

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Denne oppgaven er en del av et avsluttende ledd i en femårig masterstudie i Geomatikk. Oppgaven er skrevet i samarbeid med institutt for matematiske realfag og teknologi ved UMB og TerraTec AS, og belyser laserskanning fra fly og matchingens påvirkning for en digital terrengmodell (DTM).

Jeg ønsker å rette en stor takk til alle som har bidratt til mitt arbeid rundt min masteroppgave. Det vil være min hovedveileder ved UMB Ivar Maalen-Johansen, tilleggsveileder ved TerraTec AS Petter Solli. I tillegg rettes en stor takk til TerraTec AS ved Arkadiusz Szadkowski for god hjelp med valg av problemstilling og datamateriell. Takk til Statens Kartverk for bruk av deres datamateriale. Takk til prosjektingeniørene Berit Morstad og Olav Gaute Ytterdal ved TerraTec AS for gode innspill og flere. Takk

Ås 14.5.2012

Katrine Gunnberg Johansen

Sammendrag

Denne oppgaven tar for seg undersøkelse av viktigheten med matching ved laserskanning fra fly, i forhold til å danne en digital terrengmodell (DTM). Den digitale terrengmodellen skal samsvare med nøyaktighetskrav fastsatt i Produktspesifikasjon for FKB-Laser utarbeidet av Statens Kartverk. Oppgaven tar for seg et testprosjekt og gjennomfører alle steg i prosesseringsprosessen og sjekker hvilken betydning matchingen har for resultatet. Det blir diskutert om eventuelt matchingsprosessen kan kuttes ut for prosjekter eller ikke. Vurderinger av arbeidet og resultatene er gjort i henhold til krav og regler fastsatt for bruk av laserdata.

Prosjektet er valgt ut i fra et område som er ment for testbruk i nærheten av hovedkontoret i Oslo. Den nære beliggenheten gir muligheter for feltundersøkelser og kontrollmålinger. Området er lokalisert i Nittedal kommune, og inneholder mye av standard egenskaper for laserprosjekt i Norge. Prosjektet er flydd våren 2011 på oppdrag fra Statens Kartverk. Punktettheten i prosjektet ligger på 2 punkt per kvadratmeter, og er definert som et FKB-Laser20 prosjekt.

Sammenligningen av DTM viser at for dette prosjektet er det ikke store ulikhetene. Avvikene er svært små, og de største avvikene ligger utenfor områdeavgrensningen. Hovedproblemet med å lage en DTM ut fra et datasett som ikke er matchet er at små oppstikkende objekter vil forsvinne. Det er flere eksempler på små hauger som faller bort under bakkeklassifisering, og ikke blir med i det ikke matchede prosjektet. For dette prosjektet og andre prosjekt som er avhengig av høy nøyaktighet, og evnen til å få med alle detaljer og objekter behøves matchingprosessen. Er det derimot et prosjekt som er over ett flatt område med liten forekomst av små avgjørende objekter, og med gode data som ikke krever høy nøyaktighet, er det mulig å kutte ut matching. Dette vil da kunne spare tid for beregningsprosessen

Abstract

This thesis has examined the matching process for generating a digital terrain model by airborne laser scanning. The digital terrain model should match the accuracy requirements set in Produktspesifikasjon FKB-Laser prepared by Statens Kartverk. The thesis takes a test project and executes all steps in the processing process and checks the impact of matching. There will be discussion of whether the matching can be cut out for projects or not. Reviews of the work and the results are made according the requirements and rules established for the use of laser data.

The project is chosen based on an area intended for test use near the main office in Oslo. The close location provides opportunities for field investigations and measurements. The area is located in Nittedal, and contains a lot of standard features for laser projects in Norway. The project is flown during the spring of 2011 on behalf of Statens Kartverk. The point density of the project is two points per square meter, and is defined as a FKB-Laser20 project.

The comparison of the DTM shows that for this project it is not big differences. These differences are very small, and the largest deviations are outside the boundary. The main problem of creating a DTM from a dataset that is not matched is that small objects will disappear. There are several examples of small hills falling away during the ground classification, and are not included in the project which is not matched. For this project and other project and other projects that depend on high accuracy, and who depends on all details and objects, the matching is needed. However if there is a project in a flat area with low incidence of small essential items, and with good data that does not require high accuracy, it is possible to cut matching This will then be able to save time for the calculation process.

Innholdsfortegnelse

1 Problemstilling, avgrensning og bakgrunn.....	6
1.1 Problemstilling.....	6
1.2 Avgrensninger	7
1.3 Bakgrunn	7
2 Teori	8
2.1 Flybåren laserskanning (LiDAR)	8
2.2 GNSS – INS.....	10
2.3 Laserpulsene	11
2.3.1 Fotavtrykk/Laserstrålen	11
2.3.2 Skannemønster, Z-mønster	12
2.3.4 Refleksjon/Reflektans	12
2.3.5 Punkttetthet	13
2.3.6 Skannevinkel/FOV	13
2.3.7 Tverrstriper	13
2.4 DTM	14
2.5 Høydekurver	14
3 Prosjektet Nittedal	15
3.1 Grunnlag for valgt prosjekt.....	15
3.2 Planlegging av laserskanning	16
3.2.1 Forarbeid	17
3.2.2 Valg av utstyr	18
3.2.3 Krav til utførelsen	19
4 Metode.....	22
4.1 Terrapos	22
4.2 IPAS Pro, ALSPP	22

5 Beregninger	24
5.1 Blokkindelning	24
5.2 Sjekk av data.....	24
5.3 Klassifisering	26
5.4 Geoidejustering.....	27
5.5 Matching	27
5.6 Kontrollflatejustering.....	32
5.7 DTM editering	36
6 Resultater.....	40
6.1 Punktetthet.....	40
6.2 Stedfestingsnøyaktighet i grunnriss.....	43
6.3 Stedfestingsnøyaktighet i høyde.....	44
6.4 Egenskapsnøyaktighet	46
6.5 DTM	48
7 Diskusjon.....	57
7.1 Datafangst	57
7.1.1 Innsamling av data	57
7.2 Preprosessering	58
7.2.1 TerraPos	59
7.6 Resultater	64
7.6.1 Punktetthet	64
7.6.2 Stedfestingsnøyaktighet	64
7.6.3 Egenskapsnøyaktighet.....	65
7.6.4 Sammenligning av DTM modellene	66
8 Konklusjon	68
9 Videre arbeid	69
10 Definisjoner:.....	70

11 Litteratur.....	73
12 Vedlegg	75

Figurliste

Figur 1 Laserskanningsprinsippet, hentet fra TerraTec [9]	8
Figur 2 Sveipemekanismen, hentet fra TerraTec [9].....	9
Figur 3 Flyets orienteringsakser: Roll, Pitch og Heading. Hentet fra TerraTec [9].	11
Figur 4 Skannemønstre, hentet fra TerraTec [9].	12
Figur 5 Bilde over området, Gjelleråsen i Nittedal [8].....	16
Figur 6 Flyhøyde med tilhørende standardavvik, hentet fra prosesseringsarbeid i IPAS Pro	23
Figur 7 Punkttettheten for prosjektet, hentet fra terrasolid [13].	25
Figur 8 Resultat etter søk av tie lines	28
Figur 9 Dz og Dr mellom flylinjene, hentet fra Terrasolid [16].....	30
Figur 10 Klassifiseringsgangen i den siste bakkemakroen. Hentet fra KOG [5].	32
Figur 11 RTK-målinger av punkthøyden og laserpunkthøyden før kontrollflatejustering.....	34
Figur 12 RTK-målinger av punkthøyden og laserpunkthøyden etter kontrollflatejustering.	34
Figur 13 Endringene i høydeavvik, hentet fra egne beregninger.....	35
Figur 14 Eksempel på feilklassifisering av bakke, hentet fra Terrasolid [13].....	37
Figur 15 Etter reklassifiseringen, hentet fra Terrasolid [13].	37
Figur 16 Feilklassifisering av bru, hentet fra Terrasolid [13].....	37
Figur 17 Reklassifisert bakkepunkter til uklassifisert, hentet fra Terrasolid [13].	38
Figur 18 Feilklassifisering av punkt i elv på grunn av multipath, hentet fra Terrasolid [13].....	39
Figur 19 Ferdig endret punkter i elv. hentet fra Terrasolid [13].....	39
Figur 20 Punkttetthetssjekk med oppdeling i blokk 10, hentet fra Terrasolid [13].	40
Figur 21 Graf over punkttettheten, hentet fra Terrasolid [13].	42
Figur 22 Kontrollpunkter med laserpunkter, hentet fra Microstation.....	43
Figur 23 DTM av prosjektet med de ikke matchede dataene, hentet fra QTM [20].	48
Figur 24 DTM av prosjektet med matchet data, hentet fra QTM [20].	49
Figur 25 Viser forskjeller mellom de to DTM modellene, hentet fra QTM [20].	50
Figur 26 Viser forskjeller mellom de to DTM, hentet fra QTM [20].....	51

Figur 27 Klassifisering av bakkepunkt.....	51
Figur 28 Klassifisering av grop, hentet fra TerraTec interne sider [9].....	52
Figur 29 Høydeplot for de ulike DTM modellene, hentet fra QTM [20].....	53
Figur 30 Flere feilkilder i DTM sammenligningen, hentet fra QTM [20].....	54
Figur 31 Skalaplot over høydeforskjeller i terrenget fra figur 30, hentet fra QTM [20].....	55
Figur 32 Fjellskrenter og skogsområder, hentet fra QTM [20].....	56

Tabelliste

Tabell 1 DOP verdier, hentet fra satellittbasert posisjonsbestemmelse [4].....	18
Tabell 2 Leica ALS50 Phase II Airborne Laser Scanner, hentet fra TerraTec AS[9].	19
Tabell 3 Krav til punktetthet, hentet fra Produktspesifikasjon FKB-Laser [6].	20
Tabell 4 Kvalitetskrav for laserdata, hentet fra Produktspesifikasjon FKB-Laser [6].	21
Tabell 5 Fargeverdier på tetthetsplot. Hentet fra Terrasolid [13].....	25
Tabell 6 Korreksjonsverdier for HRPS, hentet fra Terrasolid [13].	29
Tabell 7 Resultat på laserdataene før og etter hrps korreksjon. Hentet fra Terrasolid [13].....	29
Tabell 8 Korreksjonsverdier for dzdr, hentet fra Terrasolid [13].	31
Tabell 9 Resultat på laserdataene før og etter DzDr korreksjon. Hentet fra Terrasolid [13].....	31
Tabell 10 Minimum antall kjentpunkter, hentet fra KOG [5].	33
Tabell 11 Høydeforskjeller før og etter kontrollflatejustering, hentet fra egne beregninger.....	36
Tabell 12 Punktetthet for deler av blokk 10.	41
Tabell 13 "Measure match" på prosjektet før matching. Hentet fra terrasolid [13].	45
Tabell 14 "Measure match" på prosjektet etter matching. Hentet fra terrasolid [13].	46
Tabell 15 Klassifiseringsklasser til laserpunktene, hentet fra Produktspesifikasjon FKB-Laser [6]. ..	47

1 Problemstilling, avgrensning og bakgrunn.

1.1 Problemstilling

Problemstillingen oppgaven ønsker og utforske, er om matchingprosessen er nødvendig å gjennomføre for at nøyaktigheten til en digital terrengmodell (DTM) basert på data fra flybåren laserskanning skal være tilfredsstillende. Under prosessering av laserskanning er det flere steg som er både viktige og tidkrevende. Derfor er det sett på om et av disse stegene er nødvendige for at nøyaktigheten skal opprettholdes. Det er tatt utgangspunkt i et prosjekt med forhold som er vanlige for prosjekter i Norge, dette for å ha et så godt sammenligningsgrunnlag som mulig dersom det skulle bli gjort flere undersøkelser. Prosjektet er av typen Geovekstprosjekt. Et Geovekstprosjekt har faste bestemmelser for nøyaktighet og leveringsform, utarbeidet av samarbeidspartnerne i Geovekst. Disse skal ligge til grunn for innsamling og beregningen av dataene. Prosjektene blir vedlikeholdt og skal kunne brukes av flere brukere.

Oppsummert er problemstillingen i følgende punkt:

- Undersøkelse og sammenligning av nøyaktigheten på en DTM med og uten matching.

Svaret på problemstillingen vil sette lys på om matchingprosessen er en viktig og avgjørende del av beregningen eller ikke. Matching er en prosess som sammenbinder og justerer data fra de ulike flylinjene sammen. Selv om det ikke kan konkluderes fullstendig med utgangspunkt i ett prosjekt, kan det være en del av en større undersøkelse mot muligheter for å kunne droppe dette steget i prosessen i enkelte tilfeller.

1.2 Avgrensninger

Oppgaven er begrenset til å gjelde ett prosjekt. Rapporten gir et innblikk i et enkelt tilfelle for en type terreng, med noe lett variasjon. Terrenget inneholder blant annet både vegetasjon, bebyggelse og veier. Poenget med oppgaven er å gjøre de beregninger ut fra bestemmelsene i problemstillingen. Prosjektet er flydd med hensyn på at det skal være et testprosjekt.

I oppgaven er det brukt programvare som benyttes dagligdags i produksjonen av laserdata i TerraTec AS, metoder som er vel utprøvd tidligere og som det er god kjennskap til. Det er brukt laserdata som allerede er samlet inn og brukt til beregninger tidligere. Men her i oppgaven skal det undersøkes nærmere på enkelte steg i prosessen, og da i hovedsak på matchingen og dens påvirkning av DTM.

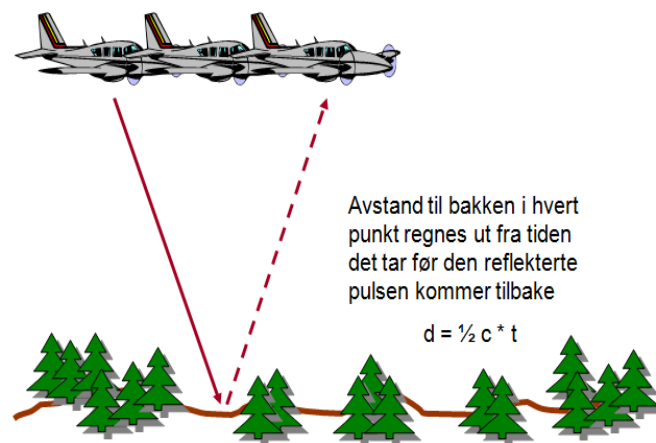
1.3 Bakgrunn

Laserskanning fra fly er en teknikk som stadig er under utvikling. I Norge har det vært utført laserskanning siden 90-tallet, men det er først i de siste årene at antall oppdrag og interessen i Norge har økt kraftig. TerraTec AS er en av få bedrifter i Norge som tilbyr laserskanning, og i fjor hadde TerraTec AS hele 8269km² som ble flydd fordelt på 89 ulike oppdrag bare i Norge. Det totale antall kvadratkilometer som TerraTec AS fløy i fjor var på 28491km². Eksempler på kunder som bestiller laserdata fra fly i Norge kan være kommuner som ønsker det til bruk av kartanalyse før utbygging av veier eller boliger. Elverk som skal analysere kraftlinjetraseer. Enten for å undersøke om det er mye vegetasjon som kan bli i veien for eksisterende kraftlinjer, eller for å finne nye traseer til å bygge kraftlinjer. Ellers kan laserdata benyttes til flomanalyse, volumberegning av jord og skog. Statens Vegvesen kan benytte laserdata til planlegging og visualisering av veier.

2 Teori

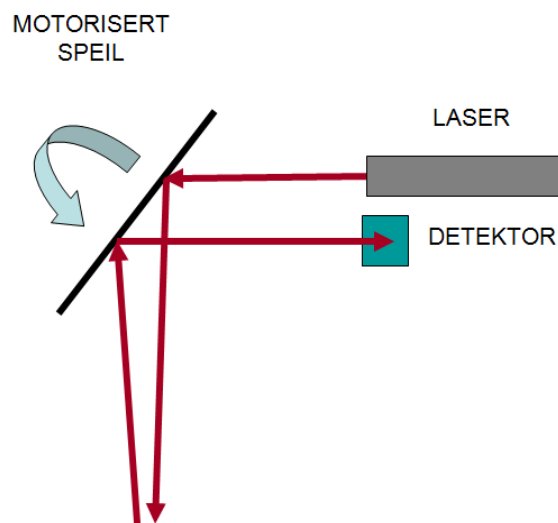
2.1 Flybåren laserskanning (LiDAR)

LiDAR (Light Detection And Ranging) eller laseraltimetri er andre ord for flybåren laserskanning. Flybåren laserskanning utføres enten fra fly eller helikopter. Prinsippet er at det måles avstander ned til bakken ved bruk av laserstråler. Laserstrålene sendes ut fra en skanner som er festet under flykroppen. Denne skanneren sender ut infrarøde stråler med hjelp av et speil (roterende eller sveipende) som sprer laserstrålene i et mønster på bakken. Det mest vanligste mønsteret er et Z-mønster, som skapes av et sveipende speil. Noen av laserstrålene vil reflekteres en eller flere ganger fra objekter på jordoverflaten og returnere tilbake til skanneren. Tiden det tar for laserstrålen å returnere blir målt, og sammen med lyshastigheten kan avstanden ned til bakken beregnes.



Figur 1 Laserskanningsprinsippet, hentet fra TerraTec [9]

De aller fleste skannere registrerer fire retursignaler. For laserskanning i skog vil flere retursignaler øke nøyaktigheten på DTM. Dette skyldes at signalet som klarer å trenge gjennom tett vegetasjon, ikke bare blir registrert som retursignal fra toppen, men også senere returer nærmere eller på bakken. Om bord i flyet er det også en GNSS som sørger for at vi kan beregne posisjonen til flyet til en hver tid. Det er også en INS med i flyet som bidrar til at orienteringen av flyet (roll, pitch og heading) er riktig og oppdatert.



Figur 2 Sveipemekanismen, hentet fra TerraTec [9]

Det fine med laser er at den er uavhengig av faktorer som dagslys og solvinkel. Flybåren laserskanning kan utføres uansett vær, men skyer under flyet skaper problemer for laserpulsene. Partikler i skyene kan reflektere strålen tilbake til skanneren, og svært få stråler klarer å gå gjennom skylaget pga at partiklene ligger svært tett. I tillegg er laser en optisk sensor, som dermed må ha innsikt til terrenget den skal måle. I for tykk skog der ikke sollys slipper gjennom, vil heller ikke laserstrålen kunne gå gjennom.

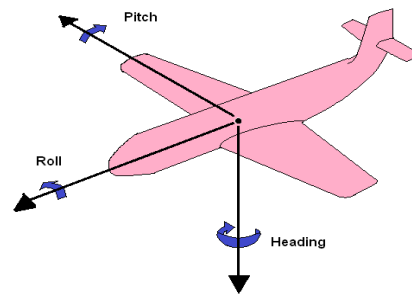
2.2 GNSS – INS

GNSS (Global Navigation Satellite System) brukes for å bestemme posisjonen til flyet nøyaktig. GNSS er en teknikk som bruker satellitter fra et nettverk med mange satellitter som går i bane rundt jorden. Teknikken gir posisjonskoordinater i tre dimensjoner; bredde, lengde og høyde. GNSS bruker oftest satellitter fra GPS systemet (Amerikansk) og GLONASS systemet (Russisk). I dette tilfellet blir kun GPS satellittene benyttet, slik at om posisjonsbestemmelsen vil det heretter brukes definisjonen GPS, hvis ikke annet er nevnt.

Teknikken som TerraTec AS bruker under laserskanning fra fly kalles PPP (Precise point positioning.) Dette er en metode som ikke bruker noen bakkestasjon, men kun GPS mottakeren i flyet. Denne GPS mottakeren mottar signaler fra satellittene med informasjon om baneparametrene til satellittene og tiden signalet bruker. På bakgrunn av disse parametrene kan mottakeren beregne sin egen posisjon, og mottakeren må ha signaler fra minst fire satellitter for å få overbestemmelse og dermed kunne bestemme sine tre koordinater. Det forutsettes også en tilstrekkelig lang måleperiode for best mulig nøyaktighet på observasjonene. I følge KOG *”Forutsettes det at total måletid (på bakken og i lufta) bør overstige tre timer for å sikre god konvergens i løsningen”* [5]. Ved hjelp av disse faktorene kan man også beregne ut posisjonen da hver enkel laserstråle ble sendt ut, og dermed få et georeferert punktdatasett.

INS (Inertial Navigation System) er et instrument som består av tre gyroer og tre akselerometer. Gyroen stabiliserer og beregner vinkelendringen i flyets orienteringsparametre mens akselerometeret måler endringer i fart og gravitasjon. Eksentrisiteten og vinklene mellom origo til INS og GPS systemet og til origo i laserskanneren må beregnes ut. Disse verdiene kalles *”Level Arms”*, og brukes i beregningene for prosessering av laserdata.

Roll, Pitch, Heading er betegnelsen på flyets orienteringsakser. De beskriver rotasjonen om hver av de tre hovedaksene til flyet. Roll er rotasjon om flyets retning, altså vippingen av flyet fra side til side. Pitch er rotasjon om aksen tvers over vingen, om nesetippen på flyet vipper opp eller ned. Og Heading er rotasjon om flyets loddrette akse ned, om flyet flyr horisontalt men likevel sidelengs.



Figur 3 Flyets orienteringsakser: Roll, Pitch og Heading. Hentet fra TerraTec [9].

