41: Avvik felt 3

For felt 3 er ikke standardavviket innenfor kravet som er hentet fra produktspesifikasjonen for FKB-laser. Standardavviket ligger på 10,9 cm, som er 9 mm over kravet. Systematisk avvik er godt innenfor, og ligger på 5 cm.

6.4.4 Felt 4

Fasitpunkt analyse	110
Antall grovfeil	3
Prosentandel grovfeil	2.73%
Maksimum grovfeil verdi	0.440 m
Standardavvik	0.070 m
Middel	-0.028 m
RMS	0.075 m

Tabell 42: Resultat for felt 4

Felt 4 er det målt 153 punkt i terrenget. Til tross for at dette er et utfordrende område, så treffer modellen godt med bakken. Gjennomsnittet er på 3 cm og det er lave verdier for både standardavvik og RMS.

Feltet har tre grovfeil. Det største avviket har høydeforskjell på ca. 40 cm mellom modell og fasit. Dette punktet ligger i en fjellskjæring. Av de to andre grovfeilene ligger den ene i en fjellskjæring og den andre i lav vegetasjon.

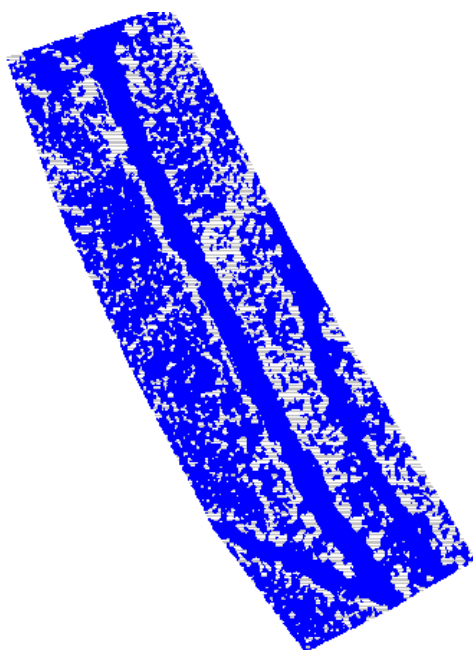
Vegetasjon	Fjell	Høy	Lav
Fasitpunkt analyse	17	80	13
Antall grovfeil	2	0	1
Prosentandel grovfeil	11.8%	0%	7.7%
Maksimum absolutt verdi	0.440 m	0.218 m	0.320 m
Standardavvik	0.085 m	0.062 m	0.096 m
Middel	-0.005 m	-0.032 m	-0.024 m
RMS	0.082 m	0.070 m	0.096 m

Tabell 43: Resultat for ulike vegetasjoner

Område fire består for det meste av høye trær, i tillegg til litt fjellskjæring og lav vegetasjon. For fjell ligger modellen 5 mm over fasitpunktene i gjennomsnitt. Standardavviket og RMS ligger på omtrent 8.0 cm. For høy vegetasjon så ligger modellen 3.2 cm over fasitpunktene i gjennomsnitt. Standardavvik ligger på omtrent 6.0 cm og RMS ligger på 7.0 cm. Lav vegetasjon har en forskjell på 2,4 cm, men her er det litt for få punkt til å få noe ut av resultatet. Vegetasjonstypene fjell og høy får gode resultater med lavt gjennomsnitt, til tross for at både fjell og høy vegetasjon kan være vanskelig å skanne.

Totalt Areal	m²
Testområde	36841.011
Flyskann	22255.968
Differanse	14585.043
Dekket areal i prosent	60.41%
Fasitpunkt utenfor modell	43

Tabell 44: Dekket areal innenfor felt 4



Figur 48: Modell over felt 4

Fullstendighetsanalysen viser at modellen ikke dekker store deler av området, og 43 fasitpunkt faller utenfor modellen. 60 % av arealet for felt fire er dekket, noe som er litt over halvparten av område. Det er mange hull spredt rundt i hele modellen. Hull i modellen er i områder med bratt og middels terreng, med høy vegetasjon. I dette området er det mye grantrær så her har laseren hatt problemer med å trenge igjennom.

	Toleranse	Resultat
Standardavvik	0.100 m	0.070 m
Systematisk avvik	0.100 m	-0.028 m

Tabell 45: Avvik felt 4

For felt 4 er modellen godt innenfor kravet for systematisk avvik fra produktspesifikasjonen, her ligger systematiske avviket på 2.8 cm. Modellen er også innenfor kravet for standardavvik, men noe dårligere. Standardavviket ligger på 7 cm.

6.4.5 Harde flater

Harde flater	Grus	Vei
Fasitpunkt analyse	23	91
Antall grovfeil	0	0
Prosentandel grovfeil	0.00%	0.00%
Maksimum grovfeil verdi	0.114 m	0.115 m
Standardavvik	0.033 m	0.023 m
Middel	0.049 m	0.031 m
RMS	0.059 m	0.038 m

Tabell 46: Resultat for harde flater

Vei har gjennomsnitt på omtrent 3 cm, der fasitpunktene ligger over modellen. Som forventet ble snittet lavt. Grus har et gjennomsnittet på omtrent 5 cm, der fasitpunktene ligger over modellen. Det er forventet at resultatene til grus er dårligere enn vei, siden grus er et mer usikkert underlag. Grunnen til dette er fordi vi har målt fasitpunktene mens det var snø og is ute. Det kan være usikkert om vi faktisk har truffet grusen i terrenget.

	Toleranse	Vei	Grus
Standardavvik	0.040 m	0.023 m	0.033 m
Systematisk avvik	0.100 m	0.031 m	0.049 m

Tabell 47: Avvik harde flater

Vei har standardavvik på 2.3 cm og systematisk avvik på 3.2 cm. Dette er godt innenfor kravet som er satt i produktspesifikasjonen for FKB-laser. Grus har litt høyere verdier, men fortsatt innenfor kravet. Standardavviket her ligger på 3.3 cm og systematisk avvik ligger på 4.9 cm.

6.5 Helikopter

6.5.1 Felt 1

Fasitpunkt analyse	106	I felt 1 er det målt totalt 111 punkter, der det er blitt gjort analyse på 106 av dem. I dette terrenget treffer modellen godt med terrenget.
Antall grovfeil	0	
Prosentandel grovfeil	0.00%	
Maksimum grovfeil verdi	0.190 m	
Standardavvik	0.050 m	Feltet har et par punkt med litt større avvik enn resten. Ingen av disse punktene overstiger kravet til grove feil. Feltet har dermed ingen grove feil.
Gjennomsnitt	-0.005 m	
RMS	0.050 m	

Tabell 48: Resultat for felt 1

Gjennomsnittsavstanden mellom modell og fasit er under en cm. I tillegg er standardavvik og RMS på 5 cm.

Vegetasjon	Lav	Middels	
Fasitpunkt analyse	96	10	
Antall grovfeil	0	0	
Prosentandel grovfeil	0%	0%	
Maksimum absolutt verdi	0.190 m	0.187 m	
Standardavvik	0.042 m	0.077 m	
Gjennomsnitt	0.001 m	-0.063 m	
RMS	0.042 m	0.097 m	

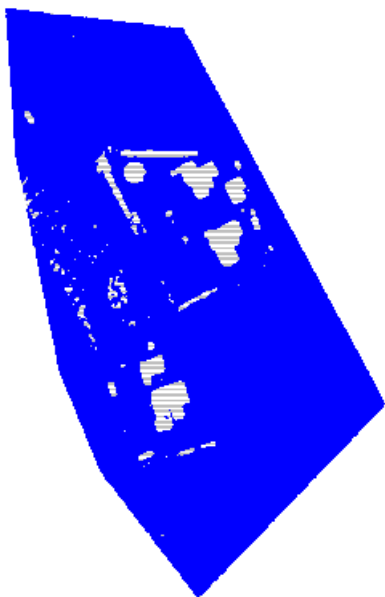
I tillegg så var det to rader med høyballer. Her har laseren fått punkt imellom. Modellen av terrenget under høyballene er modellert svakere enn andre plasser.

Tabell 49: Resultat for ulike vegetasjoner

For middels vegetasjon er det litt få punkt, men de som er målt er innenfor kravet til grove feil. I disse punktene er avvikene mot modellen noe større enn for punktene i lav vegetasjon.

Totalt Areal	m²
Testområde	17436.912
Helikopterskann	16120.454
Differanse	1316.458
Dekket areal i prosent	92.45%
Fasitpunkt utenfor modell	5

Tabell 50: Dekket areal innenfor felt 1



Figur 49: Modell over felt 1

Nesten hele terrenget er modellert. De hvite områdene består for det meste av hus, garasje og et badebasseng. I tillegg er det noen utsatte områder med middels vegetasjon og høye hagebusker.

Spesielt for helikopterskannet var en båt, som var blitt satt på land for vinteren. Denne vises som en hvit flekk øverst til venstre på figur 49. Fem av fasitpunktene vi målte havnet i «hvite» områder i modellen.

	Toleranse	Resultat
Standardavvik	0.100 m	0.050 m
Systematisk avvik	0.100 m	-0.005 m

Tabell 51: Avvik felt 1

For felt 1 er modellen godt innenfor produktspesifikasjonen med et standardavvik på 5 cm og et systematisk avvik på en halv cm.

6.5.2 Felt 2

Fasitpunkt analyse	56	I felt 2 er det målt 56 punkt under første oppstilling. Egentlig er det målt flere punkt, men de ble målt utenfor testområdet.
Antall grovfeil	2	
Prosentandel grovfeil	3.57%	
Maksimum grovfeil verdi	0.455 m	Felt 2 har mye vanskelig vegetasjon. Der vi har målt fasit er det store busker og spredt med trær.
Standardavvik	0.059 m	Ved unntak av to store grovfeil så har modellen truffet ganske godt med fasiten.
Gjennomsnitt	-0.058 m	
RMS	0.082 m	Snittet ligger omtrent 6 cm over fasiten. Det tilhørende standardavviket er på 6 cm, mens RMS-verdien er 8 cm. Dette tyder på at verdiene svinger litt.

