

Sammenlikning av FKB-data generert fra punktskyer fra bilbåren og helikopterbåren laser

Jens Haude Hellum

Master i ingeniørvitenskap og IKT

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Trond Arve Haakonsen, BAT

Medveileder: Leif Erik Blankenberg, Terratec

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



| | | | |
|---|--------------------------------|---|-----------------|
| Oppgavens tittel: Sammenlikning av FKB-data etablert fra punktskyer fra bilbåren og helikopterbåren laser. | Dato:09.06.2014 | | |
| | Antall sider (inkl. bilag): 64 | | |
| | Masteroppgave | X | Prosjektoppgave |
| Navn: Jens Haude Hellum | | | |
| Faglærer/veileder: Trond Arve Haakonsen | | | |
| Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: | | | |

Ekstrakt:

Denne masteroppgaven har blitt skrevet i samarbeid med Terratec AS etter deres ønske om å undersøke forskjeller ved bruk av helikopterbåren og bilbåren laserskanner til å danne FKB-data. På grunn av den stadig mer utbredte bruken av laserskanning i kartlegging er det gunstig å finne muligheter og begrensninger denne teknologien bringer.

Det har blitt plukket ut et område i sentrum av Ski kommune hvor data er blitt samlet inn. Punktskyer er samlet ved bruk av bilbåren, helikopterbåren laser, og vektordata er dannet ut ifra disse. I tillegg er det skaffet vektordata registrert fra flyfoto. I dette området ble kummer registrert i alle datasettene valgt ut og sammenliknet med landmålte data for å teste stedfestingsnøyaktigheten i datasettene. Det ble også gjort visuelle sammenlikninger for å finne forskjeller i de registrerte dataene.

Resultatene av disse sammenlikningene viser at det er forskjell i mengden detaljer i de forskjellige datasettene. Det er også påvist forskjell i nøyaktighet. Forskjellene funnet i kompletthet er små og ikke tydelige da det ikke er en god fasit. Det ble ellers også påvist en forskjell i detaljeringsgrad mellom datasettene. Det bilbårene datasettet inneholder fler små detaljer.

Stikkord:

| |
|--------------------------|
| 1. Bilbåren laser |
| 2. Helikopterbåren laser |
| 3. FKB-data |
| 4. Laserskanning |

(sign.)

1 Sammendrag

Denne masteroppgaven har blitt skrevet i samarbeid med Terratec AS etter deres ønske om å undersøke forskjeller ved bruk av helikopterbåren og bilbåren laserskanner til å danne FKB-data. På grunn av den stadig mer utbredte bruken av laserskanning i kartlegging er det gunstig å finne muligheter og begrensninger denne teknologien bringer.

Det har blitt plukket ut et område i sentrum av Ski kommune hvor data er blitt samlet inn. Punktskyer er samlet ved bruk av bilbåren, helikopterbåren laser, og vektordata er dannet ut ifra disse. I tillegg er det skaffet vektordata registrert fra flyfoto. I dette området ble kummer registrert i alle datasettene valgt ut og sammenliknet med landmålte data for å teste stedfestingsnøyaktigheten i datasettene. Det ble også gjort visuelle sammenlikninger for å finne forskjeller i de registrerte dataene.

Resultatene av disse sammenlikningene viser at det er forskjell i mengden detaljer i de forskjellige datasettene. Det er også påvist forskjell i nøyaktighet. Forskjellene funnet i kompletthet er små og ikke tydelige da det ikke er en god fasit. Det ble ellers også påvist en forskjell i detaljeringsgrad mellom datasettene. Det bilbårene datasettet inneholder fler små detaljer.

2 Abstract

This master thesis has been written in cooperation with Terratec AS as a result of their wish to explore the differences in the use of airborne and terrestrial laser scanning to generate FKB-data. Because of the increasingly widespread use of laser scanning in mapping it is useful to look at the possibilities and limitations of this technology.

An area from the center of Ski municipality where data had been collected was chosen. Pointclouds registered with car mounted and arial laser scanning from helicopter was obtained along with vectors generated from the pointclouds. In addition vectors generator from arial photography was obtained. In this area manholes registered in all datasets was picked out and compared with surveyed points to check the accuracy of the measurements. In addition visual comparisons was done to find differences in the datasets.

The results of these comparisons showed differences in the detailing and accuracy of the datasets. The differences in completeness are small and not obvious because of the lack of a good blueprint. There was also found a difference in the level of detailing of the vectors between the datasets.

3 Forord

Denne oppgaven er skrevet i samarbeid med Terratec AS og danner avslutningen på masterprogrammet Ingeniørvitenskap og IKT, spesialisering i geomatikk ved NTNU våren 2014.

Jeg vil først rette en takk til Terratec AS som gjort denne oppgaven mulig, ved tilgang til data og veiledning. Jeg vil også takke Petter Solli og Leif Erik Blankenberg for veiledning og besvaring av spørsmål gjennom arbeidsprosessen.

Til slutt vil jeg rette en stor takk til min hovedveileder Trond Arve Haakonsen for godt samarbeid gjennom arbeidsprosessen. Jeg setter stor pris på hjelpen jeg har fått, og alle små og store dytt i ryggen i tillegg til en bedre teoretisk forståelse.

Innhold

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Sammendrag | 2 |
| 2 | Abstract | 3 |
| 3 | Forord | 4 |
| 4 | Innledning | 10 |
| 4.1 | Oppgavebeskrivelse | 10 |
| 4.2 | Bakgrunn | 10 |
| 4.2.1 | SOSI-standarden | 10 |
| 4.2.2 | FKB | 12 |
| 4.2.3 | NVDB | 12 |
| 4.2.4 | DFA-registrering | 13 |
| 4.2.5 | Referanserammer og referansesystemer | 13 |
| 4.2.6 | NTM/UTM | 13 |
| 4.3 | Motivasjon | 14 |
| 4.3.1 | Muligheter for fasadelivsregistrering | 14 |
| 4.3.2 | Nøyaktighet og presisjon | 15 |
| 4.3.3 | Nøyaktighet i FKB-standarden | 16 |
| 4.3.4 | Teoretisk vs praktisk nøyaktighet | 16 |
| 4.4 | Laserdata | 18 |
| 4.4.1 | Punktskyer | 18 |
| 4.4.2 | Multiple returer | 19 |
| 4.4.3 | Bilbåren laser | 19 |
| 4.4.4 | Helikopterbåren laser | 19 |
| 4.4.5 | Prosessering | 21 |
| 4.4.6 | Okt- og Kd-Trær | 22 |
| 4.4.7 | Automatisering | 23 |
| 4.5 | Programvare | 23 |
| 4.5.1 | FME | 23 |
| 4.6 | Feiltyper | 24 |
| 5 | Metode | 24 |
| 5.1 | Visuell sammenlikning og matching | 25 |
| 5.2 | Statistisk testing | 26 |
| 5.2.1 | Grovfeiltesting | 26 |
| 5.2.2 | Hypotesetesting | 27 |
| 5.2.3 | Korrelasjon | 29 |
| 6 | Resultat | 30 |
| 6.1 | Konsistens mellom datasett | 30 |
| 6.1.1 | Fasadeliv | 30 |
| 6.2 | Egenskapsnøyaktighet | 37 |
| 6.3 | Stedfestingsnøyaktighet | 37 |

| | | |
|-----------|--------------------------------------|-----------|
| 6.4 | Fullstendighet | 43 |
| 6.4.1 | Sammenlikning av temakoder | 45 |
| 7 | Diskusjon | 45 |
| 7.1 | Tolkning av standarden | 45 |
| 7.2 | Fullstendighet | 46 |
| 7.3 | Egenskapsnøyaktighet | 47 |
| 7.4 | Konsistens mellom datasett | 47 |
| 7.5 | Stedfestingsnøyaktighet | 49 |
| 8 | Konklusjon | 52 |
| 9 | Videre arbeid | 52 |
| 10 | Referanser | 53 |
| 11 | Vedlegg | 54 |
| 11.1 | Tabeller | 54 |

Tabeller

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Toleranseverdier (Standardavvik) for registrering med DFA(Kartverk) | 16 |
| 2 | Mulige feil ved hypotesetesting | 27 |
| 3 | Sammenlikning av bil og Helikopter X | 39 |
| 4 | Sammenlikning av bil og Helikopter Y | 39 |
| 5 | Sammenlikning av bil og Helikopter Z | 39 |
| 6 | Sammenlikning av Helikopter og Foto X | 39 |
| 7 | Sammenlikning av Helikopter og Foto Y | 40 |
| 8 | Sammenlikning av Helikopter og Foto Z | 40 |
| 9 | Sammenlikning av Bil og Foto X | 40 |
| 10 | Sammenlikning av Bil og Foto Y | 40 |
| 11 | Sammenlikning av Bil og Foto Z | 41 |
| 12 | Korrelasjonsmatrise. Helikopter. | 42 |
| 13 | Korrelasjonsmatrise. Bil | 42 |
| 14 | Korrelasjonsmatrise. Foto | 42 |
| 15 | Objekttyper registrert via kun ett datasett | 45 |
| 16 | Antall punkter registrert som kummer. | 45 |
| 17 | Gjennomsnittlig differanse (Bil-Landmålt, Helikopter-Landmålt) i absoluttverdier. | 51 |
| 18 | Helikopterskannede kummer(1/2) | 55 |
| 19 | Helikopterskannede kummer(2/2) | 56 |
| 20 | Bilskannede kummer(1/2) | 57 |
| 21 | Bilskannede kummer(2/2) | 58 |
| 22 | Differanse (Helikopter-Landmålt) | 59 |
| 23 | Differanse (Bil-Landmålt) | 60 |
| 24 | Differanse (Foto-Landmålt) | 61 |
| 25 | Avvik Grunnriss og 3D(Helikopter-Landmålt) | 62 |
| 26 | Avvik Grunnriss og 3D(Bil-Landmålt) | 63 |
| 27 | Avvik Grunnriss og 3D(Foto-Landmålt) | 64 |

Figurer

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Utdrag av en SOSI-fil. | 11 |
| 2 | Illustrasjon over klassene i FKB-standard (Kartverk) | 12 |
| 3 | Forskjellen mellom nøyaktighet og presisjon. | 15 |
| 4 | Driften til bilens posisjon ved bruk av IMU(Technology, 2011) . . | 17 |
| 5 | Feil ved bruk av kalman filter. | 17 |
| 6 | Punktsky med intensitetverdier. | 18 |
| 7 | Bil med påmontert laser TerratecAS (2014) | 20 |
| 8 | Oppsett for luftbåren laserskanning. | 21 |
| 9 | Oppbygning av et kvad-tre | 22 |
| 10 | Oppbygning av et kd-tre | 23 |
| 11 | Kvalitetsbegreper for innmålte punkter (Kartverk, 2001) | 27 |
| 12 | Student t-test fordeling ved 95% konfidensintervall. (Aarnes, 2011) | 28 |
| 13 | Korrelasjon mellom koordinater ved DFA registrering. | 29 |
| 14 | Inkonsistens mellom datasett. | 31 |
| 15 | Ensfarget ved 100 % konsistens | 32 |
| 16 | Forskjellig tolkning av gangfelt | 33 |
| 17 | Forskjellig registrering av linjeobjekter | 34 |
| 18 | Fasadeliv: Bil i blått, Helikopter i rødt, landmålt i svart | 34 |
| 19 | Fasadeliv: Bil i blått, Helikopter i rødt, landmålt i svart | 35 |
| 20 | Fasadeliv: Bil i blått, Helikopter i rødt, landmålt i svart | 36 |
| 21 | Fasadeliv: Bil i blått, Helikopter i rødt, landmålt i svart | 36 |
| 22 | Bro registrert som ParkeringsområdeAvgrensning | 37 |
| 23 | Avgrensning av broer gjort på forskjellige måter. | 38 |
| 24 | Differanse mellom bil, helikopter og landmålte data | 38 |
| 25 | Differanser i X-koordinater, grove feil er fjernet. | 43 |
| 26 | Differanser i Y-koordinater, grove feil er fjernet. | 44 |
| 27 | Differanser i Z-koordinater, grove feil er fjernet. | 44 |
| 28 | Busskur kun registrert i helikopterdatasettet. | 45 |
| 29 | Illustrasjon av korrekt registrering av broer (Kartverk, 2013a) . . | 48 |
| 30 | Illustrasjon over korrekt registrering av fasadeliv | 48 |
| 31 | Illustrasjon av signifikante differanser | 50 |
| 32 | Helikopter og bilpunktene i grunriss | 51 |

Liste over relevante forkortelser

| | |
|------|--|
| DFA | Digital Fotogrammetrisk Arbeidsstasjon |
| DMI | Distance Mesuring Instrument |
| FKB | Felles Kartdatabase |
| FME | Feature Manipulation Engine |
| GNSS | Globalt Navigasjons Satellitt System |
| GPS | Global Positioning System |
| IMU | Inertial Measurement Unit |
| NTM | Norsk Transversal Mercator |
| NVDB | Norsk VegDataBank |
| SOSI | Samordnet Opplegg for Stedfestet Informasjon |
| TRF | Terrestrial Reference Frame |
| TRS | Terrestrial Reference System |
| UTM | Universal Transversal Mercator |
| VA | Vann og Avløp |

4 Innledning

De tidligste kartene vi kjenner til ble laget 16.500 år før Kristus. Disse var kart over stjernehimmelen og ble malt på hulevegger. Siden den tid har menneske og teknologien utviklet seg enormt. Likevel er enkelte ting forblitt de samme. Ønsket og behovet for å kartlegge og organisere verden rundt oss er like sterkt. Nye metoder for organisering dukker opp. Gamle metoder blir stadig mer effektive. I takt med den teknologiske utviklingen finner vi også nye bruksområder for kartografisk informasjon. Mobiltelefoner har muligheten til å vise kart og beregne posisjoner. Før kart kan vises frem på en mobiltelefon må de lages, og kartdataene må vedlikeholdes så riktig informasjon blir distribuert til brukerne. Produksjon og vedlikehold av kart er en vanskelig og tidkrevende prosess. Selv med dagens teknologi, kameraer med ekstremt høy oppløsning, laserskannere som blir stadig mer nøyaktige og PCEr som følger Moores lov. For å lage et kart må fortsatt et fly ta bilder, landmålere må måle inn punkter. Heldigvis har man nå laserskannere til å danne høydekurvegrunnlaget så man ikke lenger trenger å tegne disse manuelt. Hva mer kan laserskanneren brukes til? Hvilke muligheter finnes for bruk av laserskanning i produksjonen av kartdata? Er det forskjell på punktskyer?

4.1 Oppgavebeskrivelse

Studenten skal se på etablering av FKB-datasett fra laser punktskyer, og utforske hvilke objekttyper som lar seg registrere ved hjelp av laser. I oppgaven skal det også forskes på forskjellen mellom punktskyer fra bilbåren og helikopterbåren laserskanner, og forskjellene disse har på etablering av FKB-data. Landmålte data skal brukes som kontroll for å finne nøyaktigheten til FKB fra laserdata og sammenlikne disse med kravene i FKB-spesifikasjonen og tradisjonell fotogrammetrisk registrering. FKB registrert fotogrammetrisk ved hjelp av DFA vil bli brukt som kontroll på kompletthet og konsistens.