2.3 Laserpulsens

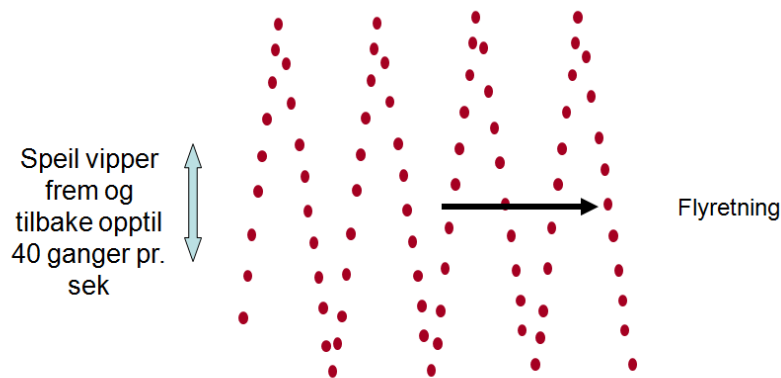
2.3.1 Fotavtrykk/Laserstrålen

Fotavtrykket er området som laserstrålen utstrekker seg på når den treffer bakken. Ved et stort fotavtrykk er det lett å trenge gjennom vegetasjon, for da vil det være stor sjanse for at en del av fotavtrykket trenger gjennom. Ulempen med stort fotavtrykk er at det da vil være vanskeligere å bestemme klare avgrensninger. For eksempel en fortauskant da fotavtrykket vil treffe både på toppen og bunnen av kanten samtidig, og kanten vil bli avrundet [17].

Fotavtrykket oppgis normalt i desimeter, og under dette prosjektet er fotavtrykket i størrelse på omtrentlig 20cm. Etter hvert som flyhøyden øker, vil også størrelsen på fotavtrykket øke ved bruk av TerraTec sin Leica skanner. Eksempelvis vil et fotavtrykk være 45cm for en flyhøyde på 2000m, og 5cm for en flyhøyde på 200m.

2.3.2 Skannemønster, Z-mønster

Et z-mønster på bakken kommer av at speilet i skanneren svinger frem og tilbake. Dette gjør slik at tettheten av punkt i ytterkanten når speilet snur, blir mye høyere enn midt på. Denne typen skanning er den mest brukte i Norge, og i Terratec. For å få et mer nøyaktig datasett, vil en grad av ytterkantene på z-mønsteret kuttes bort. Dette gjøres for at når speilet snur vil det stoppe opp en liten stund. Og i det vil punktetettheten bli mye større akkurat der enn resten av området. Da vil denne punktetettheten være med på å spille inn på den gjennomsnittlige punktetettheten.



Figur 4 Skannemønster, hentet fra TerraTec [9].

2.3.4 Refleksjon/Reflektans

Typen materiale som laserstrålen treffer avgjør hvor godt strålen blir reflektert. Mørke overflater som våt asfalt og lignende vil absorbere mesteparten av laserstrålen og det vil bli lite refleksjon. Heller ikke vannflater vil gi god refleksjon, det er fordi vann absorberer infrarøde stråler. [2] Imidlertid er det noen punkter som blir reflektert fra vann, og dette kan skyldes partikler som ligger i vannoverflaten eller bølger i vannet. Skanneren er innstilt på og kun å registrere laserpulser med en gitt intensitetsverdi. Dersom et retursignal er svakt, vil det dermed ikke bli registrert som et laserpunkt. Dette er en god metode for å luke ut dårlige og ubrukelige signaler.

2.3.5 Punkttetthet

Punkttettheten er antall laserpunkter som treffer bakken over et område på en kvadratmeter. Punkttettheten avhenger av bestemmelser for flyets hastighet, flyets høyde, sveivevinkel og skannehastighet. Hvis flyet flyr rolig og ved lav høyde, vil vi få en høyere punkttetthet enn dersom flyet fløy hurtig og høyt. Punkttettheten vil også variere med terrenget og dets hellinger som gir endringer i avstanden opp til flyhøyden. Punkttettheten blir beregnet på bakgrunn av første returpuls. Dersom et signal har gitt flere retursignaler, vil ikke disse bli tatt med i beregningen av punkttettheten. I nadir rett under flyet, vil punkttettheten være best, mens den vil avta utover i skannet.

2.3.6 Skannevinkel/FOV

Skannevinkel eller FOV (Field Of View) er vinkelen fra en loddlinje rett ned fra flyet, og ut til der laserstrålen er. Altså hvor bredt speilet sveiper. Størrelsen på skannevinkelen er en av faktorene som avgjør hvor stort område som skal skannes for hver flystripe, og punkttettheten avtar ved større vinkel.

2.3.7 Tverrstriper

Tverrstriper er flystriper som flys på tvers over de andre flystripene i prosjektet. Antall tverrstriper avhenger av størrelsen på prosjektet, men som et holdepunkt brukes en tverrstripe per 20.km. Tverrstriper benyttes til å løse ut heading og Dz. Fordelen er at man har en flystripe som dekker alle flystripene sammen, og da er de spesielt gode til å løse ut verdier for Dz og heading.

2.4 DTM

DTM (Digital Terreng Modell) beskriver terrengets overflate og hellinger basert på et sett med datapunkter. DTM er ikke bare visualisering av terrengets overflate, men også av f. eks havbunnen. Objekter på overflaten visualiseres ikke av en DTM, men en DOM (Digital Overflate Modell) viser både terrenget og objekter. Å skape en DTM er hovedoppgaven ved laserskanning, og nøyaktigheten avhenger av flere faktorer. En DTMs bruksområder kan være flomkartlegging, reguleringsplaner, veiplanlegging, utbygging av store områder eller traseer.

2.5 Høydekurver

En høydekurve er definert som ”en konturlinje i bestemt høyde over normalnull” [14]. Høydekurver genereres av laserpunktene og deres fastsatte høydeverdi. Linjene blir definerte ved beregning og formålet med høydekurvene er ”å gi et godt visuelt bilde av terrenget” [15]. Når det blir generert høydekurver ut fra laserpunktene vil dette gi en svært kantete og detaljert modell. Høydekurvene brukes ofte til beregninger og prosjektering, da er det viktig at høydekurvene er nøyaktige og kantete. Skal man derimot bare visualisere høydekurvene enkelt, blir det foretatt en glatting slik at de ser penere ut. Ekvidistansen – avstanden mellom hver høydekurve, varierer i forhold til bruksbehovet. For bebygde områder er det vanlig med en meter ekvidistanse, mens i mindre bebygde områder øker den til fem meter. I denne oppgaven er det ikke gått noe nærmere inn på høydekurver, og de er ikke inkludert i beregninger og resultater.

3 Prosjektet Nittedal

3.1 Grunnlag for valgt prosjekt

Forutsetningene for å velge et prosjekt var først og fremst å finne et prosjekt med variert terreng og ulike objekter. Geovekstprosjektet "Nittedal test" var et velegnet valg, i tillegg til at det ligger nærme for feltundersøkelser. Området inneholder både bebyggelse, åpne områder, elv, veier og vegetasjon. Dette prosjektet er flydd over flere perioder, for hver årstid. Jeg har tatt utgangspunkt i flyvningen gjort på våren, for da er det lite vegetasjon som kan skape hinder for flere laserpulser å treffe bakken. Med mye tett vegetasjon vil DTM bli mer unøyaktig med få punkt som klarer å trenge gjennom løvet på trærne og ned på bakkenivå. Jeg har også tatt for meg punkttetthet på 2 punkt per kvadratmeter på grunnlag av at det er av denne typen punkttetthet det bestilles flest prosjekt av i Norge. Og dermed vil gi et godt sammenligningsgrunnlag med mitt prøveprosjekt.

Prosjektet skal undersøkes for nøyaktighet i grunnriss og høyde etter krav spesifisert i Produktspesifikasjon for FKB-Laser [6]. Kontrollen skal gjøres for å sjekke om datasettet er forskyvet i grunnriss eller høyde. Og en DTM skal lages ut fra datasettet, både som matchet og som ikke matchet. Disse modellene skal så sammenlignes og forskjeller skal belyses. Deretter vil det konkluderes med om matching er nødvendig eller ikke.

Prosjektet er definert som et FKB-Laser20, og sier at "stedfestingsnøyaktighet i høyde til terrengmodellen etablert fra dataene skal være bedre enn 20cm for harde og veldefinerte terrengoverflater (for eksempel grus- og asfaltflater)."



Figur 5 Bilde over området, Gjelleråsen i Nittedal [8].

3.2 Planlegging av laserskanning

Etter å ha fått en områdeavgrensning over det aktuelle området som skal skannes, legges en flyplan. En flyplan består av et antall flystriper som dekker området etter de kvalifikasjonene som er ønsket. Det vil si hvor stor grad av overlapp mellom stripene som ønskes og hvor stor punkttetthet det ferdige prosjektet skal ha. På bakgrunn av dette bestemmes også hastigheten og høyden flyet må følge for å oppnå disse kravene. I tillegg beskriver en flyplan retningen flystripene skal flys og lengden av dem. Valg av type sensor avhenger av parametrene som er satt og ellers hvilken sensor som er tilgjengelig. Flyplan kan finnes som vedlegg A.

Siden laser ikke er avhengig av sollys og kan flys uansett tidspunkt så lenge det er klarvær, vil man kunne fly flystripene når som helst på dagen eller i året. Så fort laserdata er innsamlet og flyet er tilbake på Gardermoen, sendes opptakene til kontoret for videre behandling. Her blir dataene lastet over til datamaskiner fra opptakdiskene og sjekket. Det som sjekkes er at området som skal vært flydd faktisk er flydd, at det er god overlapp mellom flystripene og ingen hull, at det ikke er skyer på himmelen, sterk vind eller andre faktorer som kan gjøre slik at flystriper må flys på nytt igjen. Hvis all data er godkjent, kan man begynne med prosesseringen.

Sammen med de innkomne dataene ligger det ved en flylogg. Her står det beskrevet ulike faktorer som har innvirkning på laserdataene. Flyoperatørene kan legge ved kommentarer dersom de selv har oppdaget at en laserstripe kan inneholde feil eller mangler, og starttidspunkt og sluttidspunkt for flyvningen. I tillegg har de målt trykk og temperatur både før og under flyvning. Disse verdiene brukes som små korreksjoner under preprosesseringen av datasettet. Flyloggen kan finnes som vedlegg C.

3.2.1 Forarbeid

For kontroll og justering av datasettet skal det måles inn kontrollflater for prosjektet. Disse kontrollflatene skal ligge spredt rundt i prosjektet og ”et minimum antall kontrollflater for et prosjekt er tre stykker. Hvis det er et veldig stort prosjekt, kan antall kontrollflater bestemmes etter å dividere antall striper på ti” [5]. I mitt prosjekt var det kun målt inn to kontrollflater av landmålerne, slik at jeg dro ut i felten for å måle inn noen flere for å kunne opprettholde nøyaktigheten som er krevd.

Disse kontrollflatene måles inn som et rutenett ved bruk av differensiel GPS. I forbindelse med GPS målinger er det flere faktorer som spiller inn for nøyaktigheten. Antall satellitter mottakeren får kontakt med, og samtidig deres spredning over himmelen. Flest mulig satellitter er ønskelig, og man må ha minimum fire til fem synlige satellitter. I tillegg vil det være optimalt om disse satellittene er spredt over et stort område på himmelen, framfor at de alle sammen er lokalisert på samme sted. ”Generelt vil måling med RTK være mindre robust ovenfor svak satellittgeometri enn de klassiske statiske måleteknikkene. Ved svak

satellittgeometri øker sannsynligheten for gal heltallsløsning, samt at effekten av en eventuell gal heltallsløsning på koordinatene blir svært stor. Ved RTK-måling bør derfor Position Dilution of Precision (PDOP) verdien være mindre enn 4,0'' [4].

PDOP < 4.0:	God nøyaktighet på posisjonene
PDOP 4.0-8.0:	Akseptabel posisjonsnøyaktighet
PDOP > 8.0:	Dårlig nøyaktighet på posisjonene.

Tabell 1 DOP verdier, hentet fra satellittbasert posisjonsbestemmelse [4].

PDOP er "et mål for geometriens innflytelse på nøyaktigheten ved satellittbasert posisjonsbestemmelse. DOP-faktoren er forholdet mellom nøyaktigheten ved posisjonsbestemmelsen og nøyaktighetene ved avstandsbestemmelsen. DOP-verdiene skal altså være så lav som mulig, og dette oppstår når satellittene har god spredning over himmelen" [12]. Nøyaktigheten på de innmålte punktene antas å være god og være målt med en DOP verdi på under fire.

3.2.2 Valg av utstyr

Typen sensor som er brukt under laserskanningen er Leica ALS50 phase II Airborne Laser Skanner. Ulike faktorer og bestemmelser for skanneren er vist i tabell 2 under. Flyhøyden ble utført på i underkant av 900m høyde over ellipsoiden (se figur 7), og da omtrentlig 800m over terrenget noe som vil variere over deler av området. Hvis bare flyhøyden økes vil punktettheten bli lavere og hvis flyhøyden blir lavere vil man kunne oppnå høyere punktetthet. FOV var på 40°

Operasjonshøyde	200 – 6000m over terreng
Pulsfrekvens	Inntil 150 000 pulser (høydeavhengig)
Pulsseparasjon	2,8m
Antall returpulser	4
Intensitetsverdier	3
Skannvinkel (FOV)	: ± 37,5° (75 ° Field Of View)
Skannehastighet	Inntil 90 Hz
Beam divergence	0,15 @ 1/e (0,22 @ 1/e ²)
IMU nøyaktighet	0,0008 I roll/pitch, 0,015 I heading, drift 0,5 grad/time
Lagringsmedium data	: 300 Gb harddisk som enkelt kan tas ut (ca 17 t operasjon)

Tabell 2 Leica ALS50 Phase II Airborne Laser Scanner, hentet fra TerraTec AS[9].

Tabellen opplyser hvilke egenskaper Leica skanneren har, ikke hvilke som er benyttet i prosjektet. De viktigste faktorene som er brukt under skanningen er nevnt ovenfor.

3.2.3 Krav til utførelsen

I Kart og Geodatastandarden [5] er det beskrevet ulike krav til gjennomføring av laserskanning.

Før instrumentet skal tas i bruk er det krav til kalibrering av utstyret. Hovedkalibreringen skal skje hos leverandøren, mens installasjons kalibrering der eksentrisiteten og vinklene mellom INS og GPS origo til laserskannerens origo bestemmes ved oppsett av instrumentet [5].

”Antennas posisjon i forhold til skannerens koordinatsystem skal måles inn med geodetiske metoder eller tilsvarende, og skal beregnes med utjevning og med kontroll mot grove feil. Antenneposisjonen skal bestemmes med en punktstandardavvik ($s_{xe,ye,ze}$) $\leq 1,0$ cm” [5]. I tillegg burde instrumentet kalibreres før hvert oppdrag, noe som gjøres ved at flyet flyr et enkelt mønster som vil berøre alle tre orienteringsaksene før laserskanningen starter, for eksempel et åttetallsmønster eller et kryss [5].

INS består av gyroer som jobber for å holde orienteringsaksene stabile. Den gjør slik at det ikke oppstår en drift i aksene og gir gale koordinatverdier for orienteringsparametrene roll, pitch og heading. *”Største stripelengde skal maksimalt tilsvare 20 minutters flytid for å kunne*

holde gyrodriften på et akseptabelt nivå. Ved litt slakkere nøyaktighetskrav, kan stripelengden økes no.” [5]. Over lengre tid vil INS ikke klare å holde gyrodriften igjen, derfor er det satt en grense på hvor lenge en flystripe kan flys før instrumentet må rettes opp igjen.

Statens Kartverk har utarbeidet en produktspesifikasjon for Laser [6] for at den skal være ”et virkemiddel for å kvalitetssikre etablering og forvaltning av laserdata i Norge, samt at den skal gi brukerne detaljkunnskap om innholdet i produktet” [6]. FKB-Laser20, er en delspesifikasjon av FKB-Laser. FKB-Laser er delt inn i tre delspesifikasjoner. Dette er for at ”behovet for laserdata (terrengdata) i et område varierer avhengig av hvilke formål datasettene skal brukes til” [6]. Derfor deles områdetypene inn i FKB-Laser10, FKB-Laser20 og FKB-Laser50. I dette prosjektet er det benyttet FKB-Laser 20.

”FKB-Laser20 skal benyttes i områder med behov for en detaljert terrengbeskrivelse.

Bruksområdene er i tillegg til skogtaksering med arealmetoden stort sett de samme som for FKB-Laser10, men dataene gir en litt dårligere beskrivelse av terrengoverflaten.

Punktettheten for FKB-Laser20 vil variere avhengig av terrengtype og bruksområder, men typisk punktethet er 0,3-2 punkt pr m²” [6].

Krav til punktethet

Kvalitetselement	Delelement	Kvalitetsmål	Høydegrunnlag		
			FKB- Laser10	FKB- Laser20	FKB- Laser50
			Toleranse	Toleranse	Toleranse
Fullstendighet	Punktethet	Prosentandel ruter m/oppnådd punktethet	95 %	95 %	95 %

Tabell 3 Krav til punktethet, hentet fra Produktspesifikasjon FKB-Laser [6].

Punktettheten skal sjekkes for hele prosjektet, det utføres ved ”å dele inn prosjektområdet i ruter på 10*10 m, og beregne gjennomsnittlig punktethet for hver rute. Ruter som helt eller delvis dekker vann og polygonavgrensning skal ikke medregnes” [6].

Kvalitetsэлемент	Delelement	Kvalitetsmål	Høydegrunnlag		
			FKB-Laser10	FKB-Laser20	FKB-Laser50
			Toleranse	Toleranse	Toleranse
Stedfestingsnøyaktighet	Absolutt høydenøyaktighet	Standardavvik	0.04m (0)	0.07m (0)	0.17m (0)
Stedfestingsnøyaktighet	Absolutt høydenøyaktighet	Systematisk avvik	0.10m (1)	0.20m (1)	0.50m (1)
Stedfestingsnøyaktighet	Absolutt grunnrissnøyaktighet	Systematisk avvik	0.30m (2)	0.60m (2)	1.50m (2)
Egenskapsnøyaktighet	Nøyaktighet til kvalitative egenskaper – feilklassifisering	Prosentandel feil klassifiserte punkt (jf. LAS-klassene)	1 % (3)	1 % (3)	1 % (3)
Logisk konsistens	Egenskapskonsistens	Prosentandel feil	0 %	0 %	0 %
Logisk konsistens	Formatkonsistens	Prosentandel feil	0 %	0 %	0 %

Merknader:

(0) Tallet referer til harde veldefinerte flater, for eksempel en veg, 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 benytte kontrollflater som ligger jevnt utover prosjektområdet. Kontrollflatene kan for eksempel være på 20*20 meter og skal ligge på harde hellende veldefinerte flater, for eksempel veg eller parkeringsplass.

(2) Laserdataene skal ha en jevn og homogen stedfestingsnøyaktighet i grunnriss. Kvalitetsmålet for grunnrissnøyaktighet er systematisk avvik. Kravet er basert på erfaringer fra Sverige der har man erfart at grunnrissnøyaktigheten er 3 ganger dårligere enn høydenøyaktigheten. Dette lar seg lettest måle i knekklinjer som for eksempel mønelinjer og takkanter.

(3) Eksempel på feilklassifisering kan være:

- bygninger er feilklassifisert som terrengpunkt
- store enkeltstående steiner er feilklassifisert som terrengpunkt
- koller er ikke klassifisert som terrengpunkt

Tabell 4 Kvalitetskrav for laserdata, hentet fra Produktspesifikasjon FKB-Laser [6].

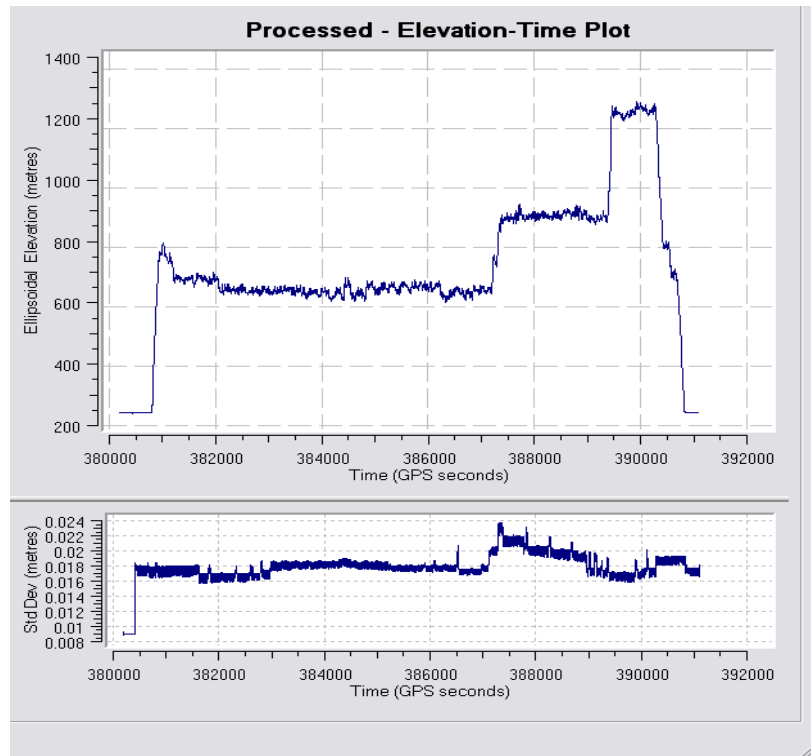
4 Metode

4.1 Terrapos

TerraPos er en programvare som utviklet av TerraTec AS, og brukes til å beregne GPS observasjonene gjort under flyvningen. GPS målinger blir utført ved Precise Point Positioning (PPP). Det løses ut en klokkekorreksjon til GPS data på bakgrunn av lange observasjonsserier, og det benyttes etterprosesserte baneparametre [17].