Tabell 52: Resultat for felt 2

Vegetasjon	Lav	Middels	Spredt
Fasitpunkt analyse	8	27	21
Antall grovfeil	0	2	0
Prosentandel grovfeil	0%	7.4%	0%
Maksimum absolutt verdi	0.075 m	0.455 m	0.125 m
Standardavvik	0.018 m	0.065 m	0.060 m
Gjennomsnitt	-0.058 m	-0.071 m	-0.044 m
RMS	0.060 m	0.095 m	0.073 m

Tabell 53: Resultat for ulike vegetasjoner

I lav vegetasjon er det litt for få punkt til å gjøre en vurdering, men det lave standardavviket styrker gjennomsnittet. I middels terreng ligger modellen 7 cm over fasiten. Dette er gode resultat med tanke på hvor høy vegetasjonen var i området. I spredt vegetasjon er bakken godt beskrevet med tanke på utfordringen med vegetasjonstypen.

Spesielt i dette området bærer resultatene preg av at opptaket ble gjort på gunstig tid på året. Sent i oktober var det betydelig mindre blomst i vegetasjonen enn i sommermånedene.

Totalt Areal	m²
Testområde	42124.420
Helikopterskann	36841.011
Differanse	5283.409
Dekket areal i prosent	87.46%
Fasitpunkt utenfor modell	0

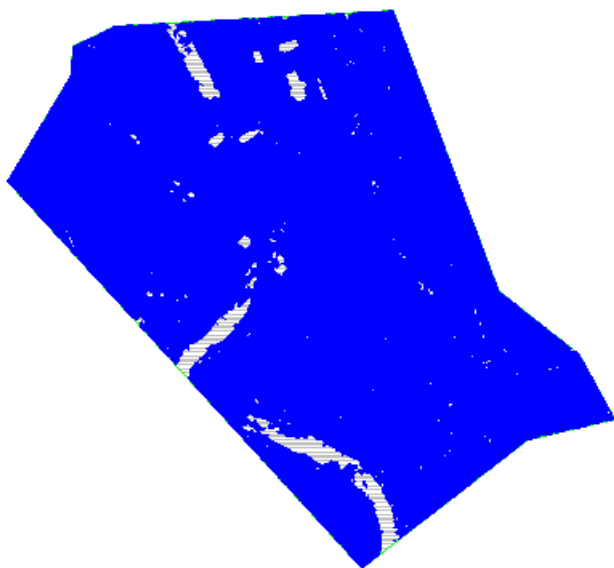
Tabell 54: Dekket areal innenfor felt 2

Modellen dekker nesten hele området. De «hvite» hullene øverst til høyre i figur 50 er hus, garasje og store vedstabler.

I tillegg kan vi se elva som slynger seg igjennom området. Her er store deler modellert. Dette er grunne partier med større steiner i elva.

Under fasitmålingen var det is over hele elva, ellers ville det vært interessant å se hvor godt modellen traff i elva.

I tillegg har helikopterskannet fått punkter nok til å modellere terrenget under broen og jernbanebroen. Her er modellen litt svak grunnet få punkt.



Figur 50: Modell over felt 2

	Toleranse	Resultat
Standardavvik	0.100 m	0.059 m
Systematisk avvik	0.100 m	-0.058 m

Tabell 55: Avvik felt 2

For felt 2 er modellen godt innenfor produktspesifikasjonen med et standardavvik på 0.059 m og et systematisk avvik på 0.058 m.

6.5.3 Felt 3

Fasitpunkt analyse	88	I felt 3 er det målt 94 punkt. Modellen treffer godt med bakken. I gjennomsnittet er modellen bare 1.7 cm over fasitpunktene. I tillegg utgjør standardavvik og RMS omtrent 7 cm.
Antall grovfeil	3	
Prosentandel grovfeil	3.41 %	
Maksimum grovfeil verdi	0.674 m	
Standardavvik	0.070 m	
Gjennomsnitt	-0.017 m	Grovfeilene kommer fra punkter i fjellskjæring. Igjen er det knyttet størst usikkerhet til modellering i fjellet. Her er det flere hvite flekker og det er få laserpunkt til å bygge modell. Dette får ringvirkninger for nøyaktigheten til hele felt 3. Den store grovfeil verdien blir mye mindre dersom man sammenligner normalt på modellen.
RMS	0.072 m	

Tabell 56: Resultat felt 3

Vegetasjon	Fjell	Høy	Lav	Spredt
Fasitpunkt analyse	7	18	38	25
Antall grovfeil	3	0	0	0
Prosentandel grovfeil	42.9%	0%	0%	0%
Maksimum absolutt verdi	0.674 m	0.086 m	0.186 m	0.161 m
Standardavvik	0.162 m	0.035 m	0.074 m	0.063 m
Gjennomsnitt	0.048 m	-0.029 m	-0.014 m	-0.024 m
RMS	0.148 m	0.045 m	0.074 m	0.066 m

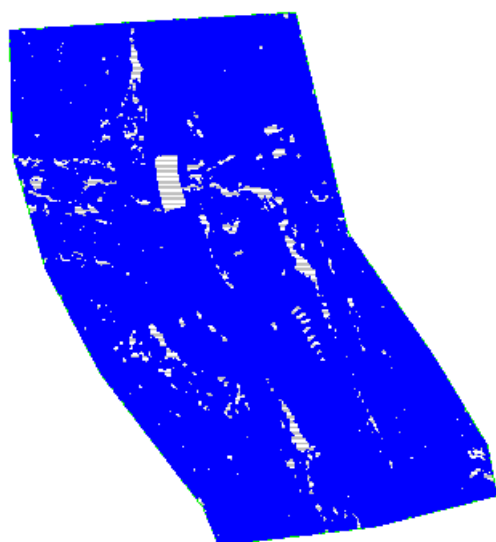
Tabell 57: Resultat for ulike vegetasjoner

Område tre består for det meste av lav, spredt og høy vegetasjon. Her er avvikene i snitt innenfor 3 cm forskjell. Tilhørende standardavvik er på rundt 7 cm. I fjellskjæringen er det litt for få punkt til å ta noe særlig ut ifra resultatene. Men man kan se at modellen ikke treffer godt med fasiten.

Totalt Areal	m²	
Testområde	21726.561	Fullstendighetsanalysen viser at modellen dekker store deler av området. 92 % av arealet for testområde tre er dekket.
Helikopterskann	19906.637	
Differanse	1819.924	Store deler av feltet som ikke er modellert er en kombinasjon av høy vegetasjon og bratt terreng. Resten er fjellskjæringer langs veien som ikke er modellert.
Dekket areal i prosent	91.62%	
Fasitpunkt utenfor modell	6	

Tabell 58: Dekket areal felt 3

Et annet område er brua som ligger midt i feltet. Denne er ikke klassifisert som terreng. Her har ikke helikopteret fått punkt under brua. Under brua går det en liten bekk, den er dekket av spredt og høy vegetasjon i bratt terreng. Her sliter laserpunktene med å komme igjennom.



Bildet viser hvor godt modellen dekker området. Brua er det lille område over midten som er hvitt. Polygonet av brua er omtrent 170 m². I tillegg kan vi se det utsatte område med høy vegetasjon og bratt terreng på begge sider av bekken.

Ved parkeringsplassen kan man se et mønster av hvite flekker. Dette er biler som har stått parkert under opptaket. Her er det laserpunkt i mellom, men modellen er svak her, grunnet få punkt.

Figur 51: Modell over felt 3

	Toleranse	Resultat	
Standardavvik	0.100 m	0.070 m	For felt 3 er modellen godt innenfor produktspesifikasjonen med et standardavvik på 0.070 m og et systematisk avvik på 0.017 m.
Systematisk avvik	0.100 m	-0.017 m	

Tabell 59: Avvik felt 3

6.5.4 Felt 4

Fasitpunkt analyse	146	I felt 4 er det målt totalt 153 punkt i terrenget. Til tross for at dette er et utfordrende område, så treffer modellen godt med bakken. Her er snittet av differansen mellom fasit og modell nesten null. I tillegg er det lave verdier for både standardavvik og RMS.
Antall grovfeil	1	
Prosentandel grovfeil	0.68%	
Maksimum grovfeil verdi	0.402 m	
Standardavvik	0.064 m	
Middel	0.001 m	
RMS	0.064 m	Feltet har en grovfeil. Dette punktet ligger i en fjellskjæring. Det er 40 cm høydeforskjell mellom modell og fasit. Her avviker ikke modellen så mye som differansen tilsier. Dette er grunnet feil i grunnriss, som skaper store feil i loddrett avstand. En kontroll av dette punktet normalt på modellen, ville gjort avviket mye mindre.