4.2 Bakgrunn

4.2.1 SOSI-standarden

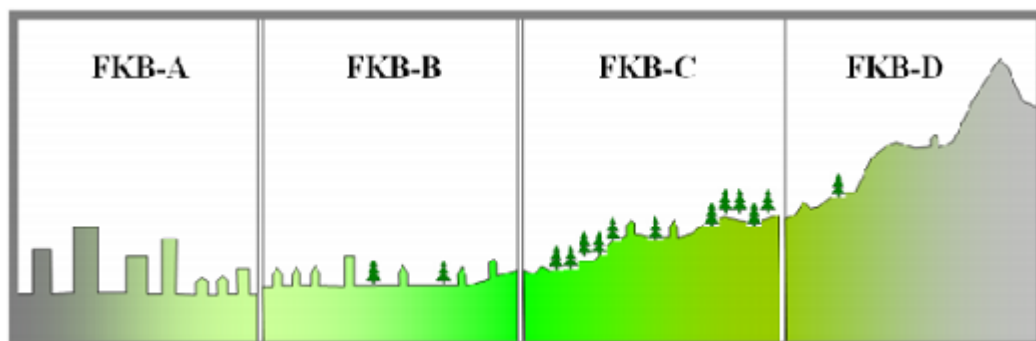
SOSI står for Samordnet Opplegg for Stedfestet Informasjon, og er en nasjonal standard for utveksling av geografisk informasjon. (Kartverk, 2014b) Standarden ble utviklet av Statens kartverk og ble utgitt første gang i 1987 (Versjon 1.0). Standarden er i kontinuerlig utvikling og den nyeste versjonen 4.0 ble utgitt i desember 2006. Etter dette har bare mindre oppdateringer kommet. Siden alle norske kartdata skal leveres på SOSI-format er standarden svært utbredt. En SOSI-fil er hierarkisk oppbygd med et hode hvor informasjon om versjon, tegnssett, dato, koordinatsystem, kvalitet og liknende er oppgitt. Etter hodet kommer en liste med linjer og punkter. Disse har informasjon om tema, koordinater og liknende. På figur 1 kan man se et eksempel på en SOSI-fil. Den øverste delen er hodet til fila, og den hierarkiske strukturen kommer frem av punktum

```

1 .HODE
2 !B95 - TerraTec AS
3 ..TEGNSETT ISO8859-1
4 ..PRODUSENT "TerraTec AS"
5 ..EIER "Statens Vegvesen"
6 ..TRANSPAR
7 ...KOORDSYS 210
8 ...VERT-DATUM NN1954
9 ...ORIGO-NØ 1190200 118300
10 ...ENHET 0.01
11 ..OMRÅDE
12 ...MIN-NØ 1190200 118300
13 ...MAX-NØ 1192200 119800
14 ..SOSI-VERSJON 4.0
15 ..SOSI-NIVÅ 2
16 !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!Målemetode bilbåren laserskanning
17 !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
18 .KURVE 1:
19 ..OBJTYPE Vegdekkekant
20 ..LTEMA 7018
21 ..KVALITET 36 3 0 36 3
22 ..DATAFANGSTDATO 20130506
23 ..REGISTRERINGSVERSJON FKB 4.02
24 ..NØH
25 149504 117135 14667
26 149474 117150 14667
27 149416 117186 14666
28 149207 117337 14657
29 148989 117522 14654
30 148703 117795 14649
31 148298 118197 14643
32 147855 118637 14652

```

Figur 1: Utdrag av en SOSI-fil.



Figur 2: Illustrasjon over klassene i FKB-standarden (Kartverk)

i starten av hver linje. Koordsys i denne fila er oppgitt til 210. Dette betyr at koordinatene er oppgitt i NTM Sone 10. Vertikalt Datum er NN1954. Enheten er oppgitt til 0,01, altså er koordinatene oppgitt i centimeter. Koordinatene i fila er også translateret med hensyn på origo. Dette betyr at koordinatene må legges til origo for å få riktig verdi. Første linje med koordinater fra fila står som 149504 117135 14667. De egentlige koordinatene er altså 1191695,04 119471,35 146.67.

4.2.2 FKB

FKB står for Felles Kartdatabase og er en samling datasett på vektorform med geografisk informasjon. Standarden er utviklet av Statens Kartverk. FKB danner Norges offisielle kartgrunnlag. FKB-standarden er spesifisert i fire deler fra A-D hvor A er mest detaljert og D er minst. A-standarden blir benyttet i byer og områder med høy tetthet, hvor det er viktig å utnytte arealene godt, og det er høye krav til stedfestingsnøyaktighet. B-standarden er den mest brukte. Denne har litt mindre krav til nøyaktighet og er ikke like detaljert som A-standarden. Kartverk (2012) FKB-dataene ajourføres vert 3-10 år. Dette arbeidet gjøres hovedsakelig ved hjelp av flyfotografering, men i de siste årene også ved hjelp av laser. Figur 2 viser en illustrasjon over de forskjellige standardene.

4.2.3 NVDB

NVDB står for norsk veidatabank og inneholder informasjon om norske veier. Informasjonen brukes til vedlikehold og drift av veiene. NVDB forvaltes av statens vegvesen. NVDB inneholder informasjon om statlige, kommunale, private, fylkes- og skogsbilveier. NVDB inneholder blant annet:

- Vegnett med geometri og topologi
- Oversikt over utstyr og drenering langs veien

- Ulykker og trafikkmengde
- Grunnlagsdata for bruk i støyberegning

Statensvegvesen (2014)

4.2.4 DFA-registrering

Registrering av FKB-data er en møysommelig prosess som blir gjort ved hjelp av en Digital Fotogrammetrisk Arbeidsstasjon eller DFA. En DFA er en spesiell datamaskin som lar operatøren orientere flyfoto av et gitt område og deretter se på disse i par, noe som skaper en 3D-effekt som gjør at det er mulig å finne høyden til objektene i bildene. Dermed kan objekter som for eksempel hus og veier registreres i tre dimensjoner, med nøyaktighet på +/- 0,2 m til 2 m avhengig av objekttype og datafangstmetode. (Kartverk, 2012) Dette er en møysommelig og langsom prosess som krever lang erfaring. grunnen til dette er at det krever mye trening for å registrere korrekt høyde på objekter, i tillegg kreves god kjennskap til FKB-standarden for å danne ett konsistent og logisk datasett. Dette medfører at FKB-data er dyrt å produsere og vedlikeholde.

4.2.5 Referanserammer og referansesystemer

For at koordinater skal ha en mening må de tilhøre et koordinatsystem. Enkelt sagt gir koordinater plassering i forhold til noe annet, og gir ikke mening uten. En vanlig måte å gjøre dette på er å danne et referansesystem. Et terrestrisk referansesystem (TRS) for bruk ved kartlegging av jordoverflaten er et romlig referansesystem som roterer med jorda. Punkter knyttet til dette systemet vil ha små variasjoner over tid grunnet tektoniske platebevegelser og tidevannseffekter. (IERS, 2010) Når man skal innføre et koordinatsystem for jordoverflaten etableres først en ellipsoide. Dette er en perfekt ellipsoide som tilpasses jordoverflaten slik at den passer best mulig. Denne ellipsoiden festes til jorda ved hjelp av en referanse ramme. Det er derfor blitt utviklet flere metoder for å koordinatfeste steder på jordoverflaten. Den mest brukte av dagens metoder er en kombinasjon av et referansesystem og en referanseramme. Referansesystemet definerer koordinatsystemet. Det inneholder plassering av origo, målestokk og orientering av koordinataksene. For å realisere dette systemet trenger man en referanseramme som knytter systemet til jordoverflaten gjennom å definere bestemte koordinater på bestemte punkter. Denne prosessen gjøres av International Earth Rotational Service (IERS) som realiserer referansesystemet ITRS International Terrestrial Reference System ved bruk av rammene ITRF som må oppdateres jevnlig på grunn av at jordas tektoniske plater er i stadig bevegelse. Disse rammene angir geosentriske koordinater for utvalgte fastmerker spredt rundt over hele jorda. (Kartverk, 2014a)

4.2.6 NTM/UTM

I 2009 ble EUREF89 innført som offisiell referanseramme og UTM kartprojeksjon i Norge. Dette ble gjort for å skaffe en nøyaktig geodetisk grunnlag i hele

landet. Innføringen har ført med seg noen negative konsekvenser. UTM har en målestokksfaktor på 0.9996 i sentralmeridianen. Altså vil en målt avstand måtte korrigeres med inntil 4cm/100m. I de fleste prosjekter vil ikke dette ha noen betydning, som for eksempel om en vei er 100.04 meter men skulle være 100 meter er ikke dette en katastrofe. I prosjekter som krever større nøyaktighet derimot kan dette medføre store problemer. Ved byggeprosjekter som krever sammenføring av bygninger eller prefabrikkerte byggelementer vil en feil på få centimeter kunne føre til store problemer. For å løse dette problemet ble det innført en sekundær projeksjon kalt NTM. I denne projeksjonen er sonene 1 grad i bredde, i motsetning til UTM sine 6 grader. Dette medfører at målestokskorreksjonen innenfor sonene vil være maksimalt 0.11cm/100m i sør Norge og 0.5cm/m i Nord. (Haakonsen, 2008) Nøyaktighetsproblemene til UTM har blitt tatt opp tidligere. Professor Ording skrev i 1960 ” *For topografiske kart er i liten målestokk er denne feil uten betydning. For meget nøyaktige kart, f.eks. i 1:1000, er den merkbar, og et forslag om å øke stripebredden til det dobbelte og dermed feilen til $\frac{1}{2500}$ vakte sterk motstand fra flere hold. Vårt land regner derfor fortsatt med 8 striper.*” (Ording, 1960)

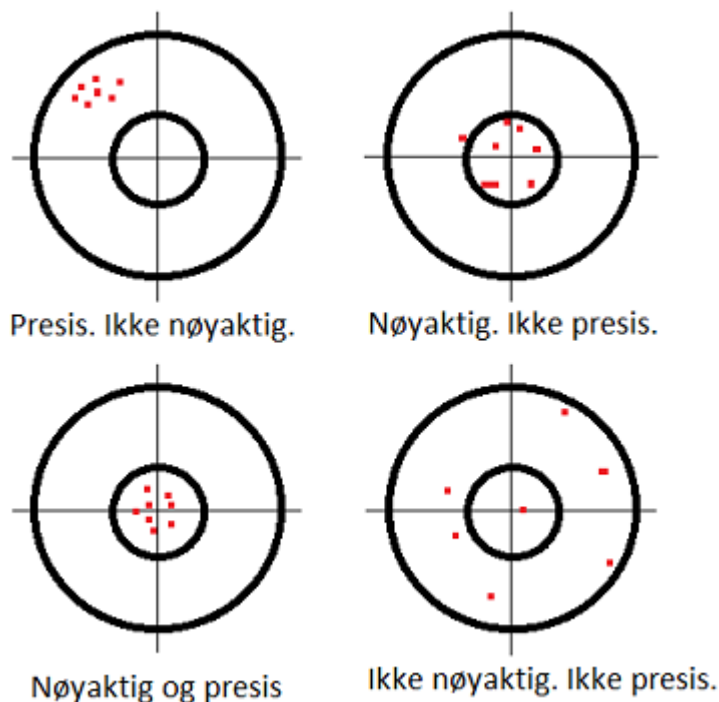
4.3 Motivasjon

Produksjon og vedlikehold av FKB-data er en kostbar og tidkrevende prosess. Dette medfører at en effektivisering i prosessen som for eksempel ved bruk av laserdata vil man kunne spare mye tid og penger. Laserdata blir ofte samlet inn for generering av terrengmodeller og høydekurver, men bare en liten del av informasjonen i punktskyen blir benyttet. Punktene i en punktsky kan inneholde mer enn bare koordinater. Som for eksempel intensitet, farge(RGB-verdi). Kombineres disse kan man klassifisere punktene for å finne veier, vegetasjon og bebyggelse. Laserskanning fra bil gir også en helt annen synsvinkel enn flybilder da bilen er nede på veien. Dette gir muligheter til å se ting som fasadeliv siden det er lettere å se fasaden til en bygning fra bakken enn på et flyfoto. Laserskanning har også ulemper. Blir det benyttet skanner på bil ser man ikke takflater og bygninger kan dermed ikke registreres. Denne oppgaven skal derfor se på hvilke muligheter og begrensninger som finnes ved bruk av laser ved danning av FKB-data.

4.3.1 Muligheter for fasadelivsregistrering

Fasadeliv blir ofte brukt i reguleringsplaner og byggesaker. Man kan ikke i henhold til lov bygge nærmere naboens grense enn 4 meter fra fasadeliv. I byer er reguleringslinjer for gateløp viktig. I tillegg er fasadeliv viktig i forhold til vedlikehold og utbygging av gaterom fordi det er ønskelig med best mulig informasjon om hvor mye plass man har tilgjengelig.

Frem til ca 1990 ble alle bygg i Oslo gjengitt med fasadeliv i grunnkartet. Mye av denne informasjonen kom fra landmåling. Når fotogrammetrisk innmåling ble vanligere ble takskjegg målt inn i felt og deretter ble takkant korrigert fotogrammetrisk. I de siste årene har vedlikeholdet av fasadeliv blitt dårligere. Mest



Figur 3: Forskjellen mellom nøyaktighet og presisjon.

sannsynlig skyldes dette at det er veldig vanskelig å kontrollere fasadeliv fotografmetrisk spesielt i tettbebyggede områder med dårlig sikt. I tillegg er kostnadene høye for innmåling med landmåling. På grunn av dette er det interessant å finne nye, billigere og bedre metoder for registrering av fasadeliv. Denne problemstillingen har blitt omtalt i (Fladby, 2012). Noen av resultatene fra denne oppgaven vil bli kommentert senere.

4.3.2 Nøyaktighet og presisjon

Nøyaktighet og presisjon brukes ofte om hverandre. I denne oppgaven vil nøyaktighet bli betegnet som avstand fra fasit, eller den antatt sanne verdien, mens presisjonen vil bli gitt av standardavviket, altså spredningen til målingene. Et eksempel på dette kan være konstruksjon av FKB-data med DFA. En presis konstruktør vil alltid bomme omtrent like mye på objektene han registrerer, mens en nøyaktig konstruktør vil alltid være i nærheten av det ønskede objektet. Ideelt sett ønsker man god nøyaktighet og høy presisjon.

4.3.3 Nøyaktighet i FKB-standarden

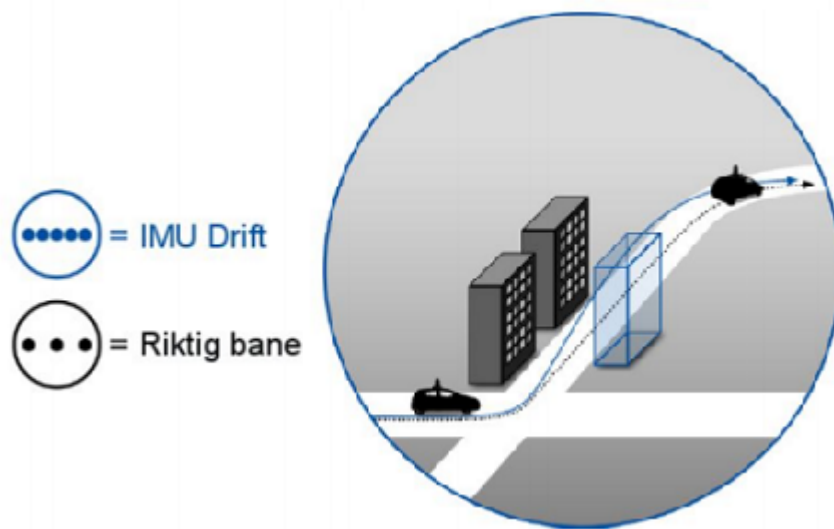
Nøyaktighetskravene definert i FKB-standarden varierer med hensyn på hvilken del man bruker. FKB-A har de høyeste nøyaktighetskravene mens FKB-D har de laveste. Kravene varierer også med hensyn på hvor godt synlig objektene er på bildene.

| FKB-Standard | Klasse 1 Svært veldefinerte detaljer | Klasse 2 Veldefinerte detaljer | Klasse 3 Uskarpe detaljer | Klasse 4 Diffuse naturlige detaljer |
|---|--|--------------------------------------|---------------------------------|---|
| FKB-A Grunnriss | 0.15 m | 0.20 m | 0.35 m | 0.55 m |
| Høyde | 0.15 m | 0.20 m | 0.25 m | 0.35 m |
| FKB-B Grunnriss | 0.20 m | 0.25 m | 0.35 m | 0.55 m |
| Høyde | 0.20 m | 0.25 m | 0.35 m | 0.40 m |
| FKB-C Grunnriss (Fotogrammetri) Høyde | 0.40 m 0.40 m | 0.45 m 0.60 m | 0.50 m 0.70 m | 1.00 m 0.90 m |
| FKB-C Grunnriss (Digitalisering) Høyde | 2 m (1) 2 m (1) | 2 m (1) 2 m (1) | 2 m (1) 2 m (1) | 2 m (1) 2 m (1) |
| FKB-D Grunnriss | 10-50 m (2) | 10-50 m (2) | 10-50 m (2) | 10-50 m (2) |
| Høyde | 10-50 m (2) | 10-50 m (2) | 10-50 m (2) | 10-50 m (2) |