4.2 IPAS Pro, ALSPP

I IPAS Pro og ALSPP gjøres preprosesseringen ferdig. Dette er programvare fra Leica Geosystems som også er leverandør av sensorene. I IPAS Pro transformerer referansepunktene i GPS- og INS filer sammen med referansepunktet til laserskanneren. I ALSPP sammenfattes disse med laserpulsene og flystripene. I programvarene er det muligheter for å oppdage feil i GPS løsningen eller i laserstripene. I IPAS Pro finnes applikasjoner hvor man kan illustrere flyhøyden og andre faktorer, noe som er illustrert i figur 6.



Figur 6 Flyhøyde med tilhørende standardavvik, hentet fra prosesseringsarbeid i IPAS

Pro

Det øverste plottet i figuren over viser flyhøyden under oppdraget. Her vises det at det først er flydd en periode med en flyhøyde på rundt 700m over ellipsoiden, for deretter å øke flyhøyden mot slutten. Under denne samlede flytiden er det flydd over prosjektområdet flere ganger. Først er det flydd med høy punkttetthet ved lav flyhøyde, deretter ble fortsatte flyvning for mitt prosjekt med litt høyere flyhøyde for en lavere punkttetthet. De flystripene jeg har brukt i denne oppgaven, tilsvarer en tid mellom 387465 GPS sekund og til 388580 GPS sekund.

I det nederste plottet kan man se standardavviket til GPS dataene. Standardavviket er gitt i meter, og det er forholdsvis lavt på centimeter nivå. Under flyvningen av mitt prosjekt økte standardavviket når flyhøyden økte, deretter gikk den gradvis nedover. Økningen er minimal og på rundt to millimeter. Det vil ikke ha noe å si at den økte, og årsaken kan være helt tilfeldig eller at det ble dårligere satellittgeometri ved at en satellitt ble borte [17].

5 Beregninger

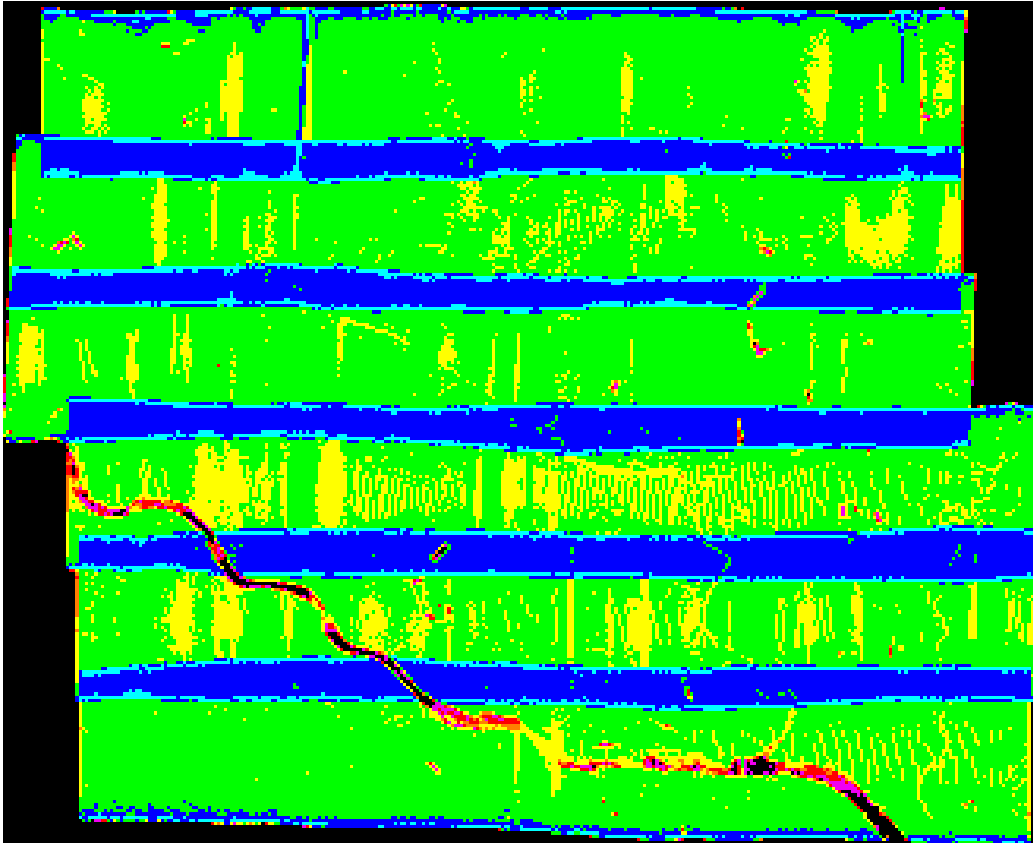
Selve hovedberegningene gjøres i Terrasolid. Dette er et program som bruker microstation som plattform og som har applikasjoner som blant annet terrascan, terramatch, terraphoto og terramodeler [16]. Microstation er et system produsert av Bentley System Inc for 3D modellering og 2D design [18].

5.1 Blokkinnndeling

Blokkinnndeling utføres for å kunne dele prosjektet opp i mindre deler, for lettere å kunne arbeide med kun deler av prosjektet til en mye kortere tid. Blokkinnndelingen foregår ved at man spesifiserer området blokkene skal dekkes, deretter bestemmer man størrelsen på blokkene. Størrelsen på blokkene avhenger av størrelsen på prosjektet og punktettheten. Typisk vil det være blokker på 1000m x 1000m eller 500m x 500m. Siden jeg skal jobbe med et lite prosjekt velger jeg 500m x 500m blokker. Dette gjør at det er mindre punkt å lese inn om gangen, og vi dermed ta litt kortere tid enn de større blokkene.

5.2 Sjekk av data

Første operasjon som blir kjørt på datasettet er en kvalitetsjekk makro. Denne prosedyren sjekker datasettet for punktetthet, overlapp mellom stripene og detekterer lave og høye punkter. Ut fra denne kan man lage et bilde som viser punktettheten.



Figur 7 Punkttettheten for prosjektet, hentet fra terrasolid [13].

Farge	Punkttetthet
Lys blå	>10
Mørk blå	5,0-10,0
Grønn	2,0-5,0
Gul	1,0-2,0
Orange	0,7-1,0
Rød	0,2-0,7
Lilla	0,01-0,2
Svart	0

Tabell 5 Fargeverdier på tetthetsplot. Hentet fra Terrasolid [13].

Her representerer de ulike fargene en skala for punkttetthet, tabell 5. Ut fra figur 8 vises det at små partier med gul farge er områder akkurat i underkant av hva punkttettheten skal være, mens det stort sett ellers ser veldig bra ut i forhold til punkttettheten. Vann gir dårlig refleksjon, derfor er det svært få og tidvis ingen retursignaler og dermed lav tetthet langs elven i området.

Den gule fargen indikerer at det er variasjon i terrenget, med dalsøkk og høyder, samt at det er en del skog i området. Disse faktorene har påvirkning på punkttettheten. I tillegg kan det være små uregelmessige økninger i flyets hastighet på grunn av vind. Dette skaper en akselerasjon som gjør at i enkelte områder blir det tynnere med punkter når flyet har høyere hastighet fremover.

De blå stripene er områder der flystripene overlapper hverandre. Her vil det bli god punkttetthet på grunn av at det er data fra to flystriper.

Dette prosjektet skulle flys med en punkttetthet på 2 punkt per kvadratmeter, og av tabellen vises det at gul farge ligger akkurat i underkant mens grønn er godt nok. I overlappsonene ser vi at det er mer enn nok punkttetthet representert ved blåe farger. Alt i alt er prosjektet stort sett dekt av god nok punkttetthet.

5.3 Klassifisering

Klassifiseringen av bakkepunktene gjøres under en iterasjonsmetode. Denne metoden tar et område og velger ut de laveste punktene. Disse punktene danner en TIN modell. Denne TIN modellen er kun en foreløpig modell, og vil endre seg etter hvert som nye områder som legges til. Prosessen siler ut de punktene som ligger for lavt til å danne en terrengflate, men ikke de punktene som sammen danner den laveste flaten. På bakgrunn av verdier på vinklene og avstandene i trekantene som dannes, kan det elimineres punkt som ligger over eller under disse satte verdiene.

5.4 Geoidejustering

Datasettet fra laserskanneren er referert til en gitt ellipsoide på jorda, dette er ofte WGS84 for flyvning i Norge. Da vil høyden på målingene være uttrykt i høyde over denne ellipsoiden. Når vi skal lage en DTM trenger vi datasettet til å referere til geoiden og ortometriske høyder. Dette er for at DTM skal bli lik den som vi ser for oss når vi drar ut i felten, og for i det hele tatt å kunne brukes til samfunnsnyttige formål. Typisk avstand mellom geoiden og ellipsoiden ligger på rundt 30-40m i Norge. Geoidejustering er en prosess som endrer høydeverdiene på laserpunktene fra ellipsoiden og til geoiden.

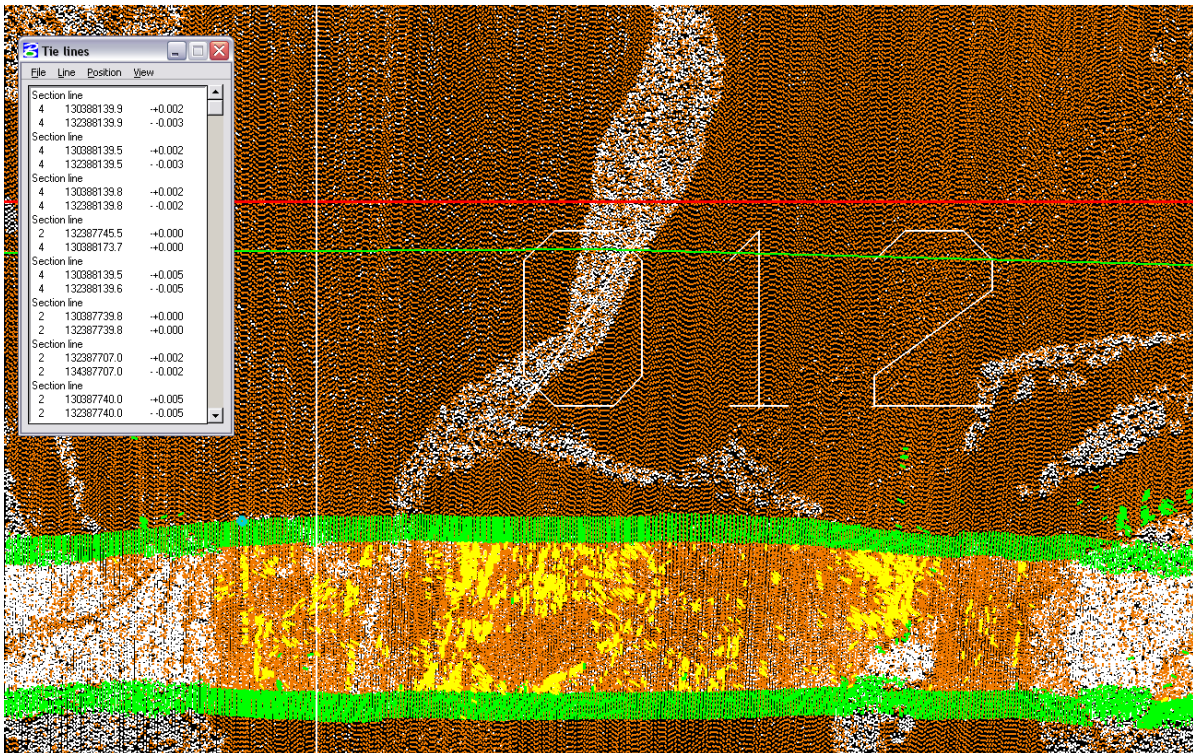
Etter geoidejusteringen er utført kan selve matchingsprosessen begynne. Dette er en prosess der det blir gjort korreksjoner som kobler flystripene optimalt sammen. Så langt har det vært samme fremgangsmåte for de to versjonene av prosjektet jeg skal sammenligne. Videre fremover vil det ene prosjektet hoppe direkte til kontrollflatejustering før DTM editering, mens det andre skal gjennom en matchingprosess først.

5.5 Matching

Før matchingen begynner kjøres det en makro som klassifiserer punkter som bakke bygning, vegetasjon, vann og lave punkter. Makroen klassifiserer disse punktene separat for hver flylinje.

Første steget i matchingprosessen er å søke etter "tie lines." Tie lines er vektorbasert og en erstatter for selve laserpunktene. Tie lines vektorer blir lagd der det er minst avvik og støy, og et mest mulig plant område. Ønsket lengde på vektorene, avstand mellom de ulike vektorene og andre parametre kan fastsettes. Det vil søkes etter tie lines på bakke, på overflater og på tak til bygninger. Tie lines blir opprettet på områder som er plane og store nok i forhold til valgt størrelse på lengden til vektorene. Hvis lengden på vektorene økes, vil nøyaktigheten også øke. Dette vil kunne skje på grunn av at det da stilles større krav til områdene vektorene skal dannes i. Områdene som skal være plane må da være større i utstrekning, slik at de lengre vektorene får nok plass til å opprettes. I innstillingene for tie lines på tak er det fastsatt at det

kun skal dannes vektorer ut fra vinkelen og avstanden til skanneren. På grunnlag av dette vil det dermed ikke være mulig å få vektorer på flate tak, men kun skråtak. Slike hustak er svært godt egnet til å sammenligne laserstripene i et overlappingsområde. Tie-linene blir definert og plassert ut fra gjennomsnittlig avvik i bakkepunktene.



Figur 8 Resultat etter søk av tie lines

Figuren viser gule streker som illustrerer alle tie-lines som er dannet i blokka. Det lages kun tie-lines i overlappsonen, og da lages det en vektor for hver flystripe på samme plass i forhold til hvor laserpunktene ligger. Dette gir muligheter for å finne forskjeller i tie-linene for så å fastsette verdier som det skal korrigeres med. I utkanten av overlappsonene er det størst sjanse for høyt avvik mellom tie-linene, på grunn av at skanneren snur og punktene kan ha unøyaktigheter. Disse kan vi enkelt luke ut ved å søke etter den dårligste definerte tie-linen, og så eliminere de bort hvis avviket er for stort.

Det første steget vi løser ut matchingsparametre for er heading, roll, pitch og skalering (hrps). Da tas det utgangspunkt i filen med tie-lines og endringene påføres de. Her startes det med en verdi for gjennomsnittlig feil og det finnes verdier for korreksjoner i de ulike faktorene.

Heading endring	Roll endring	Pitch endring	Skaleringsfaktor
0,0319°	-0,006°	-0,0106°	0,00001

Tabell 6 Korreksjonsverdier for HRPS, hentet fra Terrasolid [13].

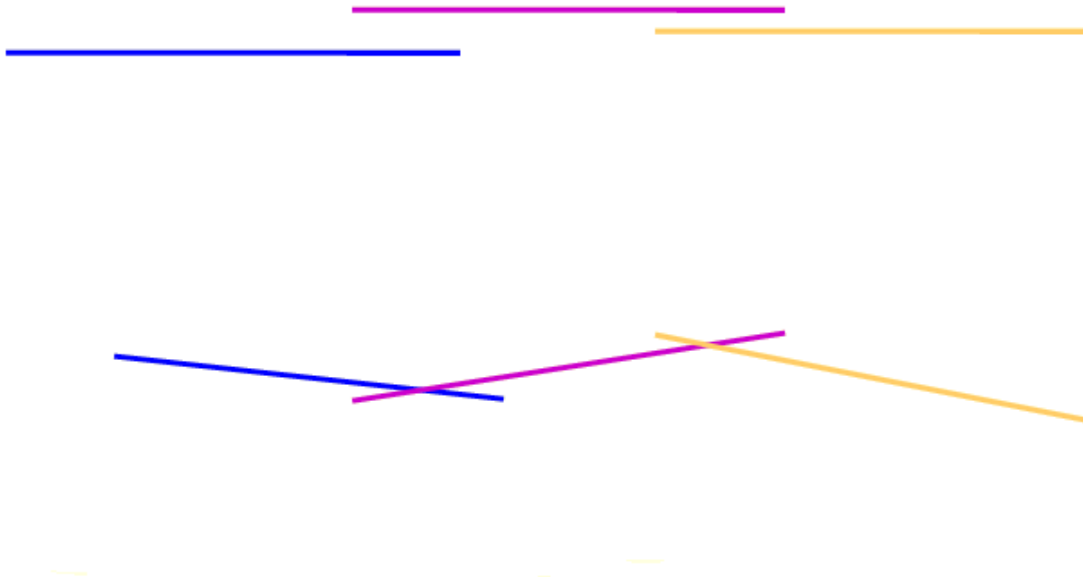
Tabellen over viser hvilke korreksjonsverdier som er beregnet for de ulike orienteringsparametrene og skaleringsfaktoren. Tallene er beregnet ut fra tie-linene, og gir en gjennomsnittsverdi. Orienteringsparametrenes korreksjoner er angitt i grader ut fra orienteringsaksene til flyet. Skaleringsfaktoren har en svært liten verdi. Dette er korreksjoner for speilet i laserskanneren, for den ujevnheten den har etter å ha blitt slipt til å passe i instrumentet. Verdiene som er beregnet ut er korreksjoner som påføres hele prosjektet samlet.

Starting average mismatch	0,01581m
Final average mismatch	0,01405m

Tabell 7 Resultat på laserdataene før og etter hrps korreksjon. Hentet fra Terrasolid [13].

Før påføringen av hrps verdiene er det et avvik mellom punktene i på 0,01581m. Ut fra korreksjonsverdiene som beregnes ut for hver av parametrene, blir det beregnet på nytt hvor godt punktene samsvarer. Av resultatet over tyder det på at korrigeringen har hatt positiv verdi, da avviket har gått ned. Hvis avviket går mye ned, er det gjort gode korreksjoner for å få datasettet så riktig og nøyaktig som mulig. Resultatene her tilsier at det er gjort noen gode korreksjoner, da verdien synker.

Det siste som påføres av korrigerende er i høyde (z) og roll (r). Grunnen til at roll tas med begge gangene, er at i denne prosessen løses det ut verdier for hver flylinje og at det er veldig enkelt å løse ut rollverdier. Derfor løses det ut rollverdier begge gangene for å oppnå ekstra gode resultater for roll. Dz er høydeforskjellen mellom flylinjene. Dette er den parameteren som er enklest å løse ut, derfor kan den løses ut for hver flylinje fremfor hele prosjektet samlet.



Figur 9 Dz og Dr mellom flylinjene, hentet fra Terrasolid [16].

Øverst i figur 10 illustreres Dz avvik, mens nederst illustreres Dr verdiene. Av figuren er det mulig å forstå seg på at det er lett å løse ut korreksjonsverdier for Dz . Høydeavviket mellom de ulike flylinjene beregnes. Dz og Dr blir løst ut individuelt for hver flystripe, og ulike korreksjonene blir så påført flylinjene.

Flylinje	Z endring	R endring
1	-0,005m	-0,0010°
2	-0,000m	0,0001°
3	-0,003m	-0,0020°
4	0,007m	0,0017°
5	-0,005m	-0,0035°
6	0,003m	0,0043°

Tabell 8 Korreksjonsverdier for dzdr, hentet fra Terrasolid [13].

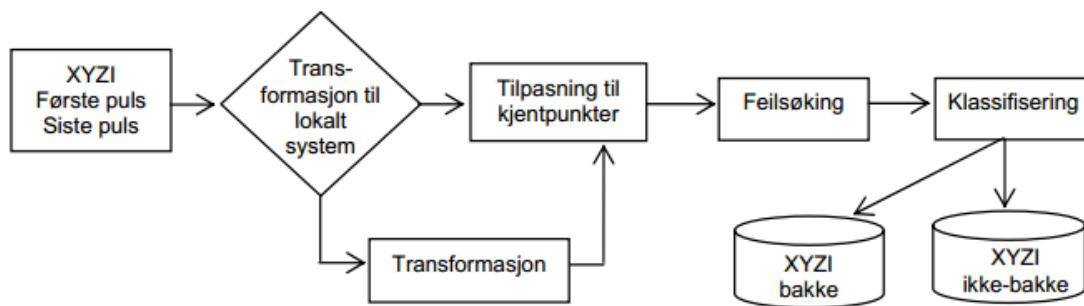
Tabell 8 viser resultatene av søket etter endringer i høyde og roll for hver flylinje. Verdiene i tabellen indikerer at det kun skal små justeringer til både for høyde og roll. Endringene i både Dz og Dr er minimale, men likevel kan det gi gode korreksjoner for matchingen i og med at det gjøres korreksjoner for hver flystripe.

”Starting average mismatch”	0,01405
”Final average mismatch”	0,01117

Tabell 9 Resultat på laserdataene før og etter DzDr korreksjon. Hentet fra Terrasolid [13].

Resultatet etter justeringen av høyde og roll gir en enda bedre og lavere verdi for forskjellene i dataene. Resultatet tilsier at det er et avvik mellom dataene på en centimeter. Noe som er et godt resultat. Som nevnt over gir det bedre resultater hvis verdien går mye ned, og verdien gikk mye mer ned nå enn for hrps.