Tabell 60: Resultat for felt 4

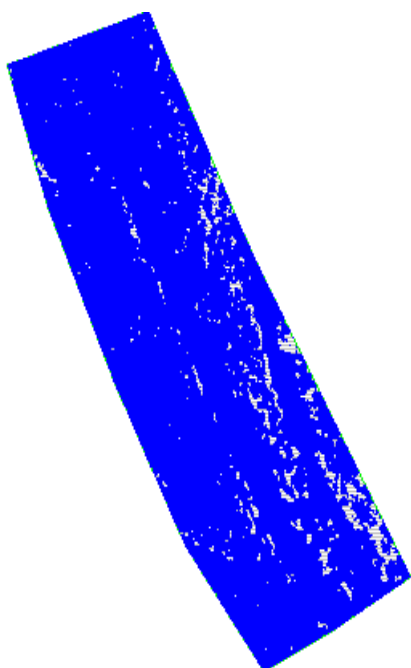
Vegetasjon	Fjell	Høy	Lav
Fasitpunkt analyse	18	115	13
Antall grovfeil	1	0	0
Prosentandel grovfeil	5.5%	0.0%	0.0%
Maksimum absolutt verdi	0.674 m	0.200 m	0.051 m
Standardavvik	0.124 m	0.044 m	0.027 m
Middel	0.075 m	-0.012 m	0.021 m
RMS	0.141 m	0.046 m	0.032 m

Tabell 61: Resultat for ulike vegetasjoner

Område fire består for det meste av høye trær, i tillegg til litt fjellskjæring og lav vegetasjon. Ved å se på resultater fra enkelte vegetasjonstyper, så kan man se at fjellskjæring utgjør usikkerheten. Mens standardavviket for høy og lav vegetasjon ikke utgjør så mye. For høy vegetasjon så ligger modellen 1,2 cm over fasitpunktene i gjennomsnitt. Lav vegetasjon har en forskjell på 2,1 cm, men her er det for få punkt til å bestemme et systematisk avvik. I fjellskjæring så treffer modellen dårlig på grunn av feil i grunnriss.

Totalt Areal	m²
Testområde	36841.011
Helikopterskann	32800.864
Differanse	4040.147
Dekket areal i prosent	89.03%
Fasitpunkt utenfor modell	7

Tabell 62: Dekket areal innenfor felt 3



Figur 52: Modell over felt 4

Fullstendighetsanalysen viser at modellen dekker store deler av området. 89 % av arealet for testområde fire er dekket.

Hull i modellen er i områder med bratt terreng og høy vegetasjon. Der har ikke laseren kommet igjennom, og vi har ikke nok punkt til å modellere terrenget. Dette er områder vi heller ikke fikk dekket under fasitmålingen. I tillegg er ikke de bratteste fjellskjæringene modellert. Dette gjør at flere punkter i fjellskjæring faller bort under statistikkberegningen.

Figur 52 viser hvor godt modellen dekker området. De kritiske områdene ligger til høyre i bildet. Området til venstre består også av høy skog, men her er terrenget flatere. Dette fører til at man får flere laserpunkt i terrenget.

	Toleranse	Resultat
Standardavvik	0.100 m	0.064 m
Systematisk avvik	0.100 m	0.001 m

Tabell 63: Avvik felt 4

For felt 4 er modellen godt innenfor produktspesifikasjonen med et standardavvik på 0.064 m og et systematisk avvik på 0.001 m.

6.5.5 Harde flater

Harde flater	Grus	Vei
Totalt antall målepunkt	22	91
Antall grovfeil	0	0
Prosentandel grovfeil	0 %	0%
Maksimum grovfeil verdi	0.085 m	0.093 m
Standardavvik	0.031 m	0.020 m
Gjennomsnitt	0.042 m	0.022 m
RMS	0.051 m	0.030 m

Tabell 64: Resultat for harde flater

Vei har som forventet et lavt gjennomsnitt. I tillegg til lave verdier for standardavvik og RMS.

Grus har noe høyere verdier enn vei. Igjen så er det litt få punkt til å gjøre analyse, men det er forventet at resultatene for grus er noe mer usikre enn for vei.

Flesteparten av punktene med større avvik forekommer i felt 3. Her var det humpete vei, og en liten helning på veien.

	Toleranse	Grus	Vei
Standardavvik	0.040 m	0.031 m	0.020 m
Systematisk avvik	0.100 m	0.042 m	0.022 m

Tabell 65: Avvik harde flater

For harde flater er modellen godt innenfor produktspesifikasjonen. Grus har noe høyere avvik, men er innenfor kravet.

7 Diskusjon

7.1 Utførelse av prosjektet

I denne oppgaven er kvaliteten på fasitmålingen avgjørende for sammenligningen av resultatene. Gjennom sommerjobb og studie hadde vi en del erfaring med totalstasjon før feltarbeid. Det er strevet etter at punktene som er målt har best mulig kvalitet. En av utfordringene i feltet var målestokken til totalstasjonen som skyldes UTM kartprojeksjon. Vi fikk ikke lav nok nøyaktighet på oppstilling av totalstasjon. Uten nøyaktige oppstilling vil det ikke være mulig å måle fasit. Vi måtte dermed stille målestokken manuelt ved hjelp av Leica sin brukermanual.

Forholdene under feltarbeidet var ikke optimale for landmåling. I veien var det delvis et lag av is. Her kunne vi hakke oss helt ned til den harde flaten. Dette var en tidkrevende prosess, men her er vi sikre på at vi traff asfalten. Grus derimot er en annen sak. Normalt på sommertid er det knyttet en usikkerhet til hvor langt staven stikker ned i bakken. Her ville det vært optimalt med tele og bar overflate. Vi er usikre om hvor godt vi traff grusflaten, ettersom vi måtte grave vekk snø og is. Denne usikkerheten kan utgjøre 2-3 cm i forskjell i høyde.

Ute i terrenget møtte vi de samme utfordringene. Her var det mindre is, og dermed lettere å bestemme bakken. I vegetasjonen er det i tillegg vanskelig å vite hvor dypt man skal sette staven. Ved for eksempel moseteiger og busker, har vi ryddet vekk slik at vi treffer bakken. Igjen er dette et område som er vanskelig å måle fasit uavhengig av årstid.

I forkant av feltarbeidet hadde vi planlagt å måle en betraktelig større mengde punkt. Det fikk vi ikke utført på de få dagene vi hadde lånt utstyr. Selv om det ble målt effektivt på dagene, så mistet vi flere timer på grunn av feil i målestokk. Den største grunnen til at det gikk tregt var all isen og snøen som måtte fjernes.

I ettertid ser vi at det ville vært gunstig at feltarbeidet hadde vært utført i en annen årstid. Sent om høsten er et godt tidspunkt, ettersom det meste av vegetasjonen er borte og snøen ikke har lagt seg. Tidlig vår er også et alternativ etter at snøen har smeltet og før knoppene blomstrer.

I vår undersøkelse ble det ikke målt grøft. Grunnen til dette var at grøftene var islagt, og dermed vurderte vi at måling i grøft ble en for tidkrevende prosess. Dette er en svakhet for prosjektet, siden vi forestiller oss at grøftene ville by på utfordringer for metodene. Det ville vært interessant å se hvilke resultater bil ville fått. Dette med tanke på sikt over vegkanten og ned i grøften. I tillegg kan vi tenke oss at de andre metodene også vil ha problemer med å skildre terrenget. Dette med tanke på hvor nøyaktig de beskriver knekklinjene i topp og bunn.

I vår sammenligning har vi brukt samme krav for oppbygging av triangelmodell for alle metodene. Dette kravet gjenspeiles i hvor dekkende en metode er i fullstendighetsanalysen. I for eksempel høy vegetasjon, så sliter fly med å få nok terrengpunkt til å generere modell. I en slik vegetasjon kunne det vært gunstig å lette litt på kravene slik at fly får generert større deler av modellen. Dette kravet til punktetthet vil selvsagt være forskjellig fra prosjekt til prosjekt. Vi mener kravet er akseptabelt med tanke på at de andre metodene ikke skal få svakere resultat.

7.2 Nøyaktighet for ulike metoder

7.2.1 Felt 1

Felt 1 er et flatt og åpent område så her forventer vi gode resultater, uten de store avvikene.

Felt 1	Bil	Avgrenset Bil	Fly	Helikopter
Fasitpunkt analyse	93	85	108	106
Grove feil	7	0	2	0
Prosentandel grovfeil	7.53%	0.00%	1.85%	0.00%
Maksimum absolutt verdi	0.621 m	0.229 m	0.873 m	0.190 m
Standardavvik	0.039 m	0.038 m	0.097 m	0.050 m
Middel	-0.026 m	-0.025 m	-0.044 m	-0.005 m
RMS	0.047 m	0.045 m	0.106 m	0.050 m

Tabell 66: Felles resultat felt 1

Bil presterer for det meste godt over hele området, uten noen store avvik. Skannet er svakt i middels vegetasjon, der avvikene er større enn i lav vegetasjon. Grunnen til dette er fordi vegetasjonen befinner seg over en bakkekant. Kombinasjon av tett vegetasjon og sikt over bakketoppen skaper vanskeligheter for bilskanning. Skanning med bil har begrensninger på rekkevidden. Siden bilskanneren ikke kommer over bakkekanten, så får den ikke nok punkt til å modellere på toppen av bakken. Dermed har den bare tre punkt i middels vegetasjon. Dette gir bil meget gode resultater siden målingen unngår det verste området i felt 1. Helheten av felt 1 for bil blir dermed meget bra.

Bil avgrenset av polygon har ingen grovfeil. Grunnen til det er at feilene ligger i middels. Dette området har falt utenfor polygonet og blitt fjernet fra modellen. Gjennomsnitt, standardavvik og RMS blir bedre i forhold til bilskannet, siden man unngår de vanskelige områdene.

Fly har også gode resultat, men noe dårligere enn helikopter og bil. Som forventet har fly noe dårligere nøyaktighet. Hovedgrunnen til dette ligger i avstanden mellom skanneren og objekt. Større avstand fører til lavere punkttetthet, dermed lavere nøyaktighet.

Modellen har en grovfeil i lavt terreng som de andre ikke har. Dette kommer av at vi har lagt en linje nær en hagehekk. Her har flyet ikke fått nok punkt til å skille klart mellom hagehekken og jordet. Dermed oppstår det en grovfeil. I nærheten av hekken har de andre metodene også

høyere avvik, men de er innenfor kravet for grovfeil. I tillegg har fly en kjempefeil i middels vegetasjon. Dette kommer av at punktet ligger i et område med busker. Her har ikke laseren kommet gjennom, og det har blitt klassifisert som terreng i modellen. De andre punktene i middels vegetasjon har også noe høyt avvik, men de er innenfor grovfeilkravet. En av grunnene til at fly presterer noe dårligere er tidspunktet for opptaket. I august så har det vært høyere vegetasjon i området. Gresset på jordet og buskene i utkanten har stått tettere og høyere enn om høsten.