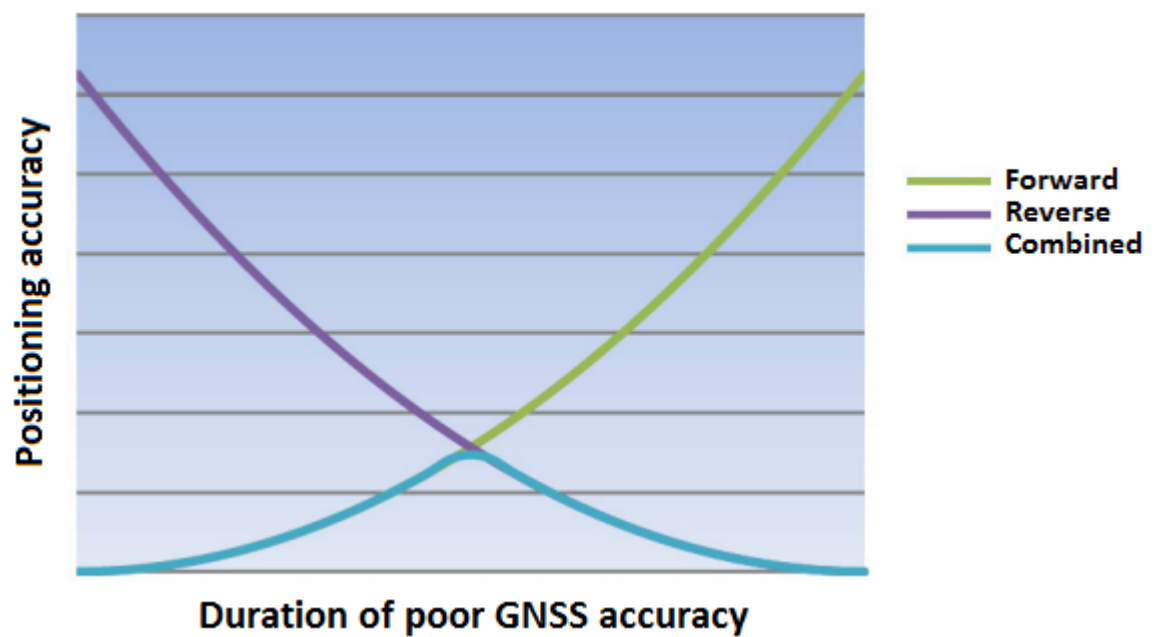
Tabell 1: Toleranseverdier (Standardavvik) for registrering med DFA(Kartverk)

4.3.4 Teoretisk vs praktisk nøyaktighet

Den forventede nøyaktigheten til punkttskyene er 3 cm for lynx datasettet *Bil* og 5 cm for punkttskyen fra helikopter. (Solli, 2013) Bildatasettet kan likevel få dårligere nøyaktighet i områder med dårlig GNSS dekning. I disse tilfellene vil nøyaktigheten til IMUen være viktig. Siden en IMU bruker et Kalmanfilter vil det være en sterk korrelasjon mellom de innmålte posisjonene. Et kalmanfilter er en rekursiv algoritme som ved observasjon av tidligere posisjon estimerer neste posisjon med minimal varians. Ulempen ved dette er at driften i systemet sørger for at feil vil forplante seg mellom flere av observasjonene. Driften til systemet er illustrert i figur 4. Fordelen ved IMU er at i områder med dårlig GNSS dekning vil målingene generelt bli veldig bra. For å minimere effekten av driften i systemet brukes en kombinasjon av kalmanfilter beregnet fremover og bakover. Driften i systemet vil bli rettet opp i det man igjen får god GNSS dekning og kalmanfilteret igjen får korrigert posisjonen, figur 5. Innmålingen av de landmålte punktene ble foretatt med et lokalt fastmerkenett. Dette nettverket har et standardavvik på 15 mm i grunnriss og 10 mm i høyde. I tillegg til dette har selve innmålingen av punktene en nøyaktighet på 20 mm i grunnriss og 10 mm i høyde. Feilforplantning gir ved formelen $\eta = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$ 25 mm i grunnriss og 14.14 mm i høyde.



Figur 4: Driften til bilens posisjon ved bruk av IMU(Technology, 2011)



Figur 5: Feilen i kalman filteret blir større for lengre perioder uten korreksjon. Mye av feilen elimineres ved å korrigere fremover og bakover. (Technology, 2011)



Figur 6: Punktsky med intensitetverdier.

4.4 Laserdata

Laserskanner teknologien har eksistert siden 60-tallet, men ble ikke særlig utbredt før 90-tallet. Mye av dette skyldtes at teknologien var for dårlig til å håndtere de enorme datamengdene man kan få fra en laserskanner. Punktskyer er fremdeles så store at de ikke alltid kan overføres via e-mail eller ftp server. Nå som teknologien er bedre blir laserskanning stadig mer utbredt og man ser stadig nye bruksområder. Microsoft sin Kinect er et eksempel hverdagslig bruk av laserskanning.

4.4.1 Punktskyer

En punktsky er en samling punkter med Koordinater i tre dimensjoner. Punktene har per definisjon ingen utstrekning, men kan inneholde mye informasjon, som for eksempel koordinater, intensitet, gråtone, RGB-verdier. For datamaskinen vil ingen av disse punktene ha noen tilknytning.

4.4.2 Multiple returer

Multiple returer forekommer når laseren treffer kanten på et objekt for eksempel et hustak. En del av laserstrålen vil da treffe taket og returneres, mens resten vil gå videre og treffe bakken før det returneres og registreres. (George Vosselman, 2010) Dette ble tidligere sett på som et problem og en ulempe, da det krevde ekstra bearbeiding for å identifisere hvilket signal som var det riktige. Etter som teknologien har utviklet seg har derimot multiple returer blitt et godt hjelpemiddel. Ved å identifisere hva som er første andre og i enkelte tilfeller hva som er tredje retur fra en enkel laserpuls kan man finne ut hvor tettgrodd en skog er, eller generere en terrengmodell over områder med tett vegetasjon.

4.4.3 Bilbåren laser

Dataene fra bilbåren laser har i denne oppgaven blitt samlet ved hjelp av Lynx mobile mapper. Dette er Terratec AS sitt bilbårene lasersystem. Dette består av to laserskannere montert på en bil. Hver av dem har en 360° synsvinkel. I tillegg til laserskannere er det også påmontert 4 kameraer og et videokamera, alle georefererte. Videokameraet er montert i frontruta på bilen og brukes sammen med bildene for å orientere laserskyene i etterprosesseringen. Begge laserskannerene kan registrere opp til 200.000 laserpulser per sekund. Dette gir høy tetthet og god oppløsning i datasettene. I tillegg gir den høye plasseringen av laserene god oversikt selv i bratte skråninger.

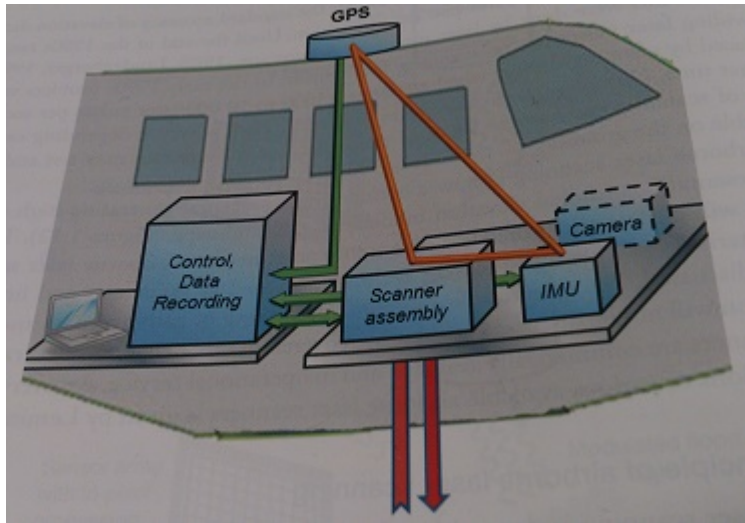
For å kartlegge bilens posisjon under skanning er det påmontert GNSS, IMU og DMI i bilen. GNSS systemet gir posisjonen til bilen mens treghetsnavigasjonssystemet øker nøyaktigheten ved å gi orienteringen og bevegelsen til bilen rundt aksene. En DMI er koblet til det ene hjulet. Denne gir signaler som indikerer en gitt brøkdeler av rotasjonen til dekket. Disse summeres opp og gir et mål på tilbakelagt avstand. Til sammen gir dette et system med god presisjon selv i områder uten GNSS dekning. Ved lange perioder uten dekning av GNSS kreves etterprosessering. Lynx mobile mapper har mulighet til å motta fire returer, (1,2,3 og siste puls). Dette gir muligheten til å registrere for eksempel en busk og bygningen bak busken. TerratecAS (2009)

4.4.4 Helikopterbåren laser

Som ved bilbåren laserskanning består systemet hovedsaklig av en laserskanner, GNSS, og IMU. Avhengig av fart og høyde kan man få en punkttetthet på mellom 0.2 og 50 *punkter/m²* og en nøyaktighet på under 10cm. (George Vosselman, 2010) Det er også en kontrollenhet som styrer synkroniseringen av hele systemet. Det er også ofte nødvendig med en GPS-basestasjon på bakken for å kompensere for atmosfæriske forstyrrelser. Dette forutsetter at avstanden fra basen til helikopteret ikke blir større enn 30km. I land med utbygde nettverk av permanente basestasjoner er det ikke nødvendig med enkeltbaser spesifikt for laserskanning. Det blir også brukt et kamera sammen med laserskanneren for å ta bilder av de skannede områdene. Dette kan brukes for å gjøre datasettene lettere å tolke.



Figur 7: Bil med påmontert laser TerratecAS (2014)



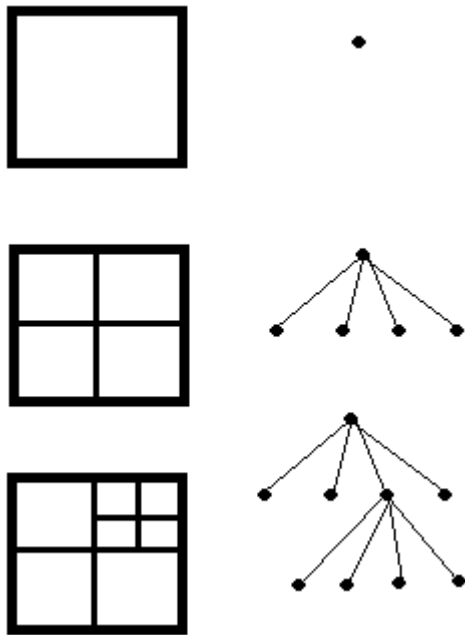
Figur 8: Oppsett for luftbåren laserskanning.

4.4.5 Prosessering

Vanlige steg i prosessering av en punktsky er:

- Filtrering
- Sortering
- Klassifisering
- Segmentering
- Vektorisering
- Georeferering

Første steg er en filtrering. Dette gjøres for å bli kvitt punkter som er feil registrert. Feilregistreringer kan for eksempel komme av multipath, hvor signalet spretter mellom flere flater før det returneres og dermed gir en for lang reisevei. Etter filtreringen organiseres punktene i en trestruktur som et Okt- eller kd-tre. Dette gjøres fordi punktene ofte er lagret i samme rekkefølge som de ble registrert i, og hvis man ikke organiserer punktene vil senere prosessering ta vesentlig lengre tid. Etter at punktene er organisert vil man foreta en klassifisering. I dette steget blir punktene delt inn i klasser ut ifra om de tilhører bygninger, bakken, vegetasjon og så videre. Etter at dette er gjort kan punktskyen brukes til å danne høydekurver da man vet hvilke punkter som tilhører bakkeplanet. Når klassifiseringen er foretatt blir en segmentering foretatt. I dette steget deles punktene i deler som tilhører samme objekter. Altså vil punkter på for eksempel samme tak bli gruppert sammen. Når dette er gjort foretaes en vektorisering

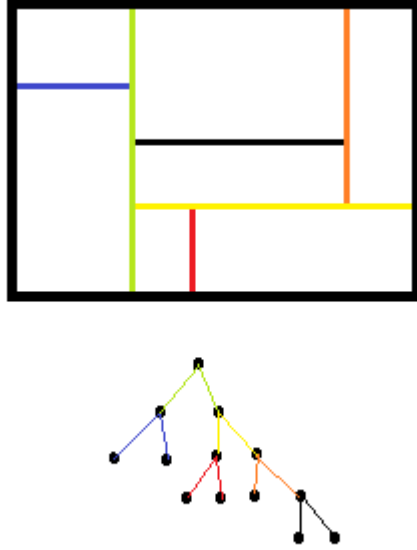


Figur 9: Oppbygning av et kvad-tre

slik at man får sammenhengende vektorer som til sammen danner flater. For å bedre nøyaktigheten gjøres i enkelte tilfeller også en matching. For å gjøre dette bruker man objekter eller landmålte punkter som blir funnet igjen i punktskyen. På denne måten vil man oppnå høyere nøyaktighet for hele punktskyen. (Lund, 2013)

4.4.6 Okt- og Kd-Trær

Et okt-tre er en tre dimensjonal variant av et kvad-tre. Trestrukturene dannes ved å avgrense et område med punkter man vil organisere og deretter dele opp dette i mindre og mindre områder. Disse områdene kan være regulære, altså blir alle like store, men punktene blir ikke jevnt fordelt. Det er også mulig å danne et adaptivt tre. Områdene blir da delt opp på en slik måte at punktene blir jevnest mulig fordelt og treet blir best mulig balansert. Prinsippet er det samme for okt-trær. Forskjellen vil da være at man starter med en 3-dimensjonal kube, som deles opp i mindre kuber. Kd-tre står for K-dimensjonalt tre. Denne trestrukturen fungerer som et k-dimensjonalt binær tre. Dette betyr at det omsluttende området deles i to langs en av de k aksene. Altså vil et 2-dimensjonalt tre deles opp enten langs x-eller y aksene. Denne formen for oppdeling medfører at datasettet kan søkes i raskere og dermed blir mer effektivt å bruke videre. (Srihari Narasimham, 2006)



Figur 10: Oppbygning av et kd-tre

4.4.7 Automatisering

Prosessering av punktskyer er komplisert og lite automatisert. Mange algoritmer for å finne vektorer, eller objekter i en punktsky finnes, men få av disse er effektive og nøyaktige nok til at de kan brukes kommersielt. På grunn av dette sendes i likhet med orthofoto også laserdata til lavkostland for prosessering. Terratec AS bruker Terrascan til klassifiseringen. Dette programmet har algoritmer for automatisk klassifisering. Algoritmen velger da ut potensielle punkter ut med en viss høyde over bakken. I tillegg leter den etter plan i punktskyen for å finne bygninger. (Solli, 2013)

4.5 Programvare

For bearbeiding av dataene og visualisering av punktskyer ble FME brukt. I tillegg har Terraview og SOSIVis blitt brukt i perioder for utvelgelse av enkeltpunkter og visualisering av punktskyer. Disse programmene ble brukt med bakgrunn i erfaring fra bransjen og anbefalinger fra Terratec.

4.5.1 FME

FME står for Feature Manipulation Engine, og er et dataprogram for bearbeiding av stedfestet informasjon som vektor og punktdata. FME er basert på et

modulært brukergrensesnitt hvor man leser inn filer i en ende og setter opp moduler med funksjoner for å gjøre det man ønsker. For bruk av SOSI-formatet i FME brukes en plug-in som heter GDM-Mapper. Denne gjør det mulig å lese inn og bearbeide SOSI-filer. Programvaren gjør det mulig å enkelt sammenlikne datasett og finne hvilke objekttyper som finnes i et eller flere av datasettene.

4.6 Feiltyper

I geodatastandarden oppgis flere former for feil som kan forekomme i FKB-datasett. Kartverk (2001) Blant disse er stedfestningsnøyaktighet, egenskapsnøyaktighet, logisk konsistens, geometrisk konsistens, og konsistens mellom datasett. I tillegg til disse nevnes også fullstendighet.

Stedfestingsnøyaktighet er et mål på hvor nøyaktig registrert objektene er. Egenskapsnøyaktigheten sier i hvilken grad de registrerte objektene gjenspeiler virkeligheten, med hensyn til temakoder. Logisk konsistens sier i hvilken grad objektene oppfyller logikken i standarden. Dette betyr at linjer som møtes i virkeligheten også skal møtes i datasettet. Det er også krav om flatedanning på for eksempel veger. Kartverk (2013b) Dette betyr at alle veger skal kunne registreres som en flate, noe som krever at veger registreres som et lukket polygon. Geometrisk konsistens gjelder for eksempel vann. Et tjern vil ha konstant høyde rundt hele avgrensningen, mens en elv som renner vil ha et monotont fall i den retningen vannet renner, slik at vannet ikke tilsynelatende renner oppover. Det skal i tillegg til dette være konsistens mellom datasett. Det vil tilsi at objekter registreres med samme temakode i alle datasett. Kompletthet vil tilsi hvor mange av objektene i det aktuelle området som er registrert i forhold til hvor mange som skal registreres. Mengden objekter som skal registreres vil variere i forhold til hvilken FKB-standard som skal benyttes.

For at et datasett skal være fullstendig må flest mulig objekter registreres i forhold til standarden som skal benyttes. Det skal heller ikke være overskytende objekter. Det vil si at objekter som er for små, eller ikke er ønsket registrert skal ikke være med. I denne oppgaven vil hovedfokuset være på fullstendighet, stedfestningsnøyaktighet, egenskapsnøyaktighet, kompletthet og konsistens mellom datasett.

5 Metode

Terratec AS skaffet data fra Ski sentrum. Datasettene inneholdt punktskyer fra bilbåren og helikopterbåren laser, i tillegg objekter tolket fra bildataene og et vektordatasett med landmålte data. Disse ble først studert alene, og deretter ble et område valgt ut, hvor FKB-data fra helikopter dataene ble registrert. Via Norge Digitalt ble FKB-data registrert ved hjelp av DFA skaffet. Dette ble brukt som en form for fasit for kompletthet, mens data fra landmåling ble brukt som fasit for nøyaktighet.

5.1 Visuell sammenlikning og matching

For å sammenlikne datasettene ble FME benyttet. Her ble vektordataene lagt oppå hverandre og klippet til slik at bare områder med data fra alle datasettene ble med i beregningene. En visuell sammenlikning ble gjort for å se etter feil og forskjeller som for eksempel forskjellig tolkning av standarden eller forskjell i hvilke objekter som er registrert. Det ble forsøkt å kjøre en matching i FME som sammenlikner punkter og linjer. Matchingen sier om to objekter er like eller ikke innenfor bestemte toleranseverdier. Matching av denne typen ga veldig dårlige resultater av forskjellige grunner. Matchingen tar ikke bare hensyn til koordinatverdier, den krever også at start og slutt punkt for linjene er like, og at linjene inneholder like mange punkter. Det kan settes toleranser for antall punkter per linje, men dette førte ikke til noe vesentlig bedre resultat. Etter å ha visuelt inspisert datasette sammen ble det oppdaget at for eksempelvis fasadeliv i datasettet fra bil kun var registrert en side av bygninger, siden bilen ikke har kjørt helt rundt bygningene og dermed ikke har noe grunnlag til å registrere hele fasaden. En annen grunn til at matchingen feilet er at linjene enkelt og greit ikke matcher.

Det ble vurdert om trær kunne brukes for sammenlikning av nøyaktighet. Bakgrunnen for dette er mengden trær i området som er målt inn med alle metoder. Dette ble forkastet på grunn av forskjellige problemer for registrering av trær i alle metodene. Ifølge FKB-natur info Kartverk (2011a) skal alle svært utpregede enkelttrær på offentlige steder registreres. Altså enkelttrær som utgjør en vesentlig forskjell i terrenget. For eksempel registreres ikke enkelt trær i en skog, men enkelttrær langs en miljøgate skal registreres. I grunnriss skal trær registreres på midten av treet, mens høydereferansen er toppen av trekronen. Dette skaper problemer da det kan være vanskelig å finne den nøyaktige posisjonen til toppen av trekronen. I tillegg er midten av treet relativt diffust og kan variere fra operatør til operatør. Baserer man seg på å registrere punktet hvor stammen treffer bakken slik det gjøres med stolper kan dette gjøre jobben enklere for landmålere og gjør det lettere når laserdata fra bil skal bearbeides. Dette er likevel ikke en entydig god løsning da man ikke kan se midtpunktet i stammen. Man må dermed gjette seg frem til hvor dette punktet er. En landmåler som skal måle inn et tre må dermed velge hvor måleinstrumentet skal plasseres og om koordinatene skal justeres i ettertid for å komme nærmest mulig det ønskede punktet. En slik estimering vil i stor grad påvirke nøyaktigheten og usikkerheten til målingen. Koordinater for landmålte trær er derfor ikke tatt med i beregningene da disse ikke vill kunne hjelpe til å se sammenhengen mellom målemetode og nøyaktighet.

Det kunne også vært interessant å se på nøyaktigheten til fasadeliv siden dette er en av de store forskjellene mellom datasettene og er et av problemområdene ved bruk av fotogrammetrisk registrering. For å gjøre dette ble det forsøkt å bruke innebygde funksjoner i FME. Dette fungerte ikke. Årsaken til dette er at man ikke kan sammenlikne vektorer med for store differanser. Vektorer er ofte

bygget opp av ulik mengde punkter når de er registrert i forskjellige datasett. Dette medfører I tillegg til dette er det ofte vanskelig å avgjøre om to fasade-livsvektorer representerer det samme objektet. Det ville dermed blitt feil å si at en vektor er mindre nøyaktig registrert enn en annen dersom de ikke representerer samme objekt. For å komme rundt manglene ved bruk av FME ble det forsøkt å bruke programvare kalt Gemini. Denne har muligheter for beregning av tverravik på linjesegment. Den nye programvaren hjalp heller ikke da det var særdeles vanskelig å skille ut enkeltvektorer for sammenlikning, og for mange vektorer kunne ikke sammenliknes samtidig. Feilmeldinger i programmet gav også inntrykk av at enkelte filer manglet for å kunne utføre beregningene, men om disse var en del av inputfilene eller programfilene ble aldri avklart. En sammenlikning av vektorene i datasettet ble dermed ikke utført.

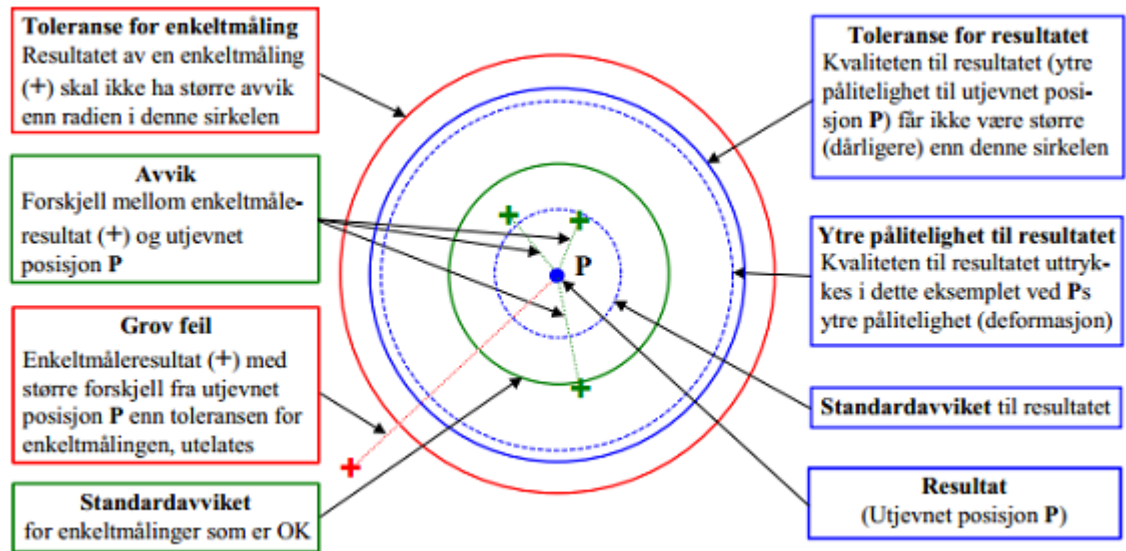
Det er også plukket ut registrerte kummer i området. De valgte kummene er med i de forskjellige datasettene slik at koordinatene kan sammenliknes. Kummer ble valgt ut siden det fantes et relativt stort antall av disse i området. Kummer er godt definert geometrisk, og godt synlig i datasettene vil man kunne anta at nøyaktigheten på disse er høy. Utplukking av kummer ble gjort i FME. Der ble alle kum objekter vist, og punkter som tydelig representerer samme kum i forskjellige datasett ble plukket ut og koordinatene ble satt inn i tabeller.

5.2 Statistisk testing

I oppgaven skal det undersøkes om det er signifikant forskjell i nøyaktigheten til FKB-data generert fra punkttskyer fra helikopterbåren og bilbåren laser. Statistiske hypoteser blir derfor satt opp for å undersøke om forskjellen mellom datasettene er signifikant. I testutførelsen er de landmålte dataene benyttet som en fasit da disse dataene er antatt å være de mest nøyaktige. Testingen er ikke ute etter å finne nøyaktigheten til enkeltmålinger, men sammenlikne de to målemetodene for å se etter forskjeller og i tillegg kunne si om nøyaktigheten ligger innenfor kravene i FKB-standarden.

5.2.1 Grovfeilttesting

For å analysere datasettene er det innledningsvis viktig å detektere grove feil som kan påvirke resultatet. En vanlig og enkel måte å gjøre dette på er å regne ut standardavviket for dataene og deretter sammenlikne residualer med et gitt multiplum av s (Outlier detection). Verdier høyere enn 3 standardavvik vil klassifiseres som en grov feil og utelates fra videre beregninger. $Verdi > 3\sigma$ En alternativ grovfeilttest ved minste kvadraters metode ble utprøvd. Denne gav samme resultat som den enklere testen. Begge metoder fant til sammen fire punkter som ble klassifisert som grove feil. 2 i sammenlikning mellom bildata og landmåling, og 2 mellom helikopterdata og landmåling. (Gjevestad, 2006)



Figur 11: Kvalitetsbegreper for innmålte punkter (Kartverk, 2001)

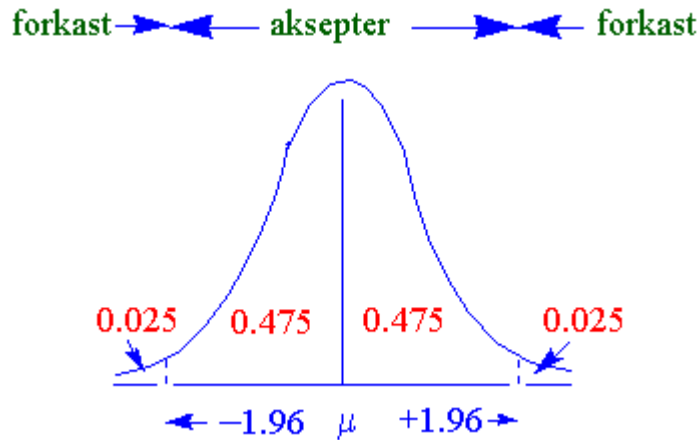
| | H_0 er rett | H_1 er rett |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| Forkaster H_0 | Type I feil | Rett avgjørelse |
| Beholder H_0 | Rett avgjørelse | Type II feil |

Tabell 2: Mulige feil ved hypotesetesting

5.2.2 Hypotesetesting

I statistisk hypotesetesting er det vanlig å sette opp en hypotese som i utgangspunktet blir antatt å være sann. Denne kalles som oftest H_0 eller null hypotesen. Samtidig setter man opp en alternativ hypotese H_1 som vil bli akseptert hvis testene viser at null hypotesen skal forkastes. Ved hypotesetesting har man muligheten til å gjøre to typer feil. Den første og vanligste er en type I feil. Dette forekommer når null hypotesen er rett og likevel forkastes. Den andre mindre vanlige og mer alvorlige feilen er type II feil. Dette forekommer når man beholder null hypotesen, mens den alternative hypotesen er den riktige. Disse feilene kan sammenliknes med hvordan rettsystemet fungerer. Vi ønsker å straffe de skyldige og slippe de uskyldige fri. En type I feil i denne sammenhengen vil være en kriminell som slipper fri. Dette bør absolutt unngås men er likevel bedre enn en type II feil, som vil bety at en uskyldig person straffes. Ved å minimere sjansen for at en type I feil skal forekomme vil sjansen for type II feil øke, og motsatt.

I denne oppgaven vil en test bli brukt for å se om det finnes en statistisk signifikant forskjell i nøyaktigheten til de forskjellige datasettene. Prosedyren for



Figur 12: Student t-test fordeling ved 95% konfidensintervall. (Aarnes, 2011)

hypotesetesting har flere steg.

1. Definer hypotesen som skal testes.

$$H_0 : \mu_x - \mu_y = 0$$

$$H_A : \mu_x - \mu_y \neq 0$$

2. Velg signifikansnivå.

$$\alpha = 0.05$$

3. Beregn teststatistikken.

$$t = \frac{(\bar{x} - \bar{y}) - (\mu_x - \mu_y)}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n} + \frac{s_y^2}{m}}}$$

4. Finn antall frihetsgrader.

$$df = \frac{(\frac{s_x^2}{n} + \frac{s_y^2}{m})^2}{\frac{s_x^4}{n^2(n-1)} + \frac{s_y^4}{m^2(m-1)}} \quad (\text{Avrundes til nærmeste heltall.})$$

5. Finn T-verdien. Tabellverdi(kvantiler i t-fordelingen). Tohaletest.

6. Sammenlikn med hypotesen og konkluder.

$$T > t_{\alpha, \nu}$$

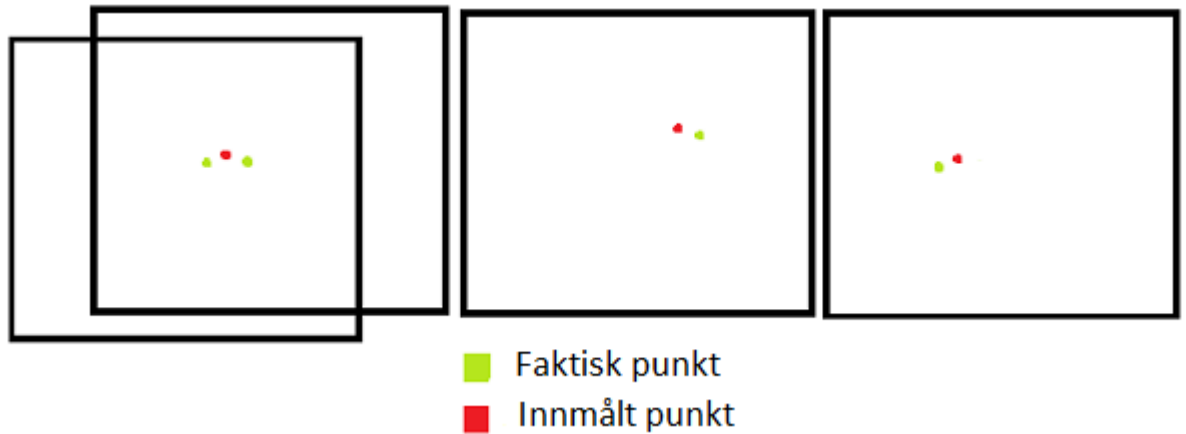
En alternativ test forutsetter at variansene er ulike. For å finne ut om det er denne som burde bli benyttet brukes en F-test.

Hypotesene for en slik test er:

$$H_0 : \sigma_x^2 - \sigma_y^2 = 0 \leftrightarrow \sigma_x^2 = \sigma_y^2$$

$$H_1 : \sigma_x^2 - \sigma_y^2 \neq 0$$

Teststatistikken blir da $F = \frac{s_x^2}{s_y^2}$ Med kritisk område $F > f_{\frac{\alpha}{2}, N_1, N_2}$, hvor N_1 og N_2 er frihetsgradene til



Figur 13: Korrelasjon mellom koordinater ved DFA registrering.

For å lette arbeidsmengden ble denne testen utført i OpenOffice Calc. Her ble funksjonen F-test kjørt. Denne gir ut sannsynligheten for at de to variansene er statistisk signifikant forskjellige.

5.2.3 Korrelasjon

Ved registrering av FKB-data ved hjelp av DFA er det en sterk korrelasjon mellom koordinatene. Dette forekommer fordi høyden simuleres ved å legge to bilder oppå hverandre og deretter forskyve disse i lengderetningen. Dette betyr at en feilregistrert høyde vil påvirke de andre koordinatverdiene. Dette er forsøkt illustrert i figur 13. Her er det skissert to bilder som er lagt på hverandre for registrering. De røde punktene er et punkt som er registrert, mens de grønne viser det faktiske punktet. Ved en liten feil i høyderegistreringen vil dette forplante seg i X og Y.

I den statistiske testingen har koordinatene for komponentene X, Y og Z blitt behandlet for seg selv. Dette forutsetter at korrelasjonen mellom X, Y og Z er liten. For å teste om dette er en riktig antagelse ble det gjennomført en sannsynlighetsratio-test (Likelihood ratio-test basert på de reelle data. For å teste om korrelasjonen mellom koordinatene er signifikant kan man sette opp hypotesene:

$$H_0 : R = I$$

$$H_A : R \neq I$$

Dette testes ved:

$$\Lambda = |R|^{n/2} < C \text{ hvor } |R| \text{ er determinanten til korrelasjonsmatrisen.}$$

Siden $-2\ln(\Lambda)$ er tilnærmet $\chi_{p(p-1)/2}^2$ fordelt kan man skrive om testen til:

$$\text{Forkast } H_0 \text{ dersom } -2\ln\Lambda > \chi_{p(p-1)/2}^2(\alpha) \text{ (Haakonsen, 2005)}$$

6 Resultat

I denne delen vil resultatene fra de forskjellige testene bli presentert. Resultatene vil bli diskutert og tolket i neste del.

6.1 Konsistens mellom datasett

Resultater fra konsistens betraktning av datasettene. Resultatene vises i figur 14 til 21. figur 14 viser en hvordan en rundkjøring er registrert i de to datasettene. Figur 15 viser en oversikt over begge datasett. Disse ville vært ensfarget ved 100% overlapp i datasettene. Figur 16 viser gangfelt registrert på forskjellig måte.

6.1.1 Fasadeliv

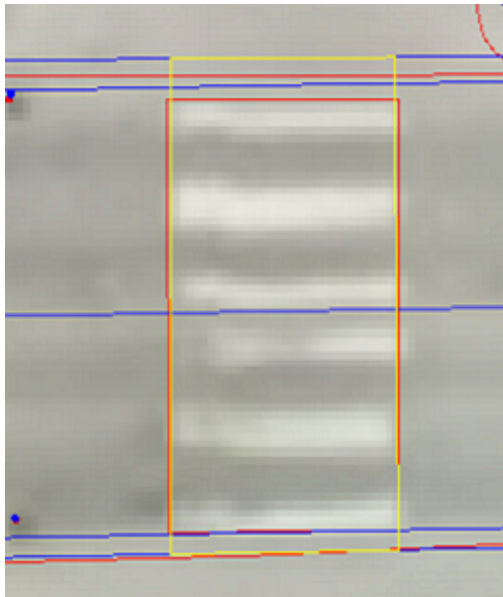
Forskjeller mellom datasettene med hensyn på fasadeliv.



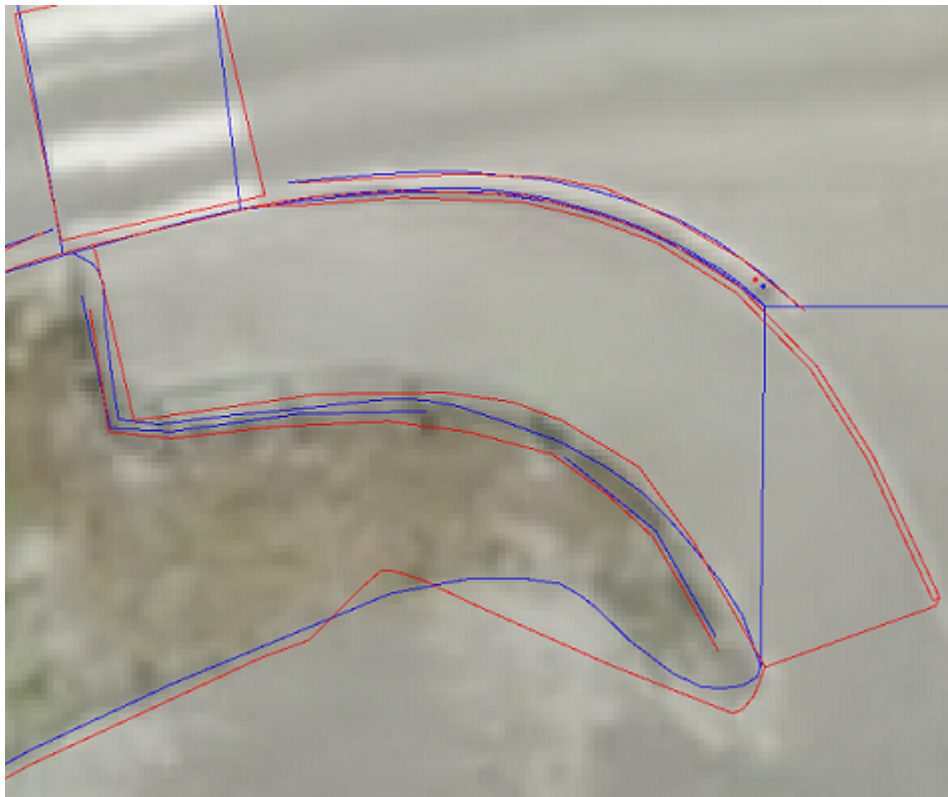
Figur 14: Inkonsistens mellom datasett.



Figur 15: Ensfarvet ved 100 % konsistens



Figur 16: Forskjellig tolkning av gangfelt. Bil markert i gult, Helikopter i rødt.



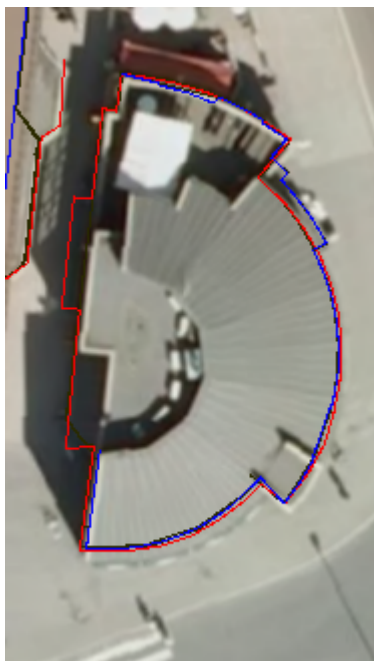
Figur 17: Forskjellig registrering av fortauskant, vegsperring, gjerde, vegskulderkant og vegkantFiktiv. Bil markert i blått, Helikopter i rødt.



Figur 18: Fasadeliv: Bil i blått, Helikopter i rødt, landmålt i svart



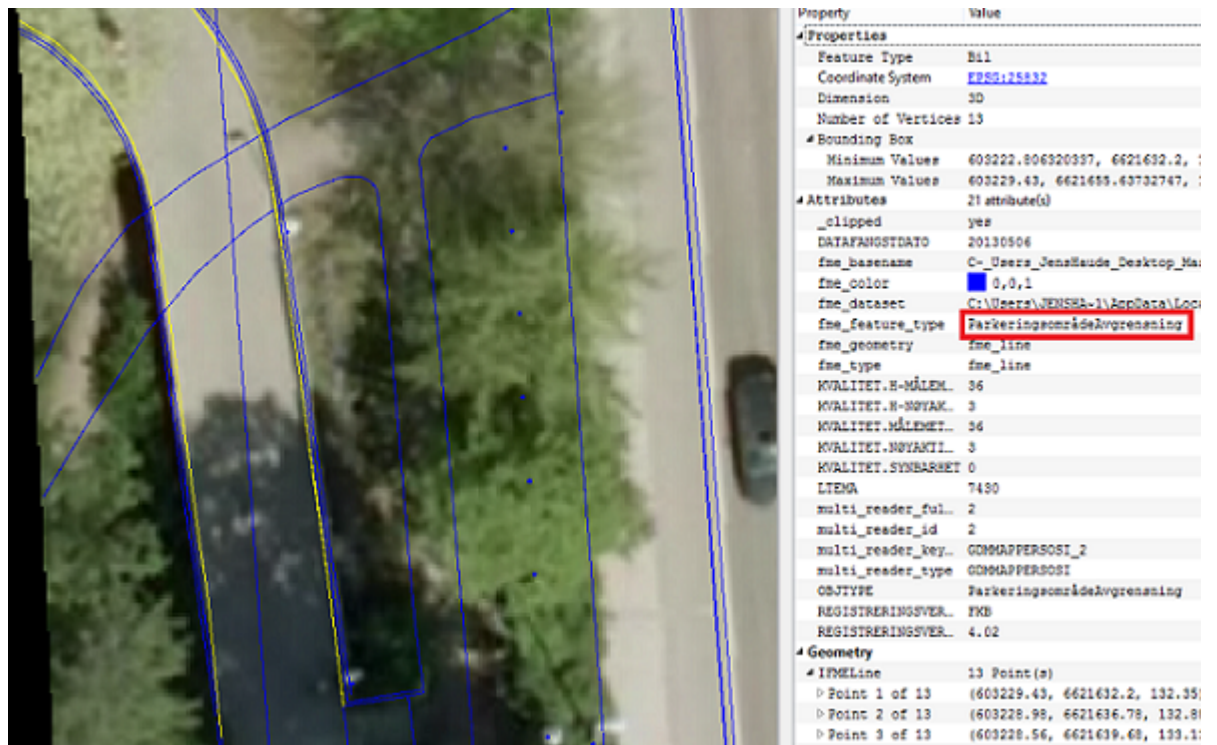
Figur 19: Fasadeliv: Bil i blått, Helikopter i rødt, landmålt i svart



Figur 20: Fasadeliv: Bil i blått, Helikopter i rødt, landmålt i svart



Figur 21: Fasadeliv: Bil i blått, Helikopter i rødt, landmålt i svart



Figur 22: Bro registrert som ParkeringsområdeAvgrensning

6.2 Egenskapsnøyaktighet

Resultater fra betraktning av egenskapsnøyaktigheten datasettene. Resultatene vises i figur 22 og 23.

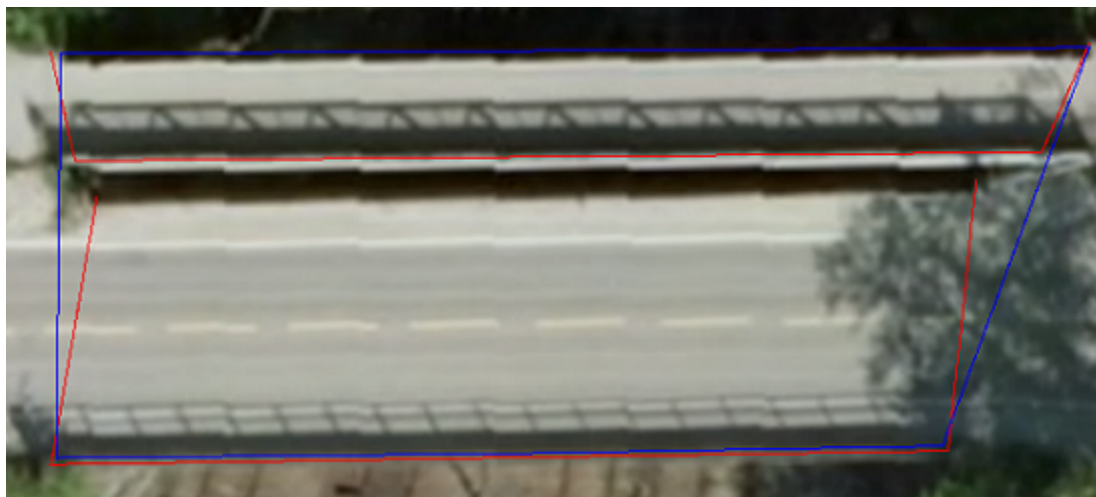
6.3 Stedfestingsnøyaktighet

Resultater fra statistisk testing. I alle T-testene er hypotesene formulert som:

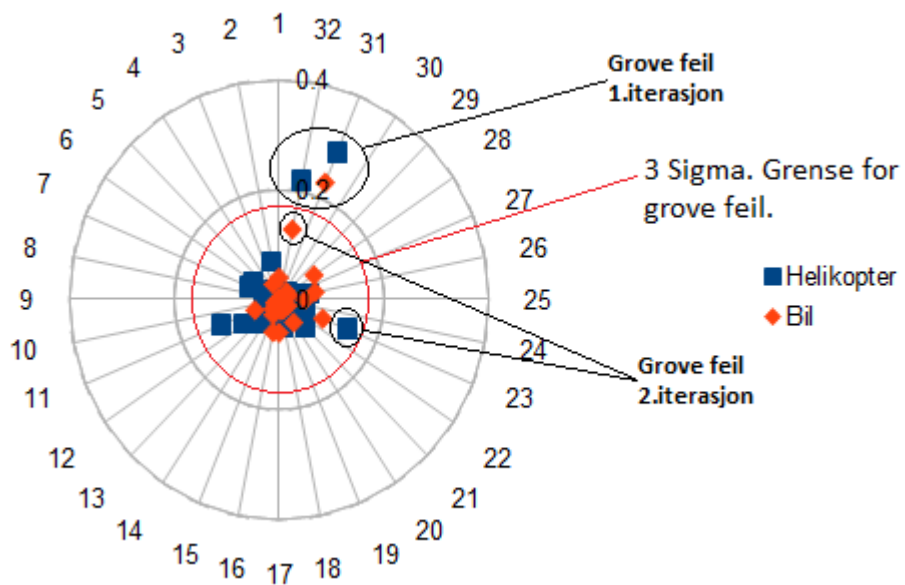
$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0 \Leftrightarrow \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Nullhypotesen sier altså at det ikke er forskjell i nøyaktigheten mellom punktene i helikopterdatasettet og bildatasettet.



Figur 23: Avgrensning av broer gjort på forskjellige måter.



Figur 24: Plot over differanser mellom bil, helikopter og landmålte data, med grense for grove feil. Rød ring markerer 3Sigma før første grove feil er fjernet.

| | | | |
|---------------|---------------|--|-----------------|
| Ftest | 0.145 | 14.5% > 5% H_0 forkastes | |
| | X_h | X_b | n=m=30 |
| Gjennomsnitt | 0.0213333333 | -0.008 | |
| S_x | 0.0478311205 | 0.0363318042 | |
| T_obs | 2.6748525644 | | |
| Frihetsgrader | 54.1064485024 | | |
| TTEST | 0.0098680146 | Sannsynlighetsverdi forbundet med t-test | |
| Tabellverdi t | 2.009 | $ T_{obs} > t_{\alpha,\nu}$ | H_0 forkastes |

Tabell 3: Sammenlikning av bil og Helikopter X

| | | | |
|---------------|---------------|--|-----------------|
| Ftest | 0.186 | 18.6% > 5% H_0 forkastes | |
| | Y_h | Y_b | n=m=30 |
| Gjennomsnitt | 0.0683333333 | -0.0186666667 | |
| S_y | 0.0532452577 | 0.0415005885 | |
| T_obs | 7.0586782633 | | |
| Frihetsgrader | 54.7367171913 | | |
| T-test | 3.094975E-009 | Sannsynlighetsverdi forbundet med t-test | |
| Tabellverdi t | 2.009 | $ T_{obs} > t_{\alpha,\nu}$ | H_0 forkastes |

Tabell 4: Sammenlikning av bil og Helikopter Y

| | | | |
|---------------|---------------|--|-----------------|
| F-test | 0.103 | 18.6% > 5% H_0 forkastes | |
| | Z_h | Z_b | n=m=30 |
| Gjennomsnitt | -0.0036666667 | 0.0457692308 | |
| S_z | 0.0245628446 | 0.0829541115 | |
| T_obs | -3.1297909491 | | |
| Frihetsgrader | 34.0464244893 | | |
| T-test | 0.8954319841 | Sannsynlighetsverdi forbundet med t-test | |
| Tabellverdi t | 2.03 | $ T_{obs} > t_{\alpha,\nu}$ | H_0 forkastes |

Tabell 5: Sammenlikning av bil og Helikopter Z

| | | | |
|---------------|--------------|--|-----------------|
| F-test | 0.077 | 7.7% > 5% H_0 forkastes | |
| | X_h | X_f | n.h= 30, m.f=26 |
| Gjennomsnitt | 0.0213333333 | -0.0042307692 | |
| S_x | 0.0478311205 | 0.0674194676 | |
| T_obs | 1.6133250534 | | |
| Frihetsgrader | 0.2342216638 | | |
| T-test | 0.1137756674 | Sannsynlighetsverdi forbundet med t-test | |
| Tabellverdi t | 12.706 | $ T_{obs} < t_{\alpha,\nu}$ | H_0 beholdes |

Tabell 6: Sammenlikning av Helikopter og Foto X

| | | | |
|---------------|---------------|--|-----------------|
| F-test | 0.050 | 5.0% = 5% H_0 kan ikke for forkastes | |
| | Y_h | Y_f | n_h= 30, m_f=26 |
| Gjennomsnitt | 0.0683333333 | 0.0192307692 | |
| S_y | 0.0532452577 | 0.0779704086 | |
| T_obs | 2.7098957936 | | |
| Frihetsgrader | 43.2074209213 | | |
| T-test | 0.0096129345 | Sannsynlighetsverdi forbundet med t-test | |
| Tabellverdi t | 2.021 | $ T_{obs} > t_{\alpha,\nu}$ | H_0 forkastes |

Tabell 7: Sammenlikning av Helikopter og Foto Y

| | | | |
|---------------|---------------|--|-----------------|
| F-test | 7.008E-006 | 0% < 5% H_0 kan ikke forkastes | |
| | Z_h | Z_f | n_h= 30, m_f=26 |
| Gjennomsnitt | -0.0036666667 | 0.0457692308 | |
| S_z | 0.0245628446 | 0.0829541115 | |
| T_obs | -2.9294620091 | | |
| Frihetsgrader | 28.8002940136 | | |
| T-test | 0.0088612855 | Sannsynlighetsverdi forbundet med t-test | |
| Tabellverdi t | 2.048 | $ T_{obs} > t_{\alpha,\nu}$ | H_0 forkastes |

Tabell 8: Sammenlikning av Helikopter og Foto Z

| | | | |
|---------------|---------------|--|----------------|
| F-test | 0.002 | 0.2% < 5% H_0 kan ikke forkastes | |
| | X_b | X_f | n_b=30, m_f=26 |
| Gjennomsnitt | -0.008 | -0.0042307692 | |
| S_x | 0.0363318042 | 0.0674194676 | |
| T_obs | -0.254804301 | | |
| Frihetsgrader | 37.1397042044 | | |
| T-test | 0.1137756674 | Sannsynlighetsverdi forbundet med t-test | |
| Tabellverdi t | 2.03 | $ T_{obs} < t_{\alpha,\nu}$ | H_0 beholdes |

Tabell 9: Sammenlikning av Bil og Foto X

| | | | |
|---------------|---------------|--|-----------------|
| F-test | 0.001 | 0.1% < 5% H_0 kan ikke forkastes | |
| | Y_b | Y_f | n_b=30, m_f=26 |
| Gjennomsnitt | -0.0186666667 | 0.0192307692 | |
| S_x | 0.0415005885 | 0.0779704086 | |
| T_obs | -2.2207002802 | | |
| Frihetsgrader | 36.8675314319 | | |
| T-test | 0.0325984397 | Sannsynlighetsverdi forbundet med t-test | |
| Tabellverdi t | 2.03 | $ T_{obs} > t_{\alpha,\nu}$ | H_0 forkastes |

Tabell 10: Sammenlikning av Bil og Foto Y

| | | | |
|---------------|---------------|--|-----------------|
| F-test | 6.194E-009 | 0% < 5% H_0 kan ikke forkastes | |
| | Z_b | Z_f | n_b=30, m_f=26 |
| Gjennomsnitt | -0.0036666667 | 0.0457692308 | |
| S_x | 0.0245628446 | 0.0829541115 | |
| T_obs | -2.9294620091 | | |
| Frihetsgrader | 28.8002940136 | | |
| T-test | 0.0065776147 | Sannsynlighetsverdi forbundet med t-test | |
| Tabellverdi t | 2.045 | $ T_{obs} > t_{\alpha, \nu}$ | H_0 forkastes |

Tabell 11: Sammenlikning av Bil og Foto Z

Resultater fra korrelasjonstest:

| | | |
|--------------|---------------|---------------|
| 1 | 0.1390080576 | 0.0174020908 |
| 0.1390080576 | 1 | -0.1614937413 |
| 0.0174020908 | -0.1614937413 | 1 |

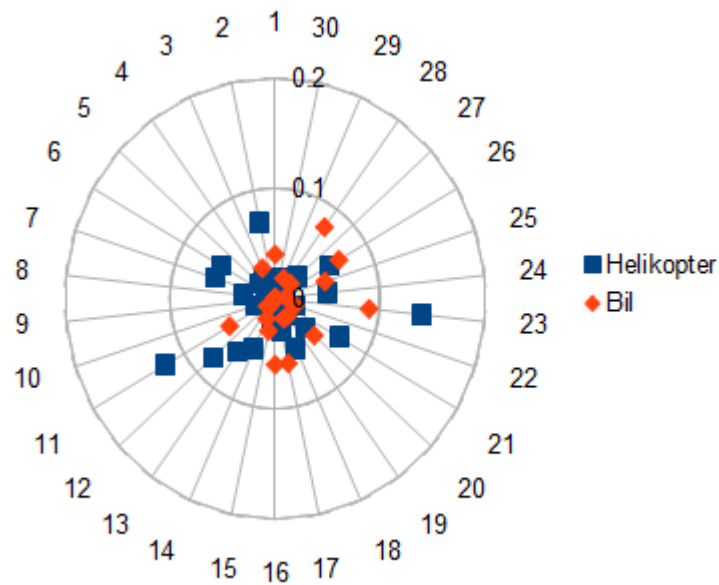
Tabell 12: Korrelasjonsmatrise. Helikopter.

| | | |
|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 0.2726070204 | 0.2557963634 |
| 0.2726070204 | 1 | 0.2992600542 |
| 0.2557963634 | 0.2992600542 | 1 |

Tabell 13: Korrelasjonsmatrise. Bil

| | | |
|--------------|---------------|---------------|
| 1 | 0.2238305666 | 0.2863336681 |
| 0.2238305666 | 1 | -0.0450504243 |
| 0.2863336681 | -0.0450504243 | 1 |

Tabell 14: Korrelasjonsmatrise. Foto



Figur 25: Differanser i X-koordinater, grove feil er fjernet.

Hypotesene:

$$H_0 : \rho = I$$

$$H_A : \rho \neq I$$

Formelen $-2\ln\Lambda > \chi_{p(p-1)/2}^2(\alpha)$ gir da:

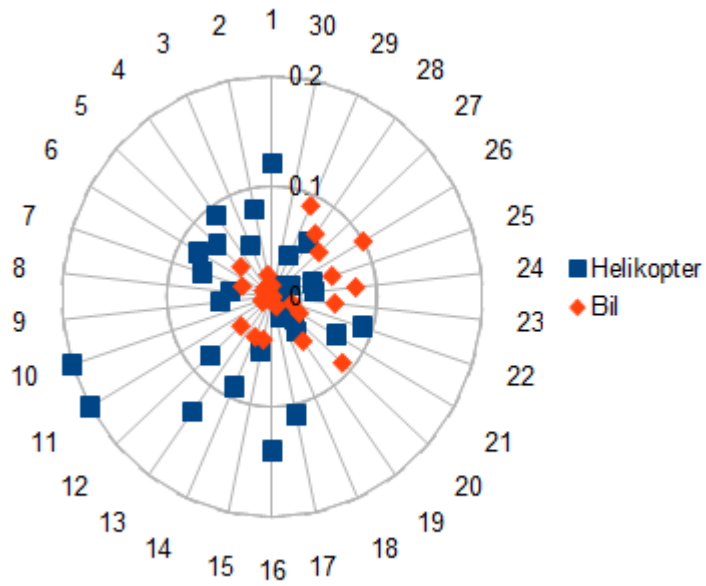
- Helikopter $\Lambda = 0.4896604814$
- Bil $\Lambda = 0.0443417916$
- Foto $\Lambda = 0.1409918388$

Med 3 frihetsgrader og $\alpha = 0.05$ gir formelen $-2\ln\Lambda > \chi_{p(p-1)/2}^2(\alpha)$:

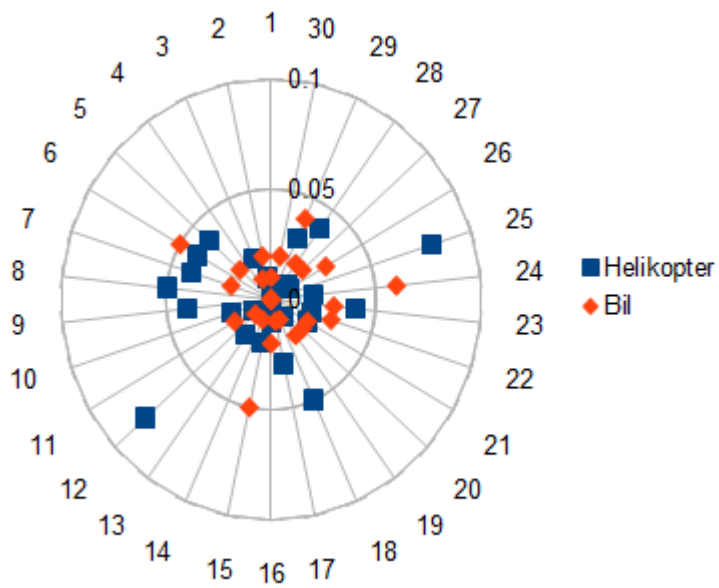
- Helikopter: $1.4280860462 < 7.815$ H_0 Kan ikke forkastes.
- Bil: $6.2316553374 < 7.815$ H_0 Kan ikke forkastes.
- Foto: $3.9181065427 < 7.815$ H_0 Kan ikke forkastes.

6.4 Fullstendighet

Resultater fra kompletthetssammenlikning av datasettene.



Figur 26: Differanser i Y-koordinater, grove feil er fjernet.



Figur 27: Differanser i Z-koordinater, grove feil er fjernet.

| Objekttype | Temakode | Datasett | Analyse |
|----------------------|----------|-----------------|------------------------|
| Vegsperring | 7609 | Lynx(Bil) | Feilregistrering |
| MurLoddrett | 6002 | Lynx(Bil) | |
| Busskur | | ALS(Helikopter) | |
| Stengeventil | 8282 | Lynx(Bil) | Utenfor område |
| VegkantAnnetvegareal | 7022 | Lynx(Bil) | Utenfor område og feil |

Tabell 15: Objekttyper registrert via kun ett datasett



Figur 28: Busskur kun registrert i helikopterdatasettet.

6.4.1 Sammenlikning av temakoder

I FME ble det laget en enkel sammenlikning som kun ser på objekttypene i FKB-dataene generert fra bil og helikopter. Objekttypene som kun fantes i et datasett ble skilt ut.

7 Diskusjon

7.1 Tolkning av standarden

FKB-standardene er under kontinuerlig utbedring for å gjøre språk og logikk mest mulig konsekvent og konsistent slik at det er minst mulig rom for missforståelser.

| Datasett | Antall |
|------------|--------|
| Bil | 79 |
| Helikopter | 72 |
| Foto | 31 |
| Landmålt | 94 |

Tabell 16: Antall punkter registrert som kummer.

Likevel er den så romslig at ting kan tolkes forskjellig. En spesiell utfordring ved dette er at standarden er skrevet av nordmenn for norske forhold, mens stadig mer av arbeidet med nyetablering og vedlikehold av FKB-data blir sendt til utlandet. Gangfeltavgrensning er en objekttype med en veldig enkel forklaring i standarden, noe som åpner for forskjellig tolkning av forskjellige operatører. I datasettene som har blitt undersøkt kommer dette tydelig frem. I FKB-veg er gangfeltavgrensning definert som: Avgrensning av gangfelt. Oppmerket kryssing av veg/gate for fotgjengere. (Kartverk, 2013b) Denne definisjonen er veldig åpen for tolkning noe som fremkommer i datasettene. I helikopterdatasettet er selve gangfeltet, altså sebrastripene blitt registrert med et omsluttende polygon. Dette polygonet henger ikke sammen med resten av vegen. I bildatasettet er hele gangfeltet registrert og koblet sammen med kjørebane-kanten. 16 Ifølge standarden er begge måter å registrere gangfelt riktig da det ikke står spesifisert hvordan dette skal gjøres. Likevel er det meningen at FKB-data skal gjenspeile virkeligheten, og tas dette til følge vil registreringen i bildatasettet være den mest korrekte. Dette kan enkelt beskrives ved at gangfelt er beregnet på å krysse gater. Hvis registreringen fra helikopterdatasettet er korrekt vil man ha et mellomrom mellom gangfelt og gang og sykkelsti. Dette vil da medføre at på kartet vil det se ut som fotgjengere vil måtte hoppe for å krysse gaten. I tillegg til dette skal dataene være grunnlag for lettleste og tydelige kart. Registreringen i bildatasettet er dermed ryddigere og mer logisk konsistent.

7.2 Fullstendighet

For å si noe om fullstendigheten i et datasett er det vanlig å sette opp noen kriterier og sammenlikne disse med hva man finner. Et eksempel på dette kan være hus over en gitt størrelse skal registreres. Man vil da se på prosentandelen av hus over denne størrelsen som er registrert og, antallet hus mindre enn den gitte størrelsen som er registrert. En slik analyse ble ikke foretatt i denne oppgaven. Grunnen til dette er at i datasettene fra laser var kun fasadeliv registrert og ikke takkanter. Dette gjør at det er vanskelig å telle antall hus og sammenlikne antallet man får fra de forskjellige datasettene. Det ble derfor bare gjort en visuell sammenlikning. I denne sammenlikningen ble det ikke funnet noen hus som ikke var registrert. I forhold til andre objekter viser tabell 15 temakoder som bare ble funnet i et av datasettene. Noen av disse var utenfor området hvor helikopterdataene ble registrert, og andre er feilregistrering. Disse kan derfor ikke brukes for å si noe om forskjeller mellom metodene.

Figur 28 viser noe som potensielt er et busskur bare registrert i et datasett. Busskuret kan finnes i begge datasett, så denne mangelen skyldes ikke at den ikke kan sees i et av datasettene.

MurLoddrett er kun registrert i datasettet fra bil. Disse er mulig å visuelt identifisere i laserdataene fra helikopter. Dette kan altså skyldes at det er lettere å identifisere murer i laserskyen fra bil. Dette er likevel vanskelig å avgjøre.

Samtidig som kummer ble plukket ut til statistisk sammenlikning ble det også sett på antallet kummer registrert i de forskjellige datasettene. Tabell 16 viser resultatene fra sammenlikningen av objekttypen kum. Som man kan se er

det et relativt stort sprik mellom de forskjellige datasettene. En del av dette skyldes at en stor gjenstand i området ble registrert i omriss. Objektet er altså registrert med flere punkter. Det ble forsøkt å verifisere hvilket objekt som har blitt registrert, men noe konkret objekt ble ikke funnet. Siden dette objektet ikke nødvendigvis ble registrert med like mange punkter i vert datasett og det er vanskelig å avgjøre hva som egentlig er registrert kan man ikke si at et av datasettene er fasit. Forskjellen mellom bil og helikopterdatasettene kan forklares ved at man ikke kan se enkelte av kummene i punktskyen. Dette kan skyldes at de er i skyggen av trær eller bygninger. I det fotogrammetrisk registrerte datasettet er det funnet færrest punkter. Dette kan skyldes at kummer ikke blir anbefalt registrert i FKB-standarden siden de ofte har dårlig synlighet på flybilder. (Kartverk, 2011b). Kummer blir ofte hentet fra kommunenes VA system.

7.3 Egenskapsnøyaktighet

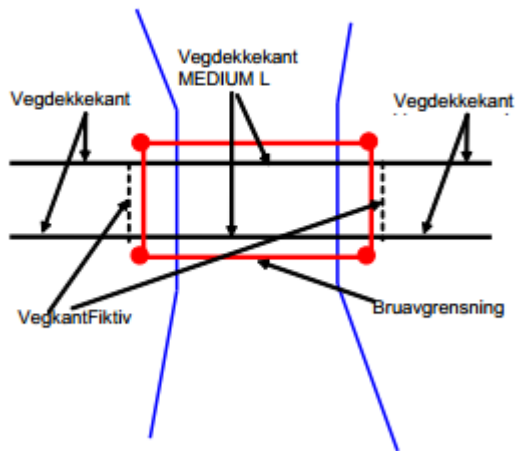
Figur 22 viser en bro hvor broavgrensningen er registrert som parkering. Dette er en åpenbar feil. Broen er ingen parkeringsplass og skal ikke registreres som dette. Siden broen i seg selv er registrert tyder dette på at den er godt synlig og mulig å registrere. Dette er altså en feil som ikke skyldes måten datasettet er registrert.

Ifølge FKB-bygningsmessige anlegg (Kartverk, 2013a) skal brukonstruksjonen avgrensning registreres. Det skal også ta hensyn til at broens utstrekning i lengderetning kan være vanskelig å registrere korrekt. Figur 23 viser inkonskvens i hvordan en bro er registrert. Begge tilfeller er feil i forhold til standarden. I bildatasettet er de to broene slått sammen til én. Dette sørger for at dataene ikke stemmer med virkeligheten. I det andre tilfellet er bare tre av fire sider registrert. Dette vil bli feil da broer skal registreres som lukkede flater.

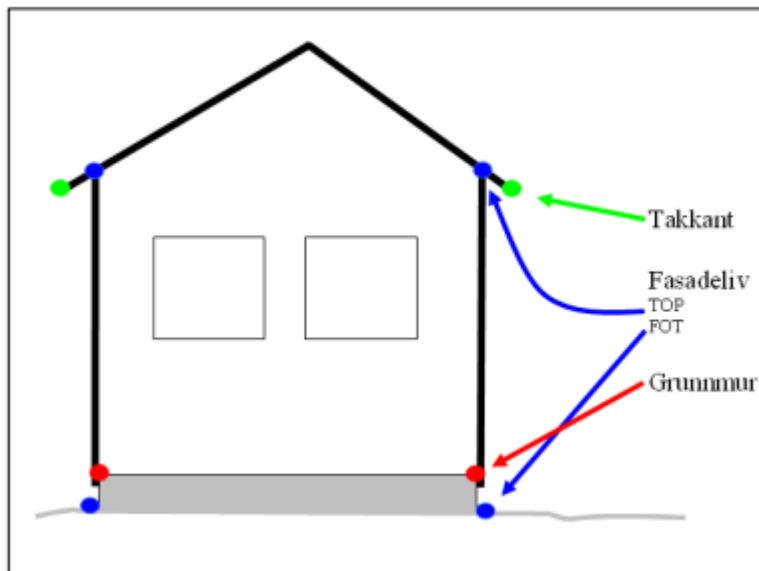
7.4 Konsistens mellom datasett

Figur 15 viser en enkel konsistens sammenlikning. Her er vektordataene fra helikopter og bil lagt oppå hverandre. Ved 100% konsistens ville kun et av datasettene syntes. Det meste av inkonsistensen mellom disse datasettene kommer av fasadeliv. Dette er en objekttype som kan være vanskelig å registrere. Figurene 18, 19, 20, 21 viser forskjellige registrerte fasader. De røde vektorene kommer fra helikopter, de blå fra bil og svarte er landmålte data.

På figurene kan man se en tendens til at vektorene fra helikopterdatasettet ligger lengre ut (nærmere veien) enn de bilen. Dette kan viser en tydelig forskjell i registreringen av fasadeliv. Fra helikopter vil man som ved fotogrammetrisk registrering fugleperspektiv. Dette betyr at man ikke ser mye av vegger. Ofte kan bunnen av vegger sees og dermed kan disse benyttes til å anslå hvordan veggen ser ut ved å trekke en rett linje fra bunn opp til takkant. I figurene ser det ut til at denne metoden er brukt der man ser vegger, og ellers er fasaden registrert sammen med eller beregnet ut ifra takkant. De landmålte vektorene burde kunne brukes som fasit i denne sammenhengen da de har vært på stedet og målt



Figur 29: Illustrasjon av korrekt registrering av broer (Kartverk, 2013a)



Figur 30: Illustrasjon over korrekt registrering av fasadeliv

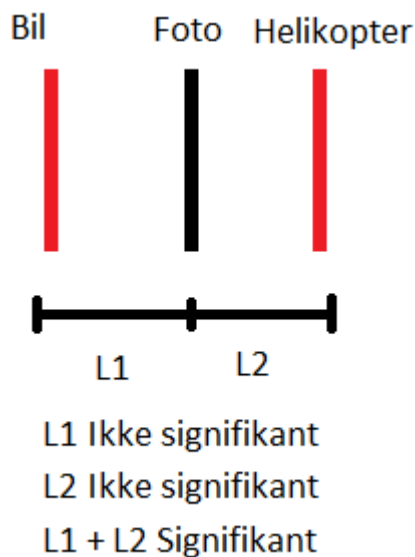
inn fasaden. De har dermed hatt muligheten til å se på bygget og avgjøre hva som er fasaden som skal måles inn. I datasettene er likevel dette vanskelig da de landmålte dataene ikke viser noen konsekvent sammenheng med en av de andre metodene. Uten å grundig studere bilder fra for eksempel Google Streetview eller dra til det aktuelle området og sammenlikne bygningene med datasettene vil det være umulig å si hvilke vektorer som er korrekte. I figurene kan man også se at bildatasettet har en tendens til å være litt mer detaljert. Dette kan skyldes mest sannsynlig at man ser flere av detaljene fra bakken. Dette kan også være en indikasjon på at vektorene fra bildatasettet er korrekte siden detaljeringsnivået kan indikere at de her har hatt noe konkret å gå ut ifra og ikke bare må gjøre en best mulig antagelse. Figur 20 viser en av ulempene ved bruk av bil. Her er kun den ene siden av bygget registrert med bil. Dersom hele bygget skal registreres må altså bilen kjøre rundt hele bygget. Dette kan være problematisk i forhold til smale bakgater og liknende. Dette vil også sørge for at jobben blir en del større. Siden fasadeliv hovedsaklig benyttes i sammenheng med planlegging og kartlegging av gateløp, vil ikke bakgater og bygårder være relevante. (Alsaker, 2014) Figur 17 viser forskjellig registrering av en avkjøring. I bildatasettet er det her registrert vegrekkverk og en vegsperring, mens i helikopterdatasettet er det et gjerde. Det er vanskelig å avgjøre hva som er korrekt av disse. Likevel kan den høyere detaljeringsgraden i bildatasettet tyde på at denne er korrekt da det her bør ligge en begrunnelse for hvorfor det er registrert vegsperring og vegrekkverk. Det er også forskjeller i hvordan selve avkjøringen er registrert. Her følger bildataene den synlige grensen mellom asfalt og gress bedre, mens det i helikopterdatasettet er gjort noen forenklinger. En feil i dette området er linjen som går tvers over avkjøringen. Til høyre ut av bildet. Denne er registrert både som vegkantfiktiv som er korrekt og som vegskulderkant som er feil. For logisk konsistens skal ikke vegskulderkant krysses, mens vegkantfiktiv skal brukes for å gjøre det mulig å flatedanne veger. (Kartverk, 2013b)

7.5 Stedfestingsnøyaktighet

Resultatene fra den statistiske testingen av forskjell mellom helikopterbåren og bilbåren laser finnes i tabell 3 til 5. Resultatene fra F-testene viser at variansene ikke er signifikant ulike. Dette betyr at den opprinnelige T-testen ikke er korrekt å bruke i disse tilfellene. I de andre sammenlikningene tabell 6 til 11, forkastes null-hypotesen og t-testen beskrevet i metodeseksjonen er korrekt å benytte. For å effektivisere arbeidet ble den samme metoden benyttet i alle tilfellene. I sammenlikningen mellom helikopter og bil ble en T-test som antar at $\sigma_x^2 = \sigma_y^2$ og de er ukjente. Disse ga samme resultat som den opprinnelige testen.

For å finne ut om det er riktig å sammenlikne koordinatverdiene enkeltvis ble det gjort en sannsynlighetsratiotest. Resultatene fra denne finnes i resultatdelen. Det ble ikke funnet noen signifikant korrelasjon. Altså er det rimelig å anta at utgangspunktet for t-testen er korrekt.

Tabell 3, 4 og 5 viser at alle nullhypotesene ble forkastet i sammenlikningen



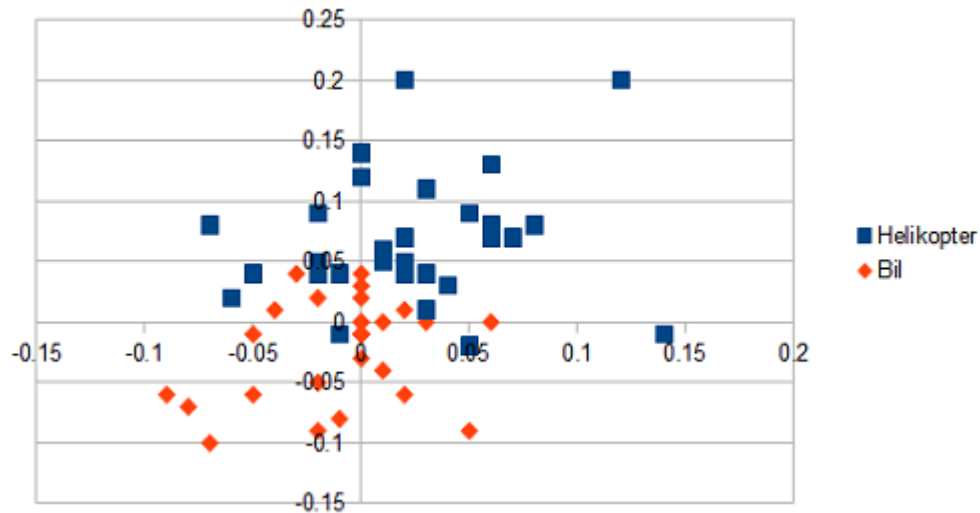
Figur 31: L1 og L2 er ikke signifikante. L1+L2 er stor nok til å utgjøre en signifikant forskjell.

mellom bil og helikopter. Dette betyr at det ble funnet en signifikant forskjell i størrelsen på dataverdiene. Denne testen i seg selv sier ikke hvilken av de to datasettene som er mer nøyaktig enn den andre, det blir her kun påvist en signifikant forskjell.

Sammenlikningen av laserdatasettene med de fotogrammetrisk registrerte dataene gav ikke like entydige resultater. I begge sammenlikningene ble det funnet signifikant forskjell mellom Y og høydeverdiene, mens i X-retning ble ingen signifikant forskjell funnet. Det ble heller ikke funnet noen signifikant korrelasjon mellom koordinatene, som kunne ha påvirket resultatene. Disse resultatene virker litt underlige da hvis det ikke er signifikant forskjell mellom foto og bil, eller foto og helikopter burde det ikke være signifikant forskjell mellom helikopter og bil. Løsningen på dette problemet er illustrert i figur 31. Dersom det ikke er forskjell mellom A og B eller mellom B og C kan fortsatt forskjellen mellom A og C være signifikant. I tabell 17 ser man gjennomsnittlig differanse mellom de landmålte punktene og punkter registrert med laser. Gjennomsnittet ligger her høyere for helikopter punktene enn for bil. Dette tyder altså på at bilpunktene har en signifikant høyere nøyaktighet enn de registrert ved hjelp av helikopter. De fotogrammetrisk innmålte kummene har den dårligste nøyaktigheten. Y-verdiene er nesten identisk med de helikoptermålte punktene, men det er stor forskjell i X og høyde og i alle verdier når de sammenliknes med bil. Dette tyder altså på at man får den dårligste nøyaktigheten med tra-

| | X/N | Y/Ø | Z/H |
|------------|-------|-------|-------|
| Bil | 0.025 | 0.033 | 0.019 |
| Helikopter | 0.040 | 0.071 | 0.025 |
| Foto | 0.053 | 0.059 | 0.070 |

Tabell 17: Gjennomsnittlig differanse (Bil-Landmålt, Helikopter-Landmålt) i absoluttverdier.



Figur 32: Helikopter og bilpunktene i grunnriss. Høyere nøyaktighet og større presisjon i bilpunktene.

disjonell fotogrammetrisk registrering. I figur 25, 26 og 27 er differansene for bil og helikopter plottet sammen. Her kan man se at helikopterpunktene har større differanser enn bilpunktene. Dette er også illustrert i figur 32. Sammenliknes dette med definisjonen av presisjon og nøyaktighet i figur 3, ser man at både nøyaktigheten og presisjonen i bildatasettet er bedre enn i helikopterdatasettet.

For å kunne si noe om hvor gode disse resultatene er må man også se på nøyaktigheten til fasiten. De landmålte punktene har en nøyaktighet på 2.5 cm i grunnriss og 1.414 cm i høyde. Siden nøyaktigheten til de landmålte dataene er mindre enn de beregnede differansene vil restfeilene skyldes unøyaktighet i registreringen av punktene. Feilene ligger også godt innenfor toleranseverdiene i FKB-standarden. Tabell 1. Disse verdiene gjelder for fotogrammetrisk registrering med DFA. Laserskanning er ikke utbredt brukt i registrering av FKB-data og har derfor ingen egne krav til nøyaktighet spesifisert i standarden.

8 Konklusjon

Resultatene funnet iløpet av arbeidet med denne oppgaven tyder på at FKB-data registrert ved hjelp av bilbåren laser, er nøyaktigere og mer detaljert enn FKB fra helikopterbåren laser. Disse resultatene kan skyldes at man ikke kan se fasaden fra luften. Dette er et vanlig problem med registrering av fasadeliv fra flyfoto, og laserskyer fra helikopterbåren laser vil ha samme problem. De landmålte fasadene stemmer delvis med både de fra helikopter og de fra bil. Dette skyldes at en landmåler vil se hele fasaden og dermed kan registrere den korrekt. Likevel vil en landmåler måtte gjøre noen forenklinger for å effektivisere arbeidet. Forskjellen i nøyaktighet skyldes mest sannsynlig en kombinasjon av hastigheten til fartøyet under skanningen, og avstanden fra skanneren til objektet som skal registreres. Matching av punktskyer med landmålte data kan ha forskjøvet resultatene noe. Tabell 22 (Helikopter - Landmålt) og 23 (Bil - Landmålt) kan man se at to av punktene i tabell 23 har 0 i differanse i alle retninger. Dette kan bety at disse har blitt brukt i matchingen. Det er ingen slike punkter i tabell 22. Dette kan tyde på at helikopterdatasettet ikke er blitt matchet på samme måte som bildatasettet.

Det er viktig å påpeke at disse konklusjonene er basert på begrensede datasett. Statistisk vil større datasett være mer gunstig for å få sikrere resultater. I tillegg kan noen av resultatene her være påvirket av de som har registrert vektorene og punktene. Det har blitt avdekket en del feil ved registreringen av dataene. Disse feilene tyder på litt varierende kjennskap til FKB-standarden, selv om den generelle kunnskapen om FKB-registrering er høy.

9 Videre arbeid

For å videreføre dette arbeidet vil det være nødvendig med en mer grundig komplettanalyse. Her bør en fasit være tilgjengelig for å finne i hvilken grad man kan komplettere datasett ved hjelp av laserskanning. Siden kostnad er en viktig faktor og denne er avhengig av tiden det tar å gjøre jobben vil en undersøkelse av tidsaspektet for generering av vektordata i forhold til vektorer fra flyfoto være interessant. For fasadeliv ville en analyse av egenskapsnøyaktighet også være interessant for å undersøke i hvilken grad den registrerte fasaden gjenspeiler virkeligheten. Nøyaktighetsanalysen i denne oppgaven ble gjort med et relativt lite utvalg av punkter. En slik test med et større utvalgt kan være gunstig for å trekke en endelig konklusjon om nøyaktighet. Det kan også være av interesse å undersøke nøyaktigheten til andre objekttyper enn kummer. Det bør også undersøkes hvor stor forskjellen er mellom de forskjellige metodene dersom de har like forutsetninger i forhold til matching og liknende. I datasettene brukt i denne oppgaven er ikke takkanter registrert. Dette er en veldig vanlig datatype som er særdeles utbredt i bruk av FKB-data. En undersøkelse av muligheter for bruk av bilbåren laserskanning for registrering av takkanter kunne dermed være interessant. Dette ville selvfølgelig by på problemer i samme kategori som ved

registrering av fasadeliv, men kan kanskje også avdekke nye muligheter. Det kan også være av interesse å undersøke i hvilken grad de forskjellige metodene kan utfylle hverandre.

10 Referanser

Referanser

- Aarnes, H. (2011).
- Alsaker, R. (2014). Personlig kommunikasjon. Epost.
- Fladby, K.-M. (2012). Er mobile mapping egnet til å komplettere fkb-data og andre objekttyper i byområder.
- George Vosselman, H.-G. M. (2010). *Airborn and Terrestrial Laser Scanning*.
- Gjevestad, J. G. (2006). En introduksjon til referansesystemer og referanserammer. Foredrag Geoforum.
- Haakonsen, T. A. (2005). *Temporal and Spatial Analyses of Continuous GPS Observations*. PhD thesis, NTNU.
- Haakonsen, T. A. (2008). En sekundær kartprojeksjon i norge? *Kart og Plan nr 2*.
- IERS (2010). Iers technical note no. 36.
- Kartverk, S. Produktspesifikasjon for felles kartbase (fkb). <http://www.kartverket.no/Documents/Standard/SOSI>
- Kartverk, S. (2001). Kvalitetssikring av oppmåling, kartlegging og geodata (geodatastandarden). <http://www.kartverket.no/Documents/Standard/Bransjestandarder>
- Kartverk, S. (2011a). Fkb naturinfo. <http://www.kartverket.no/Documents/Standard/SOSI>
- Kartverk, S. (2011b). Produktspesifikasjon for fkb ledning va. <http://www.statkart.no/Documents/Standard/SOSI>
- Kartverk, S. (2012). Ajourhold og nøyaktighet. <http://www.kartverket.no/Kart/Kartdata/Vektorkart/FKB/>. Oppdatert 20.02.13.
- Kartverk, S. (2013a). Produktspesifikasjon for fkb - bygningsmessige anlegg. <http://www.kartverket.no/Documents/Standard/SOSI>
- Kartverk, S. (2013b). Produktspesifikasjon for fkb-veg. <http://www.kartverket.no/Documents/Standard/SOSI>

- Kartverk, S. (2014a). Koordinatbaserte referansesystemer. <http://www.kartverket.no/Documents/Standard/Bransjestandarder>
- Kartverk, S. (2014b). Sosi. <http://www.kartverket.no/Standarder/SOSI/>.
- Lund, S. R. (2013). Posisjonering av vegobjekter i områder med utilstrekkelig gnss-dekning. Master's thesis, NTNU.
- Ording, F. B. (1960). *Landmåling*. Tapir Trondheim.
- Solli, P. (2013). E-post 20.11.13.
- Srihari Narasimham, Ralf-Peter Mundani, H.-J. B. (2006). An octree- and a graph-based approach to support location aware navigation services.
- Statensvegvesen (2014). Nasjonal vegdatabank nvdb. <http://www.vegvesen.no/Fag/Teknologi/Nasjonal+vegdatabank>.
- Technology, C. (2011). Mobile mapping positioning.
- TerratecAS (2009). Målebil med laserskanner. In *Hydrografidagene*.
- TerratecAS (2014). Bilbåren laser. http://terratec.no/bilbaaren_laserskanning/cms/82.

11 Vedlegg

11.1 Tabeller

Tabell 18: Helikopterskannede kummer(1/2)

| X/N | Y/Ø | Z/H |
|-----------|------------|--------|
| 118648.32 | 1191702.38 | 144.87 |
| 118649.37 | 1191716.13 | 144.87 |
| 118662.35 | 1191721.87 | 144.12 |
| 118667.39 | 1191724.08 | 143.97 |
| 118669.74 | 1191726.42 | 143.86 |
| 118687.46 | 1191727.93 | 143.11 |
| 118688.31 | 1191728.51 | 143.12 |
| 118686.45 | 1191718.04 | 143.09 |
| 118709.56 | 1191718.81 | 141.93 |
| 118716.56 | 1191722.41 | 141.68 |
| 118715.86 | 1191722.45 | 141.72 |
| 118715.2 | 1191722.52 | 141.77 |
| 118715.92 | 1191723.08 | 141.73 |
| 118731.66 | 1191708.58 | 140.64 |
| 118753.65 | 1191713.5 | 139.64 |
| 118766.77 | 1191711.12 | 139.04 |
| 118785.96 | 1191709.93 | 138.12 |
| 118791.01 | 1191709.73 | 137.87 |
| 118793.73 | 1191696.32 | 137.84 |
| 118816.34 | 1191714.78 | 136.84 |
| 118890.94 | 1191711.45 | 134.35 |
| 118895.2 | 1191711.75 | 134.24 |
| 118898.24 | 1191716.64 | 134.09 |
| 118905.31 | 1191704.7 | 133.72 |
| 118916.52 | 1191733.99 | 134.31 |
| 118915.31 | 1191735.47 | 134.43 |
| 118931.65 | 1191726.42 | 134.2 |
| 118956.42 | 1191754.02 | 135.06 |
| 118960.48 | 1191755.03 | 135.01 |

Tabell 19: Helikopterskannede kummer(2/2)

| X/N | Y/Ø | Z/H |
|-----------|------------|--------|
| 119024.81 | 1191770.69 | 136.85 |
| 119022.33 | 1191779.04 | 136.65 |
| 119023.61 | 1191779.84 | 136.7 |
| 119024.81 | 1191770.69 | 136.85 |
| 118898.95 | 1191680.62 | 133.33 |
| 118886.56 | 1191674.88 | 133.03 |
| 118899.51 | 1191668.98 | 132.8 |
| 118899.45 | 1191665.72 | 132.41 |
| 118899.85 | 1191664 | 132.38 |
| 118904.28 | 1191602.13 | 131.08 |
| 118891.52 | 1191599.35 | 130.65 |
| 118894.59 | 1191596.91 | 130.63 |
| 118907.71 | 1191595.92 | 130.76 |
| 118894.42 | 1191594.78 | 130.54 |
| 118891.61 | 1191594.05 | 130.54 |
| 118888.86 | 1191589.25 | 130.39 |
| 118899.94 | 1191582.97 | 130.21 |
| 118883.86 | 1191564.33 | 129.55 |
| 118898.2 | 1191557.65 | 129.35 |
| 118882.62 | 1191544.74 | 129.06 |
| 118888.87 | 1191516.66 | 128.32 |
| 118878.5 | 1191512.6 | 128.74 |
| 118881.72 | 1191510.4 | 128.54 |
| 118878.88 | 1191509.1 | 128.69 |
| 118890.79 | 1191509.45 | 128.21 |
| 118881.21 | 1191506.99 | 128.47 |
| 118889.16 | 1191505.33 | 128.28 |
| 118892.59 | 1191505.16 | 128.16 |

Tabell 20: Bilskannede kummer(1/2)

| X/N | Y/Ø | Z/H |
|-----------|------------|--------|
| 118648.43 | 1191702.25 | 144.89 |
| 118649.43 | 1191716.07 | 144.92 |
| 118662.69 | 1191722.3 | 144.13 |
| 118667.42 | 1191724 | 144.01 |
| 118669.67 | 1191726.34 | 143.85 |
| 118687.44 | 1191727.87 | 143.13 |
| 118688.38 | 1191728.5 | 143.14 |
| 118686.51 | 1191717.96 | 143.11 |
| 118709.56 | 1191718.71 | 141.94 |
| 118716.52 | 1191722.3 | 141.7 |
| 118715.85 | 1191722.42 | 141.73 |
| 118715.23 | 1191722.48 | 141.76 |
| 118715.89 | 1191722.94 | 141.85 |
| 118731.71 | 1191708.51 | 140.65 |
| 118753.61 | 1191713.39 | 139.63 |
| 118766.64 | 1191711.07 | 139.04 |
| 118786.03 | 1191709.87 | 138.11 |
| 118791.02 | 1191709.68 | 137.88 |
| 118793.75 | 1191696.22 | 137.84 |
| 118816.32 | 1191714.75 | 136.86 |
| 118890.88 | 1191711.36 | 134.36 |
| 118895.37 | 1191711.56 | 134.24 |
| 118898.21 | 1191716.63 | 134.06 |
| 118905.3 | 1191704.65 | 133.76 |
| 118916.5 | 1191733.79 | 134.33 |
| 118915.19 | 1191735.26 | 134.44 |
| 118931.52 | 1191726.33 | 134.26 |
| 118956.21 | 1191753.83 | 135.05 |
| 118960.43 | 1191754.9 | 135.03 |
| 119024.68 | 1191770.56 | 136.8 |
| 119022.16 | 1191778.88 | 136.66 |
| 119023.51 | 1191779.72 | 136.7 |

Tabell 21: Bilskannede kummer(2/2)

| X/N | Y/Ø | Z/H |
|-----------|------------|--------|
| 119024.68 | 1191770.56 | 136.8 |
| 118898.88 | 1191680.57 | 133.34 |
| 118886.56 | 1191674.88 | 133.03 |
| 118899.57 | 1191668.84 | 132.83 |
| 118899.48 | 1191665.61 | 132.45 |
| 118899.82 | 1191664.03 | 132.44 |
| 118904.43 | 1191602.06 | 131.09 |
| 118891.46 | 1191599.27 | 130.63 |
| 118894.57 | 1191596.75 | 130.59 |
| 118907.71 | 1191595.87 | 130.77 |
| 118894.44 | 1191594.66 | 130.54 |
| 118891.45 | 1191594.08 | 130.47 |
| 118888.82 | 1191589.17 | 130.39 |
| 118900 | 1191583.25 | 130.24 |
| 118883.82 | 1191564.23 | 129.54 |
| 118898.09 | 1191557.64 | 129.35 |
| 118882.62 | 1191544.62 | 129.04 |
| 118888.88 | 1191516.58 | 128.31 |
| 118878.45 | 1191512.59 | 128.73 |
| 118881.62 | 1191510.29 | 128.52 |
| 118879.17 | 1191509.29 | 128.68 |
| 118890.8 | 1191509.33 | 128.15 |
| 118881.11 | 1191506.88 | 128.48 |
| 118889.17 | 1191505.44 | 128.28 |
| 118892.58 | 1191505.08 | 128.12 |

Tabell 22: Differanse (Helikopter-Landmålt)

| deltaX | deltaY | deltaZ |
|--------|--------|--------|
| 0 | 0.12 | 0 |
| -0.07 | 0.08 | -0.01 |
| 0.02 | 0.05 | -0.02 |
| -0.02 | 0.09 | 0 |
| 0.02 | 0.07 | -0.04 |
| 0.06 | 0.08 | 0.04 |
| 0.06 | 0.07 | 0.04 |
| 0.03 | 0.04 | 0.05 |
| 0.01 | 0.05 | -0.04 |
| 0.02 | 0.2 | -0.02 |
| 0.12 | 0.2 | -0.01 |
| 0.08 | 0.08 | -0.08 |
| 0.22 | 0.15 | 0 |
| 0.06 | 0.13 | -0.02 |
| 0.05 | 0.09 | 0 |
| -0.02 | 0.05 | 0.02 |
| 0 | 0.14 | -0.01 |
| 0.03 | 0.11 | -0.03 |
| 0.05 | -0.02 | -0.05 |
| -0.02 | 0.04 | -0.01 |
| 0.04 | 0.03 | 0 |
| 0.07 | 0.07 | 0.02 |
| -0.02 | 0.09 | -0.02 |
| 0.14 | -0.01 | 0.04 |
| -0.05 | 0.04 | -0.02 |
| -0.01 | 0.04 | 0.08 |
| -0.06 | 0.02 | 0.01 |
| 0.03 | 0.01 | -0.01 |
| -0.29 | -0.19 | -0.01 |
| 0.01 | 0.06 | 0.04 |
| 0.02 | 0.04 | -0.03 |
| -0.01 | -0.01 | 0 |

Tabell 23: Differanse (Bil-Landmålt)

| deltaX | deltaY | deltaZ |
|--------|--------|--------|
| -0.04 | 0.01 | -0.01 |
| 0 | 0.02 | -0.02 |
| 0.03 | 0 | -0.01 |
| 0 | -0.01 | 0 |
| 0 | 0.04 | -0.02 |
| 0 | -0.01 | 0.05 |
| 0.23 | -0.12 | 0.04 |
| 0 | 0.03 | 0.02 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | -0.01 | 0 |
| -0.05 | -0.01 | -0.02 |
| 0.01 | -0.04 | -0.01 |
| 0.01 | 0 | 0 |
| -0.02 | 0.04 | 0.01 |
| -0.02 | 0.05 | 0.02 |
| 0.06 | 0 | 0.02 |
| 0.06 | 0 | 0.01 |
| 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| 0.13 | -0.03 | 0 |
| -0.02 | -0.05 | -0.02 |
| 0.05 | -0.09 | -0.02 |
| 0 | -0.03 | -0.02 |
| -0.02 | 0.02 | -0.03 |
| -0.09 | -0.06 | -0.03 |
| -0.01 | -0.08 | 0.06 |
| -0.05 | -0.06 | 0 |
| -0.07 | -0.10 | -0.03 |
| 0 | 0 | -0.02 |
| 0.02 | -0.06 | -0.02 |
| -0.08 | -0.07 | -0.02 |
| -0.02 | -0.09 | -0.04 |

Tabell 24: Differanse (Foto-Landmålt)

| deltaX | deltaY | deltaZ |
|--------|--------|--------|
| -0.02 | 0.03 | 0.01 |
| -0.04 | 0.17 | 0 |
| 0.13 | 0.17 | 0.13 |
| 0 | 0.04 | 0 |
| 0.08 | 0.06 | 0.04 |
| -0.03 | -0.02 | 0.06 |
| 0.02 | -0.02 | 0.02 |
| -0.05 | 0.05 | -0.01 |
| -0.03 | -0.07 | 0.13 |
| 0.01 | -0.01 | 0.16 |
| 0.06 | 0.04 | 0.13 |
| -0.02 | 0.03 | 0.05 |
| -0.05 | 0.14 | -0.12 |
| -0.08 | 0.02 | 0 |
| -0.01 | -0.03 | -0.01 |
| 0.01 | 0 | 0.02 |
| 0.01 | 0.03 | -0.03 |
| 0.05 | -0.02 | 0.02 |
| -0.08 | 0.04 | 0.16 |
| -0.04 | 0.02 | -0.02 |
| 0.07 | -0.09 | 0.19 |
| -0.15 | 0.02 | 0.02 |
| 0.04 | -0.09 | -0.12 |
| 0.09 | 0.16 | 0.18 |
| -0.14 | -0.14 | 0.08 |
| 0.06 | -0.03 | 0.1 |

Tabell 25: Avvik Grunnriss og 3D(Helikopter-Landmålt)

| Avvik Grunnriss | Avvik 3D |
|-----------------|----------|
| 0.120 | 0.120 |
| 0.106 | 0.107 |
| 0.054 | 0.057 |
| 0.092 | 0.092 |
| 0.073 | 0.083 |
| 0.010 | 0.108 |
| 0.092 | 0.100 |
| 0.050 | 0.071 |
| 0.051 | 0.065 |
| 0.201 | 0.202 |
| 0.233 | 0.233 |
| 0.113 | 0.139 |
| 0.266 | 0.266 |
| 0.143 | 0.145 |
| 0.103 | 0.103 |
| 0.054 | 0.057 |
| 0.140 | 0.140 |
| 0.114 | 0.118 |
| 0.054 | 0.073 |
| 0.045 | 0.046 |
| 0.050 | 0.050 |
| 0.099 | 0.101 |
| 0.092 | 0.094 |
| 0.140 | 0.146 |
| 0.064 | 0.067 |
| 0.041 | 0.090 |
| 0.063 | 0.064 |
| 0.032 | 0.033 |
| 0.347 | 0.347 |
| 0.061 | 0.073 |
| 0.045 | 0.054 |
| 0.014 | 0.014 |

Tabell 26: Avvik Grunnriss og 3D(Bil-Landmålt)

| Avvik Grunnriss | Avvik 3D |
|-----------------|----------|
| 0.041 | 0.042 |
| 0.020 | 0.028 |
| 0.030 | 0.032 |
| 0.010 | 0.010 |
| 0.040 | 0.045 |
| 0.010 | 0.051 |
| 0.259 | 0.262 |
| 0.030 | 0.036 |
| 0.000 | 0.000 |
| 0.000 | 0.000 |
| 0.010 | 0.010 |
| 0.051 | 0.055 |
| 0.041 | 0.042 |
| 0.010 | 0.010 |
| 0.045 | 0.046 |
| 0.054 | 0.057 |
| 0.060 | 0.063 |
| 0.060 | 0.061 |
| 0.022 | 0.024 |
| 0.133 | 0.133 |
| 0.054 | 0.057 |
| 0.103 | 0.105 |
| 0.030 | 0.036 |
| 0.028 | 0.041 |
| 0.108 | 0.112 |
| 0.081 | 0.100 |
| 0.078 | 0.078 |
| 0.122 | 0.126 |
| 0.000 | 0.020 |
| 0.063 | 0.066 |
| 0.106 | 0.108 |
| 0.092 | 0.100 |

Tabell 27: Avvik Grunnriss og 3D(Foto-Landmålt)

| Avvik Grunnriss | Avvik 3D |
|-----------------|----------|
| 0.036 | 0.037 |
| 0.175 | 0.175 |
| 0.214 | 0.250 |
| 0.040 | 0.040 |
| 0.100 | 0.108 |
| 0.036 | 0.070 |
| 0.028 | 0.035 |
| 0.071 | 0.071 |
| 0.076 | 0.151 |
| 0.014 | 0.161 |
| 0.072 | 0.149 |
| 0.036 | 0.062 |
| 0.149 | 0.191 |
| 0.082 | 0.082 |
| 0.032 | 0.033 |
| 0.010 | 0.022 |
| 0.032 | 0.044 |
| 0.054 | 0.057 |
| 0.089 | 0.183 |
| 0.045 | 0.049 |
| 0.114 | 0.222 |
| 0.151 | 0.153 |
| 0.098 | 0.155 |
| 0.184 | 0.257 |
| 0.198 | 0.214 |
| 0.067 | 0.120 |