Før DTM editeringen starter må punktene gjennom en ny klassifiseringsmakro. Her blir alle bakkepunkt klassifisert som bakke, mens resten blir klassifisert som uklassifisert. I tillegg blir noen punkter klassifisert til "low point," men dette er svært få punkter slik at det ses bort fra. Et ekstra steg som er tatt med i makroen, er at en grad på hver side av flystripen kuttes bort. Dette gjøres på grunn av at det er her skanneren snur i sveipemekanismen, og skaper uregelmessigheter som nevnt i kapittel 2.3 "Skannemønster/Z-mønster." En illustrasjon på gangen i denne prosessen vises i figur 10



Figur 10 Klassifiseringsgangen i den siste bakkemakroen. Hentet fra KOG [5].

5.6 Kontrollflatejustering

I KOG står det at "Kjentpunkter skal benyttes for å kunne oppdage og bestemme grove feil og systematiske avvik og som grunnlag for ev. nødvendige transformasjoner. Et kjentpunkt defineres her som en flate beskrevet av en samling tredimensjonale punkter. Disse er entydig identifiserbare i laserdataene ved hjelp av deres høyde og/eller intensitetsverdier" [5].

For å få bedre nøyaktighet, bruker vi et sett med kontrollflater som er målt opp med svært nøyaktig GPS utstyr ute i marka. Dette utstyret er typisk en RTK, og har et nøyaktighetsnivå i cm området. Kontrollflaten er målt opp på et stabilt og flatt underlag, gjerne en vei. Dette er

for at utstyret skal stå stødig og ikke synke ned i jorda. Det burde heller ikke få en stor variasjon i høyde, men være slik at vi får en jevn og lik justering fra hele flaten.

Kontrollflatene består av et rutenett som kan variere i antall ruter, men der avstanden langs sidekantene mellom hvert punkt er på rundt en meter. Det som blir justert på i laserdataene er høyden. Kontrollflatene ligger som regel enten litt over eller litt under laserdataene, slik at verdier kan beregnes for å justere laserdataene jevnt med kontrollflaten.

Antall sett med kontrollflater avhenger av størrelsen på prosjektet, men et minimumsantall er definert i tabell 10 under.

Min. antall kjentpunkter bestemt ved antall striper	Antall striper/10
Min. antall kjentpunkter, uansett	3

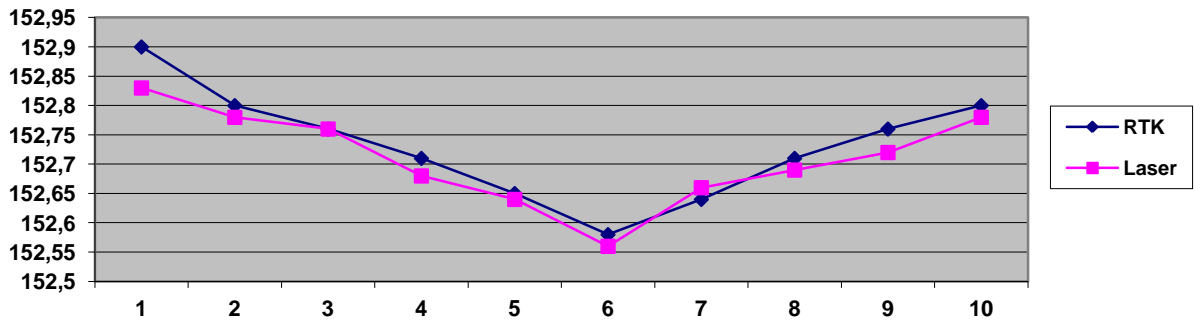
Tabell 10 Minimum antall kjentpunkter, hentet fra KOG [5].

Kontrollflatene skal også representere hele prosjektet, og burde dermed ikke ligge i nærheten av hverandre, men være jevnt fordelt over hele prosjektområdet.

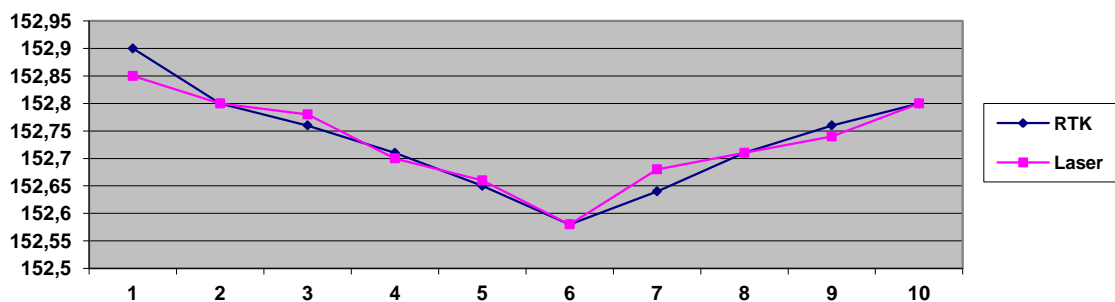
I dette prosjektet er det benyttet fem kontrollflater, der tre av dem har jeg selv vært ute og målt, mens to har landmålere fra TerraTec vært ute og målt i forbindelse med da prosjektet ble flydd. Jeg har vært ute og målt flere kontrollflater for å kunne se på den absolutte nøyaktigheten til DTM i forhold til terrenget, ikke bare den relative nøyaktigheten. Ved målingene benyttet jeg meg av en tradisjonell RTK måler, som er en lett brukelig men nøyaktig differensiell målemetode. Målingene blir nøyaktige på centimeternivå, og en tradisjonell RTK består av en basestasjon og en roverstasjon. Roverstasjonen er der målingene blir gjort, mens basestasjonen er en stasjon som settes opp i, eller står fast i et kjent punkt. Deretter beregner roveren målinger til satellittene, og sammenligner disse med målingene til basestasjonen ved å koble seg opp til basestasjonen. Basestasjonen jeg benyttet meg av, er en permanent stasjon som Statens Kartverk disponerer og tilbyr data fra.

Etter å ha lastet inn kontrollflatene i Microstation, kan det beregnes en gjennomsnittsverdi for høydeforskjellen. Med høydeforskjell menes forskjellen i høyden i et punkt beregnet av GPS målinger og høyden i et punkt målt av laseren. Denne gjennomsnittsverdien beregnes for alle kontrollflatene som er målt inn, og gjennomsnittet av alle disse verdiene brukes til korrigerings av hele prosjektet.

Høydeverdiene for laserpunktene og de innmålte punktene vises med verdier i tabell 11 og som graf i figurene 11 og 12 nedenfor.

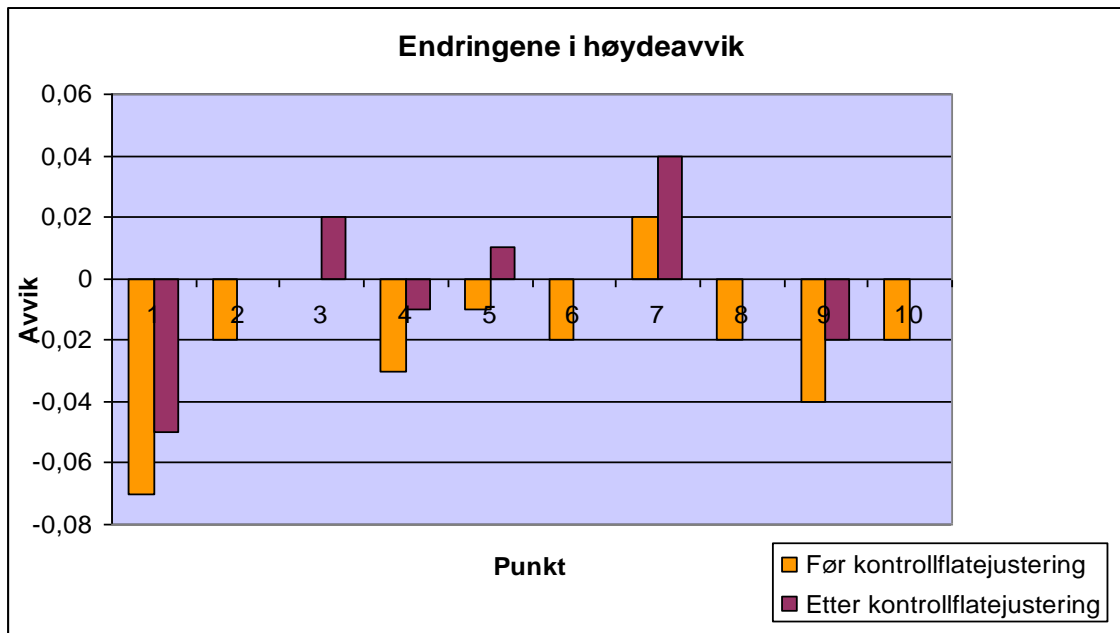


Figur 11 RTK-målinger av punkthøyden og laserpunkthøyden før kontrollflatejustering.



Figur 12 RTK-målinger av punkthøyden og laserpunkthøyden etter kontrollflatejustering.

RTK-målingene er faste så disse har ikke endret seg i verdi, mens laserpunktene har blitt justert av RTK-målingene. Som vist av figur 11 og 12 er differansen mellom laserpunktene og de innmålte bakkepunktene blitt redusert for de fleste tilfellene. Spesielt ved punkt nr syv vises det at justeringen har gjort slik at det ble en større forskjell. Dette er på grunn av at punktene aldri vil kunne bli helt perfekte og like, slik at noen forekomster av feil klassifisering vil oppstå. Her dreier det seg kun om små verdier, slik at det ikke vil ha noen stor påvirkning av prosjektet.



Figur 13 Endringene i høydeavvik, hentet fra egne beregninger

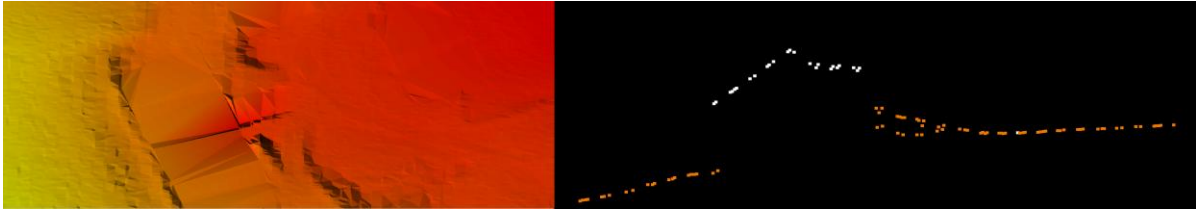
En litt enklere måte å se forskjellen i avvikene på er ved å danne et søylediagram. Her vises endringene i størrelsen på avvikene i forhold til før og etter kontrollflatejusteringen. Figuren visualiserer forskjellene lettere, og i tabell 11 er verdiene for avvikene opplyst.

Punkt	Høydeverdier før justering			Høydeverdier etter justering		
	Kjent punkt	Lasermålt	Avvik	Kjent punkt	Lasermålt	Avvik
1	152,900	152,830	-0,070	152,900	152,850	-0,050
2	152,800	152,780	-0,020	152,800	152,800	0,000
3	152,760	152,760	0,000	152,760	152,780	0,020
4	150,710	152,680	-0,030	150,710	152,700	-0,010
5	152,650	152,640	-0,010	152,650	152,660	0,010
6	152,580	152,560	-0,020	152,580	152,580	0,000
7	152,640	152,660	0,020	152,640	152,680	0,040
8	152,710	152,690	-0,020	152,710	152,710	0,000
9	152,760	152,720	-0,040	152,760	152,740	-0,020
10	152,800	152,780	-0,020	152,800	152,800	0,000

Tabell 11 Høydeforskjeller før og etter kontrollflatejustering, hentet fra egne beregninger

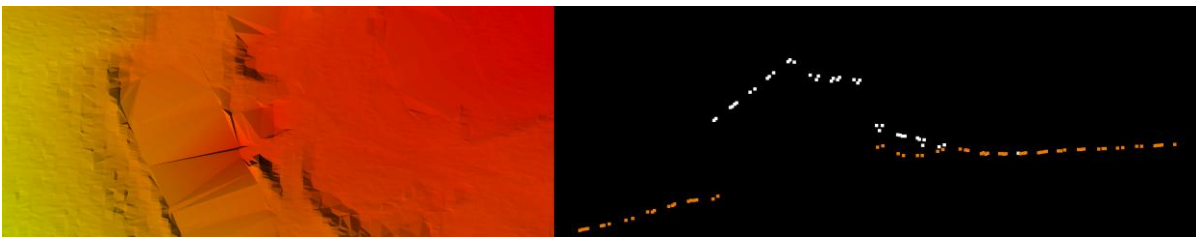
5.7 DTM editering

En slik automatisk prosess er ikke nøyaktig nok for å lage en DTM modell direkte. Mange av punktene har lett for å bli feilklassifisert, noe som er vanskelig å oppdage ved en kjapp sjekk. Kontroll av DTM er en lang prosess, der hver enkelt blokk skal åpnes og sjekkes. Blokkene sjekkes da for feilklassifiseringer, der for eksempel en veranda på et hus er klassifisert som bakke. Da må man manuelt inn og reklassifisere disse punktene til uklassifisert.



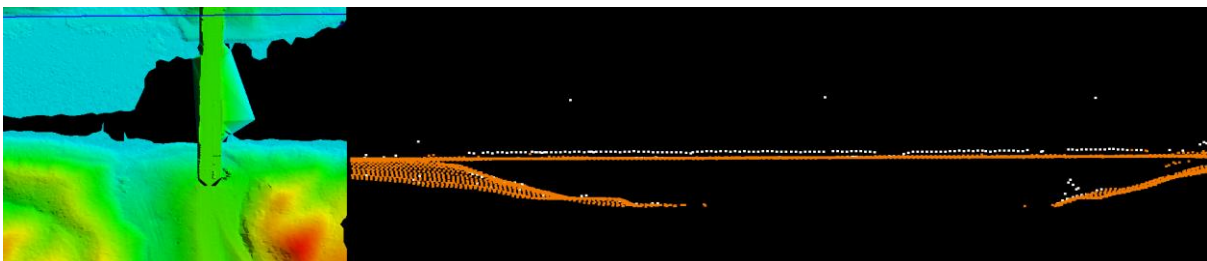
Figur 14 Eksempel på feilklassifisering av bakke, hentet fra Terrasolid [13].

Dette er et eksempel på en feilklassifisering. Her er låvebrua opp til låven klassifisert som bakke og det må manuell redigering for å endre på. Det kan være litt ulike meninger om hva som burde være klassifisert som bakke og ikke bakke, men hovedregelen jeg har gått ut i fra er at det som er menneskeskapt eller har bakke under seg skal ikke være bakke.



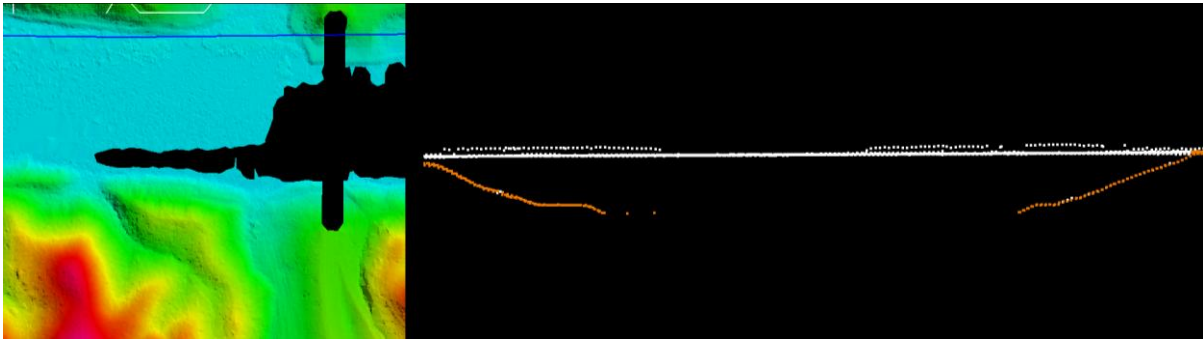
Figur 15 Etter reklassifiseringen, hentet fra Terrasolid [13].

Her er det blitt utført en reklassifisering av de tidligere bakkepunktene til uklassifiserte punkt. Og det vises tydelig at bruen opp til låven nå tilhører uklassifisert med hvit farge.



Figur 16 Feilklassifisering av bru, hentet fra Terrasolid [13].

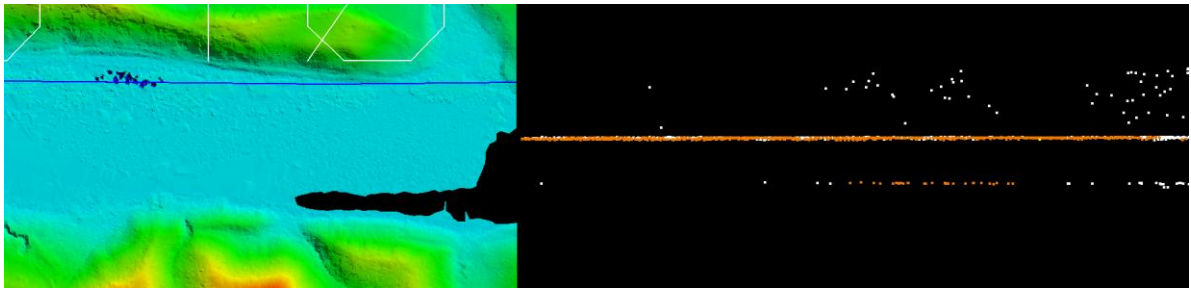
Klassifisering av bakkepunkter på bru forekommer ofte da det er lett for programmet å regne seg fram til at det må være bakke. En bru er menneskeskapt og henger i luften, og skal dermed ikke klassifiseres som bakkepunkter. Bildet til venstre i figur 17 viser elven representert som svart farge, som renner under bruene (representert med grønn farge.)



Figur 17 Reklassifisert bakkepunkter til uklassifisert, hentet fra Terrasolid [13].

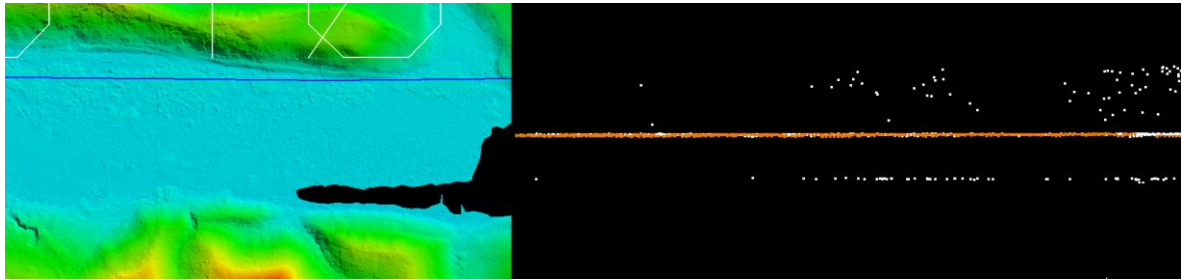
Andre problemer som typisk kan forekomme er feilklassifisering av veranda, elv eller vann. Klassifisering av veranda på bakkenivå burde klassifiseres som uklassifisert, og ikke bakke. Grunnen er at dette er et menneske skapt objekt som ikke regnes som bar bakke.

Et annet fenomen er når punkt som ligger under bakken blir klassifisert som bakke. Årsaker til dette kan være at det er forsinkede laserpulser som registreres i skanneren på grunn av multipath. Multipath er et fenomen som oppstår når laserpunktene blir reflektert via flere objekter og bruker ekstra lang tid på å returnere til skanneren. Dermed vil utregningen av posisjonen til punktene få gale verdier i form av at avstanden ned til punktene blir lengre, og de blir klassifisert som punkt under bakkenivå. I dette tilfellet vil jeg anta at det kan være refleksjoner i busker og vannet som er årsaken til multipath. I dette området vises det av laserdataene og på satellittbildene fra ulike internettjenester at det er noe overheng av busker og trær ut mot elvekanten. Det vises også at store deler av elven har gitt retursignaler, noe som ikke er vanlig på elv. Vann skal i utgangspunktet gi dårlig returpuls, men med utgangspunkt i Google Maps [8] vises det at det er mye vegetasjon i elven. Dette kan skyldes at elven er i ferd med å gro igjen, eller at det er lite vann i elven i tidsrommet laserskanningen ble utført.



Figur 18 Feilklassifisering av punkt i elv på grunn av multipath, hentet fra Terrasolid [13].

I figur 18 ser vi et område oppe i venstre hjørne som skiller seg ut i forhold til resten av elven. Et tverrsnitt representerer området til høyre, og viser det at punkt under bakken er klassifisert som bakkepunkt. Dette skal rettes på, og figuren under viser resultatet etter reklassifiseringen.



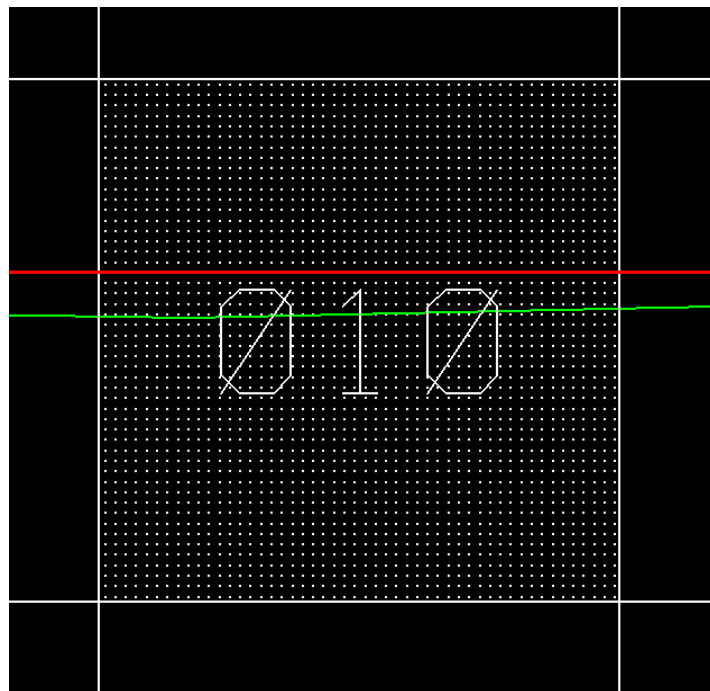
Figur 19 Ferdig endret punkter i elv. hentet fra Terrasolid [13].