Helikopter gir også gode resultat i felt 1. Modellen har ingen store avvik eller grovfeil i forhold til fasiten. Grunnen til dette er fordi området er åpent med ingen vanskelig vegetasjon som skaper problemer for skannet.

For felt 1 leverer alle metodene resultater innenfor FKB-standard. Alle metodene gir solide resultater i lav vegetasjon. Problemene oppstår i områdene med middels vegetasjon. Der har modellene vanskeligheter med å beskrive terrenget.

I dette området har bil og helikopter prestert bedre på grunn av tidspunktet for opptaket. I august har vegetasjon på jorde og busker stått høyere, enn når det har ligget "flatt" om høsten.

7.2.2 Felt 2

Felt 2 har det mest varierende terrenget av alle feltene. Her forventer vi at metodene har problemer med å skildre terrenget.

Felt 2	Bil	Avgrenset Bil	Fly	Helikopter
Fasitpunkt analyse	50	36	48	56
Punkt utenfor grovfeilkra	5	1	11	2
Prosentandel grovfeil	10.00%	2.78%	22.92%	3.57%
Maksimum absolutt verdi	0.542 m	0.364 m	0.550 m	0.455 m
Standardavvik	0.075 m	0.062 m	0.097 m	0.059 m
Middel	-0.086 m	-0.069 m	-0.130 m	-0.058 m
RMS	0.114 m	0.092 m	0.161 m	0.082 m

Tabell 67: Felles resultat felt 2

En gjenganger for alle metodene her er den største grovfeilen. Dette punktet befinner seg under en stor busk. Som fører til det samme som skjedde for fly i felt 1. Laseren trenger ikke gjennom buskene, og man får et høydeavvik på en halv meter. Avgrensningen for bil unngår denne grovfeilen.

Resultatene for bil er bra i forhold til forventningene. Standardavvik og gjennomsnittet er innenfor kravet for grovfeil, selv om terrenget byr på store utfordringer. Fire av grovfeilene ligger i middels vegetasjon. Middels vegetasjon er greit beskrevet av modellen med tanke på utfordringene i vegetasjonen. For spredt vegetasjon blir ikke hele området modellert, men det er bra resultat for det som er modellert. Avvikene forekommer ved ytterkanten av modellen mot de "hvite" områdene. Her er det akkurat nok punkt til å lage 3D-modell med våre krav (figur 29), men nettverket rundt er svakt.

Den avgrensede modellen for bil gir bedre resultat og ingen grovfeil i middels vegetasjon. Da unngår den det vanskelige området med middels vegetasjon. Den gjenstående grovfeilen er i spredt terreng. Modellen i dette området er svak, så her tenker vi at man skulle hatt strengere avgrensninger. Grunnen til dette er at fasitpunktene i ytterkanten er de største bidragsyterne til usikkerheten til resultatet. Her har TerraTec en egen algoritme som avgrenser punktskyen. I dette tilfelle vurderer vi det slik at de ikke har vært streng nok i kravet til levering.

I dette området har fly problemer med både middels og spredt vegetasjon. For middels vegetasjon har laseren hatt problemer med å beskrive bakken nøyaktig. Dette gir oss en modell som ligger høyere enn terrenget. Dette fører til høye avvik og seks grovfeil. Store deler av spredt vegetasjon er ikke modellert. Grunnen til den svake modellen er at laseren ikke har trent gjennom trær. Dette fører til at det blir få punkt og større avstand mellom punktene, som gjør det vanskelig å lage en nøyaktig modell. Resultatene for fly er "heldig" i den forstand at fasitpunktene som vi har målt har truffet akkurat der modellen er modellert. Dersom vi hadde valgt en annen trasé kunne resultatene vært annerledes. For eksempel at fasiten ikke hadde fått treff i modellen. Det ligger fem grovfeil i spredt vegetasjon. Grovfeilene og de store avvikene er forårsaket av den svake modellen.

Helikopter presterer godt over hele området. Det er gode resultater i middels og spredt vegetasjon. Det er to grovfeil i middels vegetasjon, disse ligger under busker. Bortsett fra de to grovfeilene så får helikopter overraskende gode resultater for middels vegetasjon. Her

hadde vi forventet større avvik slik bil og fly fikk. I forhold til de andre metodene har ikke helikopter problemer med å modellere spredt vegetasjon. Her har laseren nådd bakken og punktskyen beskriver terrenget godt.

For felt 2 leverer både bil og helikopter resultater som er innenfor kravet. Fly derimot har litt mer problemer. Standardavviket er akkurat innenfor kravet, men det skiller bare med 3 mm. Systematisk avvik til fly ligger 3 cm over kravet. Alle metodene har problemer med å treffe terrenget i middels vegetasjon. I spredt vegetasjon leverer helikopter en solid modell, men bil og fly sliter med punkttettheten. Igjen lider resultatene fra fly av at det har vært mer tett vegetasjon i sommerhalvåret enn om høsten.

7.2.3 Felt 3

Felt 3 er et godt kupert terreng med flere typer vegetasjoner. Vi forventet at dette terrenget byr på utfordringer for de forskjellige metodene. Siden området består av en kombinasjon av bratt terreng og vanskelig vegetasjon.

Felt 3	Bil	Avgrenset Bil	Fly	Helikopter
Fasitpunkt analyse	86	82	50	88
Punkt utenfor grovfeilkra	11	11	1	3
Prosentandel grovfeil	12.79%	13.41%	2.00%	3.41%
Maksimum absolutt verdi	1.344 m	1.344 m	0.387 m	0.674 m
Standardavvik	0.071 m	0.069 m	0.109 m	0.070 m
Middel	-0.034 m	-0.031 m	-0.050 m	-0.017 m
RMS	0.078 m	0.075 m	0.119 m	0.072 m

Tabell 68: Felles resultat felt 3

Alle metodene i dette området sliter med fjellskjæringen langs veien. Der fjellveggen ikke blir godt nok modellert for noen av metodene. Her er det mulig feil i grunnriss da dette kan ha sammenheng med overheng i terrenget. Dette fører til at høydeavvikene blir store, selv om utformingen av fjellet ikke er så forskjellig fra virkeligheten. Fly får ikke like store problemer i dette feltet, siden minimalt av fjellet er modellert. Dermed unngår modellen for fly de største grovfeilene i fjellskjæringene.

Bil har 11 grovfeil, syv av dem er i fjellskjæring. Her forventet vi at bil skulle gi en god representasjon av fjellet. Dette siden fjellskjæringen ligger nær veien. Modellen er god på form, men siden det er feil i grunnriss så blir høydeavvikene store. Tre av grovfeilene ligger i lav vegetasjon. Dette kommer av bratt terreng til venstre i modellen. Her er det lav vegetasjon som tilsier at bil egentlig skal få gode resultater. Imidlertid fører kombinasjon av bratt terreng og lav lyng til dårligere resultater enn andre områder.

Den avgrensede modellen for bil presterer noe bedre. Dette kommer av at punkt som ligger bak en bakke og parkeringsplass blir utelatt. Grunnen til dette er fordi bil har hatt en innsynsvinkel med lengre avstand, og ikke direkte ut. Dermed er punktene bak parkeringsplassen blitt målt fra større avstand. Dette fører til færre laserpunkter og et svakere nettverk av punkter.

I dette området sliter fly mer enn de andre metodene. Grunnen til dette er den lave punkttettheten i forhold til bil og helikopter. Fly sliter med å få nok punkt i bratt terreng. Dette forekommer både med lav og høy vegetasjon. I dette området er det ikke terrenget som lager overheng, men vegetasjon som ligger over. Busker og trær strekker seg over kanter og skrenter. Dette fører til at modellen blir fremstilt annerledes enn bakken. Flere laserpunkt kan kompensere for effekten av overheng. Mesteparten av avvikene kommer fra spredt vegetasjon. Her har ikke de andre metodene problemer. Dette kan ha sammenheng med vegetasjonen i området. I august vil det være betraktelig mer blader på løvtrær enn om høsten. Dette fører til færre punkt og svakere triangelmodell.

Helikopter har generelt bra resultat over hele området, med unntak av feil i fjellskjæring. Avvikene i fjellskjæringen utgjør en stor del av gjennomsnittet og standardavvik. Ettersom avvikene jevnt over modellen, med unntak av fjellet, er små. For lavt, spredt og høyt terreng presterer helikopter gode resultater. Her får man resultat som nesten skulle tilsi at det er en hard flate man målte til. Siden gjennomsnitt og standardavvik er innenfor kravet for harde flater.

For felt 3 leverer både bil og helikopter resultater som er innenfor kravet satt i produktspesifikasjonen FKB-Laser. Fly oppfyller kravet for systematisk avvik, men standardavviket ligger 9 mm over kravet. Alle modellene sliter i fjell. I bratt terreng presterer

både helikopter og bil godt, unntak til dette er områder der bil ikke har innsyn grunnet bratt terreng.

7.2.4 Felt 4

Felt 4 er et område med tett granskog. Her forventer vi at skannerne har problemer med å trenge gjennom. Dette tror vi vil påvirke resultatet med tanke på nøyaktighet og fullstendighet. I tillegg er det litt fjellskjæring langs veien.

Felt 4	Bil	Avgrenset Bil	Fly	Helikopter
Fasitpunkt analyse	118	112	110	146
Punkt utenfor grovfeilkra	5	5	3	1
Prosentandel grovfeil	4.24%	4.46%	2.73%	0.68%
Maksimum absolutt verdi	0.474 m	0.474 m	0.440 m	0.402 m
Standardavvik	0.085 m	0.081 m	0.070 m	0.064 m
Middel	-0.033 m	-0.029 m	-0.028 m	0.001 m
RMS	0.091 m	0.085 m	0.075 m	0.064 m

Tabell 69: Felles resultat felt 4

Nok en gang er modellen svak i fjellskjæring. Grovfeilene og høye avvik for området er for det meste forplantet i fjellet. Fjellskjæringen i området er ikke like bratt som i felt 3, men det fører til avvik.

Laserskanning med bil gir som forventet gode resultater i lav vegetasjon. Modellen har to grovfeil i fjellskjæring og tre grovfeil i høy vegetasjon. Grovfeilene i høy vegetasjon er helt i grensen av der modellen er modellert. Disse befinner seg i et område som ikke er tett med laserpunkt, og dermed blir modellen svakere modellert. Dette kommer av at laserstrålen fra bil ikke når lengre inn i skogen. Fra veien og ut er det tett med vegetasjon som begrenser rekkevidden til skanneren.

For den avgrensede modellen blir resultatet noe bedre. Dette kommer av at modellen ikke strekker seg så langt inn i skogen. Dermed faller fasitpunkt lengre inn i skogen bort fra statistikken. Modellen har fortsatt fem grovfeil, men de høye avvikene lengst inn i skogen faller bort. Her kan man vurdere om avgrensningen er streng nok. Hvis man ser bort fra

grovfeilene, så hadde resultatene akseptabel kvalitet. Det vil si at avvikene er godt innenfor FKB-laser. Dermed vurderer vi at avgrensningen stemmer godt.

Resultatene for fly er bra. Grunnen til dette er at modellen treffer godt med fasitpunktene, med tanke på at modellen har flere hull. Det er fortsatt en del målepunkt som faller bort siden det er flere tomrom i modellen. Her har laserskanningen slitt med å nå gjennom trærne. Med få terrengpunkt fra laserskanningen så blir ikke modellen fullstendig.

Resultatet for helikopter er meget bra. I terreng med høy vegetasjon treffer modellen godt med fasitpunktene. I flatt terreng med høy vegetasjon har helikopter få problemer med å trenge gjennom trærne. Eneste usikkerheten er i fjellskjæringen, der det er en grovfeil.

For felt 4 leverer alle metodene resultater som er innenfor kravet. Ingen av metodene har store problemer med kravet, men modellene varierer i kvalitet. Fly har en del hull i modellen, mens bil har problemer med rekkevidden. Resultatene i fjellskjæring er den største bidragsyteren for usikkerheten.

7.2.5 Harde flater

Harde flater har vi slått sammen for alle feltene. Måling på asfalt er vi mer sikre på enn målingene vi har gjort på grus. Dette er med tanke på snø og is. I tillegg er det en usikkerhet hvor langt staven ble trykket ned. Vi har derfor valgt å sammenligne harde flater for grus og vei, og ikke sammen. Siden harde flater ikke har noen obstruksjoner for skanneren, forventer vi gode resultater.

Metode	Veg			Grus		
	Bil	Fly	Helikopter	Bil	Fly	Helikopter
Fasitpunkt analyse	91	91	91	23	23	22
Punkt utenfor grovfeilkraft	0	0	0	0	0	0
Prosentandel grovfeil	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Maksimum absolutt verdi	0.076	0.115	0.093	0.055	0.114	0.085
Standardavvik	0.020	0.023	0.020	0.026	0.033	0.031
Middel	0.014	0.031	0.022	0.022	0.049	0.042
RMS	0.024	0.038	0.030	0.033	0.059	0.051

Tabell 70: Felles resultat harde flater

I analysen for harde flater er det ikke noe forskjell mellom modellen for avgrenset bilskanning og vanlig bilskanning. Dette fordi alle områder med harde flater var innenfor avgrensningen. Bil har et lavt standardavvik og snitt på under 2 cm for vei. For grus er det under 3 cm. Her presterer bil veldig godt. Dette var forventet siden laseren er nærmest bakken og det er ingen obstruksjoner for strålen.

Fly leverer solide resultater for vei. Snittet ligger på omtrent 3 cm, med et standardavvik på omtrent 2 cm. For grus er resultatet noe høyere. Snittet ligger på omtrent 5 cm, med et standardavvik på omtrent 3 cm. Dette resultatet gjenspeiler igjen at fly har større avstand og lavere punktetthet.

Helikopter har et snitt på rundt 2 cm for vei, og under 5 cm for grus. Spesielt for helikopteret var parkeringsplassen på felt 3. Her var det en del svakheter, siden det har stått biler parkert under opptak. Laseren treffer imellom, men det blir hull i modellen. Dette fører til at modellen er svakere rundt bilene. Et av fasitpunktene ligger akkurat der det har stått en bil parkert under helikopteropptaket. Dette punktet faller bort.


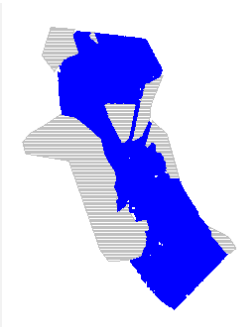
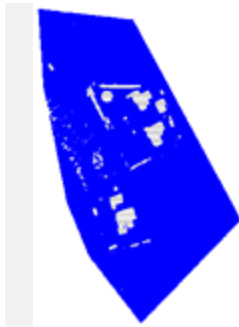

Alle metodene leverer resultat innenfor kravet for FKB-laser. Vår vurdering med å skille harde flater med grus og vei er nok unødvendig. Vi ser at det er en forskjell mellom underlagene, men at begge er innenfor kravet.

7.3 Fullstendighetsanalyse

Resultatene vi har fremlagt så langt er preget av hvilke linjer vi har gått under fasitmålingen. Dersom vi hadde valgt en annen trasé så ville resultatene blitt annerledes. En viktig del av sammenligningen er dermed å se på fullstendigheten. I vårt prosjekt har vi tatt for oss hvor mye areal av de forskjellige feltene som blir dekket. Denne måten å kontrollere fullstendigheten på er kanskje ikke den mest representative for bilskanningsmetoden ettersom bilen kun er begrenset til å beveges seg på veien. Vi mener fortsatt at denne måten å analysere fullstendigheten er best når man skal sammenligne tre forskjellige skannemetoder.

7.3.1 Felt 1

I det første feltet ser vi vekk fra områder som modellen ikke klassifiserer som terreng. Dette omgår områder som hus, garasje og badebasseng. Vi forventer at metodene ikke har problemer med å levere en heldekkende modell.

Felt 1	Bil	Bil avgrenset	Helikopter	Fly
Totalt areal	17436.912 m ²	17436.912 m ²	17436.912 m ²	17436.912 m ²
Skannet	9823.158 m ²	8803.273 m ²	16120.454 m ²	15489.097 m ²
Differanse	7613.754 m ²	8633.639 m ²	1316.458 m ²	1947.815 m ²
Dekket areal i prosent	56.34 %	50.49 %	92.45 %	88.83 %
Illustrasjon				

Tabell 71: Tabell over dekket areal i felt 1

Bil dekker over halve arealet. Bilskanningen kommer ikke over bakketopper som er høyere enn skanneren. I tillegg har den begrenset rekkevidde ut på jordene. Dette kommer av at punkttettheten avtar med avstand fra skanneren. Resultatet er en komplett modell innenfor rekkevidden til bilskanningen.

Flyskanningen dekker størsteparten av arealet. Det oppstår hull i modellen i både middels og lav vegetasjon. I dette feltet kan vi tenke oss at det har vært høyere vegetasjon om sommeren. Ettersom at vi ikke ser noen problemer i de andre metodene som er utført senere på året. Et gjerde langs veien fører til et lengre smalt område, som ikke er modellert. Dette kommer trolig av at kantslåttan ikke har blitt kjørt inntil gjerde, som fører til at det har vært høyt gress.

Helikopterskannet dekker nesten hele arealet. Det sliter med deler av området som har middels vegetasjon. I tillegg har den en båt som blir et hull i modellen. Denne båten er trolig satt opp på land på høsten, og dermed så skaper den ikke problemer for flyskanningen.

Et annet uromoment i modellen er en gruppe høyballer. Laserskanneren får punkt imellom dem, men det resulterer til at terrenget blir dårlig beskrevet.

Dette området byr ikke på de store utfordringene for noen av metodene. Bil har visse begrensninger med høyde og rekkevidde. Både fly og helikopter leverer en heldekkende modell.

7.3.2 Felt 2

For det neste område er hus og garasje igjen ikke modellert. Terrenget byr på utfordringer, som bratte kanter og fall. Den tette vegetasjonen i dette området kan også skape problemer. Vi forventer svakere punktsky i områder der det er elv og bro.

Felt 2	Bil	Bil avgrenset	Helikopter	Fly
Totalt areal	42124.420 m ²	42124.420 m ²	42124.420 m ²	42124.420 m ²
Skannet	15973.210 m ²	12752.930 m ²	36841.011 m ²	26711.899 m ²
Differanse	26151.210 m ²	29371.490 m ²	5283.409 m ²	15412.521 m ²
Dekket areal i prosent	37.92 %	30.27 %	87.46 %	63.41 %
Illustrasjon				

Tabell 72: Tabell over dekket areal i felt 2

Bil-modellen dekker 38 % av arealet og innenfor dette området er modellen tett. Modellen er begrenset av hvor godt laserstrålen når ut i terrenget. Grunnet spredt vegetasjon, med bratt terreng utfor grøftekanten ned mot elven. Helningen ned i grøftekanten skaper for stor vinkel for laseren, som fører til at det blir en redusert punktmengde i grøften.