6 Resultater

6.1 Punktetthet

Kontroll av punktettheten gjøres i følge Produktspesifikasjon FKB-Laser ved at ”prosjektområdet deles inn i ruter på 10*10 m, og det beregnes gjennomsnittlig punktetthet for hver rute. Ruter som helt eller delvis dekker vann og polygonavgrensning skal ikke medregnes” [6].

Oppdelingen av prosjektet i ruter på 10*10 m gjøres i den første kvalitetssjekk makroen. Her blir det laget tekstfiler med en kolonne for øst koordinat, en for nord koordinat og en kolonne som viser punktettheten i den ruten. Koordinatene definerer sentrum av ruten, og det lages egne tekstfiler med disse verdiene for hver blokk i prosjektet. Blokkene i prosjektet er på 500*500 m, slik at det vil bli 2500 ruter for hver blokk.



Figur 20 Punktetthetssjekk med oppdeling i blokk 10, hentet fra Terrasolid [13].

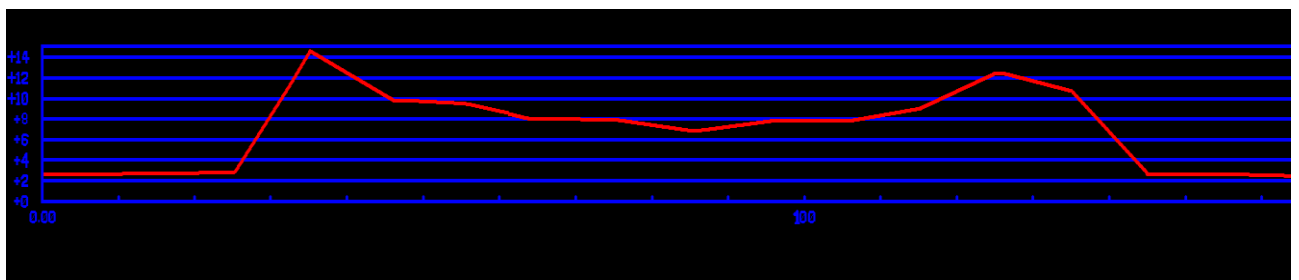
De hvite prikkene inne i blokk 10 som vist i figuren over, er sentrum av hver rute som blir dannet. Nummereringen av rutene starter nederst i venstre hjørne og beveger seg først horisontalt før loddrett. Det er på bakgrunn av disse filene vi kan lage et punktetthetsplot, som er vist i avsnitt 5.3 Sjekk av data. Punktettheten blir beregnet ut fra kun første retur i laserdataene.

Rute	Øst koordinat	Nord koordinat	Punkttetthet
1	609005.000	6653505.000	24,770
2	609015.000	6653505.000	34,530
3	609025.000	6653505.000	39.950
4	609035.000	6653505.000	19.090
5	609045.000	6653505.000	10.050
6	609055.000	6653505.000	9.320
7	609065.000	6653505.000	13.700
8	609075.000	6653505.000	13.660
9	609085.000	6653505.000	11.810
10	609095.000	6653505.000	9.590
1711	609105.000	6653845.000	2.290
1712	609115.000	6653845.000	2.470
1713	609125.000	6653845.000	2.310
1714	609135.000	6653845.000	2.150
1715	609145.000	6653845.000	2.240
1716	609155.000	6653845.000	2.280
1717	609165.000	6653845.000	2.410
1718	609175.000	6653845.000	1.960
1719	609185.000	6653845.000	2.220
1720	609195.000	6653845.000	2.310

Tabell 12 Punktetthet for deler av blokk 10.

I denne tabellen er det vist et eksempel der det er tatt med verdier for 20 ruter i blokk ti. De ti første blokkene har høy punktethet. Dette skyldes at rutene ligger i en overlappsonne mellom to flylinjer, og får dermed ekstra mange punkter. Videre plukket jeg ut ti blokker nærmere sentrum av den ene flystripen. Og her vises dermed et mer representativt utvalg av punktethet. Ut i fra dette utvalget ser punktetheten ut til å tilfredsstille kravene, men dette må sjekkes for hele prosjektet. Kravet til punktetheten satt av Produktspesifikasjon FKB-Laser [6] og vist i tabell 3 er at 95 % av rutene skal tilfredsstille den fastsatte punktetheten. For å finne punktetheten over hele området, skal da alle ruter som er innenfor områdeavgrensningen og som ikke omfatter helt eller delvis vann undersøkes og sammenlignes opp mot kravet. I dette tilfellet har jeg ikke lagt inn vannpolygoner, og jeg kan ikke utelukke ruter som omfatter vann. En beregning av punktetheten for hele prosjektet er da ikke mulig å utføre helt nøyaktig.

En tverrprofil over en del av området viser størrelsen på punktetheten i figur 21.

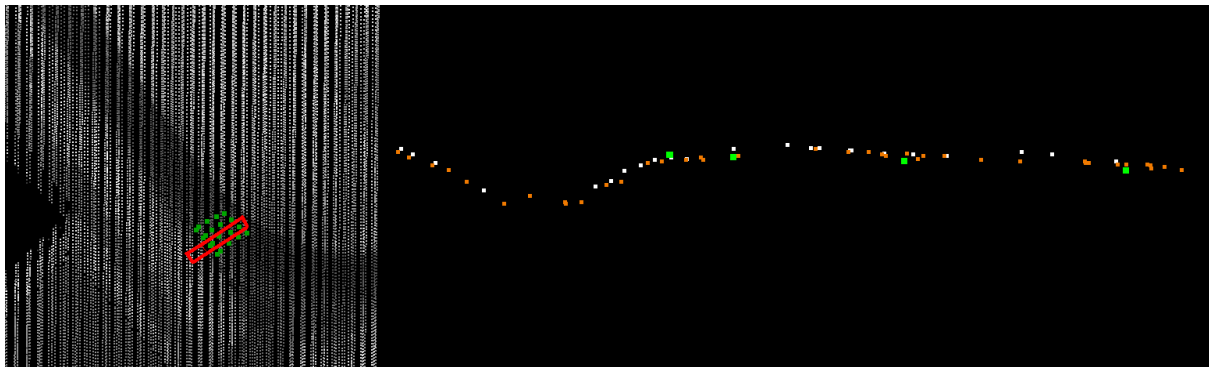


Figur 21 Graf over punktetheten, hentet fra Terrasolid [13].

Den røde linjen indikerer størrelsen på punktetheten. Når grafen går bratt opp og er høy belyser tverrprofilen et overlappsområde. Ellers utenom overlapp ligger punktetheten på like over to punkter. Noe den skal gjøre ut fra bestemmelsene for prosjektet. Dette er bare et lite utdrag av hele prosjektet, men gir et representativt utvalg.

6.2 Stedfestingsnøyaktighet i grunnriss.

Stedfestingsnøyaktighet i grunnriss viser om datasettet er forskjøvet sidelengs i grunnriss. Dette fastsettes ut fra nøyaktige feltmålinger med presist landmålingsutstyr. Det gjelder da målinger av tydelige objekt i felten som vises igjen i laserdataene, som for eksempel mønelinjer, takkanter, vegskuldre, veimerker, bygninger. Jeg har derfor valgt å bruke noen kontrollpunkter på en veiskulder. Kontrollpunktene har jeg målt inn som et ekstra sett med kontrollflater. I kontrollflaten tok jeg utgangspunkt i å måle punkter på veiskulderen og ved endene på hvitstripene på veien.



Figur 22 Kontrollpunkter med laserpunkter, hentet fra Microstation.

I figuren over illustreres sjekk av grunnrissdata. De grønne punktene er kontrollmålinger og datasettet er vist med intensitetsverdier til venstre.

”Absolutt grunnrissnøyaktighet skal ikke ha et høyere systematisk avvik enn 0,60m for FKB-Laser20. Laserdataene skal ha en jevn og homogen stedfestingsnøyaktighet i grunnriss. Kvalitetsmålet for grunnrissnøyaktighet er systematisk avvik. Kravet er basert på erfaringer fra Sverige der har man erfart at grunnrissnøyaktigheten er tre ganger dårligere enn høydenøyaktigheten” [6].

0,60m er en relativ høy verdi som grense for nøyaktighet. Med laserstrålene og GPS løsning, kan man forvente en nøyaktighet på centimeter nivå. Og når da kravet for nøyaktigheten i grunnriss ligger på desimeter nivå, er det stor sannsynlighet for å oppnå nøyaktighetskravet. I

figur 22 er kontrollpunktene og laserpunktene vist. Det første kontrollpunktet helt til venstre er målt på toppen av veiskulderen. Nummer to er målt ved starten av hvitstripa på veien. Veiskulderpunktet ligger tydelig oppå skulderen, og har en avstand på 0,64m horisontalt ut til bunnen av grøften. Avstanden er målt med et målingsverktøy i Microstation. På bakgrunn av dette kan det sies at laserdataene ikke har noen stor merkbar forskyvning i øst-vest retning. Helt nøyaktig vil man ikke kunne få det ved en slik kontroll. Men at det er innenfor kravet kan man anta.

I figur 22 er laserpunktene illustrert med intensitetsverdi. Dette er gjort for å forsøke å kunne se hvitstripa langs veien i datasettet. Dessverre fikk jeg ikke frem noen tydelige indikasjoner på hvor hvitstripa ligger. Derfor er det vanskelig å kunne si noe om nøyaktigheten i forhold til en eventuell forskyvning i nord-sør retning.

6.3 Stedfestingsnøyaktighet i høyde.

Nøyaktigheten i høyde kan uttrykkes på to ulike måter, som standardavvik og som systematiske avvik.

”Standardavvik på absolutt høydenøyaktighet i stedfesting ligger for FK-Laser20 på 0,07m. Tallet refererer til harde veldefinerte flater, for eksempel en veg eller en parkeringsplass. I områder med vegetasjon på terrengoverflaten kan stedfestingsnøyaktigheten være noe dårligere” [6].

”Stedfestingsnøyaktigheten for absolutt høyde uttrykt ved systematiske avvik er 0,20m. Laserdataene skal ha en jevn og homogen stedfestingsnøyaktighet i høyde. Kvalitetsmålet for høydenøyaktighet er systematisk avvik. Ved kontroll av høydenøyaktigheten skal man benytte kontrollflater som ligger jevnt utover prosjektområdet. Kontrollflatene kan for eksempel være på 20*20 meter og skal ligge på harde hellende veldefinerte flater, for eksempel veg eller parkeringsplass” [6].

I Terrasolid er det et verktøy som heter "Measure match" som "måler hvor godt flylinjene samsvarer. Den beregner gjennomsnittlig høydeforskjell mellom overflatene fra ulike flylinjer" [11]. Prosessen tar utgangspunkt kun i bakkepunktene og bruker verdier på 0,5m som grenseverdi for forskjeller mellom punkter. Med denne verdien satt vil det unngås å ta med feilklassifiserte punkter som ikke hører til som bakke. Den bruker også en maksimal størrelse på 20m i lengde på trekantene i trianguleringen. Dette verktøyet gir oss en indikasjon på systematiske feil og ikke klassifiseringsfeil som er gjenstående etter at matchingen er utført.

Flylinje	Antall punkter	Standardavvik	Dz
1	961920	0,0577	-0,0128m
2	870787	0,0509	-0,0043m
3	1970772	0,0518	-0,0060m
4	1795338	0,0523	+0,0116m
5	1995155	0,0503	-0,0050m
6	1808550	0,0530	+0,0094m
Gjennomsnittlig standardavvik: 0,05236			

Tabell 13 "Measure match" på prosjektet før matching. Hentet fra terrasolid [13].

Tabellen over viser hvilken feil i høyde som er knyttet til hver flylinje. Dette gjelder for prosjektet når flystripene ikke er påført matchingskorreksjoner. Standardavviket og Dz viser verdier på forskjellene mellom flylinjene.

Flylinje	Antall punkter	Standardavvik	Dz
1	962732	0,0457	-0,0002m
2	871355	0,0420	-0,0039m
3	1971645	0,0447	-0,0038m
4	1795773	0,0445	+0,0004m
5	1995878	0,0397	+0,0051m
6	1808692	0,0398	+0,0001m
Gjennomsnittlig standardavvik: 0,04252			

Tabell 14 "Measure match" på prosjektet etter matching. Hentet fra terrasolid [13].

Tabell 14 viser verdiene av høydeavviket og dets standardavvik etter at matchingen er gjennomført.

Ved sammenligning av de to tabellene kan vi se at gjennomsnittsverdien på standardavviket har gått ned med en centimeter. Dette er en signifikant verdi og matchingen har betydning for resultatet. For alle flylinjene har også tilhørende standardavvik gått ned, noe som indikerer at det er gjort gode korreksjoner og et forbedret datasett er oppnådd.

6.4 Egenskapsnøyaktighet

Det er fastsatt hvilke klasser de ulike typene laserpunkter skal klassifiseres til. Disse klassene er representert og beskrevet i tabellen under. De fleste punktene blir klassifisert riktig, men det er også noen punkter som blir klassifisert helt feil. Dette gjelder spesielt for bakkepunkter i forhold til uklassifiserte punkter.

Klasse i LAS-formatet	Forklaring
1	Uklassifisert (Unclassified). Alle punkter som ikke er klassifisert som klasse 2, 7, 9 og 10
2	Punkter på terrengoverflate (Ground)
7	Støy-punkter (Lowpoints) forårsaket av skyer, fugler, ”multipath”, system feil etc.
9	Punkter på vann. (Water) Det presiseres at med punkter på vann forstås punkter som ligger på havflaten (under midlere høyvann) og punkter som ligger i innsjø. I denne klassen kan det dermed befinne seg punkter som ligger på terrengoverflaten, og som må vurderes benyttet f.eks i forbindelse med generering av høydekurver, hvis det er ønskelig å få etablert høydekurver under middelvannstand. Eksisterende FKB-data skal brukes til klassifisering.(*)
10	Punkter som ligger på bru (Bridge) Denne klassen innføres først i LAS-format versjon 2.0, men den forskutes i denne spesifikasjonen. Eksisterende FKB-data skal brukes til klassifisering. (*) Minstemål for klassifisering er 10 m2.
<p>(*) Dersom det finnes FKB-data som tilfredsstillende stedfestingsnøyaktighet i FKB-A/FKB-B standard og som er av nyere dato (=stemmer med terrenget på tidspunktet for laserskanning), skal disse benyttes som grunnlag for klassifisering. FKB-data med dårlig synbarhet skal ikke benyttes.</p> <p>Dersom kvaliteten på FKB-dataene, ikke er akseptabel, avtaler oppdragsgiver og oppdragstaker måten klassifisering skal utføres på.</p>	

Tabell 155 Klassifiseringsklasser til laserpunktene, hentet fra Produktspesifikasjon FKB-Laser [6].

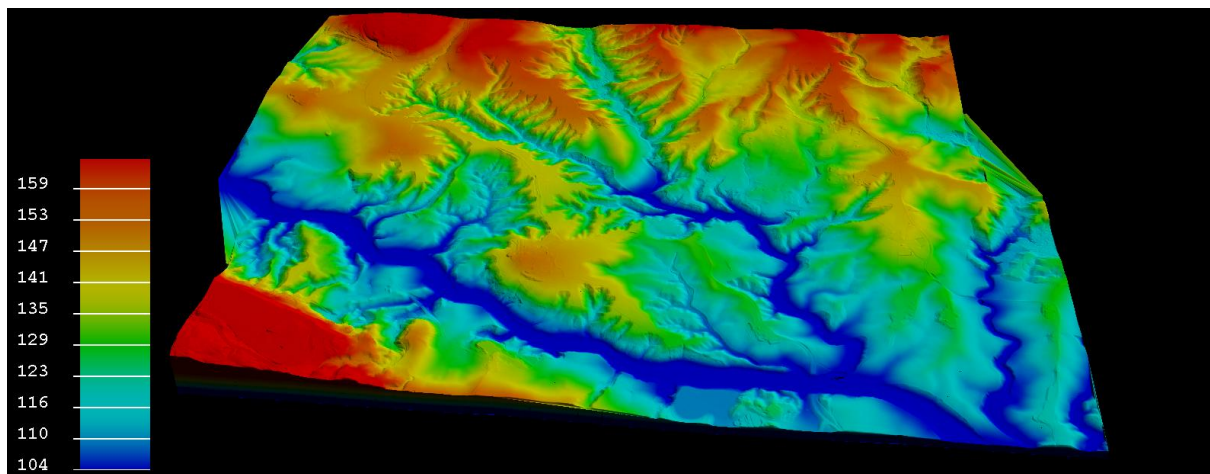
I følge tabell 15 skal også punkter som ligger på bru klassifiseres i egen ”bridge” klasse. Men som kommentar står det at den klassen kun skal innføres i Las-format versjon 2,0. I dette prosjektet jobbes det i Las-format klasse 1,2. Dermed er det ikke skjedd en feilklassifisering når jeg måtte omklassifisere bakkepunkter på bruer til uklassifisert. Dette er en ny metode, som er tatt i bruk i TerraTec. Det er derimot en grense på hvor stor en bru må være for å bli klassifisert som bru. I mitt prosjekt har jeg gått bort fra å klassifisere de til klassen bru, og bare klassifisert de til uklassifisert. I prosjektet er det et par veibruer og mange låvebruer som har vært mest feilklassifisert. I tillegg er det noen verandaer som også har blitt klassifisert som bakkepunkter. I et par tilfeller var det også noen lave punkter som var blitt utsatt for multipath, og ble klassifisert som bakkepunkter langt under alle de andre bakkepunktene.

Størrelsen på feilklassiferingen skal regnes som prosentandel feilklassifiserte punkt. Se tabell 4. Der står det definert at prosentandelen skal være på 1 %, noe som vil si at av de totale

34 718 308 laserpunktene i prosjektet er det maksimalt 347 183 punkt som kan være feilklassifisert. I prosjektet er de fleste punktene klassifisert riktig, og etter en lett beregning vil jeg anta at omtrentlig halvparten av det maksimale antall punkt var feilklassifisert. Jeg hadde ganske mange feilklassifiserte punkter på grunn av at like utenfor områdeavgrensningen er det satt opp et nytt bygg, og omtrent halvparten av dette bygget var feilklassifisert som bakke. Hele bygget består av over 100 000 punkter, dermed var det en stor andel punkter som var feilklassifisert akkurat her.

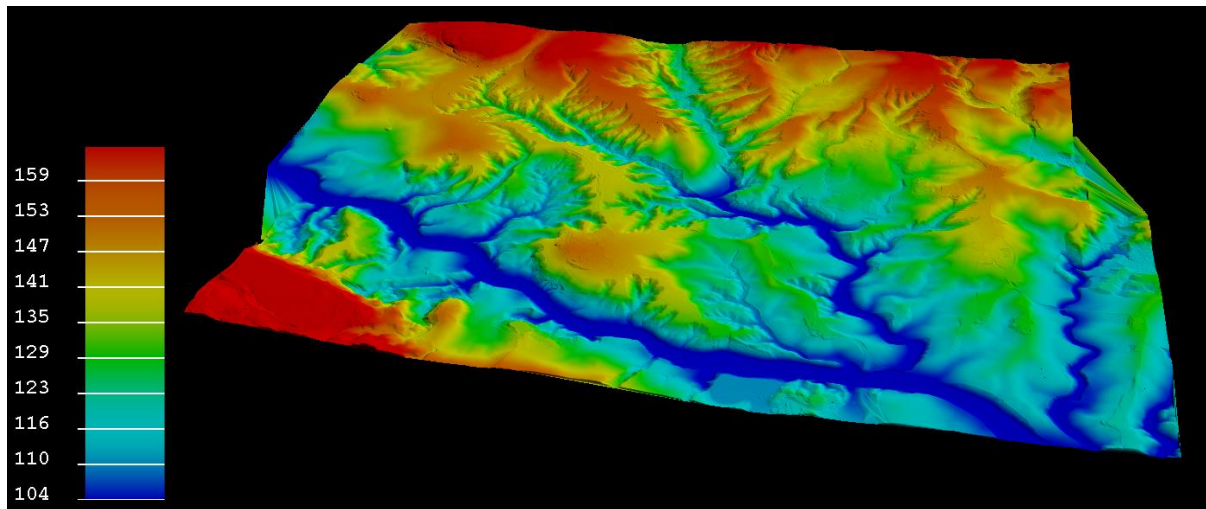
6.5 DTM

Etter at det er gjennomført en manuell editering av DTM modellene, sammenlignes disse i Quick Terrain Modeler. Dette er et program som leser xyz-ascii filer og genererer en modell ut fra de filene som kun inneholder bakkepunkter. Bakkepunktene er tilknyttet koordinatverdier både for grunnrisskoordinater og høydeverdier, og disse blir illustrert topografisk i programmet.



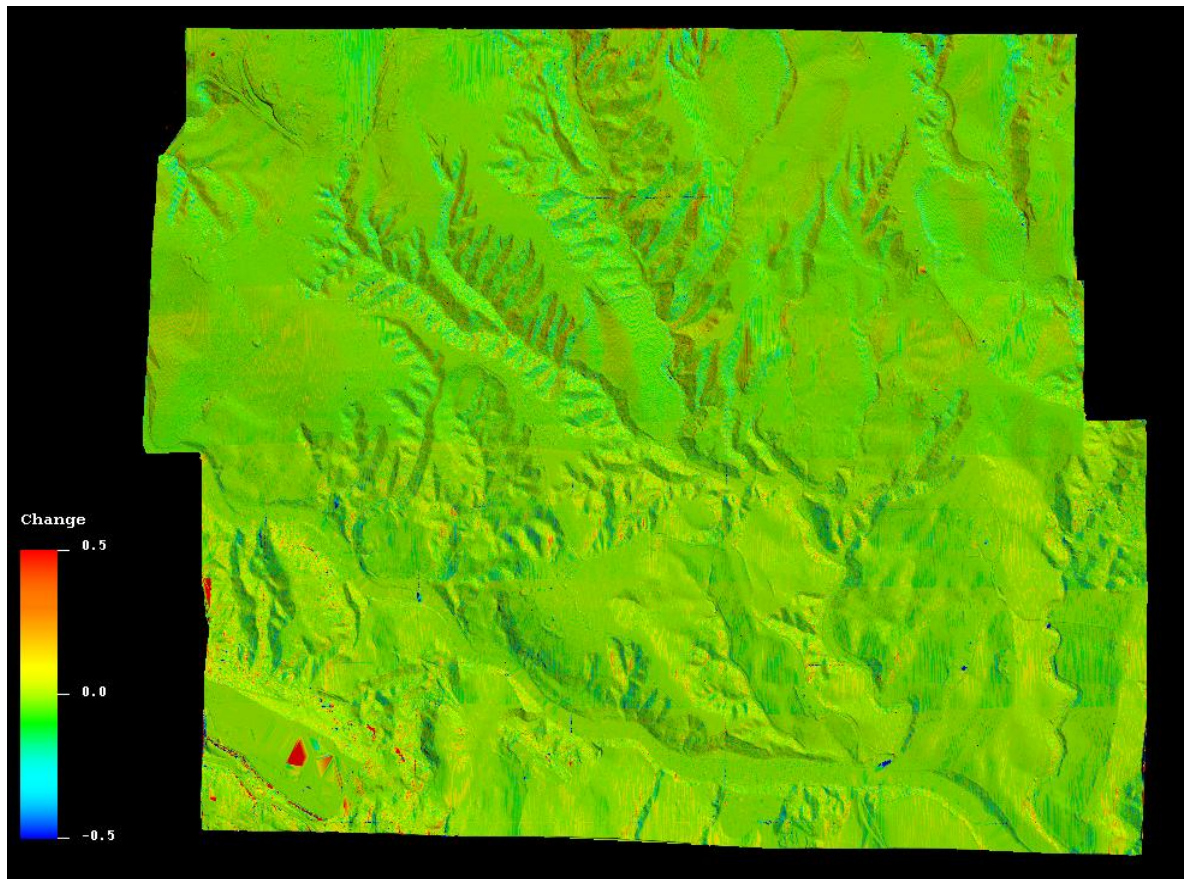
Figur 23 DTM av prosjektet med de ikke matchede dataene, hentet fra QTM [20].

Figurene over og under representerer alle bakkepunktene til prosjektet. Høyden til punktene er illustrert i en fargeskala som strekker seg fra lav ortometrisk høyde vist ved en mørk blåfarge, til en høyere ortometriske høyde med rød farge.



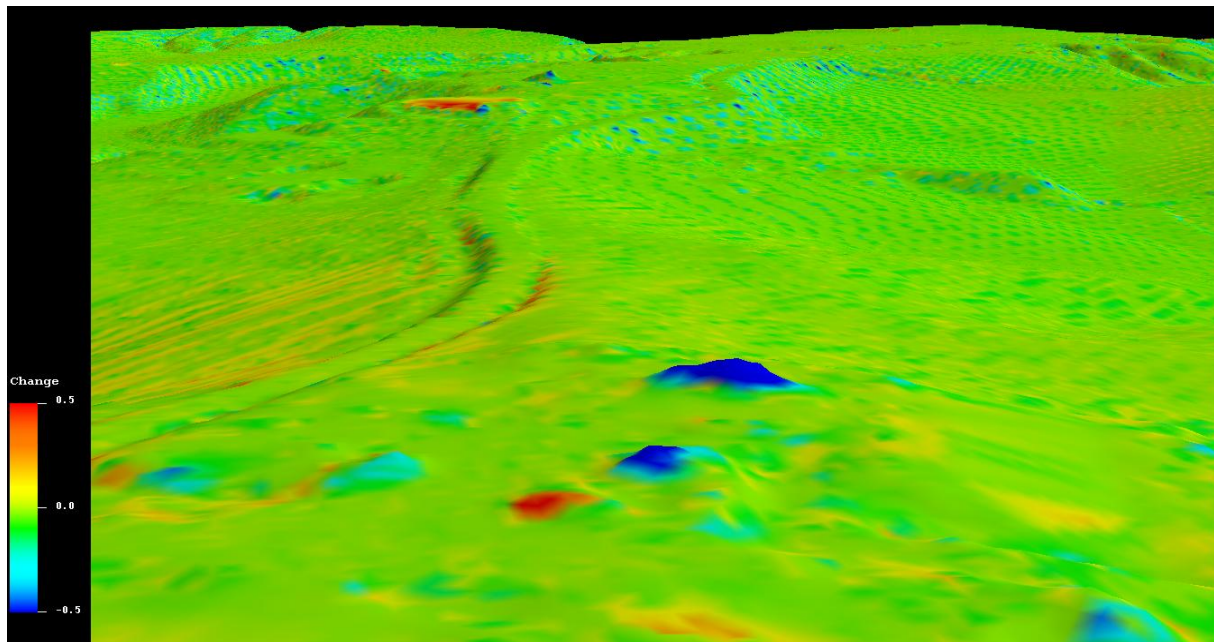
Figur 24 DTM av prosjektet med matchet data, hentet fra QTM [20].

Som vist i figurene over er det ikke store forskjeller å oppdage i modellene. Men om det utføres en sammenligning av de to prosjektene, og belyser forskjellene med en fargeskala, kan alle avvik illustreres tydeligere. Denne sammenligningen utføres slik at et av prosjektene blir satt som utgangsreferanse. I dette tilfellet vil det være det matchede prosjektet. Grunnen til at dette prosjektet blir valgt, er for det er her det antas at den største nøyaktigheten er. Deretter blir det ikke matchede prosjektet lagt over, og punktene sammenlignes med hverandre.



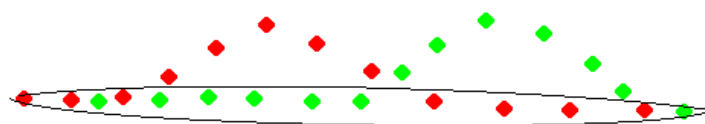
Figur 25 Viser forskjeller mellom de to DTM modellene, hentet fra QTM [20].

Figuren over viser forskjeller i punktene mellom de to DTM modellene som ble laget for prosjektet. Her er forskjellene uttrykt i en fargeskala fra blått til rødt, der blått representerer for lave punkt i det ikke matchede prosjektet i forhold til det matchede, og rødt for høye punkter. Skalaen går fra -0,5 til 0,5m. Dette er verdier som jeg måtte lete meg frem til. Jeg prøvde først med høyere verdier på skalaen, men fikk ikke opp noen synlige forskjeller før ved denne skalaen. Dette kommer av at datasettet er ganske nøyaktig og forskjellene ikke er store. I figuren vises ingen store og tydelige forskjeller, men det er små forekomster av avvik rundt om. Enkelte områder er det større forekomster av forskjeller, spesielt nede i venstre hjørne. Her er det store variasjoner i terrenget som gir utslag i klassifiseringen av bakkepunktene.



Figur 26 Viser forskjeller mellom de to DTM, hentet fra QTM [20].

Figur 26 viser et tydelig eksempel på et problem som vil kunne inntreffe ved bruk av ikke matchet data. De blå haugene er små hauger som ikke er tatt med i det ikke matchede prosjektet, kun i det matchede prosjektet. Grunnen til at dette oppstår er fordi klassifiseringen som kjøres tidligere er basert på at kun laveste punkter skal tas med som bakke. Dermed vil det ikke matchede datasettet ”miste” små hauger siden flystripene ikke er justert sammen.

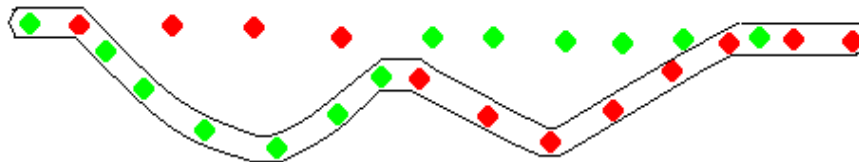


Figur 27 Klassifisering av bakkepunkt.

I figur 27 vises det hvordan bakkepunktene klassifiseres ut fra laveste punkt (kun de inni den svarte ringen.) Dette illustrerer et datasett som ikke er matchet og med to ulike flystriper med hver sin farge. Her vises det tydelig problemer som vil kunne oppstå, med at små hauger vil forsvinne i den digitale terrengmodellen. I matchede prosjekter vil disse flystripene bli justert slik at de røde og grønne punktene faller oppå hverandre, og dermed blir også haugen tatt med som bakkepunkter.

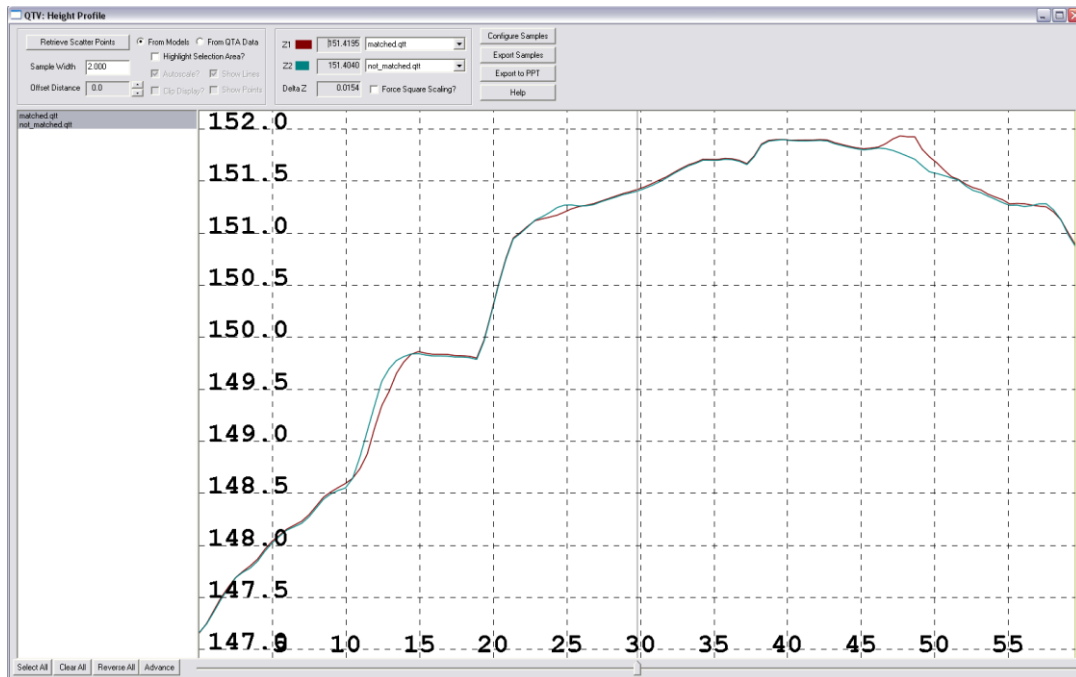
Disse haugene har en høyde på opp til noen meter. De mørke blå haugene er de som minimum har en høyde på 0,5m. Høyden kan være noe høyere, men siden skalaen bare går opp til 0,5m vil det ikke vises tydelig hvor høy haugen virkelig er. Det trenger ikke være bare en haug, det kan også være store steiner som blir feilklassifisert og mister sine toppunkter.

De røde flekkene er der det matchede prosjektet ligger lavere enn det ikke matchede. Dette kan være tilfeller der det ikke er punkter å sammenligne modellene med hverandre. At det er punkter i den ene modellen, men ikke tilsvarende i den andre modellen. Andre årsaker kan være at groper ikke blir definert riktig i det ikke matcha prosjektet.



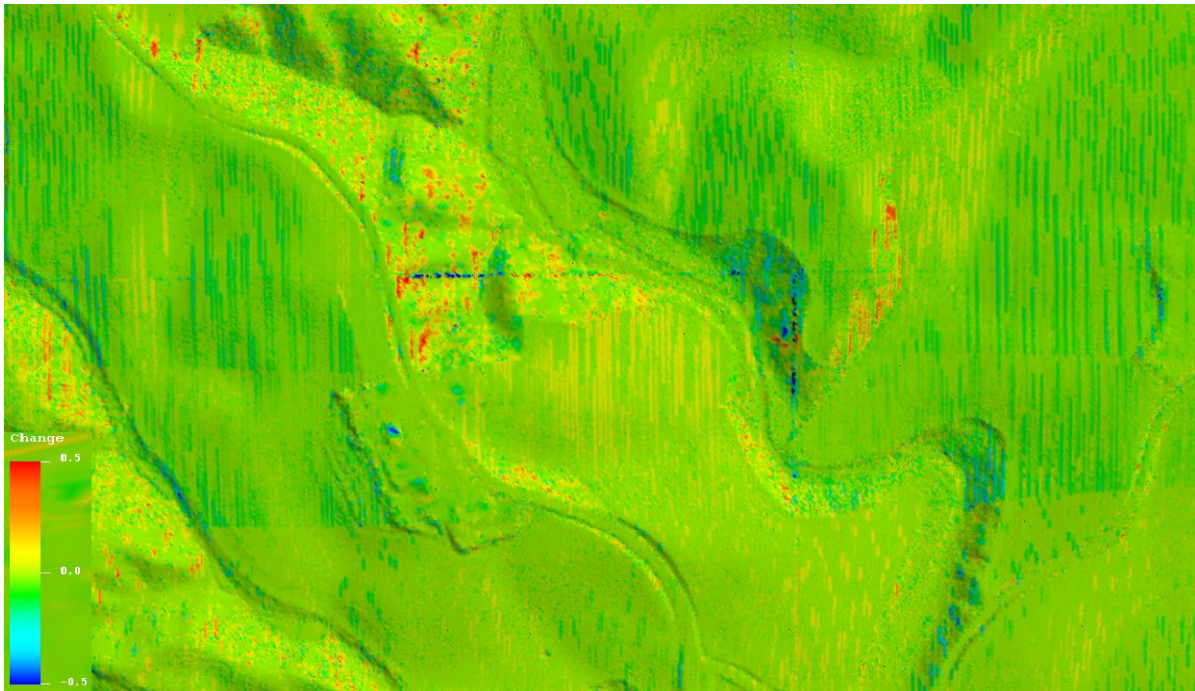
Figur 28 Klassifisering av grop, hentet fra TerraTec interne sider [9].

I figur 28 vises det tydelig at en stor feil vil kunne oppstå under klassifiseringen av bakkepunkter når prosjektet ikke er matchet. En grop blir til to groper, noe som vil gi lavere høydeverdier for modellen fra det ikke matcha prosjektet i forhold fra det matcha prosjektet. Dette vil vises i sammenligningen som røde flekker.



Figur 29 Høydeplot for de ulike DTM modellene, hentet fra QTM [20].

Figur 29 illustrerer høydene til bakkepunktene i de ulike DTM modellene. Den røde linjen representerer det matchede datasettet, og den grønne linjen er det ikke matchede prosjektet. Skalaen horisontalt er avstanden og lengden til snittet som ble tatt, og ved 47meter ser vi forskjellen i høyde for den største blå haugen i figur 29. Den røde linjen representerer det matchede prosjektet, og her vises tydelig at haugen blir tatt med kun i det matcha prosjektet. Ut i fra kartbilder fra internett [8] kan det letes fram til samme punkt, og der vises en liten høyning i terrenget.

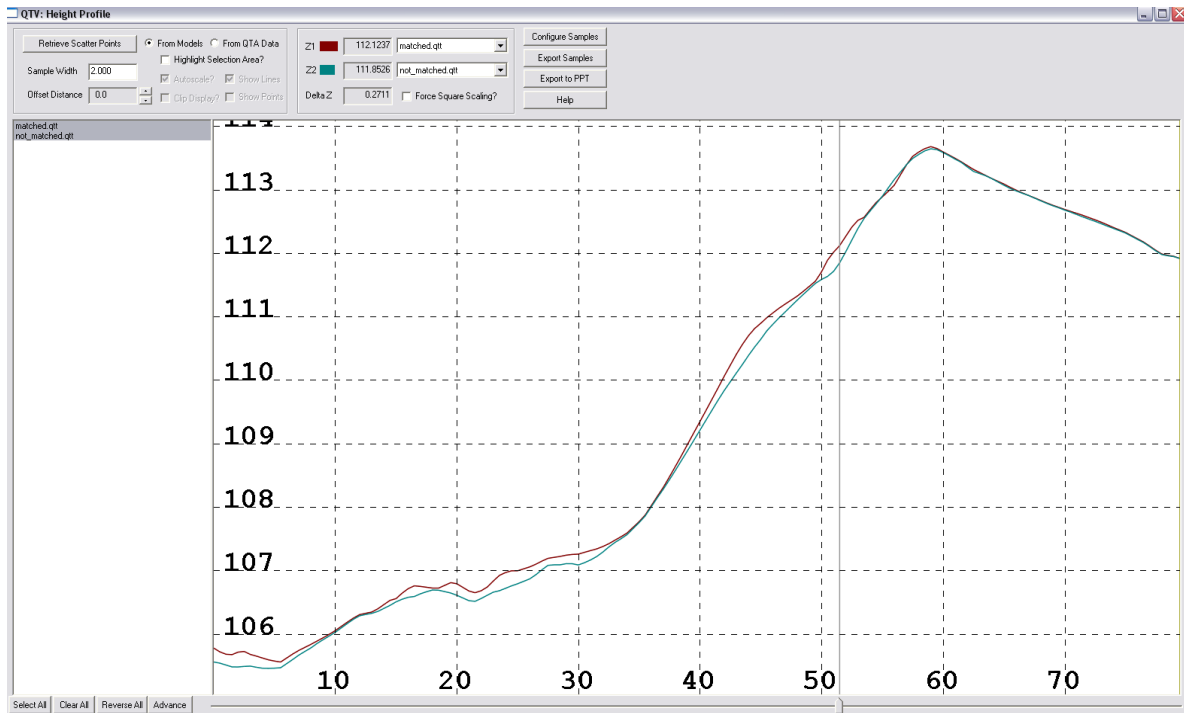


Figur 30 Flere feilkilder i DTM sammenligningen, hentet fra QTM [20].

Figuren over viser andre typer forskjeller mellom de to ulike terrengmodellene. De blå stripene er typiske feil i kanten av blokkinnstillingen som er gjort. Dette skjer i det ikke matchede prosjektet på grunn av at i bakkeklassifiseringen er det ikke tatt med nok data fra naboblokkene, og blokkene vil i det tilfellet ha for dårlig utgangspunkt å fastsette bakkepunkt på. Dermed kan det i en blokk bestemmes bakkepunkter i utkanten av blokken som ligger på en høyde, mens bakkepunktene i kanten på naboblokken kan være klassifisert til å ligge på en høyere eller lavere høyde. Dette vil spesielt slå ut i det ikke matchede prosjektet, da det matche prosjektet går gjennom matchingprosessen mellom hver flystripe etter og før klassifiseringer og det ikke matche bare tar utgangspunkt i denne klassifiseringen av hver blokk.

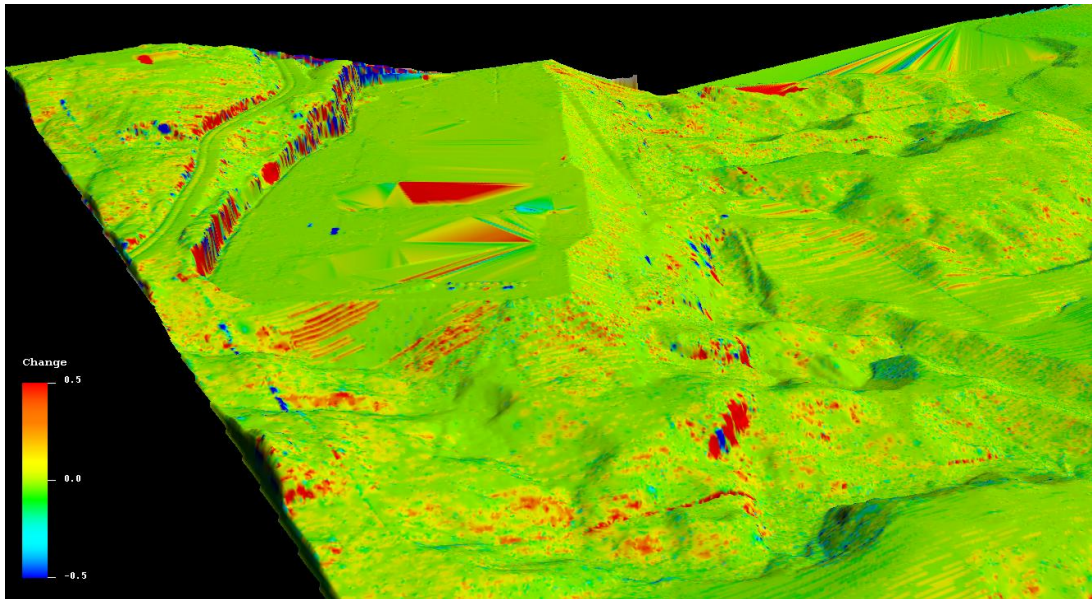
I tillegg kan man se tydelige grenser for den ene flystripen. Dette tyder på at denne flystripen som har mange mørke grønne striper, kan være mindre nøyaktig og lite passende med det matchede prosjektet. Mens derimot den flystripen under som er lysere i grønnfargen er mer nøyaktig og passende med det matchede prosjektet. Dette kommer av at fargespekteret som er illustrert i skalaen til venstre i figur 30. Der vises det at i området der gult går over til grønt har den minste forskjellen mellom modellene. Forskjellen for de ulike grønnfargene vil derimot ikke være de største, i og med at skalaen som er valgt er så kort. Det vil skille ganske

lite mellom fargene. I hovedsak vil de fargene som er gul og grønne indikere den minste forskjellen mellom prosjektene.



Figur 31 Skalaplot over høydeforskjeller i terrenget fra figur 30, hentet fra QTM [20].

Skalaplottet er tatt på skrått over dalen omtrentlig midt i figur 30. I dette området er det en del høy vegetasjon i skråningen. Det er også tatt over de blå stripene langs blokkanten i figuren. Det området i plottet der den tynne grå linjen markerer, er akkurat der hvor den ene blå stripen i blokkanten går loddrett nedover. Her vises det at det samsvarer med andre områder at det matcha prosjektet ligger over det ikke matcha. Tidligere i plottet viser det også at det matcha prosjektet ligger over det ikke matcha stort sett hele veien. Dette er et område med mye vegetasjon i tillegg til en at det er ei skrå li. Disse faktorene vil bidra til at det kan være vanskelig å bestemme akkurat hvor bakkepunktene er.



Figur 32 Fjellskrenter og skogsområder, hentet fra QTM [20].

I dette området av prosjektet vises et mye større tilfelle av forskjeller. Det er forskjeller i begge endene av skalaen, og kommer av at det er et mer ujevnt terrengområde. Øverst til venstre vises det tydelig at det er store ulikheter og avvik mellom de to terrengmodellene. Det vises også at det er et område med bratte skrenter og bakker, og her vil det være store forekomster av unøyaktighet i bestemmelse av bakkepunkter. Dette skyldes hovedsakelig at det på toppen og bunnen av skrenten blir klassifisert tydelige og mange bakkepunkt. Men opp langs bakken eller skrenten kan det variere mer hvilke punkt som blir klassifisert som bakkepunkt. Matchingprosessen gir en bedre sammenbinding av flystripene, og vil bruke begge flystripene i overlappsonen til å klassifisere ut hvilke punkter som er bakkepunkt. Det er denne forskjellen i utgangspunktet bak klassifiseringen som gir de store ulikhetene i punktene. I bratte områder er det svært få av punktene som klarer å bli registrert som bakkepunkt, og ender opp med å bli uklassifiserte punkter. Ellers i området er det en god del med vegetasjon. Dette bidrar til at det vil bli større unøyaktighet i bakkepunktene, i forhold til hvor godt bakkepunkt blir bestemt.

7 Diskusjon

I følgende kapittel diskuteres hvilken påvirkning prosessene som prosjektet skal gjennom har for å komme til matching og DTM editering, og så en sammenligning av disse. Resultatene det er kommet til tidligere i oppgaven kommenteres og vurderes.

7.1 Datafangst

Datafangsten består av ulike faktorer, både manuelle redigeringer og automatiske opptak. For dette prosjektet hadde jeg ingen mulighet å påvirke valg av opptaksparametre, i og med at jeg bruker et datasett som er flydd for et år siden.

7.1.1 Innsamling av data

Dato for flyvningen av prosjektet var 28. April 2011. Dette var under en ideell periode av året for flyvning og skanning av terrenget for å få flest mulige bakkepunkter. Hensikten med dette prosjektet var å fly det før løvsprettene kom for da ville det være dårligere innsikt til bakken. I området er det mange gårder med en del jorder. På grunn av at flytiden er satt så tidlig på våren, er det liten sannsynlighet for at bakkepunktene blir målt og definert på toppen av for eksempel vekstforekomster på en åker. Perioden er også før den største løvsprettene, noe som også øker sannsynligheten for at siste returpuls faktisk er bakke, og ikke fra en gren eller noe lignende i alt for tett vegetasjon.

Total måletid på prosjektet var på over fire timer, dermed oppfyller den kravet til KOG med ”total måletid på over tre timer for å sikre god konvergens i løsninger.” [5]. I tillegg ligger hver flystripe på et par minutter, slik at også kravet fra KOG om at største stripelengde ikke skal overstige 20 minutter for å få høy nok nøyaktighet oppfylles [5]. Selv om kravene er oppfylt, kan det fortsatt være store påvirkninger fra andre kilder som gjør at resultatet ikke blir helt korrekt. Den totale måletiden var på over fire timer, noe som i grunn burde være bra

nok. GPS målingene kan også bli påvirket av faktorer i atmosfæren. Øverste lag av atmosfæren er ionosfæren der ioner kan forstyrre GPS signalene. Laserpulsene blir påvirket av forhold i troposfæren, som er den laveste delen av atmosfæren. I dette laget ligger alle værforhold, slik at skyer og vanndamp kan hindre laserpunkter i å trenge gjennom og treffe bakken.

Skanneren som ble brukt var en av tre skannere som brukes av TerraTec til laserskanning fra fly. Hver gang et nytt instrument installeres i flyet, måles eksentrisiteten til GPS mottakeren og INS. Dette gjøres med en totalstasjon. Disse verdiene blir brukt til å transformere referansepunktene tilhørende GPS og INS til referansepunktet til laseren

7.2 Preprosessering

I preprosesseringen trengs det en kontinuerlig posisjon og orientering av lasersensoren. INS og GPS data beregner dette, og eksentrisitetene bidrar til å koble de sammen med laserdataene. Feil på disse parametrene kan forekomme hvis det har skjedd en feil med GPS målingene under flyvningen. At de ikke har vært på i samme tidsrom, eller hatt avbrudd. I IPAS Pro beregningen viste det en økning i standardavviket når flyhøyden økte. Dette er en liten endring og skyldes mest sannsynlig tilfeldighet eller at DOP verdien sank på grunn av at en satellitt ble borte. Dette vil uansett ikke gi store påvirkninger av laserdataene, og i dette prosjektet var det ingen andre store feilmeldinger som dukket opp, slik at GPS og INS målingene antas å være korrekte. I preprosesseringen skal dataene gjennom flere programmer for korrigering av ulike faktorer. Disse vil bli gjennomgått i kapitlene under.

Programvarene som ble benyttet til beregninger er brukt med hensyn på at det er disse programmene er de eneste som data fra Leica skannere kan benyttes i. Dermed er det ikke mulig å velge noen andre programmer å bruke, og det antas at de gir gode resultater.

7.2.1 TerraPos

I TerraPos blir GPS filene som brukes videre i beregningen korrigert for feilkilder. Disse baneparametrene som det korrigeres med, blir etterprosessert, beregnet og påført.

Dette programmet er utarbeidet av TerraTec AS, og har vært utprøvd flere ganger før jeg tok programmet i bruk i oppgaven. Programmet har nylig kommet med en oppdatering, men jeg har benyttet meg av den tidligere programversjonen. I min beregning fikk jeg ingen indikasjoner på at noe var galt, og går med det ut i fra at det ikke er noen signifikante feil.

7.2.2 Ipas Pro

IPAS Pro blir eksentrisitetene beregnet ut basert på observasjonene som er gjort. Deretter kontrolleres disse verdiene mot de innmålte eksentrisitetene. Verdiene skal være stort sett like, med kun små avvik. De innmålte eksentrisitetene blir fastsatt en gang, da instrumentet installeres i flyet. Det er under første installasjon at det kan oppdages feil i eksentrisitetsverdiene, mens dette prosjektet er flydd senere slik at denne typen feil kan det ses bort fra. Programmet genererer en navigasjonsløsning for dataene.

Programmet er velkjent innenfor laserskanning, og er brukt av flere aktører. Jeg fikk ingen feilmeldinger under arbeidet, og resultatene ser fine ut. I den grad antar jeg at resultatene som gis er brukbare og vil være tilfredsstillende for videre bruk.

7.2.3 ALSPP

ALSPP kombinerer flystripene med laserpunktene. Her blir det laget filer for hver flystripe som inneholder alle laserpunktene tilhørende den flystripen. Disse laserpunktene går også gjennom en korrigeringsfase, der verdier for trykk og temperatur blir lagt inn. Både trykk og temperatur skal være målt inn på bakken og oppe i luften, slik at laserpulsene blir korrigert for

påvirkninger slike forskjeller kan ha. Under denne flyvningen er det kun gjort målinger av trykk og temperatur på bakken, før og etter flyvning. Dette gjør at vi må beregne oss til en temperatur for flyet oppe i høyden. Det skal legges inn en verdi for temperatur for en flyhøyde på omtrentlig 2000m høyde, og for å finne det legges det til 13K på bakkemålte temperaturen. For å finne bakkemålt temperatur og trykk regnes det ut et gjennomsnitt av de to målingene før og etter flyvning. I dette steget er man avhengig av at operatøren som foretar laserskanningen har lest av riktige verdier. Det er ingen måte å få kontrollert om disse verdiene er riktige, slik at det bare må antas at de er korrekte. Selv om verdiene kan være lest av feil av operatøren, har de likevel ikke veldig stor påvirkning på laserdataene. Dette vil i så fall ikke gi store markante endringer.

7.3 Sjekk av data

Sjekk av data er en prosess som gjennomføres før dataene ”godkjennes” og det startes med videre beregninger. Dataene blir først lest inn i Terrasolid. Her er det viktig at absolutt alle punktene som hører til prosjektet blir lest inn og lagret i prosjektet. Punktdatasettet sjekkes for lave og høye punkter, som for eksempel skyer eller punkter som har stort avvik grunnet multipath. I tillegg sjekkes det for overlapp mellom flystripene og at punktettheten er tilfredsstillende. Alt dette sjekkes i samme prosess, gjennom å kjøre en klassifiseringsmakro. Denne makroen er fast og lik for alle prosjekter. Dermed er den et godt utgangspunkt å benytte. Ved innlesing av punktene for sjekk av lave punkter og høye punkter ble det ikke oppdaget noen for høye punkter, heller ikke noen lave punkter. Dette er kun en mer grov sjekk, slik at det ble oppdaget et par punkter som lå under bakken i DTM editeringen. Disse punktene har ingen påvirkning på prosessene som ble gjennomgått før DTM editeringen, slik at det ikke hadde noen avgjørende årsak at de ikke ble reklassifisert før da.

7.4 Matching

Parametrene som ble brukt under matching prosessen har mye å si for resultatet på laserdataene. Både lengden på tie-linene, og de andre verdiene som ble fastsatt. Som nevnt tidligere vil nøyaktigheten på tie-linene øke hvis lengden på dem øker. Under denne prosessen brukte jeg en lengde på to meter for dannelse av tie-lines på flat bakke. For overflatelinjer brukte jeg tre meter og for skråtak brukte jeg fra tre til førti meter lange tie-lines. Tie-lines for skråtak er en tung og vanskelig prosess, og i og med at det har et intervall på mange meter for lengde, vil denne være ganske nøyaktig. Flat bakke og overflatelinjer derimot, kunne vært økt for å få økt nøyaktighet på datasettet. Spesielt flat bakke i og med at prosjektet er et område med mye flat bakke, som både veier, jorder og golfbane. Med de resultatene jeg har fått føler jeg at de verdiene jeg har valgt passer godt med dette prosjektet.

Verdier for flyets orienteringsakser løses ut ved bruk av disse tie-linene. I den forbindelse skal det egentlig være tverrstriper for hvert prosjekt. Størrelsen på prosjektet avgjør hvor mange tverrstriper det skal være. I dette tilfellet er det et lite prosjekt, slik at det ville holdt med en tverrstripe. Prosjektet som er flydd er flydd uten noen tverrstripe. Dermed er det ikke mulig å løse ut noen god verdi for heading. Dette vil bidra til at korreksjonsverdien som løses ut for heading i denne prosessen, ikke er så nøyaktig som den kunne vært. Siden denne korreksjonen ikke vil være helt nøyaktig, vil man kunne anta at headingverdiene vil være mer lik for det ikke matcha og det matcha prosjektet enn de andre orienteringsparametrene. Headingverdien vil da ikke være fullstendig like korrigerert som de andre. Headingverdiene er de som angir hvor skjevt flyet flyr horisontalt. Om det flyr litt skrått fremover. Dette vil medføre at laserpulsene blir forskjøvet litt i det horisontale planet.

De andre orienteringsparametrene, roll og pitch, gir også utslag på ulike måter. Roll skjer når flyet tipper litt til sidene og den ene vingen ligger høyere enn den andre. Pitch forekommer når nesetippen på flyet går opp eller ned. Begge disse to verdiene vil gi feil i laserpulsene. Roll feil er lett å oppdage, for da er det store svinger i laserpulsene. Dette vil kunne gi en forskyvning i punktene. Pitch vil kunne detekteres der Z-mønsteret i laserskanningen plutselig enten er mye tynnere eller mye tykkere. Hvis nesetippen på flyet har gått opp i motvind, vil også flyets hastighet synke og dermed vil punktene ligge tettere. Små forekomster av slik feil vil kunne oppstå hvis det er vind i området under flyvningen. I prosjektet som ble flydd var

det ingen tydelige roll feil å oppdage. Slik at det ikke vil være noen stor feilkilde i forbindelse med det. I tillegg var korreksjonsverdien som ble funnet via matchingsøket på 0,006m, noe som er svært lite. Når det gjelder pitch vil det ofte være små forekomster av slik, det er på grunn av at det er vanskelig for en pilot å holde flyet fullstendig stabilt under hele flyvningen. Men om det er store nok feil til å påvirke laserdataene betydelig vil jeg gå bort i fra. Det er ingen tydelige områder i prosjektet som har et slikt mønster, men korreksjonsverdien fra matchingen lå på -0,0106 for hele prosjektet. Dermed vil det være en liten korreksjon å gjøre, og man kan anta at det er små forekomster av pitch over prosjektet.

Videre regnes det ut et høydeavvik og roll for hver flylinje. Verdiene både for Dz og Dr ligger på millimeternivå. Det er altså ikke store korreksjonene som må til for hver flylinje, men om man ser på verdien for hele prosjektet går denne ganske mye ned. Verdien synker med omtrent 0,03, noe som gjør at verdien blir betraktelig bedre.

Etter at matchingen er gjennomført blir det gjort en kontrollflatejustering. De innmålte kontrollflatene er målt med en RTK. En slik type instrument gir en nøyaktighet i målingene på centimeter nivå hvis den har kontakt med nok antall satellitter og har en FIX løsning. En FIX løsning vil si at den har kontakt med flere satellitter enn den har ukjente parametre som skal bestemmes. For hvert målepunkt som skal bestemmes er det tre ukjente, en for hver posisjon og en for høydeverdien. I de tre kontrollflatene jeg selv var ute og målte, passet jeg på å sjekke at RTK hadde FIX løsning ved hver innmåling. Instrumentet gir fra seg lyd hvis den mister FIX løsningen, slik at det skal være lett å oppdage hvis den detter ut. Det hendte at den datt ut mellom innmålingene av hvert punkt, men før innmålingen av neste punkt ventet jeg til den fikk FIX løsning. Nøyaktigheten på kontrollflatene vil gi en justering som er mer enn nok nøyaktig på centimeternivå. Noe mer nøyaktigere enn dette er det ingen poeng å kontrollere mot, dette på grunn av at krave til nøyaktigheten på laserdataene ikke er bedre enn noen centimeter og opp mot noen desimeter.

7.5 DTM editering

I den manuelle DTM editeringen blir de to ulike prosjektene editert hver for seg. I hvert prosjekt er det mange blokker som skal gjennomgås og sjekkes for feilklassifiseringer. Her er det lett at det blir ulikt klassifisert enkelte steder. Eksempelvis er det spesielt vanskelig å kunne definere hvor grenser for ulike objekter går, og ekstra vanskelig når to prosjekt skal gjennom en så lik editering som mulig. For at sammenligningsgrunnlaget for rapporten skal bli så korrekt som mulig, burde helst alle punkt være klassifisert likt i begge prosjektene. Dette vil ikke være mulig å kunne oppnå, og små forskjeller i klassifiseringen vil oppstå.

Et par eksempler på områder eller objekter som kan bli ulikt klassifisert er bruer og verandaer. I laserdataene er det ikke alltid like lett å se tydelige avgrensninger for når bruer eller verandaer starter eller slutter. Spesielt ikke når man opererer med et datasett som ikke har en høy punktetthet. Med bare to punkter per kvadratmeter, kan det være stor sannsynlighet for at den manuelle editeringen av ei bru vil bli definert ulikt i kantene av bruen. I det ene prosjektet kan bruen bli klassifisert som bakke der det i det andre prosjektet er klassifisert som bru eller uklassifisert. Det samme gjelder for verandaer. Ekstra vanskelig er det når verandaer ligger helt på bakkenivå, og man ikke har noen høydeforskjell i laserdataene å skille de på.

I prosjekter med laserskanning fra fly benyttes ofte vannpolygoner som et lag for å klassifisere hvilke punkter som er vann. Da vil alle punktene som faller innenfor denne vannavgrensningen bli klassifisert som vann. Dette gjøres for å få riktig antall bakkepunkt, da noen punkt på vann kan gi resultater. Også punktettheten blir påvirket av vannpunkter, noe som ikke skal medregnes i punktettheten. I mitt prosjekt er det ikke benyttet noen vannpolygoner for å klassifisere vannpunkter, men siden hovedmålet med oppgaven er å sammenligne de to DTM modellene vil jeg si at den gjennomsnittlige punktettheten har så mye å si.

7.6 Resultater

7.6.1 Punktetthet

Punktettheten i prosjektet var belyst ved et punktetthetsplot som viste at det var god dekning av punk over hele prosjektet. Punktetthetsplottet ble laget av kun første returpuls. På grunnlag av disse plottene ble det fastslått at punktsettheten var tilfredsstillende nok for prosjektet. I definisjonen på krav til punktsetthet står det at det skal være 95 % av rutene skal ha inneha den gitte punktsettheten [6]. I og med at jeg ikke har benyttet noe vannpolygon for å skille ut punkter som skal tilhøre vann, vil den lavere punktsettheten i disse områdene påvirke resultatet. I prosjektet var det en relativt stor elv som gikk gjennom en liten del av prosjektet, ellers var det bare små vannhull i forbindelse med golfbanen. Disse delene er små områder som ikke har den største betydning, og på elven er det gitt en god del returpulser. Grunnen til det er litt uvisst, men det er mulig å studere kartbilder fra internettjenester. Her vil man kunne oppdage at det er mye vegetasjon i elven, og i sammenheng med at det kan ha vært lite vannføring vil vi kunne få en god del returpulser fra elven likevel. Ellers kan også partikler i overflaten på vann gi retursignaler. Det kan være små objekter som ligger og flyter i vannet, for eksempel trestokker, blader og lignende.

I og med at det er terrengmodellene jeg skal sammenligne med hverandre, vil jeg si at punktsettheten ikke har en betydelig rolle, og velger derfor å godta at jeg ikke har vannpolygon og får beregnet punktsettheten fullstendig korrekt.

7.6.2 Stedfestingsnøyaktighet

Stedfestingsnøyaktigheten på prosjektet ble undersøkt ved bruk av kontrollmålinger. Disse målingene som ble utført med nøyaktig landmålingsutstyr ble lagt inn sammen med laserpunktene. Derfra kunne man se hvor stort avvik det var mellom laserpunktene i både grunnriss og høyde, og kontrollmålingene. Kravet til nøyaktigheten i grunnriss er på 0,60m. Kontrollmålingene som ble utført ble målt med en nøyaktighet på centimeternivå, og jeg valgte en veiskulder og hvitstripe på vei for å kontrollmåle. I laserdataene og figur 22 vises

det tydelig at kontrollpunktene ligger oppå veien. Det kontrollpunktet lengst til venstre ligger også nært grøfttekanten, noe som passer godt med at det skal være målt inn på veiskulderen. Av sammenligningen med disse punktene fikk jeg ikke ut noen tallverdier på nøyaktigheten. Derfor er det også vanskelig å fastsette akkurat om det er noen forskyvning i datasettet i grunnriss. Det eneste som kan tolkes ut fra bildet med laserdataene sammen med kontrollpunktene er at det ikke er noen ekstrem forskyvning av datasettet. Denne måten var et dårlig valg å kontrollere nøyaktigheten i grunnriss. Det hadde vært betydelig lettere og målt et tydelig objekt, med klare avgrensninger. Som for eksempel en bygning.

For stedfestingsnøyaktighet i høyde ble det utført en operasjon i Terrasolid [13] som kalles ”measure match.” Denne operasjonen gir en indikasjon på hvor godt matchingen er utført og hvor gode laserdataene er etter matching. Resultatene gav en nedgang i standardavviket på en centimeter. Dette er en betydelig reduksjon og viser til at det er en fordel å bruke matchingprosessen for å oppnå et bedre resultat på laserdataene. Resultatene tilsier at det også er en forbedring på en til to centimeter for hver flylinje, i tillegg til bedret verdi på standardavviket. Det viser at matching har en positiv effekt på prosjektet, og burde utføres for å oppnå en forbedring i nøyaktigheten i dataene.

7.6.3 Egenskapsnøyaktighet

Nøyaktigheten på klassifiseringen av punktene er fastsatt til å ikke ha et høyere avvik enn 1 %. Egenskapsnøyaktigheten er ikke undersøkt nøye, men sett på mer overfladisk. Vel 300 000 punkter av prosjektet ble beregnet til å kunne være feilklassifisert, og likevel være under grensen. Kontrollen ble utført ved at et stort område med feilklassifiserte punkter ble telt, og i tillegg til dette området var det kun enkeltpunkter spredt rundt som var feilklassifisert. De fleste punktene var bruer eller verandaer, noe som ikke vil bli et høyt nok tall til sammen for å bryte denne grensen for feilklassifisering.

7.6.4 Sammenligning av DTM modellene

Ulikheter i de to modellene kan skyldes den manuelle editeringen av DTM. Et godt eksempel er klassifiseringer av låvebruer fra bakke til uklassifisert. Her er det stor sannsynlighet for at det blir ulike punkter i starten av låvebruen som blir klassifisert som bakke og som uklassifisert i de to prosjektene. I det ene prosjekt kan det være at låvebrua blir definert å starte lengre ned enn i det andre prosjektet. Dette vil skje på grunn av at det ikke alltid er like lett å definere eksakt hvor grensen går. Forskjellene i klassifiseringen vil da slå ut i sammenligningen, og noen av de blå haugene som blir borte i det ikke matcha prosjektet kan være nettopp starten på låvebruen.

Andre steder der det er forskjeller i de to modellene er ved et bratt parti i terrenget. Et sted er det store skrenter. Her er det store forskjeller i hvilke punkter som er klassifisert som bakke, og det gir utslag på sammenligningen. Det vil ikke bli riktig å skulle fastsette at den ene modellen er mer nøyaktig enn den andre for et slikt tilfelle. Her vil det være like store unøyaktigheter i begge prosjektene, og det vil være vanskelig å definere hvilke punkter som er klassifisert riktig. Stort sett skal laserdataene utenfor områdeavgrensningen kuttet bort før levering av geovekst prosjekter, hvis ikke annet er ønsket. I mitt tilfelle har jeg valgt å bruke all data, for å sammenligne alt som er flydd. Flyplanleggerne legger da en flyplan med bestemmelser for flyhøyde, skannerate og åpningsvinkel ut fra topografien i området. De tar kun hensyn til området innenfor avgrensningen, dermed kan partier utenfor ha dårligere punktethet eller være utsatt for andre feil. Dette problemområdet i prosjektet med skrenter ligger utenfor områdeavgrensningen, og vil dermed ikke ha store betydningen.

Flere plasser i modellen var det små områder som var merket med blått. Dette var små hauger som ikke ble tatt med i det ikke matcha prosjektet. Det skyldes feilklassifisering i bakkepunkt i det ikke matcha prosjektet. Her vil bakkepunkter bli mistet som vist i figur 27 når bare de laveste punktene blir tatt som bakke. Dette kan gi store konsekvenser for et datasett der det kreves at slike hauger blir tatt med. Og motsatt for noen partier med rødt. Her kan en grop i laserdata som ikke er matchet bli klassifisert til to groper (figur28). Dette eller at det ikke finns ulike punkter i prosjektet, som gjør at det ene prosjektet ikke har noen punkter å sammenligne med, påvirker også sammenligningen av DTM modellene. Der det ikke er punkter å sammenligne med, vil oppstå på grunn av ulik klassifisering for det aktuelle området. Noe som kan skyldes den automatiske klassifiseringen, eller den manuelle

reklassifiseringen. Et område som spesielt viser ulikheter i den manuelle reklassifiseringen er i figur 32. Her er det et stort område som er rødt der det egentlig er store bygninger. Dette skyldes altså at jeg under DTM editeringen har klassifisert ulikt i de to prosjektene. Feilen kan skyldes bare noen få punkter, men på grunn av at det dannes trekantede mellom bakkepunktene i bakkeklassifiseringen, vil det se ut som et stort område når det er langt mellom bakkepunktene.

8 Konklusjon

Hvis det skal tas utgangspunkt i kun dette prosjektet, vil resultatene tilsi at matchingprosessen må til for å få en tilstrekkelig nøyaktig DTM. Prosjektet som ble jobbet med var et lite prosjekt, som hadde høy nøyaktighet i laserdataene. Det ga utslag under sammenligningen på den måten at det ikke ble detektert store forskjeller mellom de to DTM modellene.

Hovedproblemet i forskjellene i de to modellene var ulikheter der det var mye vegetasjon og der små objekter ble ”mistet” i det ikke matchede prosjektet. Med små objekter menes små hauger, store steiner og andre små oppstikkende objekter.

Men siden dette kun er ett prosjekt, med en type terreng, kan det ikke konkluderes med at matchingprosessen er helt nødvendig for alle typer prosjekter. Dette må da eventuelt videre undersøkes med flere prosjekt og med flere ulike typer terreng. Ut i fra dette prosjektet kan det åpnes for at det kan være en mulighet for å slippe matching, hvis det er et prosjekt som skal flys over et flatt område med lite eller ingen vegetasjon. Samt at det ikke kreves en høy detaljeringsgrad og høy nøyaktighet på små objekter som kan kunne forsvinne. I tillegg må datasettet som skal brukes være av høyeste kvalitet, slik at det ikke vil eksistere store feil som vil gjøre datasettet og DTM modellen ubrukelig.

9 Videre arbeid

Oppgaven har tatt for seg et prosjekt for å undersøke problemstillingen. Siden dette kun er et prosjekt, vil det kunne være behov for videre undersøkelser av flere typer prosjekter med ulik topografi. I dette prosjektet som er relativt lite, er det kommet fram at laserdataene også er ganske nøyaktige og at det ikke er store avvik å hente ut. I tillegg er området relativt flatt, med kun små partier med litt hellinger i terrenget. Terrengetyper med mer bratte skråninger og med større forekomster av hauger vil gi mye større utslag i forskjeller mellom de to modellene. Derfor er det vanskelig å si at mine resultater stemmer for flere områder.

Det man også kan undersøke videre på er om de forskjellene som var i dette prosjektet er store nok til å fastslå at det trengs å gjennomføre en matchingprosess. Er det mulig å fastslå at for noen typer terreng, der det ikke er for stor variasjon i terrenget, og med gode parametre for laserskanning, at det ikke trengs å gjennomføre en matchingprosess?

10 Definisjoner:

Absolutt nøyaktighet

Nøyaktighet i forhold til en definert geodetisk referanseramme [3].

DOM

Digital Overflatemodell. Representerer alle første returpulser fra laserskanneren.

DTM

Digital Terrengmodell. Representerer bakkepunktene i et område.

FKB

Felles Kartdatabase er en samling datasett som utgjør det digitale grunnkartet i et område [1].

FOV

Field Of View (FOV) er skannevinkelen.

Geodetisk datum

Størrelse og form på en rotasjonsellipsoide og denne ellipsoidens plassering og orientering i forhold til den fysiske jord [3].

Geoide

”Geoïden er den nivåflate i jordpotensialet som faller nærmest sammen med verdenshavene, etter at nærmere angitte korreksjoner pga. tiltrekning fra eksterne himmellegemer (vesentlig Solen og Månen) er påført potentialet” [20].

Geovekst

Geovekst er et geodatasamarbeid mellom Kommunenes Sentralforbund, Energiforsyningens Fellesorganisasjon, Statens Kartverk, Telenor, Statens Vegvesen og Landbruksdepartementet. For levering og produksjon av geovekstprosjekt gjelder spesifikke og faste krav.....

”Formålet med geodatasamarbeidet i Geovekst er å sørge for at geografisk informasjon samles inn én gang og ajourholdes av én etat, men brukes av mange etater” [1].

GNSS

En fellesbetegnelse for satellittbaserte systemer for navigasjon og posisjonering med global dekning [2].

INS

En INS er et treghetssystem som registrerer alle akselerasjoner under forflytning av instrumentet. Det består av tre gyroer og tre akselerometer. Disse jobber for å holde flyets orienteringsakser stabile og hindre gyrodriфт [14].

IR

Infrarød stråling er elektromagnetisk stråling med bølgelengde mellom 0,78 μm og ca. 1mm [2].

Kelvin

SI-enhet for temperatur, en kelvin er brøkdelen $1/273,16$ av den termodynamiske temperatur for vannets trippelpunkt. 0 grader celsius er 273,15 Kelvin (symbol K) [2].

Multipath

Multipath kalles fenomenet da laserstrålen blir reflektert mellom en eller flere objekter på bakken, enten før eller etter den har truffet bakkenivå, og bruker lang tid for å returnere til skanneren.

NGO1948

Er en referanseramme som er passende for Norge, og som ble brukt før EUREF89 kom. NGO står for Norges Geografiske Oppmåling, og angir koordinatene i N (nord), Ø (øst) i forhold til hvilken sone man er i.

Ortometrisk høyde

Ortometrisk høyde er et annet navn for høyde over havet, eller høyden over geoiden.

PPP (Precise Point Positioning)

En målemetode som kun benytter en GPS mottaker og ikke har noen referansestasjon i tillegg. Målemetoden gir nøyaktighet på cm nivå [19]

Relativ nøyaktighet

Nøyaktighet regnet i forhold til størrelsen selv [3].

RTK

Real time kinematic. En oppmålingsmetode som benytter målinger til satellitter og kobler seg opp til en kjent fast basestasjon. Nøyaktigheten på målingene ligger i cm området.

Solvinkel

Er vinkelen som solstrålene treffer jorda med. Jo lavere vinkel, jo mer spredning av solstrålene over et større område.

Standardavvik

Statistisk størrelse som angir spredningen for en gruppe måle- eller beregningsverdier i forhold til deres sanne eller estimerte verdier [3].

TIN – Triangulært Irregulært Nettverk

”Er et plan som er oppdelt i triangler. Betegnelsen henspeler på at vi oppfatter trekantsidene som kanter og trekanthjørnene som noder i et nettverk” [7].

11 Litteratur

Kilder:

- [1] Statens Kartverk er en statlig organisasjon som dekker Norges behov for geografisk informasjon og offentlig eiendomsinformasjon. [online]. Besøkes via <http://www.statkart.no>
- [2] Store Norske Leksikon, et gratis nettleksikon basert på artiklene fra papirleksikonet [online], søkeord infrarød stråling, tilgjengelig fra http://snl.no/infrar%C3%B8d_str%C3%A5ling [Lastet ned 7.5.2012]
- [3] Geodatastandarden, Kvalitetssikring av oppmåling, kartlegging og geodata. Utarbeidet av Statens Kartverk. [online]. Tilgjengelig fra http://www.statkart.no/IPS/filestore/cd2003/std/geodstd/geodata.htm#P726_35115. [Lastet ned 10.2.2012]
- [4] Satellittbasert posisjonsbestemmelse, versjon 2.1, Statens Kartverk [online] Tilgjengelig fra <http://www.statkart.no/filestore/Standardisering/docs/satbaspossystemer.pdf> [Lastet ned 7.2.2012]
- [5] Kart og geodata standard, refererer til geodatastandarden og spesifiserer kvalitetskrav for produksjon og ajourføring av det offentlige kartgrunlaget. Utarbeidet av Statens Kartverk.
- [6] Produktspesifikasjon FKB-Laser versjon 1.0 2011-02-01, Utarbeidet av Statens Kartverk.
- [7] Digitale Terrengmodeller, Jan Terje Bjørke, lærebok, 2010
- [8] Google maps, internettbasert karttjeneste. Søkeord: Gjelleråsen, Nittedal [online] Tilgjengelig fra: <http://maps.google.no/> Lastet ned 11.4.2012
- [9] TerraTec AS interne dokumenter, [upublisert]

- [10] SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for Felles Kartdatabase, versjon 4.02 – 2011-12-01. [online]. Tilgjengelig fra:
http://www.statkart.no/filestore/Landdivisjonen_ny/Fagomrder/lGeovekst/Produktspesifikasjoner/FKB_/0-Generelldel-2011-12-01.pdf
- [11] Terrasolid.fi er produsenter av programvare. TerraMatch User`s Guide [online]. Tilgjengelig fra <http://www.terrasolid.fi/system/files/tmatch.pdf> [Lastet ned 24.4.2012]
- [12] Store Norske Leksikon nettbasert tjeneste, søkeord: DOP-satellittgeometri. Tilgjengelig fra <http://snl.no/DOP/satellittgeometri> [lastet ned 24.4.2012]
- [13] Terrasolid, beregningsresultater fra programvaren.
- [14] Statens Kartverks ordbok for kart og oppmåling. [online] Tilgjengelig fra http://www.statkart.no/filestore/Standardisering/docs/ordbok_k_o.pdf [lastet ned 25.4.2012]
- [15] Statens Kartverk, SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Høydekurve. [online] Tilgjengelig fra http://www.statkart.no/filestore/Landdivisjonen_ny/Fagomrder/lGeovekst/Produktspesifikasjoner/FKB_/1-Hydekurve-2011-12-01.pdf [lastet ned 24.4.2012]
- [16] Terrasolid, Finland. Program og systemutvikler. Presentasjon ”Introduction to TerraMatch” [online] Tilgjengelig fra <http://www.terrasolid.fi/en/presentations/presentations#page:10> [Lastet ned 26.4.2012]
- [17] Solli, Petter (2012). TerraTec AS (pers med)
- [18] Bentley Programutvikler av microstation [online] Tilgjengelig fra www.bentley.com. [lastet ned 7.5.2012]
- [19] Statens Kartverk, Utvikling av CPOS - veien videre v/Rune Hansen. PPT [online] Tilgjengelig fra www.statkart.no/?module=Files;action=File.getFile;ID=37934 [Lastet ned 8.5.2012]

[20] Quick Terrain Modeler (QTM). Programvare.

[21] Store norske leksikon, et gratis nettleksikon basert på artiklene fra papirleksikonet
[online] Søkord: Geoide. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/geoide> [lastet ned 20.2.2012]

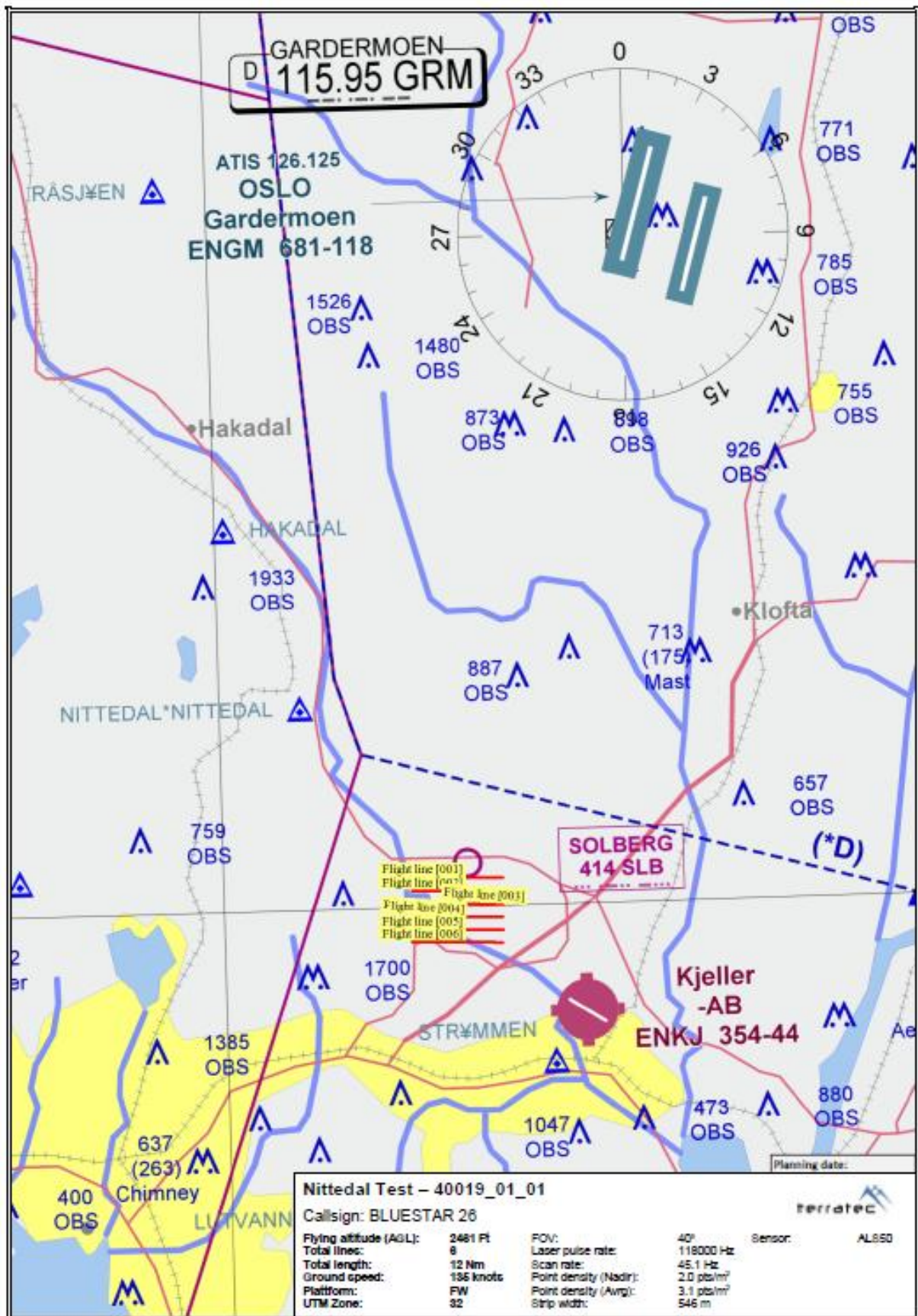
12 Vedlegg


Vedlegg A: Flyplan

Vedlegg B: Flyplanordre

Vedlegg C: Flylogg

Vedlegg A: Flyplan



 FLYPLANORDRE FOR LASERSKANNING		
Denne ordren danner grunnlaget for legging av flyplan, tekstfelt på plan, implementering av plan og parametre i navigasjons- og skannersystemet samt for første QC av opptaket. Endelig versjon lagres under prosjektkatalog som "Flyplanordre_Dekningsnr.doc".		
Navn	Nittedal Test	Dekningsnr: 40019_01_01
Produktspesifikasjon		
Oppdragsgiver		
Prosjektleder	DAa	
Parameter	På operativs plan	Merknader
Datum / koordinatsystem	UTM32	
Instrument	ALS50-II	
Fly / Helikopter (FW / RW):	FW	
GPS (dGPS / PPP):	PPP	
Bilder (J / N):	N	
Kalib.striper (J / N):	J	
		Sn99
Laser current (%)		21
MULTIPULS? (J / N)	N	
FOV (deg)	40	
Scan rate (Hz)	118000	
Pulse rate (Hz)	45.1	
Air speed (knop)	135	
H.o.laveste terr.h. (m)	750	
H.o.laveste terr.h. (ft)	2461	
Sideoverlapp (%)	20	
Stripeavstand (m)		
Max. skråavstand (m)		
Gj.snittlig punkttetthet (p/m ²)	3.1	
Laveste punkttetthet (p/m ²)	2.0	
Tilleggsopplysninger		
(Utdrag fra flyplan-prosedyre (midlertidig gjengitt her)): <ul style="list-style-type: none"> - (Tverstriper og kalibreringsstriper skal planlegges i samråd med prosjektleder) - (Kontrollflater skal planlegges og markeres i samråd med prosjektleder) - (Prosjektleder skal kontrollere og godkjenne plan) - (Prosjektleder skal oversende plan til kunde for kontroll og godkjenning) - (Prosjektleder varsler operativ om at plan er godkjent og kan implementeres) - (Skanneroperatør implementerer og kontrollerer planen i instrumenter) 		



ALS FLIGHTLOG

Coverage number: 40018-40021	Project number/name: Nittedal Test
---------------------------------	---------------------------------------

Dato / GPS-dag:	Crew:	Aircraft:	ICAO	Take off:	ICAO	Landing:	Time:	Total:
28. apr. 2011	IJ/FN	SE-LVF	ENGM	09:47	ENGM	12:34	02:47	
GPS-DAG 118								
Sensor: L099								02:47
SYSTEM CHECKLIST		Aircraft wrt Ref.frame 180 :			X	FW:(X)	RW: ()	
IMU init. Before :	X	Record parameters Before:			X	Calibration line:		X
IMU init. After :	X	Record parameters During:			X			
GPS/INS Topcon	Start	09:10	Stopp	13:30	04:20			
IPAS Session 1	Start	09:40	Stopp	12:40	03:00	Pres/Temp-bef/after :	1028/10 - 1026/11	
IPAS Session 2	Start		Stopp			Pres/Temp-bef/after :	-	
IPAS Session 3	Start		Stopp			Pres/Temp-bef/after :	-	

SYSTEM ERROR DURING FLIGHT

GPS/INS-data on disk # :	3	Laserdata on disk # :	009	Rolleiframes on disk # :	
---------------------------------	---	------------------------------	-----	---------------------------------	--

ALS-50 log

Project		Sesjon	Line ID:	Run no.:	Course	Remarks
No.	Name					
40019	Nittedal test		110428_113745	6	91,91	
40019	Nittedal test		110428_114123	1	273,029	
40019	Nittedal test		110428_114451	5	91,951	
40019	Nittedal test		110428_114835	2	273,555	
40019	Nittedal test		110428_115225	4	91,895	
40019	Nittedal test		110428_115620	3	273,853	