Den avgrensede modellen tar ikke med det meste av middels vegetasjon. Dette er områder som ikke har blitt godkjent av begrensingsalgoritmen. Omtrent en tredjedel av området er modellert.

Fly dekker litt over halvparten av arealet. utfordringer med spredt vegetasjon og bratt terreng gjør at modellen ikke dekker så mye av området. I tillegg har modellen litt problemer i middels vegetasjon. I dette området har nok kontrastene mellom vegetasjon om sommeren og høsten vært størst. Områder med spredt vegetasjon har hatt mer blader på trærne, der trærne har stått nakne på høsten. Det er stor forskjell på busker som har stått i spring om sommeren enn om høsten.




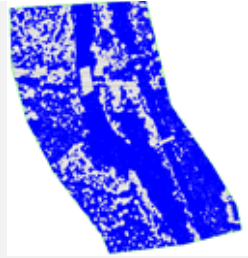
Helikopter dekker nesten hele området med unntak av elva. Noe som ikke var forventet var at deler av elva er modellert. Vi har ikke målt fasit i elva siden den var islagt under fasitmålingen, men det ville vært spennende å se hvor godt modellen treffer i elva. Områdene som er modellert er de grunne partiene i elva. Der det er større steiner og lavere vannføring.

Ved å se på modellen så ser det ut som den passer veldig bra, med tanke på hvordan vi forestiller oss at elvebunnen ser ut.

Dette er et utfordrende terreng for metodene, og resultatet av fullstendighetsanalysen varierer. Helikopter har en heldekkende modell, mens fly og bil har problemer med terreng og vegetasjon.

7.3.3 Felt 3

Området har høy vegetasjon og bratt terreng. Vi forventer at alle metodene kommer til å få problemer med bratt terreng.

Felt 3	Bil	Bil avgrenset	Helikopter	Fly
Totalt areal	21726.561 m ²	21726.561 m ²	21726.561 m ²	21726.561 m ²
Skannet	9784.087 m ²	7684.145 m ²	19906.637 m ²	14310.416 m ²
Differanse	11942.474 m ²	14042.416 m ²	1819.924 m ²	7416.145 m ²
Dekket areal i prosent	45.03 %	35.37 %	91.62 %	65.87 %
Illustrasjon				

Tabell 73: Tabell over dekket areal i felt 3

Bilskanningen dekker under halvparten av arealet, og har få hull innenfor sin rekkevidde. Laseren har nådd plasser der en skulle tro den ikke har sikt. Her har den fått laserpunkter bak terreng som ikke er synlig rett ut fra veien. Grunnen til dette er at laseren har skannet fra lengre avstander. Området med fjellskjæring er modellert uten hull.

Den avgrensede modellen unngår de vanskeligste områdene, dette resulterer i 35 % dekket areal.

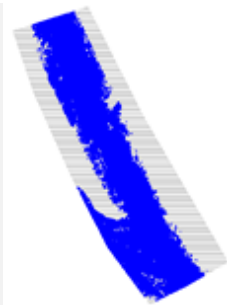
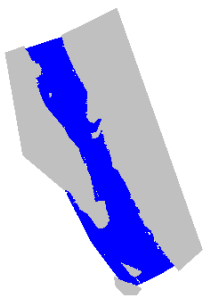
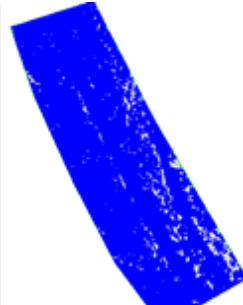
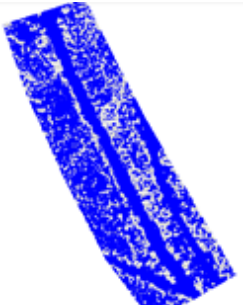
Fly strekker seg over halvparten av arealet. Problemene oppstår i bratt terreng, med både høy og lav vegetasjon. Spesielt for fly er større hull i spredt vegetasjon. Dette kommer av tettere vegetasjon i sommerhalvåret. Modellen for fly tar for seg minimalt av fjellskjæringen i feltet. Dette er et vanskelig område med tanke på den lave punkttettheten og overheng.

Helikopter dekker 91 % av arealet. Det har problemer i bratt terreng ned mot bekken og høy vegetasjon. I tillegg har det stått biler på parkeringsplassen under opptaket. Disse forårsaker hull i modellen. Grunnen til dette er at man ikke har nok punkt til å lage modell i mellomrommet. I tillegg er ikke hele fjellskjæringen modellert.

I dette utfordrende terrenget varierer arealet for hver av metodene. Helikopter og bil leverer modeller med god fullstendighet, mens fly har problemer.

7.3.4 Felt 4

Området består av høy granskog. Vi forventer at alle metodene vil få problemer med å trenge gjennom granskogen.

Felt 4	Bil	Bil avgrenset	Helikopter	Fly
Totalt areal	36841.011 m ²	36841.011 m ²	36841.011 m ²	36841.011 m ²
Skannet	19701.836 m ²	17217.56 m ²	32800.864 m ²	22255.968 m ²
Differanse	17139.175 m ²	19623.451 m ²	4040.147 m ²	14585.043 m ²
Dekket areal i prosent	53.48 %	46.73 %	60.41 %	89.03 %
Illustrasjon				

Tabell 74: Tabell over dekket areal i felt 4

Bil leverer en fullstendig modell innenfor sin rekkevidde, og dekker halvparten av arealet. I dette området er modellen svakere enn i de andre områdene. Grunnen til dette er høy skog, som fører til hull i modellen. Inn i skogen har ikke laseren godt nok innsyn, slik at det oppstår skyggeområder. Forekomsten av hull øker proporsjonalt med avstand ut fra veien. Fjellskjæringen i området er godt dekket av modellen.

Den avgrensede modellen strekker seg ikke like langt inn i skogen. Dette fører til at de utsatte områdene i modellen blir fjernet. Resultatet av dette blir en modell som dekker mindre enn halvparten av arealet.

Fly leverer en modell som strekker seg over halvparten av arealet. I områdene med høy granskog har ikke skanningen fått nok laserpunkt på bakken. Grunnen til dette er at laseren får ikke nok treff gjennom de høye grantrærne. Dette fører til en redusert punktsky, og resultatet av dette blir en modell med flere "hvite" områder. Fjellskjæring er ikke blitt modellert, som fører til en hvit stripe langs veien.

Helikopter leverer en modell som dekker nesten hele arealet. Det presterer godt i høy vegetasjon, men sliter når det i tillegg blir bratt terreng. Denne kombinasjonen gjør at modellen er hullete på høyre side av veien. Modellen har også hull der det er fjellskjæring.

Dette området byr på forskjellige problemer for de enkelte metodene. Bil har få problemer med høye trær, men har redusert rekkevidde. Helikopter får problemer med høye trær, når det i tillegg er bratt terreng. Fly har problemer med høye trær. Av de enkelte metodene er bil den eneste som gir en fullstendig modell av fjellskjæring.

7.4 Teori og praksis

I vår undersøkelse med bilskanning er fjellskjæring det terrenget med størst avvik. Grunnen til dette er overheng, som fører til feil i grunnriss. Utformingen av fjellskjæringen avviker dermed ikke så mye som resultatet tilsier. I en anleggsprosess har man bruk for å beregne hvor mye fjell som er skjært bort. Da vil masseberegning av fjellet ikke gi de store forskjellene i resultatet, i forhold til en korrekt modell. Dette er fordi forskjellen i volum er liten i forhold til høydeforskjellen.

En annen viktig del i et prosjekt er fakturering for masseberegning. Dersom modellen som i vårt tilfelle ligger over virkeligheten, så vil dette føre til ekstra kostnader. Det beregnede volumet med vegetasjonen vil da være større enn den reelle massen som er fjernet. Et entreprenørselskap vil da fakturere for å ha fjernet mer masse enn hva det egentlig har.

I dette tilfelle kan man argumentere for at det finnes et systematisk avvik. Dette kan gjøres ved å se på gjennomsnittet og standardavvik, og finne et systematisk avvik. Ved å trekke fra avviket vil man oppnå en mer virkelighetstro masseberegning.

Ut i fra våre resultater er vi trygge på at modellen kan justeres ned i flere vegetasjoner. Spesielt i middels og spredt vegetasjon, der avvikene ligger i gjennomsnitt 5-15 cm over virkeligheten. Over større områder vil dette føre til at en betydelig mengde masse blir feilaktig beregnet.

I tillegg vil den som får punktskyen tolke dataen som sann. Det vil si at det ikke blir tatt høyde for store grovfeil. I vår oppgave har vi hatt fasitpunkt, og dermed kunnet lokalisere kritiske områder. Dette kan være en felle for den som behandler dataen. Dersom man tar utgangspunkt i at punktskyen er innenfor produktspesifikasjonen FKB-laser så kan det oppstå store feil.

7.5 Kostnad

Beregning av kostnader for et slikt lite område er vanskelig. Dette kommer av at man sjelden skanner små områder alene. Man oppnår betydelige stordriftsfordeler ved å samle opp eller skanne større områder av gangen. Vi har ikke undersøkt kostnader for et slikt prosjekt og dermed ikke lagt stor vekt på dette i vår oppgave. Prisen for skanning av et område med disse metodene er selvsagt avgjørende for anvendeligheten. Vi har i samarbeid med TerraTec antatt følgende:

En antagelse for helikopter er ca. 80.000 kr. Der 50.000kr vil gå til selve flygingen og de resterende til prosessering av laserdata. En bilskanning vil koste om lag det samme. Det er vanskelig å beregne kostnad for skanning med fly for et så lite område, men vi vil anta at det vil koste mer enn bil og helikopter. Et tilleggsmoment for prisen til en flyskanning, er at det er tilgjengelig data for store deler av Norge, dersom man er medlem av Geovekst.

7.6 Anvendelighet

Valg av metode for et prosjekt er avgjørende for hvilken nøyaktighet man ønsker. Hvert område man ønsker å utrede vil ha forskjellige typer utfordringer. Disse kommer i form av vegetasjon, terreng og eksisterende infrastruktur. I vår undersøkelse har vi prøvd å gi en pekepinn på hvor de ulike metodene egner seg. Alle metodene egner seg for skanning av det lille området vi har undersøkt, men de presterer forskjellig. I følgende kapittel vil vi oppsummere svakheter og fordeler med de enkelte metodene.

Bil presterer bra i alle vegetasjonene vi har målt i. Begrensningene kommer i rekkevidden til bilen. Ved tett vegetasjon eller helning i terrenget så reduseres rekkevidden av skannet. Spesielt i terreng som heller ned etter vegkant eller bakke. Ved skanning i svært bratt terreng og fjellskjæring har bil en klar fordel. Her gir den en mer komplett leveranse enn det helikopter og fly leverer. Bil egner seg som skanningsmetode i flate terreng med god sikt ut i fra vei. I tillegg til områder der man ikke har behov for å skanne bredt rundt veien.

Helikopter er den metoden som kommer best ut i vårt forsøk. Det har ingen store problemer med noen av vegetasjonstypene. I tillegg har helikopter den mest komplette fullstendighetsmodellen. Helikopter utmerker seg i trange og vanskelige områder, der de andre har problemer med å komme til. Muligheten for å fly i forskjellig flyhøyde gjør at

helikopter kan genere tette punktskyer. Helikopter har problemer i områder med både bratt terreng og krevende vegetasjon. Dette blir modellert bedre enn fly siden helikopter har en lavere flyhøyde og dermed høyere punkttetthet.

Fly leverer akseptable resultater i de fleste vegetasjonstypene. Ut i fra våre resultater så sliter fly mer i spredt og høy vegetasjon. Hvor godt det presterer i spredt vegetasjon er noe usikkert sammenlignet med de andre metodene. Her ble bil- og helikopterskanning utført på et mer gunstig tidspunkt på året. En svakhet med fly er skanning i høy vegetasjon. Områdene med høy vegetasjon har gitt gode resultater i vår undersøkelse for høydeavvik, men den har for få terrengpunkt. I forhold til helikopter har fly dekket mindre areal i krevende vegetasjon. Fly egner seg best til å skanne store områder. Dersom man har et oversiktlig område uten krevende vegetasjon har fly få problemer. I enkelte prosjekter er det ikke sikkert man trenger så høy nøyaktighet som vi har tatt for oss. Etter dette formålet kan fly gi gode terrengmodeller.

8 Konklusjon

Våre resultater viser at det er bil og helikopter som leverer de beste laserdataene til produksjon av digitale terrengmodeller. Laserdata fra fly har ifølge våre beregninger fått dårligere nøyaktighet på alle områdene enn de nevnte metodene. Selv om flyskanningen gir en dårligere nøyaktighet så vil man kunne generere brukbare terrengmodeller fra disse dataene.

I vår undersøkelse ble laserskanningen utført på forskjellig tidspunkt av året. Dette er en av grunnene til at resultatene ikke er direkte sammenlignbare. Skanning på forskjellige årstider byr på forskjellige utfordringer. Dette ser vi igjen i resultatene med at fly har svakere resultater i områder uten andre utfordringer enn vegetasjon. Ved et lignende prosjekt vil vi anbefale at skanningene blir utført på samme tidspunkt. Sommerhalvåret egner seg bra dersom oppgaven er å teste hvordan de enkelte metodene trenger igjennom vegetasjonen. I praksis vil man få de beste terrengmodellene sent om høsten og tidlig vår.

En annen ting man kan konkludere med ut fra våre resultater er at metoden man vil bruke er veldig situasjonsavhengig. Bil og helikopter vil være best egnet i de fleste kostnadseffektive situasjonene. Det vil si at de koster mindre, krever mindre planlegging og er mer tidsbesparende enn fly skanning. Fly skanning egner seg best til å skanne store landområder og vil fort bli kostbart å bruke til prosjekter på størrelse med denne masteroppgaven.

En annen viktig faktor er nøyaktigheten til punktskyen. Bil og helikopter leverer svært presise punktskyer, mens fly er ikke like detaljert. Alle metodene lever opp til forventningene våre om krav til nøyaktighet som vist i tabell 2.

Vegetasjonen i området man ønsker å beskrive spiller også en stor rolle. Alle metodene har i forskjellig grad problemer med å beskrive terrenget. Vår undersøkelse viser at vegetasjonstyper og forskjellig terreng vil påvirke nøyaktigheten.

Av dette kan vi se at egnetheten for alle metodene er forskjellig. De har alle fordeler og ulemper, og valg av metode må bestemmes av hvordan dataene skal anvendes.

9 Veien videre

Vi har i vår oppgave tatt for oss de tre mest brukte innsamlingsmetodene innen laserskanning. Teknologien utvikler seg stadig og da er det ingen grunn til å ikke kunne føre vår oppgave videre. Dette kan gjøres ved å se på andre metoder som danner grunnlag for DTM som vi ikke fikk sett på selv. I tillegg ville det vært interessant å sammenligne modellene direkte mot hverandre. I en lignende oppgave vil vi anbefale at man utfører undersøkelser med fokus på vegetasjonstyper istedenfor inndelte felt.

Under har vi listet opp et par interessante metoder vi ikke fikk undersøkt og sammenlignet med de tradisjonelle metodene, og som burde bli sjekket ut videre som alternativer til bil, fly og helikopter.

Leica Pegasus: Backpack

Dette systemet er ifølge Leica et bærbart mobile mapping system som i prinsippet fungerer på samme måte som bilskanning. Plattformen samler inn data ved bruk av GNSS, treghetsnavigasjon (IMU) og SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). SLAM og treghetsnavigasjon gjør det mulig å oppnå nøyaktig data i områder der GNSS dekingen er dårlig. Det vil si inne i bygninger og i tette skogsområder.

Laserskanning og fotogrammetri med drone

I vårt prosjekt skulle vi opprinnelig undersøke laserskanning med drone fra Geomatikk Survey. Dette fikk vi ikke gjort, men laserskanneren, VUX-1UAV, er den samme som ble brukt ved helikopterskannet. Det er da grunn til å tro at vi kunne forvente de samme resultatene ved flyging i samme høyde.

Fotogrammetri med drone/fly Fremstilling av 3D-modeller med fotogrammetri er en teknikk som har eksistert en stund allerede. Den økte popularitet av droner gjør at flere kan generere høydemodeller. Med en enkel drone og kamera, kan man produsere enkle modeller.

DTM fra eksisterende høydekurver

En interessant sammenligning i vårt forsøk kunne vært og sett på resultatene våre i forhold til det eksisterende høydekurvenettverket. Høydekurvene er produsert med fotogrammetri og det er knyttet usikkerhet til hvor nøyaktige de er.

10 Bibliografi og vedlegg

10.1 Referanseliste

Applanix Corporation (2016) *Trimble AP50*. Tilgjengelig fra:

https://www.applanix.com/downloads/products/specs/AP50_DS_NEW_0408_YW.pdf

[Lest 04.05.2017]

Applanix Corporation (2017) *POSLV Specification*. Tilgjengelig fra:

https://www.applanix.com/downloads/products/specs/POSLV_DS_feb_2017_yw.pdf

[Lest 28.02.2017]

Ghilani, C. D. (2010). *Adjustment Computations. Spatial Data Analysis. Fifth Edition*. John Wiley and Sons, Inc.

Leica Geosystems AS (2015) *Leica Pegasus:Backpack*. Tilgjengelig fra: http://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/Mobile%20Map/pegasus_backpack/brochures-datasheet/Leica_PegasusBackpack_en.pdf. [Lest 19.04.2017]

Leica Geosystems AS (2015) *Leica Viva TS16 Total Station*. Tilgjengelig fra:

http://www soffice.it/uploads/pdf/Leica%20Viva%20TS16%20DS_en.pdf. [Lest 25.04.2017]

Midtbø, T (1993). *Spatial Modelling by Delaunay Networks of Two and Three Dimensions*.

Dr.Ing. avhandling, NTNU.

NIBIO (2007) *Slik gjøres tremåling*. Tilgjengelig fra:

<http://www.skogoglandskap.no/fagartikler/2007/dendrometri> [Lest 06.03.2007]

Pfeifer, N. & Briese, C. (2007). *Laser Scanning-Principles and applications*. Vienna University of Technology.

Riegl Corporation (2015) *Data Sheet, RIEGL LMS-Q1560*. Tilgjengelig fra:

http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegldownloads/DataSheet_LMS-Q1560_2015-03-19.pdf [Lest 03.05.2017]

Riegl Corporation (2015) *Info Sheet, RIEGL LMS-Q1560*. Tilgjengelig fra:

http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegldownloads/LMS-Q1560_at_a_glance_2015-08-24.pdf [Lest 03.05.2017]

- Riegl Corporation (2015) *RIEGL VUX-1UAV*. Tilgjengelig fra:
<http://www.riegl.com/products/unmanned-scanning/riegl-vux-1uav/> [Lest 27.03.2017]
- Statens kartverk (2013) *Produktspesifikasjon FKB-Laser Versjon 2.0 2013-02-01*.
- Statens kartverk (2015) *Standarder Geografisk Informasjon, Geodatakvalitet*, ISBN 978-82-7945-546-2.
- Teledyne Optech Inc (2016) *Lynx SG Mobile Mapper, Summary Specification Sheet*.
<http://www.teledyneoptech.com/wp-content/uploads/Lynx-Specsheet-SG-160404.pdf> [Lest 15.03.2017]
- TerraTec AS (2016) *Prosjektrapport NDH Skien-Porsgrunn 5 pkt 2016. Vedlegg 4*.
- TerraTec AS (2017) *Laserskanning fra bil og tog*. Tilgjengelig fra:
http://www.terratec.no/bilbaaren_laserskanning/cms/82/30/hent_artikkel/21 [Lest 15.03.2017]
- Transportation research board 2013 (2013) *NCHRP REPORT 748, Guidelines for the Use of Mobile LIDAR in Transportation Applications*. Tilgjengelig fra:
http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_748.pdf [Lest 05.03.2017]
- Vegdirektoratet (2015) *Modellgrunnlag: Krav til grunnlagsdata og modeller Håndbok V770 i SVVs håndbokserie*, ISBN 978-82-7207-653-4.
- Vosselman, G. & Maas, H.-G. (2010). *Airborne and terrestrial laser scanning*. Whittles Publishing.
- Wehr, A. & Lohr, U. (1999). *Airborne laser scanning—an introduction and overview*. Institute for Navigation, University of Stuttgart.

10.2 Vedlegg

Vedlegg er levert på USB minnebrikke til veileder.

Vedlegg 1: Resultatfiler

Vedlegg 2: Statens kartverk (2013) *Produktspesifikasjon FKB-Laser Versjon 2.0 2013-02-01*

Vedlegg 3: Statens kartverk (2015) *Standarder Geografisk Informasjon, Geodatakvalitet, ISBN 978-82-7945-546-2*

Vedlegg 4: TerraTec AS (2016) *Prosjektrapport NDH Skien-Porsgrunn 5 pkt 2016*

Vedlegg 5: TerraTec AS (2017) *Presentasjon studenter (07.03.17)*

Figurliste

Figur 1: Pulsmåling øverst og fasemåling nederst	11
Figur 2: Lokale referanserammer	13
Figur 3: Skanner plattformen med og uten beskyttelse	15
Figur 4: Sensor med kamera og Ladybug 360 kamera	15
Figur 5: Applanix POS LV 420 Systemet og IMU	16
Figur 6: Riegl LMS Q-1560	17
Figur 7: Skanne situasjon.....	17
Figur 8: Flybåren laserskanning situasjon	18
Figur 9: Illustrasjon av flere retursignaler	19
Figur 10: Produktdetaljer Riegl VUX-1	20
Figur 11: Riegl VUX-1.....	20
Figur 12: Laserskanner og kamera	21
Figur 13: Helikopter med montert med laserskanner	21
Figur 14: Oversiktsbilde av området med de fire testområdene.....	23
Figur 15: Bilder av felt 1	24
Figur 16: Forhøyet jordekant med lav vegetasjon på toppen.....	24
Figur 17: Fra andre oppstilling.....	24
Figur 18: Tredje oppstilling ved felt 2.....	25
Figur 19: Utsikt fra tredje oppstilling	26
Figur 20: Oversiktsbilde for femte oppstilling.....	26
Figur 21: Bilde av den høye vegetasjonen i området.....	27
Figur 22: Bilder av den høye vegetasjonen	27
Figur 23: Viser sjuende oppstillingen I den sørlige delen av felt.	28
Figur 24: Fastmerkenettverk	29
Figur 25: Illustrasjon av virkningen mellom feil plassering av knekkpunkt	30
Figur 26: Kvalitet ved oppstilling	31
Figur 27: Målestokk korreksjon	32
Figur 28: Illustrasjon av oppbygging av Delauney nettverk	36
Figur 29: Spesifikasjoner for 3D-triangulering i Gemini Terreng	37
Figur 30: Tin-modell fra helikopter	38

Figur 31: Forskjellen mellom loddrett og normal avstandsberegning.....	38
Figur 32: Geometrisk kontroll	39
Figur 33: Resultat av geometrisk kontroll	39
Figur 34: Forholdet mellom standardavvik og snittet.....	42
Figur 35: Standardavvik for oppstilling	44
Figur 36: TIN-modell av felt 1 Bil.....	46
Figur 37: Modell over felt 1.....	48
Figur 38: TIN-modell av felt 2.....	49
Figur 39: Modell over felt 2.....	50
Figur 40: TIN-modell av felt 3.....	51
Figur 41: Modell over felt 3.....	52
Figur 42: TIN-modell av felt 4.....	53
Figur 43: Modell over felt 4.....	54
Figur 44: Oversiktsbilde av området med polygoner.....	56
Figur 45: Modell over felt 1 Fly	59
Figur 46: Modell over felt 2.....	61
Figur 47: Modell over felt 3.....	63
Figur 48: Modell over felt 4.....	65
Figur 49: Modell over felt 1 Helikopter	68
Figur 50: Modell over felt 2.....	70
Figur 51: Modell over felt 3.....	72
Figur 52: Modell over felt 4.....	74

Tabelliste

Tabell 1: Stedfestningsnøyaktighet for terrengoverflatemodell i ulike prosjektfaser.....	8
Tabell 2: Tabell over forventet nøyaktighet.....	8
Tabell 3: Utstyr til fly skanningen.....	18
Tabell 4: Klassifikasjon av de ulike vegetasjonstypene.....	34
Tabell 5: Klassifisering, Produktspesifikasjon FKB-Laser.....	35
Tabell 6: Produktspesifikasjon FKB-Laser.....	40
Tabell 7: Grovfeilkraav.....	41
Tabell 8: Nøyaktighet instrument.....	44
Tabell 9: Vinkelkvalitet.....	45
Tabell 10: Resultat felt 1 Bil.....	46
Tabell 11: Resultat for ulike vegetasjoner.....	47
Tabell 12: Dekket areal innenfor felt 1.....	48
Tabell 13: Avvik felt 1.....	48
Tabell 14: Resultat felt 2.....	49
Tabell 15: Resultat for ulike vegetasjoner.....	50
Tabell 16: Dekket areal innenfor felt 2.....	50
Tabell 17: Avvik felt 2.....	51
Tabell 18: Resultat felt 3.....	51
Tabell 19: Resultat for ulike vegetasjoner.....	52
Tabell 20: Dekket areal felt 3.....	52
Tabell 21: Avvik felt 3.....	52
Tabell 22: Resultat felt 4.....	53
Tabell 23: Resultat for ulike vegetasjoner.....	53
Tabell 24: Dekket areal for felt 4.....	54
Tabell 25: Avvik felt 4.....	54
Tabell 26: Resultat harde flater.....	55
Tabell 27: Avvik harde flater.....	55
Tabell 28: Resultat per felt.....	56
Tabell 29: Resultat fullstendighet i avgrenset polygon.....	57

Tabell 30: Resultat fra felt 1 Fly.....	58
Tabell 31: Resultat for ulike vegetasjoner.....	58
Tabell 32: Dekket areal innenfor felt 1.....	59
Tabell 33: Avvik felt 1	59
Tabell 34: Resultat for felt 2.....	60
Tabell 35: Resultat for ulike vegetasjoner.....	60
Tabell 36: Dekket areal innenfor felt 2.....	61
Tabell 37: Avvik felt 2	61
Tabell 38: Resultat for felt 3.....	62
Tabell 39: Resultat for ulike vegetasjoner.....	62
Tabell 40: Dekket areal innenfor felt 3.....	63
Tabell 41: Avvik felt 3	63
Tabell 42: Resultat for felt 4.....	64
Tabell 43: Resultat for ulike vegetasjoner.....	64
Tabell 44: Dekket areal innenfor felt 4.....	65
Tabell 45: Avvik felt 4	65
Tabell 46: Resultat for harde flater	66
Tabell 47: Avvik harde flater	66
Tabell 48: Resultat for felt 1 Helikopter	67
Tabell 49: Resultat for ulike vegetasjoner.....	67
Tabell 50: Dekket areal innenfor felt 1.....	68
Tabell 51: Avvik felt 1	68
Tabell 52: Resultat for felt 2.....	69
Tabell 53: Resultat for ulike vegetasjoner.....	69
Tabell 54: Dekket areal innenfor felt 2.....	70
Tabell 55: Avvik felt 2	70
Tabell 56: Resultat felt 3.....	71
Tabell 57: Resultat for ulike vegetasjoner.....	71
Tabell 58: Dekket areal felt 3	72
Tabell 59: Avvik felt 3	72
Tabell 60: Resultat for felt 4.....	73
Tabell 61: Resultat for ulike vegetasjoner.....	73

Tabell 62: Dekket areal innenfor felt 3.....	74
Tabell 63: Avvik felt 4	74
Tabell 64: Resultat for harde flater	75
Tabell 65: Avvik harde flater	75
Tabell 66: Felles resultat felt 1	78
Tabell 67: Felles resultat felt 2	79
Tabell 68: Felles resultat felt 3	81
Tabell 69: Felles resultat felt 4	83
Tabell 70: Felles resultat harde flater	85
Tabell 71: Tabell over dekket areal i felt 1	86
Tabell 72: Tabell over dekket areal i felt 2	88
Tabell 73: Tabell over dekket areal i felt 3	89
Tabell 74: Tabell over dekket areal i felt 4	90

Formelliste

Formel 1: Beregne avstand. Vosselman & Maas, 2010, s.3	10
Formel 2: Beregne tidsforsinkelse. Vosselman & Maas, 2010, s.6	11
Formel 3: Observasjonsligning. Vosselman & Maas, 2010, s.90.....	13
Formel 4: Beregne terrengkoordinater. Pfeifer & Briese, 2007, s.11.	19
Formel 5: Beregne gjennomsnitt. Geodatakvalitet, 2015, s. 53.	42
Formel 6: Beregne standardavvik. Geodatakvalitet, 2015, s. 53.	43
Formel 7: Beregne RMS. Geodatakvalitet, 2015, s. 56.	43



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway