

Posisjonering av vegobjekter i områder med utilstrekkelig GNSS-dekning

Stine Røsjorde Lund

Master i ingeniørvitenskap og IKT

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Trond Arve Haakonsen, BAT

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



Oppgavens tittel: Posisjonering av vegobjekter i områder med utilstrekkelig GNSS-dekning	Dato: 10.06.2013		
	Antall sider (inkl. bilag): 138		
	Masteroppgave	x	Prosjektoppgave
Navn: Stine Røsjorde Lund			
Faglærer/veileder: Trond Arve Haakonsen			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Åsmund Hansen (Statens Vegvesen), Nadezda Sokolova (SINTEF)			

Ekstrakt:

Denne masteroppgaven er blitt skrevet i samarbeid med Statens vegvesen og etter deres ønske om å undersøke laserskanning som en ny metode for posisjonering av vegobjekter. Det er satt nye krav i Statens vegvesens databaser om at alle objekter skal stedfestes med koordinater i UTM-systemet. I dag benytter ikke Statens vegvesen egne landmålere til dette formålet, og vegobjekter i tunnel blir derfor stedfestet med tidligere metoder som ikke oppfyller de nye kravene.

Det har blitt utført et forsøk på to tunneler for å betrakte mulighetene for gjenfinning av vegobjektene, hvilke nøyaktighet som fremkommer og om det lar seg gjøre å implementere laserskanning på Statens vegvesen sine egne biler. Først i forsøket ble det målt inn kontrollpunkter med GNSS for å rette opp forskyvningene i punkttskyen; dette kalles matching. Forsøket gikk ut på å posisjonere vegobjekter i applikasjonen Terrasolid, som ble kjørt i programmet MicroStation.

Resultatene fra forsøket viste at kun 45.7 % av objektene i den ikke matchede og 50.6 % av objektene i den matchede punkttskyen ble gjenkjent. Videre undersøkelser av objektene som ble funnet, viste at begge punkttskyene tilfredsstilte Statens vegvesen sine nøyaktighetskrav på maksimalt 20 cm standardavvik i grunnriss og høyde. Ved bruk av statistisk testing viste det seg at det var en signifikant forskjell i gjennomsnittlig avvik og variasjon på avvikene på den matchede og ikke matchede punkttskyen. I tillegg var brukeropplevelsen en helt annen i den matchede punkttskyen. Hvis Statens vegvesen velger å sette laserskannere på sine egne biler, viser erfaringer fra forsøket at det vil gå med mye tid til gjenfinning av objekter i punkttskyen, med mindre det blir målt inn kontrollpunkter og matchet i ettertid.

Stikkord:

- | |
|-------------------------|
| 1. Laserskanning |
| 2. LiDAR |
| 3. GNSS |
| 4. Bilbåren kartlegging |

(sign.)

Sammendrag

Denne masteroppgaven er blitt skrevet i samarbeid med Statens vegvesen og etter deres ønske om å undersøke laserskanning som en ny metode for posisjonering av vegobjekter. Det er satt nye krav i Statens vegvesens databaser om at alle objekter skal stedfestes med koordinater i UTM-systemet. I dag benytter ikke Statens vegvesen egne landmålere til dette formålet, og vegobjekter i tunnel blir derfor stedfestet med tidligere metoder som ikke oppfyller de nye kravene.

Det har blitt utført et forsøk på to tunneler for å betrakte mulighetene for gjenfinning av vegobjektene, hvilke nøyaktighet som fremkommer og om det lar seg gjøre å implementere laserskanning på Statens vegvesen sine egne biler. Først i forsøket ble det målt inn kontrollpunkter med GNSS for å rette opp forskyvningene i punktskyen; dette kalles matching. Forsøket gikk ut på å posisjonere vegobjekter i applikasjonen Terrasolid, som ble kjørt i programmet MicroStation.

Resultatene fra forsøket viste at kun 45.7% av objektene i den ikke matchede og 50.6% av objektene i den matchede punktskyen ble gjenkjent. Videre undersøkelser av objektene som ble funnet, viste at begge punktskyene tilfredsstilte Statens vegvesen sine nøyaktighetskrav på maksimalt 20 cm standardavvik i grunnriss og høyde. Ved bruk av statistisk testing viste det seg at det var en signifikant forskjell i gjennomsnittlig avvik og variasjon på avvikene på den matchede og ikke matchede punktskyen. I tillegg var brukeropplevelsen en helt annen i den matchede punktskyen. Hvis Statens vegvesen velger å sette laserskannere på sine egne biler, viser erfaringer fra forsøket at det vil gå med mye tid til gjenfinning av objekter i punktskyen, med mindre det blir målt inn kontrollpunkter og matchet i ettertid.

Abstract

This master thesis has been written together with the Norwegian Public Road Administration as a result of their wish to examine laser scanning as a new method for positioning road objects. Today the Norwegian Public Road Administration must meet new demands which state that all road objects in their database must have true coordinates in the UTM-system. The Norwegian Public Road Administration does not have their own surveyors for this purpose, and therefore road objects inside tunnels are positioned with an earlier method that does not fulfill these new standards.

This thesis has examined two tunnels, and the objective has been to recover road objects, check their accuracy and see if it is possible to implement laser scanning equipment on the Norwegian Public Road Administration's own cars. Before this examination a GNSS measurement was conducted to find control points. The control points were used to correct displacement in the point cloud; this is known as matching. The road objects were examined in the program Microstation with the application Terrasolid.

The results showed that only 45,7% of the road objects in the unmatched and 50,6% of the road objects in the matched point cloud were recognized. Further examination of the road objects that were recognized showed that both point clouds satisfied the Norwegian Public Road Administration's demands for maximum 20 cm standard deviation in both plan view and height. When using statistics analysis a significant difference was found in average deviation and variability of deviation in both the matched and unmatched point cloud. In addition, user experience with the match point cloud was remarkably different from the unmatched point cloud. If the Norwegian Public Road Administration now chooses to set up laser scanning equipment on their cars, the results from this study show that it would be time demanding to recognize road objects without measuring in control points that will be used to match the point cloud.

Forord

Denne oppgaven er skrevet i samarbeid med Statens vegvesen og er et resultat av master i Ingeniørvitenskap og IKT, studiespesialiserende Geomatikk ved Norge Tekniske Naturvitenskapelige Universitet, våren 2013. Masterarbeidet er satt til 21 uker, noe som tilsvarer et semester.

Først vil jeg rette en takk til Statens vegvesen for å ha gjort denne oppgaven mulig både ved tilgang til data og veiledning. Jeg vil også rette en takk til Morten Taraldsten Brunnes og Petter Solli, ved TerraTec AS, for opplæring og i Terrasolid. Takk rettes også til Terrasolid for bruk av programvaren.

Til slutt vil jeg rette en stor takk til min hovedveileder, Trond Arve Haakonsen, og medveileder, Åsmund Hansen ved Statens vegvesen, for tett oppfølging gjennom hele masterarbeidet. Jeg har satt stor pris på den gode hjelpen ved praktiske problemer, samt ved teoretisk forståelse.

Innhold

Sammendrag	iii
Abstract	v
Forord	vii
Figurer	xi
Forkortelser	xv
1 Introduksjon	1
1.1 Oppgaven og problemstilling	1
1.2 Oppgavens oppbygning	3
1.3 Avgrensninger	3
1.4 Tidligere arbeid	4
2 Bakgrunn	5
2.1 Nøyaktighetsbegrep	5
2.2 Dagens posisjonering og nøyaktighet	7
2.2.1 Posisjonering av objekter	10
2.3 Bilbåren laserskanning	16
2.3.1 Systembeskrivelse av Lynx Mobile Mapper	16
2.3.2 Forventet nøyaktighet	21
2.3.3 LiDAR	23
2.4 Programvare	25
2.4.1 MicroStation	25
2.4.2 Terrasolid	26
2.5 Statistisk testing	27
2.5.1 Testing	28
3 Forsøk	33
3.1 Innmåling av objekter med GNSS	33
3.1.1 Bakgrunn	33
3.1.2 Område	35

3.1.3	Forberedelser	35
3.1.4	Gjennomførelse	38
3.1.5	Sluttresultat	39
3.2	Posisjonering av objekter med laserdata	40
3.2.1	Bakgrunn	40
3.2.2	Kriterier og Avgrensning	41
3.2.3	Område	42
3.2.4	Forberedelser	42
3.2.5	Innmåling	43
3.2.6	Visning av bilder	46
4	Resultater	49
4.1	Resultater fra forsøk	49
4.2	Sammenligning av punktskyene	52
4.3	Statistisk testing	60
4.4	Feilkilder	62
5	Diskusjon	65
6	Konklusjon	73
7	Videre Arbeid	75
A	Oppgavebeskrivelse	A1
B	Arbeidsvarslingsplan	B1
C	Målerapport	C1
D	Utrekning av avvik	D1
E	Resultater	E1
F	Beregninger av statiske tester	F1

Figurer

2.1	Nøyaktighet og presisjon	6
2.2	Dagens målebil i Statens vegvesen	7
2.3	Prinsippskisse av ViaPPS	8
2.4	Det nasjonale vegreferansesystemet	13
2.5	Indirekte stedfesting	14
2.6	Demonstrasjon av kartlegging med laserskanner	17
2.7	TerraTecs bilbårene laserinstrument	18
2.8	Bilens forskyvning fra reell kjørebane ved bruk av IMU	20
2.9	Lynx Mobil Mapper sine rotasjonsbevegelser	21
2.10	Diskretisert Kalmanfilteralgoritme	22
2.11	Nøyaktighet under dårlig GNSSforhold	23
2.12	Prinsippet til LiDAR	25
3.1	Skannerdata før matching	34
3.2	Skannerdata etter matching	34
3.3	Forsøksområde, GNSS	35
3.4	Innmåling med GNSS	37
3.5	Innmåling av rektangulær kum	38
3.6	Innmåling av sirkulær kum	39
3.7	Forsøksområde, Laserskanning	42
3.8	Før høydejustering av punkt	44
3.9	Etter høydejustering av punkt	44
3.10	Resultatet fra et skann når en bil hindrer sikten til laserskanneren	45
3.11	Synligheten til objektet når punktskyen ikke er matchet	45
3.12	Eksempel på bildevisning i TerraPhoto	47
4.1	Objektnummer 98 med grov feil i x-retning	54
4.2	Objektnummer 126 med grov feil i x-retning	54
4.3	Avvik i x-koordinatene, Ilsviktunnelen	55
4.4	Avvik i x-koordinatene, Skansentunnelen	55
4.5	Avvik i y-koordinatene, Ilsviktunnelen	56
4.6	Avvik i y-koordinatene, Skansentunnelen	56
4.7	Avvik i z-koordinatene, Ilsviktunnelen	57
4.8	Avvik i z-koordinatene, Skansentunnelen	57
4.9	Avvik i grunnriss, Ilsviktunnelen	58
4.10	Avvik i grunnriss, Skansentunnelen	58

4.11 Avvik i 3D, Ilsviktunnelen	59
4.12 Avvik i 3D, Skansentunnelen	59
4.13 Innmålingspunkt	63
5.1 Et objekt i punktskyen før og etter endring av punktstørrelse og fargeskala	68
5.2 Synligheten til objektet med en matchet og ikke matchet punktsky .	68

Tabeller

2.1	Stedfestingsnøyaktighet i FKB	11
2.2	Eksempel på kvalitetskrav i NVDB sin produktspesifikasjon	15
4.1	Tilgjengelige datasett i Ilsviktunnelen	50
4.2	Tilgjengelige datasett i Skansentunnelen	51
4.3	Gjennomsnitt og standardavvik til avvikene og grove feil i forsøket .	53
4.4	Resultatene fra teststatistikken for Students t-test og Fishers test for Ilsviktunnelen	60
4.5	Resultatene fra teststatistikken for Students t-test og Fishers test for Skansentunnelen	61

Forkortelser

DMI	D istance M easuring I nstrument
FKB	F elles K artdatabase
GLONASS	G lobal N avigation S atellite S ystem
GNSS	G lobal N avigation S atellite S ystem
GPS	G lobal P ositioning S ystem
IMU	I nertial M easurement U nit
LiDAR	L ight D etection A nd R anging
NVDB	N asjonalt V egdatabase
RTK	R eal T ime K inematic

Kapittel 1

Introduksjon

Denne masteroppgaven er skrevet i samarbeid med Statens vegvesen, og etter deres ønske om å se på alternative metoder for stedfesting av vegobjekter. I oppgaven blir det undersøkt synligheten til objektene i laserdataene og om posisjoneringen av objektene tilfredsstillende de nye nøyaktighetskravene i NVDB.

1.1 Oppgaven og problemstilling

Statens vegvesen ønsker å undersøke laserskanning som ny metode for posisjonering av vegobjekter. Tidligere, og til dels også nå, ble stedfesting av objekter langs vegen registrert med vegreferanser, som er Statens vegvesen sin gamle metode for å posisjonere objekter langs veg. Dette innebar at en person kunne sitte i bilen med trippeteller og registrere objektene der i fra. I dag har det kommet nye krav i produktspesifikasjonene til NVDB (Nasjonal vegdatabank) om at alle objekter som stedfestes skal ha egengeometri. Det betyr at man må ut av bilen med sanntids-GNSS (Global Navigation Satellite System) for å måle inn posisjonen. Med dagens verktøy kreves det to personer både av sikkerhetsmessige og praktiske årsaker. Dette er en løsning som er tidkrevende for de ansatte og bilen er i større grad en hindring for andre bilister og i flere tilfeller stenges vegen. En annen utfordring er områder hvor det er dårlig GNSS-dekning. Her får ikke

GNSS-roveren inn nok satellitter og hos Statens vegvesen blir det ikke benyttet egne landmålere, som behersker andre innmålingsinstrumenter, til dette formålet. Dermed må Statens vegvesen i områder med utilstrekkelig GNSS-dekning stedfeste objektene med vegreferanse. Dette tilfredsstillers ikke de nye kravene i NVDB.

Som nevnt i innledningen ønsker Statens vegvesen å se på laserskanningen som en mulighet for å stedfeste i tunnel, om det lar seg gjøre å finne igjen vegobjektene i punktskyen og undersøke nøyaktigheten på posisjoneringen. Statens vegvesen er en del av et geodatasamarbeid, Geovekst, og har i tillegg sin egen database, NVDB. Geovekst følger kravene til nøyaktighet fra FKB (Felles kartdatabase) som ”er Norges offentlige kartverk i digitalform” (Mæhlum, 2013). NVDB følger kravene til nøyaktighet som er beskrevet i produktspesifikasjonen til hver objekttype, og er i stor grad sammenfallende med FKB-standarden. For Statens vegvesen er det viktig at nøyaktigheten på innmålte objekter tilfredsstillers kravene satt i produktspesifikasjonene til FKB og NVDB. Tilfredsstillers ikke kravene medfører dette en feilkilde som ikke er ønskelig i Statens vegvesen sine systemer. Men det holder ikke kun at nøyaktigheten er god, hvis det ikke er mulig å gjenfinne objekter.

I denne oppgaven vil det bli sett på gjenfinning av objekter ved bruk av laserskanning i tunnel hvor det er utilstrekkelig GNSS-dekning, og om dette tilfredsstillers Statens vegvesen sine nøyaktighetskrav som posisjoneringsmetode. Oppgaven tar for seg prosessen i sin helhet, fra oppdraget med laserskanning blir utført til det endelige resultatet med innmålte koordinater. Brukervennligheten til programmet og erfaringer er også viktige faktorer som spiller inn. I vedlegg A ligger oppgaveteksten for masterarbeidet.

Opgaven er delt i tre hoveddeler:

1. Gjennomgang av bakgrunnsstoff
2. Praktisk gjenfinning og innmåling av objektene i laserskyen.
3. Undersøke nøyaktigheten på posisjonen til objektene.

1.2 Oppgavens oppbygning

For å undersøke gjenfinning og nøyaktighet på objektene i laserdataene har det hovedsaklig blitt benyttet to former for arbeidsmetoder. Det har vært et teoretisk og et praktisk arbeid. Det teoretisk arbeid har bestått av litteraturstudie, kapittel 2, og analyse av resultatene, kapittel 4. Mens det praktiske arbeidet har blitt delt i to deler, kapittel 3. Den første delen innebar feltarbeid hvor Nidaros Oppmåling målte inn vegobjektene med GNSS og totalstasjon inne i tunnelene. I tillegg ble det målt inn, med bistand fra TerraTec AS, kontrollpunkter utenfor tunnelene med sanntids-GNSS. Disse referansedataene har blitt brukt som fasit i videre sammenlikninger og som kontrollpunkter for matching av punktskyen fra TerraTec AS. Det andre delen som har blitt gjort i den praktiske delen var posisjonering av objekter i applikasjonen Terrasolid. Det ble posisjonert både i laserdata som ikke var matchet og laserdata som var matchet mot kontrollpunktene. Til slutt i oppgaven, kapittel 5 og 6, finnes det en diskusjon og konklusjon etter gjennomført litteraturstudie, forsøk og fremstilling av resultater.

1.3 Avgrensninger

Statens vegvesen ønsker å se på laserdata som en innmålingsmetode i et område med utilstrekkelig GNSS-dekning. Tunnelene Ilsvik- og Skansentunnelen tilfredsstiller dette ønsket og ble derfor valgt. For å få til undersøkelser var det nødvendig med bilbåren laserskanner og programvare for å håndtere resulterende laserdata. Det er flere firmaer i Norge som tilbyr bilbåren laserskanning, men det er kun TerraTec AS som har en bilbåren laserskanner, Lynx Mobile Mapper, i Norge. Etter undersøkelser hos de største norske bedriftene innen laserskanning om hvilke program de brukte, falt valget på Terrasolid. Dette er en applikasjon som kjøres i programmet MicroStation og som er svært omfattende og vil ta tid å sette seg inn i. Det ble derfor valgt å kun se på et prosesseringsprogram for laserdataen.

1.4 Tidligere arbeid

Denne masteroppgaven bygger delvis videre på arbeidet fra prosjektoppgaven som ble utført høsten 2012 (Lund, 2012). Denne oppgaven tok for seg nøyaktigheten til posisjonerte vegobjekter ved bruk av bilder og fotogrammetriske teknikker fra bil som innmålingsmetode i områder med utilstrekkelig GNSS-dekning.

Konklusjonen på prosjektoppgaven var at den fotogrammetriske teknikken tilfredstilte Statens vegvesen sin krav med tanke på spredningen, standardavviket, til innmålingene. Derimot var avviket mellom fasiten og de stedfestede objektene i bildene såpass stort at målingene ble sett på som upålitelige. Den undersøkte innmålingsmetoden kunne være et godt supplement ved gjenfinning og til bruk ved innmåling med dårligere nøyaktighetskrav.

Kapittel 2

Bakgrunn

I dette kapitlet blir det gjennomgått bakgrunnsstoff for å gi leseren et dypere innblikk i teorien som blir brukt senere i oppgaven. Det vil bli tatt opp bakgrunnen for Statens vegvesen sine krav til nøyaktighet, hvordan laserskanning foregår, brukt programvare og statistisk testing.

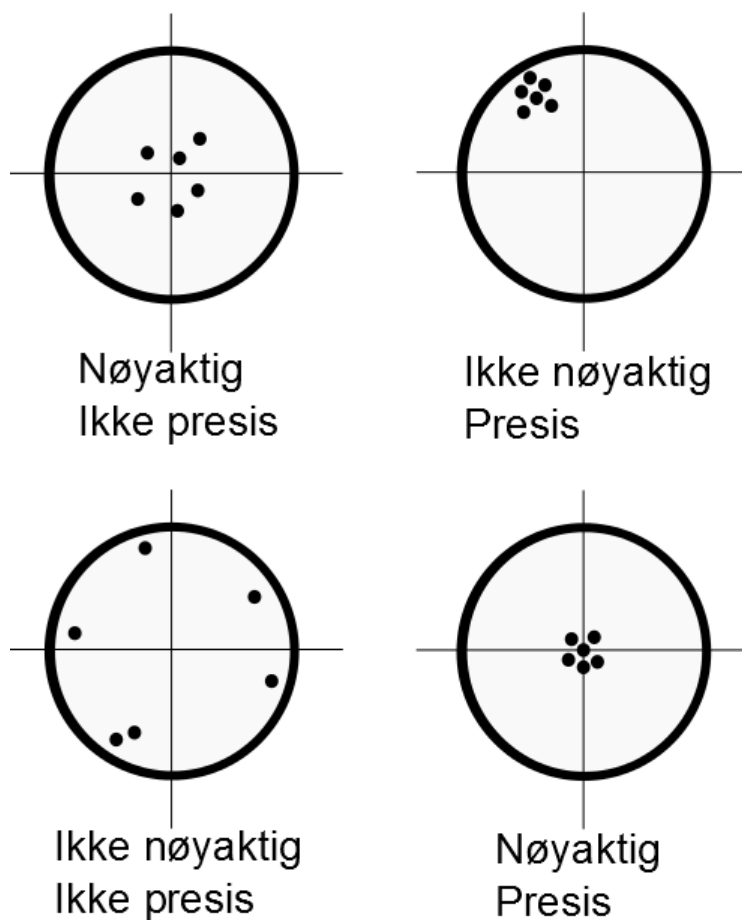
2.1 Nøyaktighetsbegrep

Nøyaktighet er et vidt begrep og brukes i flere sammenhenger. I dette avsnittet forsøkes det å gi en avklaring på hvilke forskjellige situasjoner ordet nøyaktighet blir brukt.

Innmålingene som har blitt gjort av Nidaros Oppmåling blir i denne oppgaven betraktet som fasit. De oppgir selv av at "kvaliteten er bedre enn 10 cm". Av erfaringstall fra tradisjonell landmåling med GNSS og totalstasjon er absoluttnøyaktigheten på 1-2 cm i planet og noe dårligere i høyde med CPOS. I forhold til mobil kartlegging er absolutt nøyaktighet på målingene såpass mye bedre enn resten av målingene i denne oppgaven, slik at disse blir ansett som feilfrie.

Statens vegvesen sine krav til nøyaktighet er knyttet til NVDB og FKB-standardene. De angir standardavvik som nøyaktighetsmål. Dette sier noe om spredningen på målingene og måler kun presisjonen hvis fasiten ikke er kjent.

Videre i oppgaven, hvis ikke annet er nevnt, vil nøyaktigheten definere hvor nærme målt posisjon på objektene i punktskyen er fasiten, altså avviket. Presisjonen defineres av spredningen, standardavviket, til objektene. Ideelt sett ønskes både god nøyaktighet og presisjon. Figur 2.1 illustrer disse begrepene.



FIGUR 2.1: Forskjellen på nøyaktighet og presisjon, basert på (Heywood et al., 2011)

2.2 Dagens posisjonering og nøyaktighet

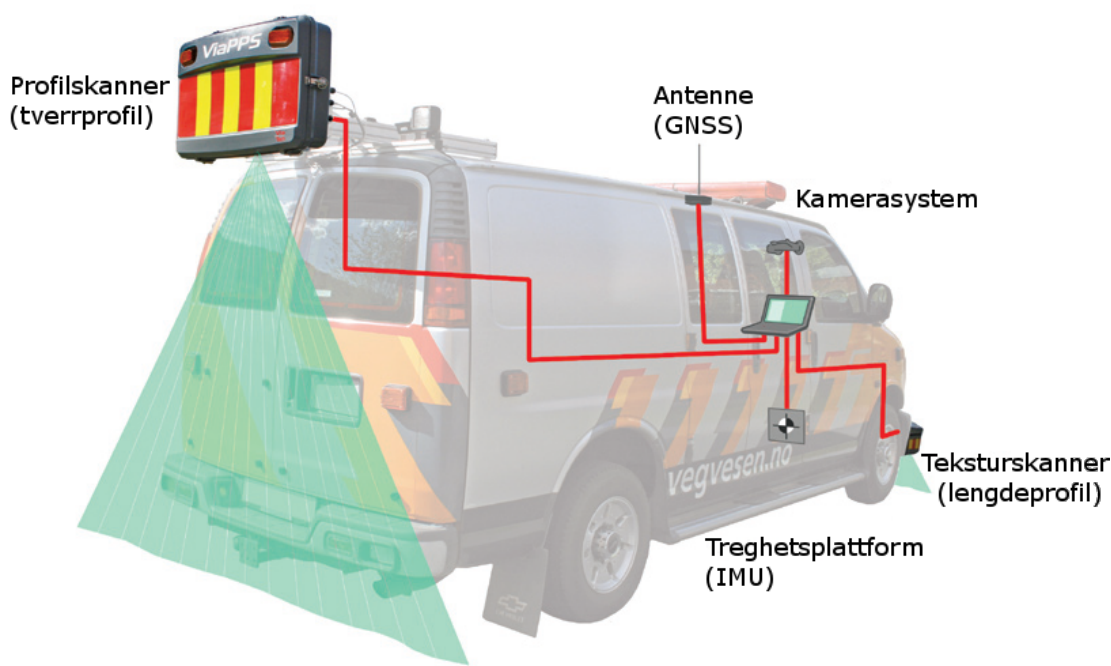
Statens vegvesen som forvaltningsorgan ”har ansvar for planlegging, bygging, drift-
ing og vedlikehold av riks- og fylkesvegnettet” (Samferdselsdepartementet). Statens
vegvesen har 6500 ansatte og er underlagt Samferdselsdepartementet når det gjelder
riksvegene (10 400 km), og underlagt fylkeskommunene i saker som gjelder fylkes-
vegene (44 200 km). ”Statens vegvesen er byggherre for alle plan- og byggeprosjekt
og for drift og vedlikehold på riks- og fylkesvegnettet” (Samferdselsdepartementet,
Statens vegvesen, 2013c).

I dag bruker Statens vegvesen målebiler utstyrt med GNSS for å posisjonere ob-
jekter langs vegen hvor det er tilstrekkelig GNSS-dekning. Programmet VegReg på
datamaskinen er koblet opp til en blåtannantenne som henger i vinduet, GNSS-
mottakeren holdes over ønsket objekt og sender sin posisjon til blåtannen som
igjen legger inn posisjonen til objektet i programmet, figur 2.2.



FIGUR 2.2: Dagens målebil i Statens vegvesen.

I tillegg til målebilene har Statens vegvesen 12 biler som er utstyrt med ViaPPS. Dette er et målesystem som brukes for å dokumentere tilstanden på norske veier. Målesystemet inneholder lasere som skanner tverrprofil og lengdeprofil, posisjoneringssystemer for bilen som inkluderer GNSS og IMU, og to kameraer som tar bilder hver 20. meter (ViaTech AS, 2012). Figur 2.3 viser en prinsippsskisse av bilen. Posisjoneringsutstyret blir beskrevet i kapittel 2.3.1. Disse bilene blir ikke i dag brukt til å måle inn posisjonen til objekter langs veien, men kan potensielt bli det.



FIGUR 2.3: Prinsippsskisse av ViaPPS, basert på (ViaTech AS, 2012)

Det har kommet nye krav i produktspesifikasjonene i NVDB at alle vegobjekter skal registrere med egen geometri (Statens vegvesen, 2013e, Vegdirektoratet, 2010). Dette vil si at hvert enkelt vegobjekt skal koordinatfestes i UTM-systemet, for eksempel med sanntids-GNSS. Et problem er at Statens vegvesen ikke benytter egne landmålere, som behersker andre innmålingsmetoder, til stedfesting av vegobjekter i områder med utilstrekkelig GNSS-dekning. Tidligere ble alle objekter stedfestet via det nasjonale vegreferansesystemet. Personen som skulle måle inn objektet kunne sitte i bilen under hele innmålingen ved å registrere posisjonen ved hjelp

av en trippsteller, dette blir kalt indirekte stedfesting. Dette er fortsatt tilfellet for områder med dårlig GNSS-dekning. Det nasjonale vegreferansesystemet vil bli beskrevet nærmere senere kapitlet.

Med de nye kravene i produktspesifikasjonene i NVDB har det gitt Statens vegvesen to situasjoner som er ønskelig å løse:

1. Områder med utilstrekkelig GNSS-dekning bruker fortsatt indirekte stedfesting på vegobjektene. Dette må gjøres fordi Statens vegvesen ikke har tilgjengelige landmålere som kan utføre posisjonering av objekter ved bruk av alternative innmålingsteknikker.
2. Områder med god GNSS-dekning har blitt mer tidkrevende og kostbart. Det krever to personer som er med i bilen på grunn av sikkerhetsmessige og praktiske årsaker. Den ene personen går ut av bilen bort til objektet som skal stedfestes, mens den andre personen sitter i bilen og styrer datamaskinen som mottar målingene. Det er flere ulemper med denne situasjonen:
 - Bruker lang tid.
 - Kostbart for Statens vegvesen.
 - Går utover sikkerheten til de ansatte og trafikantene.
 - Arbeidsbilen er til hinder for trafikantene i vegbanen, alternativt må vegen stenges under innmåling.

Hvis stedfesting av vegobjekter i områder med utilstrekkelig GNSS-dekning løses, vil det også få til å løse problemene med tid, effektivisering og sikkerhet i områder med tilstrekkelig GNSS-dekning.

2.2.1 Posisjonering av objekter

Når et vegobjekt blir innmålt i regi av Statens vegvesen har de ansvar for å registrere objektes egenskaper i FKB og NVDB (Statens vegvesen, 2013e). Egenskapene til objektene som registreres skal oppfylle nøyaktighetskravene til FKB-B produktspesifikasjon, 20 cm standardavvik i grunnriss og høyde, og produktspesifikasjonen i NVDB, nøyaktigheten her varierer for forskjellige objekttyper.

Felles kartdatabase

Statens vegvesen er en del av et geodatasamarbeid kalt Geovekst. Dette er et samarbeid med flere parter hvor målet er å få et felles sett av geografisk data. Det skal kun bli samlet inn data en gang og bli vedlikeholdt hos Kartverket som har hovedansvaret for dataene i Geovekstsamarbeidet (Kartverket, 2013). Geovekst setter krav til nøyaktighet på innmålingene til FKB-standarden, og det er derfor viktig å oppfylle disse kravene når målingene blir gjennomført. (Kartverket, 1997)

For objekter som ikke har produktspesifikasjon i NVDB, må man følge kravene til stedsfestingsnøyaktighet gitt av klasse 1 i FKB-B standarden. "FKB (Felles kartdatabase) er Norges offentlige kartverk i digitalform" (Vegdirektoratet, 2012b).

Det er spesifisert fire standarder i FKB; FKB-A, FKB-B, FKB-C og FKB-D, disse skal tilfredsstillere behovet kommunene har for felles kartdata i de forskjellige type områder. I de ulike standardene er det forskjellig nøyaktighet både når det kommer til stedfesting og detaljnivå. A-standarden har størst krav til nøyaktighet og detaljering, mens det er minst i D-standarden (Statens vegvesen, 2013d).

I tillegg til FKB-standardene er stedfestingsnøyaktigheten (standardavviket) inndelt i klasser. Klassene representerer hvor synlig objektet er i terrenget. Tabell 2.1 viser denne oversikten. I denne oppgaven er kravet satt til B-standarden, som brukes i områder som er tettbygd eller blandet bebyggelse, utbyggingsområdet og langs europa-, riks- og fylkesveger, og klasse 1, svært veldefinerte detaljer (Statens vegvesen, 2013d).

TABELL 2.1: Stedfestingsnøyaktighet (Statens vegvesen, 2013d)

FKB-Standard		Nøyaktighetsklasse			
		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 ¹	Grunnriss	0.40 m	0.45 m	0.50 m	1.00 m
	Høyde	0.40 m	0.60 m	0.70 m	0.90 m
FKB-C ²	Grunnriss	2 m	2 m	2 m	2 m
	Høyde	2 m	2 m	2 m	2 m
FKB-D	Grunnriss	10-50 m	10-50 m	10-50 m	10-50 m
	Høyde	10-50 m	10-50 m	10-50 m	10-50 m

¹Fotogrammetri

²Digitalisering

Nasjonal vegdatabank

I 2006 ble all veginformasjon i Statens vegvesen samlet i en felles database, Nasjonal Vegdatabank (NVDB). Alle veger i Norge som er mer enn 50 meter eller som tilhører ett nettverk, skal være registrert. NVDB inneholder derfor informasjon om europaveger, riksveger, fylkesveger, kommunale veger, private veger og skogsbilveger (Vegdirektoratet, 2010).

I håndbok 273 - Nasjonalt vegreferansesystem (Vegdirektoratet, 2010) står det: ”Kjernen i NVDB består av følgende hoveddeler :

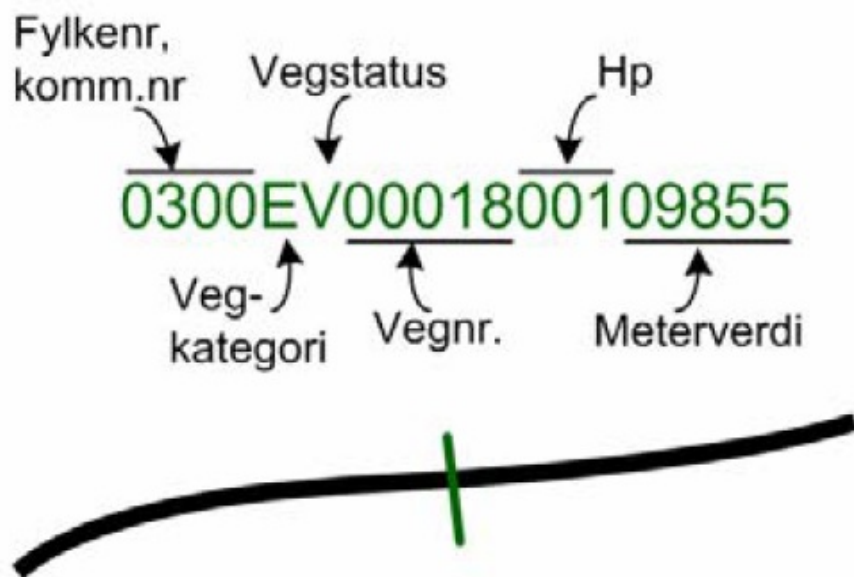
- en grunnleggende nettverkstruktur (basisnett),
- informasjon om vegene og det som befinner seg langs vegene,
- en mekanisme for stedfesting av slik informasjon på basisnett, og
- et sett av datadefinisjoner og regler (datakatalogen²) som angir hvilken informasjon som skal registreres i NVDB, og hvordan den skal registreres.”

Nasjonal vegdatabank brukes som et verktøy for forvaltning, drift og vedlikehold av det offentlige vegnett. NVDB inneholder blant annet opplysninger om vegutstyr, som for eksempel rekkverk, skilt og kummer (Statens vegvesen, 2013a). Det er viktig å ha nøyaktig data i NVDB da dette blir brukt som grunnlag for planlegging, utredninger, prosjektering og bevilgninger (Hansen, 2011).

Krav til innmålte objekter

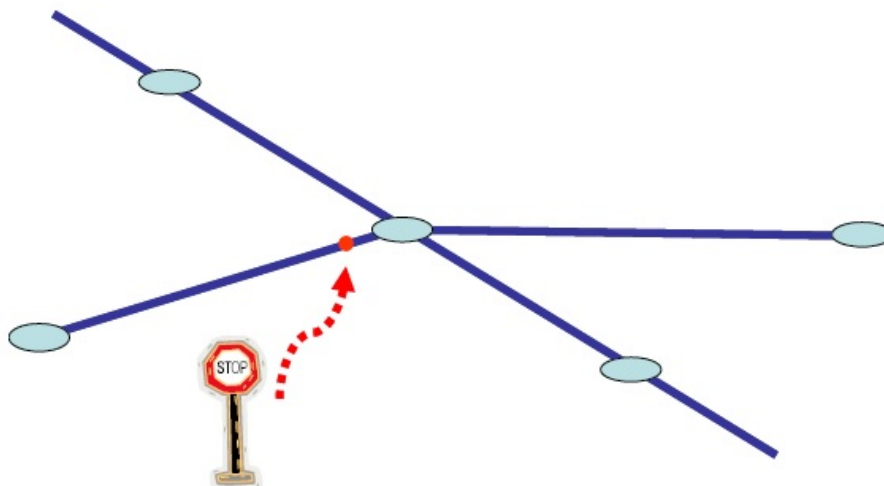
En av vegobjektene attributter er stedfesting. Statens vegvesen stedfester objektene sine på to måter, med “egengeometri” og indirekte stedfesting. Med “egengeometri” menes at objektet har egne UTM-koordinater. Ved indirekte stedfesting posisjoneres vegobjektet med det nasjonale vegreferansesystemet. Det nasjonale vegreferansesystemet bygger på basisnett. Basisnett er strukturen som kobler sammen all veginformasjon i NVDB, og gjengir det fysiske vegnett på en enkel

måte med en node-lenke-struktur. Hver node forstiller et kryss eller enden på en veg, mens en lenke forstiller en vegstrekning. Nodene er stedfestet med et geometrisk punkt og lenken har et geometrisk start- og endepunkt med koordinater i UTM-referansesystemet. I bunn og grunn er vegobjekter som er indirekte stedfestet i vegreferansesystemet knyttet til UTM-koordinatsystemet, men via noder og lenker. Lenkene som representerer vegen er delt inn i parseller (Hp). Det er disse parsellene som brukes ved indirekte stedfesting. I hvert fylke er alle veger delt inn i parseller, hvor den vanligvis starter og ender i ett vegkryss. Hver parsell vil dermed få et nummer som er unikt for det fylket. Innenfor hver parsell er det igjen delt opp i meter, hvor posisjonen er avstanden i meter fra parsellens startpunkt. Figur 2.4 viser et eksempel på posisjonering ved bruk av vegreferansesystemet (Vegdirektoratet, 2010).



FIGUR 2.4: Vegreferansesystemet oppbygning, hentet fra Håndbok 273 (Vegdirektoratet, 2010).

Vegobjektene kan enten stedfestes på en lenke eller en node. Hvis objektet ikke fysisk befinner seg på vegen, men et stykke unna, kan det i egenskapene til objektet angis hvor langt unna vegen det står. Figur 2.5 viser et eksempel på indirekte stedfesting på en lenke (Vegdirektoratet, 2010).



FIGUR 2.5: Indirekte stedfesting av vegobjekt på lenke, hentet fra Håndbok 273 (Vegdirektoratet, 2010).

Med de nye nøyaktighetskravene til stedfestingen av objekter er Statens vegvesen i en prosess hvor de skal spesifisere alle objektene i NVDB sin produktspesifikasjon. Tabell 2.2 viser et eksempel på hvordan kvalitetskravet til skiltpunkt (ID=95) er spesifisert i produktspesifikasjonen. Denne prosessen er ikke ferdigstilt, og i de tilfellene hvor det ikke står spesifisert produktspesifikasjon i NVDB brukes kravene som er oppgitt i FKB-B.

TABELL 2.2: Eksempel på kvalitetskrav i produktspesifikasjon til objektet skilt-punkt i NVDB (Statens vegvesen, 2013b)

Krav nr	Kvalitets-element	Kvalitetsmål	Rel.vegob.t type	Egenskap type	Beskrivelse	Kvalitetsklasse			
						1	2	3	4
134	Fullstendighet, manglende data	Andel manglende data			Alle skiltpunkt skal være registrert	0 %	0 %		
135	Aktualitet	Tidsperiode, forsinkelse			Skiltpunkt skal være oppdatert i NVDB innen angitt frist etter fysisk endring	10 dager	10 dager		
136	Fullstendighet, manglende data	Andel manglende data		Antall fundament	Påkrevd dersom skiltet har fundament	0 %	0 %		
137	Fullstendighet, manglende data	Andel manglende data		Antall oppsettingsutstyr	Egenskapene skal være angitt på alle objekter	0 %	0 %		
138	Fullstendighet, manglende data	Andel manglende data		Fundamentering	Egenskapene skal være angitt på alle objekter	0 %	0 %		
139	Fullstendighet, manglende data	Andel manglende data		Avskjæringsledd	Egenskapene skal være angitt på alle objekter	0 %	0 %		
140	Fullstendighet, manglende data	Andel manglende data		Oppsettingsutstyr	Egenskapene skal være angitt på alle objekter	0 %	0 %		
141	Fullstendighet, manglende data	Andel manglende data		Avstand fra dekkekant	Egenskapene skal være angitt for skiltpunkt som ikke er plassert over kjørebane	0 %	0 %		
142	Fullstendighet, manglende data	Andel manglende data		Høyde over vegkant	Egenskapene skal være angitt dersom det er avvik fra vegnormalenes anbefalt høyder. Nøyaktighet desimeter	0 %	0 %		
265	Fullstendighet, manglende data	Andel manglende data		Kampanjetype	Påkrevd dersom tilrettelagt for kampanjeskilt	0 %	0 %		
300	Fullstendighet, manglende data	Andel manglende data		Eier	Angis der det avviker fra vegeier	0 %	0 %		
311	Fullstendighet, manglende data	Andel manglende data		Vedlikeholds-ansvarlig	Angis der det avviker fra vegeier	0 %	0 %		
312	Fullstendighet, manglende data	Andel manglende data		Geometri, punkt	Alle objekter skal være stedefestet med egegeometri	0 %	0 %		
313	Absolutt stedefestingsnøyaktighet	Middelverdi av feil i stedefestingsnøyaktighet		Geometri, punkt	Krav til posisjonsnøyaktighet	10 cm	10 cm		
314	Konseptuell konsistens	Andel objekter med avvik fra regler i det konseptuelle skjemaet	Skiltplate		Der det er registrert kampanjeskiltplater, må skiltpunktet ha verdier på type kampanje	0 %	0 %		
741	Fullstendighet, manglende data	Andel manglende data		Bøyle	Bøyle skal være angitt dersom Ja	0 %	0 %		

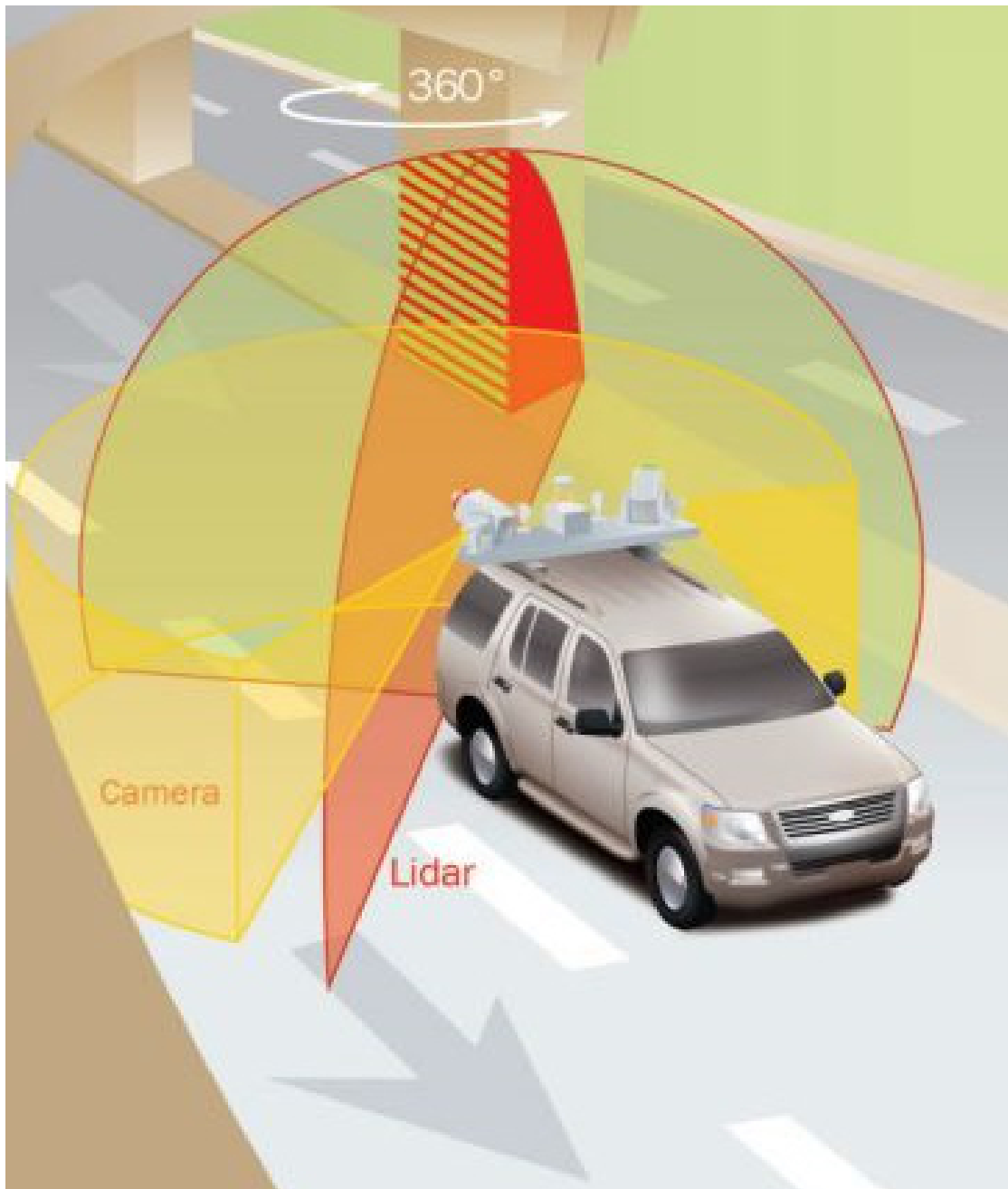
2.3 Bilbåren laserskanning

Bilbåren laserskanning er en form for mobil kartlegging og i denne oppgaven innebærer det en laserskanner integrert på et kjøretøy. Denne formen for kartlegging gjør det mulig å få en detaljert punktsky med god nøyaktighet, i tillegg til at det dekker store områder på relativt kort tid. Avhengig av applikasjonen kan mobile kartleggingssystemer inkludere mange forskjellige sensorer, typisk vil det bestå av blant annet kameraer, GNSS, treghetsnavigering og høy oppløsning LiDAR (Optech Incorporated, 2013a).

Automatiske tilbakeføringsmetoder for objektinnsamling har blitt mer og mer viktig de siste årene. Ved siden av automatisk bildematching har laserskanning, også ofte kalt LiDAR, revolusjonert innsamling av 3D-data for både topografiske objekter og objekter målt på nært hold (Pfeifer and Briese, 2007). I kontrast til de "klassiske" manuelle datainnsamlingsmetodene, som terrestrisk oppmåling og analytisk fotogrammetri, hvor det kreves en manuell tolkning for å lage en fremstilling av objektene, tillater disse nye automatiske opptaksmetodene en tett og automatisk punktsky av objektoverflatene innen en kort tid (Pfeifer and Briese, 2007).

2.3.1 Systembeskrivelse av Lynx Mobile Mapper

Lynx Mobile Mapper er TerraTec AS sin bilbårene laserskanner. Bilen har montert to laserskannere som peker hver sin retning, de har begge et 360°-synsfelt for å best mulig dekke området, se figur 2.6. Sensorene på laserskanneren er i stand til å registrere opp til 200.000 laser pulser per sekund (TerraTec AS, 2013). Dette er en repetisjons hastighet som gir en svært tett konsentrasjon av laserpunkter på det undersøkte området og resulterer i høyoppløselige 3D-georefererte romlige data (Richman and Hogarth, 2010).



FIGUR 2.6: Demonstrasjon av full 360° karlegging, hentet fra Optech Incorporated (2013b).

I tillegg til laserskannerne har bilen montert fire kameraer som tar bilder, to som peker fremover og to bakover, og et videokamera som er montert i frontruta. Både bildene og videoen er georefererte og kan brukes til orientering mens man jobber med laserdataene. Figur 2.7 viser bilen montert med utstyr.



FIGUR 2.7: TerraTecs bilbårene laserinstrument hentet fra TerraTec AS (2013).

Navigasjonssystem

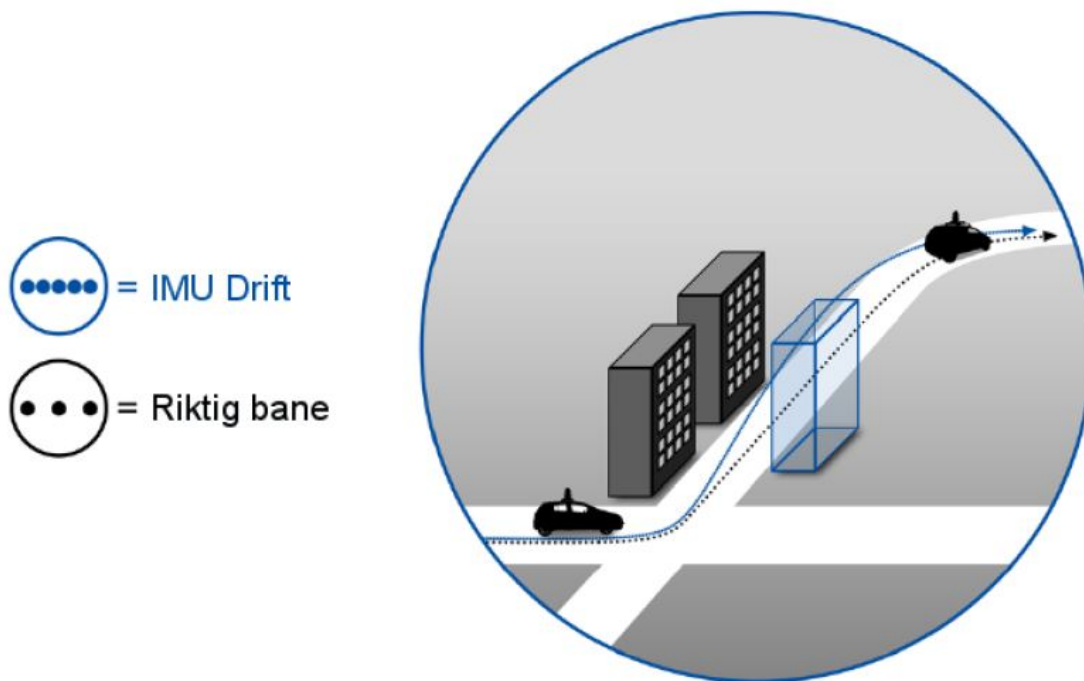
For å vite bilens posisjonen er den utstyr med et navigasjonssystem som inneholder GNSS, IMU, DMI (TerraTec AS, 2013).

GNSS er en samlebetegnelse for de systemene som gir en tredimensjonal posisjoneringsløsning med avstandsmåling ved hjelp av radiosignaler som overføres fra banesatellitter (Groves, 2008). Det er i dag kun to systemer som er fullt globalt

operative GNSSer. Den mest kjente er GPS (Global Positioning System), som eies og drives av den amerikanske regjeringen, og den russiske GLONASS (Global Navigation Satellite System). Kina bygger BeiDou navigasjonssatellittsystem som er planlagt å være operativt over hele verden i 2020 (BeiDou Navigation Satellite System, 2013). Det samme gjelder Europa sitt globale posisjoneringssystem Galileo som også skal være ferdigstilt i 2020 (European Space Agency, 2013).

Under vanskelige forhold, som for eksempel tunnel eller by, kan GNSSmottakeren miste kontakten med flere av satellittene og kvaliteten på målingene med GNSS vil synke (Cyclomedia Technology B V, 2011). Dette fører til at andre posisjoneringsmetoder må brukes.

Inertial Measurement Unit(IMU) er en tregheitsplattform som måler bilens bevegelser (ViaTech AS, 2012). En IMU kan brukes til å bestemme både posisjon og orientering av et objekt. IMUen består av tre akselerometre og tre gyroskoper som gir tre akselerasjon og tre vinkelhastighet komponenter. Siden unøyaktigheter i en IMU, som støy, linearitet, bias og forsterkningsfeil er tatt hensyn til i integrasjonsprosessen, er denne metoden en god posisjon og orienteringsestimator for en kort periode. Denne metoden holder ikke mål etterhvert som tiden går (Won et al., 2010). Under dårlig GNSSforhold får IMU ofte forskyvning fra reell kjørebane. Det vil si feil i målingene, selv om det er små feil, vil det bli akkumulert fra punkt til punkt. Dette resulterer i økende forskjell på hvor systemet tror det er og hvor det faktisk befinner seg, figur 2.8 (Cyclomedia Technology B V, 2011).

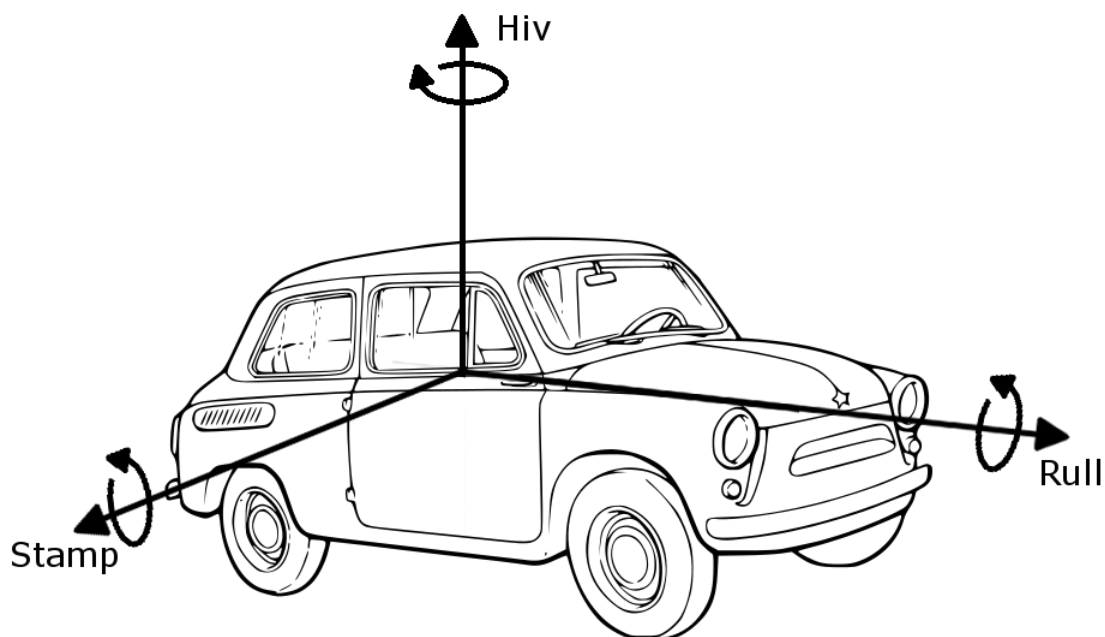


FIGUR 2.8: Bilens forskyvning fra reell kjørebane ved bruk av IMU, basert på Cyclomedia Technology B V (2011)

Distance Measuring Instrument (DMI) er en ekstern sensor som er koblet til det ene hjulet på bilen. Den sender ut pulser som representerer brøkdeler av omdreininger av hjulet. Systemet konverterer disse pulsene til inkrementell avstand og summerer disse pulsene for å gi et mål på avstanden tilbakelagt av kjøretøyet (Geng et al., 2006). DMI er inkludert i Lynx Mobile mapper sitt system for å støtte opp under posisjonsberegningene ved dårlige GNSS- og IMUforhold.

Det integrerte GNSS-systemet sporer nøyaktig kjørebane til bilen i området som skannes. Det innebygde treghetsnavigeringssystemet bearbeider informasjonen fra GNSSen, og tar hensyn til selve posisjonen og rotasjonsbevegelsene, hiv (eng:*heading*), rull (eng:*roll*) og stamp (eng:*pitch*), til sensorene i bilen mens den kjører (Richman and Hogarth, 2010). Hiv er rotasjon rundt z-aksen, rull er rotasjon rundt x-aksen og stamp er rotasjon rundt y-aksen. Figur 2.9 viser bilens rotasjonsprinsipper. Kombinasjonen av posisjoneringsutstyrene GNSS og treghetsnavigering gir en nøyaktighet på ± 5 cm og en romlig oppløsning på opptil 1 cm ved skanning

med hastigheter på opp til 100 km/t under gode GNSS-forhold (Richman and Hogarth, 2010).

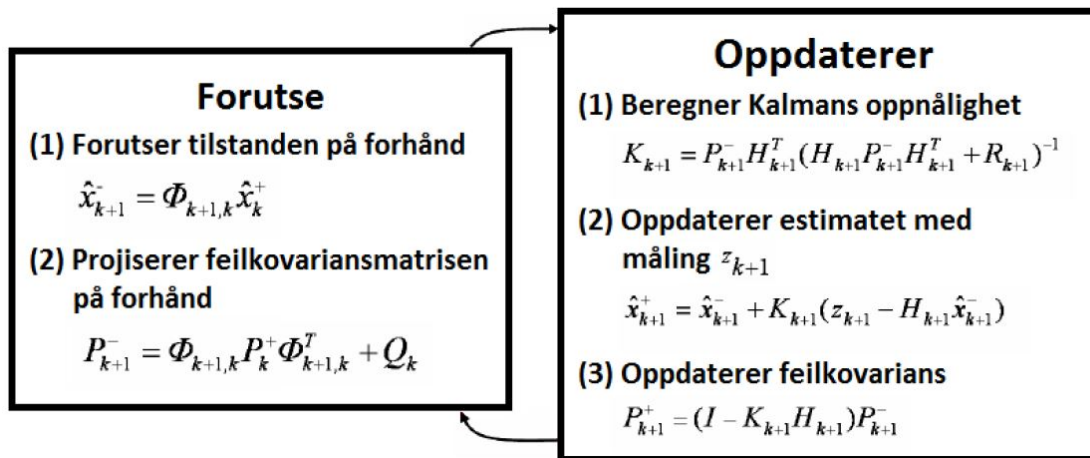


FIGUR 2.9: Lynx Mobil Mapper sine rotasjonsbevegelser, basert på Molumen (2006) og Chen and Lipps (2000) .

2.3.2 Forventet nøyaktighet

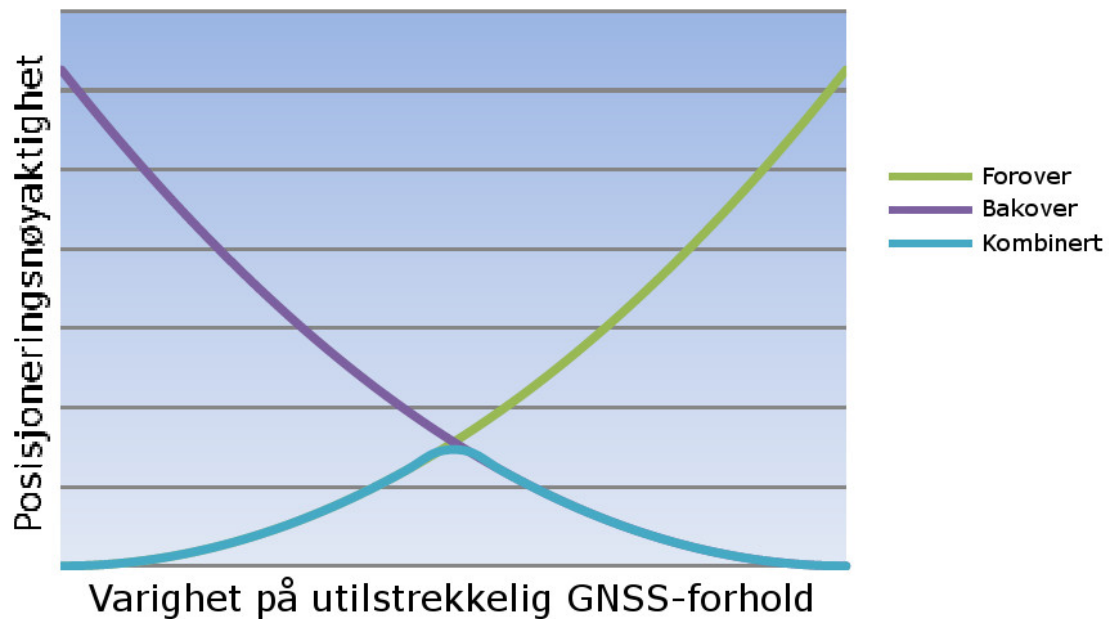
For å oppnå mest mulig nøyaktig posisjonerings- og orienteringsinformasjon blir det gjennomført beregninger på bilens bane, ved bruk av råmålinger som oppnås direkte fra posisjoneringssensorene GNSS, IMU og DMI. I beregningsprosessen blir det kombinert rådata fra alle sensorene i bilen og fra referansestasjonene (Cyclomedia Technology B V, 2011).

Kalmanfilter er en rekursiv algoritme som bruker en serie av prediksjoner og måleoppdateringer for å oppnå et optimalt estimat av en tilstandsvektor som har minimal varians (Godha, 2006). Figur 2.10 er basert på (Godha, 2006) og viser en kort oppsummering av diskretisert Kalmanfilteralgoritmen steg for steg.



FIGUR 2.10: Diskretisert Kalmanfilteralgoritme, basert på (Godha, 2006)

Med Kalmanfilter blir baneberegningene gjennomført to ganger, en forover- og en bakoverutjevning. På grunn av IMU vil posisjonsnøyaktigheten avta under langvarige forhold med utilstrekkelige GNSSsignaler, det vil si jo lengre inn i tunnelen man kommer. Ved å i tillegg beregne bakover når man kommer ut av tunnelen vil nøyaktigheten også avta bakfra. Beregninger med vektete gjennomsnitt av disse to banene resulterer i en høyere nøyaktighetsbane under dårlig mottak av GNSS-signaler. Figur 2.11 viser forventet nøyaktighet under dårlige GNSSforhold ved bruk av forover og bakover Kalmanfilter (Cyclomedia Technology B V, 2011).



FIGUR 2.11: Nøyaktighet under dårlig GNSSforhold (Cyclomedia Technology B V, 2011)

Siden nøyaktigheten til laserskannerinstrument kun er av størrelsesorden noen få centimeter, er den totale nøyaktighet til et integrert mobilt LiDAR system ofte bestemt av nøyaktigheten til navigasjonsløsningen. (Puente et al., 2011).

2.3.3 LiDAR

LiDAR (Light Detection and Ranging) er kombinasjonen av laser og et mottaker-system (Optech Incorporated, 2006). LiDARteknologi blir brukt i mobil kartlegging fordi LiDAR kan opprettholde høy nøyaktighet og oppløsning fra en raskt bevegelige plattformer. Raske og nøyaktige lasere i kombinasjon med høyhastighetsskannere som dekker store områder gjør at LiDAR har svært rask målehastighet for å produsere tredimensjonale data. I tillegg gjør LiDAR det mulig å operere dag og natt for å samle målinger (Optech Incorporated, 2013a).

LiDAR er en optisk fjernmålingsdatateknikk som bruker laserlys for å tett samle jordens overflaten, og produserer meget nøyaktige x, y, z målinger. LiDAR er i ferd med å bli et kostnadseffektivt alternativ til tradisjonelle oppmålingsteknikker

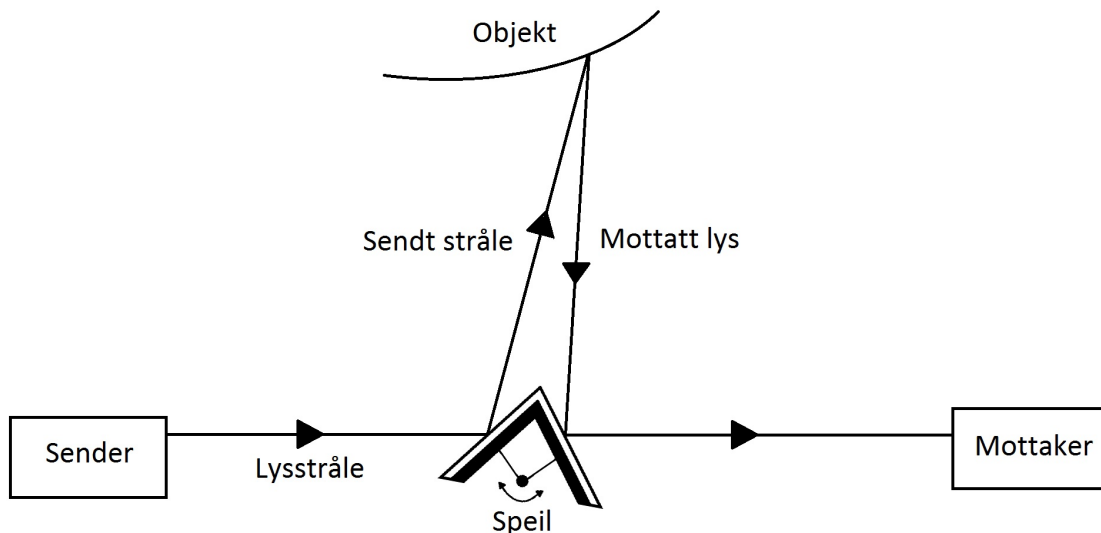
som fotogrammetri. LiDAR produserer datasett av en massepunktsky som kan administreres, visualiseres og analyseres (Esri, 2012).

Ulike prinsipper kan bli brukt til å måle avstanden mellom sensorsystemet og målet. De varierer i presisjon, men dette blir rettferdiggjort for rekkevidden. Prinsippet med størst rekkevidde bruker tidsmålinger hvor man oppnår cm-nøyaktighet. Kortere avstander opptil 100 meter kan måles raskere og mer nøyaktig med fasemålingsteknikk. Enda kortere avstander opptil 5 meter bruker ofte triangulering. En kortfattet oversikt på avstandsmålinger er gitt i Vosselman et al. (2010).

Lynx Mobile Mapper sin laserskanner måler omgivelsene ved hjelp av LiDAR for å oppnå avstands- og vinkelmålinger . Teknikken "Time of flight" blir brukt til å måle avstanden fra laserskanneren og ut til overflaten (Kaartinen et al., 2012, Optech Incorporated, 2006). "Time of Flight" er en metode som avhenger av å vite lyshastighet, omtrent 0.3 meter per nanosekund. Ved bruk av denne konstanten kan det beregnes hvor langt en returnerende lysfoton har reist til og fra et objekt, likning 2.1 viser hvordan man kan kalkulere denne avstanden (Optech Incorporated, 2006).

$$Avstand = \frac{(Lyshastighet * Tid)}{2} \quad (2.1)$$

Laserskanneren generer en optisk puls som sendes ut, og i det lyset sendes ut starter tiden. Pulsen blir reflekter av objektet og returneres til systemets mottaker. I mottakeren blir det registrert hvor lang tid det tok før lyset ble returnert og beregner ut i fra dette avstanden med likning 2.1 (Böhler and Marbs, 2002, Optech Incorporated, 2006). For å få et 360 graders synsfelt roterer speilet med en hastighet på 9000 rpm slik at lysstrålen blir sendt ut i forskjellige retninger (Gong et al., 2012, Puente et al., 2013), Figur 2.12 viser en prinsippskisse av LiDAR.



FIGUR 2.12: Prinsippet til LiDAR, basert på (Nitzan et al., 1977).

2.4 Programvare

For å gjenfinne og posisjonere objektene i punktskyen har det blitt brukt anbefalte programmer fra bedrifter med erfaring innenfor fagfeltet.

2.4.1 MicroStation

MicroStation er en Bentley programvare og et informasjonmodelleringsmiljø for arkitektur, ingeniørarbeid, konstruksjon og drift av infrastruktur, som for eksempel veger, jernbaner, broer og bygninger. MicroStation brukes enten som et program eller som en teknologiplattform. Ved bruk av MicroStation som et program opprettes det samhandling mellom 3D-modeller og 2D-design slik at det kan produseres tegninger og 3D-plott. Som en teknologiplattform for fagspesifikke applikasjoner fra Bentley eller andre programvareleverandører tilbyr MicroStation delsystemer for bruk av geometri og data (Bentley Systems Incorporated, 2013).

I denne oppgaven har MicroStation blitt brukt som en teknologiplattform hvor applikasjonene fra Terrasolid blir kjørt.

2.4.2 Terrasolid

Terrasolid utvikler programvare for prosessering av luftbårene og mobile LiDAR-data og bilder. Programvarene er verktøy ment for landmålere, sivilingeniører, designere, planleggere og andre som har behov for å bearbeide og bruke 3D LiDAR-data (Terrasolid Oy, 2013a).

TerraScan er Terrasolid sin viktigste applikasjon i programvarefamilien for behandling og redigering av LiDAR punktskyer. Applikasjonen tilbyr importerings- og prosjektstruktureringsverktøy for å håndtere den store mengden av punkter fra laserskanningen og informasjon om kjørebane til bilen. I denne applikasjonen har man tilgang på ulike klassifiseringsrutiner som automatisk filtrerer punktskyen, det er også mulig å bruke delvis-automatiske og manuelle klassifiseringsverktøy (Terrasolid Oy, 2013c).

Applikasjonen leser punkter fra XYZ-tekstfiler eller binærfiler, og lar deg (Soininen, 2012):

- Vise punktene tredimensjonalt
- Definere dine egne punktklasser som bakke, vegetasjon eller bygninger
- Klassifisere punktene
- Klassifisere ved bruk av automatiserte rutiner
- Slette unødvendige eller feilaktige punkter i et ”inngjerdet” område
- Fjerne unødvendige punkter ved tynning

I tillegg til TerraScan har det i denne oppgaven blitt benyttet TerraPhoto. TerraPhoto er utviklet for å behandle bildene som ble tatt under gjennomførelsen av laserskanningen. Programvaren gjør det mulig å korrigere digitale fotografier og utbedre ortofotoer (Soininen, 2012, Terrasolid Oy, 2013b). TerraPhoto fungerer også som et program for visning av rasterbilder i bakgrunnen av MicroStation

visninger. De støttede filformater inkluderer blant annet GeoTIFF, TIFF, GIF, JPG, JP2, og PNG rasterfiler Soininen (2009).

TerraScan og TerraPhoto er fullt integrert med MicroStation. Dette CAD-verktøyet gir mange nyttige verktøy og muligheter når det kommer til håndtering av visning, visualisering, vektorplassering, merking og plotting. En grunnleggende forståelse av MicroStation er nødvendig for å være produktiv med TerraScan. Jo mer kjent man er med MicroStation, jo mer nytte kan man få fra funksjonene (Soininen, 2009, 2012).

2.5 Statistisk testing

For å finne ut hvor stor forskjell det er mellom punktskyene og fasiten har det i denne oppgaven blitt beregnet avvik. Likningene 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 og 2.6 viser hvordan avvikene er beregnet. Punktskyen i utregningene 2.2, 2.3 og 2.4 representerer enten den matchede eller ikke matchede punktskyen.

$$dx = X_{\text{Punktsky}} - X_{\text{Nidaros Oppmåling}} \quad (2.2)$$

$$dy = Y_{\text{Punktsky}} - Y_{\text{Nidaros Oppmåling}} \quad (2.3)$$

$$dz = Z_{\text{Punktsky}} - Z_{\text{Nidaros Oppmåling}} \quad (2.4)$$

$$Avvik_{\text{grunnriss}} = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (2.5)$$

$$Avvik_{3D} = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} \quad (2.6)$$

Det har også blitt regnet ut gjennomsnittet med aritmetisk middelværdi, likning 2.7, og standardavvik, likning 2.8, for avvikene i grafene over. Standardavviket forutsetter identisk uavhengig fordelte variabler. Tabell 4.3 i kapittel 4.2 viser resultatene fra disse likningene.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.7)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2.8)$$

hvor n er antall målinger

x_i er hver enkeltobservasjon avledet fra likning 2.2, 2.3 og 2.4

\bar{x} er gjennomsnittet av alle enkeltobservasjonene

2.5.1 Testing

Det er ønskelig å se på om posisjonen i den matchede datasettet er signifikant forskjellig fra den ikke matchede datasettet. Det vil dermed bli satt opp forskjellige hypoteser for å få gjennomført testene. Videre litteratur er hentet fra Dougherty (1990), for mer detaljer kan det leses der.

Testing av en statistisk hypotese innebærer bruk av verdier fra teststatistikken for å velge mellom en gitt hypotese, kalt nullhypotesen H_0 , og en konkurrerende hypotese, kalt alternativhypotesen H_1 .

I forhold til fordelingen på datasettene blir det definert to regioner: Akseptregionen, denne består av de verdiene til datasettene som resulterer i aksept av H_0 , og den kritiske (avvisning) regionen, denne består av verdiene til datasettene som resulterer i aksept av H_1 . Det er to utfall i disse testene, begge omhandler H_0 . Det første utfallet er om datasettene faller inn under akseptregionen, da vil H_0 være

akseptert. I det andre utfallet vil datasettet falle inn under den kritiske regionen, da er H_0 avvist.

Basert på de observerte datasettene blir det bestemt hvilke hypoteser H_0 og H_1 som skal vedtas. Det er vanlig å velge en nullhypotesen H_0 slik at hvis den blir akseptert er en svakt avgjørelse, mens ved en avvisning er det en sterk avgjørelse. Det motsatte blir da å velge den alternative hypotesen H_1 som den egentlig hypotesen vi ønsker å teste.

Students t-test

En students t-test er en statistisk hypotesetest som kan brukes for å avgjøre om det er signifikant forskjell mellom gjennomsnittlig avvik til de to datasettene. Students t-test forutsetter at standardavvikene σ_X og σ_Y er ukjente.

Formuleringen av hypotesene vil være som følger:

H_0 - Det er ingen forskjell på posisjonering med matchet og ikke matchet punktsky

$$\mu_X = \mu_Y \quad (2.9)$$

H_1 - Det matchede punktskyen gir bedre posisjonering enn med en ikke matchet punktsky.

$$\mu_X < \mu_Y \quad (2.10)$$

hvor μ er forventningsverdien til de respektive datasettene.

Teststatistikk

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_X} + \frac{1}{n_Y}}} \quad (2.11)$$

hvor n_X og n_Y er antall observerte objekter i datasettene, og S_p

er variansen til utvalget:

$$S_p^2 = \frac{1}{n_X + n_Y - 2} \left[\sum_{i=1}^{n_X} (X_i - \bar{X})^2 + \sum_{j=1}^{n_Y} (Y_j - \bar{Y})^2 \right] \quad (2.12)$$

Alternativhypotesen er "Upper One-Tailed" og vil da ha en kritisk region:

$$C = \{t : t \geq -t_{\alpha, n_X + n_Y - 2}\} \quad (2.13)$$

Hvor α er signifikansnivået.

Dette gjøres for både nord, øst og høyde i tunnelene

Fishers test

Likheten til to gjennomsnitt ble testet i Students t-test. I denne testen skal det undersøkes for likheten av variansen til de to datasettene. Det antas at X og Y er uavhengige normalfordelte variabler med ukjent gjennomsnitt μ_X og μ_Y og ukjent varians σ_X^2 og σ_Y^2 .

Nullhypotesen er gitt ved:

$$H_0 : \sigma_X^2 = \sigma_Y^2 \quad (2.14)$$

Teststatistikk:

$$F = \frac{S_X^2}{S_Y^2} \quad (2.15)$$

Hvor S er standardavviket.

Den nedre enhaledede testen har den alternative hypotesen

$$H_1 : \sigma_X^2 < \sigma_Y^2 \quad (2.16)$$

og den kritiske regionen er:

$$[0, f_{\alpha, n_X - 1, n_Y - 1}] \quad (2.17)$$

Hvor α er signifikansnivået.

Dette gjøres for både nord, øst og høyde i tunnelene.

Feil

Det finnes to typer feil som resulteres ut fra testene. For det første kan det hende nullhypotesen H_0 er sann, men prosedyren får oss til å konkludere med at H_0 er falsk. Med andre ord, observasjonsverdiene i den statiske testen faller inn under den kritiske regionen, mens i virkeligheten er observasjonsverdiene feil. Den andre type feilen er at H_0 er falsk, mens hypotesetesten får oss til å tro den er sann.

Det er ønskelig å unngå den førstnevnte feilen hvor H_0 blir avvist (og H_1 akseptert) når egentlig H_0 representerer den reelle nøyaktigheten.

Kapittel 3

Forsøk

3.1 Innmåling av objekter med GNSS

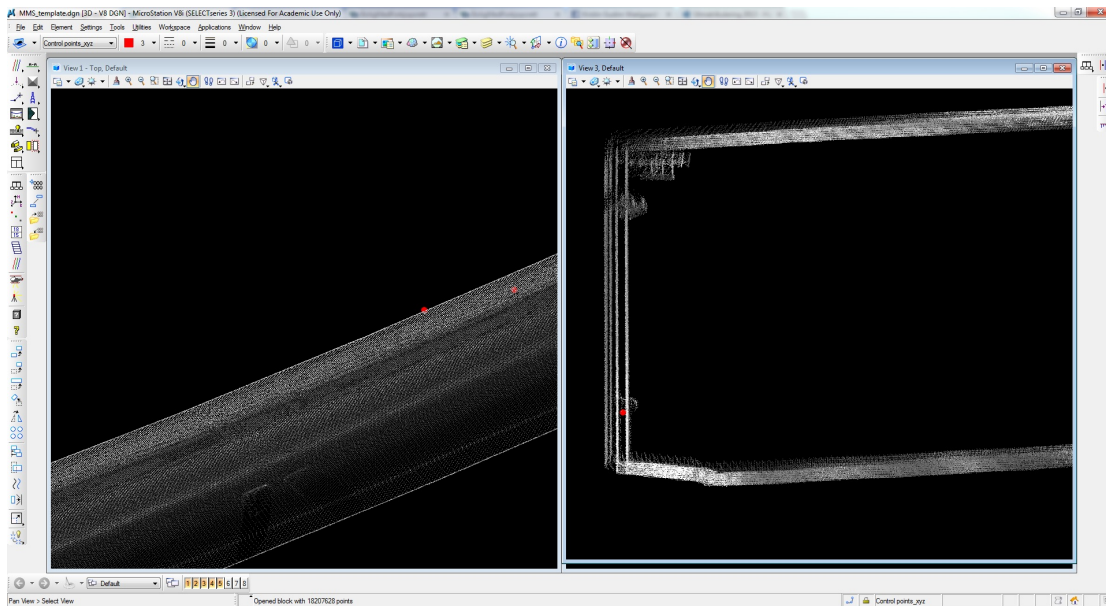
Før posisjoneringen av vegobjekter i punktskyen kunne starte ble det utført feltarbeid for å ha kontrollpunkter til matching av punktskyen. I forbindelse med prosjektoppgaven fra høsten 2012 målte Nidaros Oppmåling inn vegobjekter i Ilsviktunnelen og Skansentunnelen ved bruk av sanntids-GNSS og totalstasjon. Noen av disse objektene ble brukt som kontrollpunkter, men det manglet kontrollpunkter på utsiden av tunnelene. Et kontrollpunkt er et kjent og gjenkjennelig punkt hvor man vet koordinatene med god nøyaktighet .

3.1.1 Bakgrunn

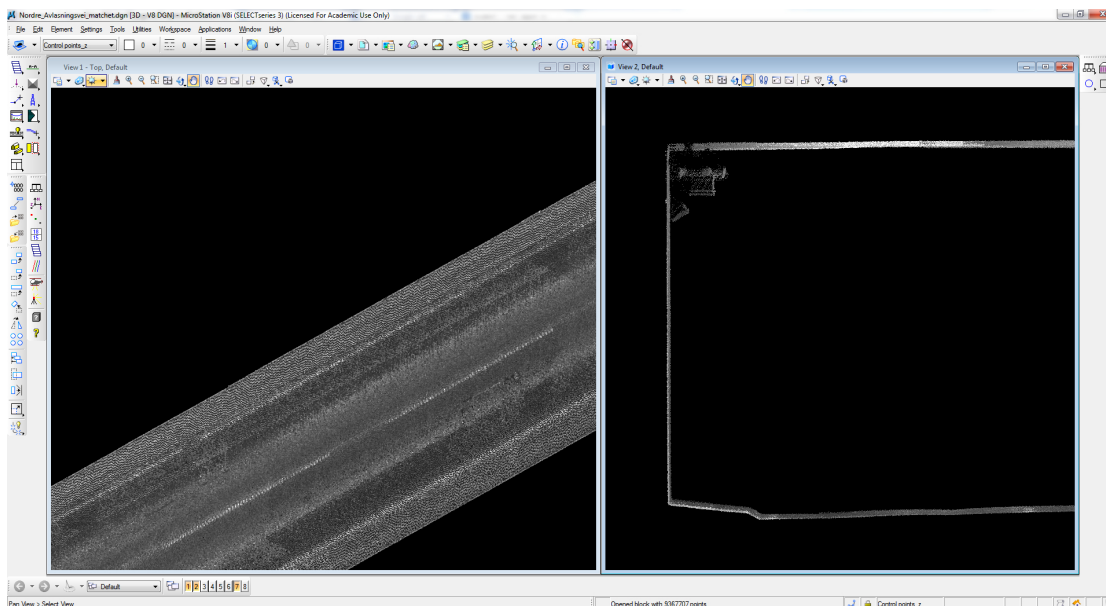
Kontrollpunkter trengs for å rettet opp forskyvninger, beskrevet i kapittel 2.3.1, i punktskyene som er skannet av laserene, dette kalles matching. Matchingen fikser systematiske orienteringsfeil i laserdataen. Det måles forskjell mellom laseroverflater fra overlappende striper, og forskjeller mellom laseroverflater og kontrollpunkter. Disse observerte forskjellene er oversatt til korreksjonsverdier for systemet orientering i øst, nord, høyde, hiv, rull og stamp. (Soininen, 2013). Matchingen ble utført av TerraTec AS. Disse korreksjonene gjør at man får en bedre posisjonering

Kapittel 3. Forsøk

og ser objektene lettere i programmet, figurene 3.1 og 3.2 viser hvordan det så ut før og etter matching.



FIGUR 3.1: Skannerdata før matching



FIGUR 3.2: Skannerdata etter matching

3.1.2 Område

TerraTec AS laserskannet strekningen Fylkesveg 706, fra Ilsvikøra til Brattørkaia i Trondheim, Sør-Trøndelag. Dette er en vegstrekke som inneholder to tunneler, høye fjell og bygninger samt et åpent område med over 30 meter åpning i alle retninger. Det sistnevnte området er relativt flatt og har god sikt mot satellittene, dette vil gi gode GNSS-forhold før bilen går inn i tunnelen. Figur 3.3 viser området og en oversikt over hvor det ble målte inn kontrollpunkter.



FIGUR 3.3: Kart viser forsøksområdet og hvor kontrollpunktene befinner seg, basert på Gule Sider (2013)

3.1.3 Forberedelser

Før feltarbeidet kunne gjennomføres måtte det noen forberedelser til. Arbeid på veg gir økt risiko for fare både for arbeidere og trafikanter. Det er derfor viktig å ha en plan på arbeidsvarsling i området hvor arbeidet skal utføres. Denne arbeidsvarslingsplanen ble godkjent av Statens vegvesen (Vegdirektoratet, 2012a). Planen

inkluderte bil med varselblink, skilt, kjegler og arbeidstøy i verneklasse 3 - refleksklasse 2, se vedlegg B for flere detaljer.

For å være sikker på at innmålingen med GNSS ble gjort riktig under feltarbeidet ble det først utført målinger på Gløshaugen, NTNU. Ved bruk av samme GNSS-mottaker ble det utført målinger over fastmerker i henhold til lik prosedyre som ved feltarbeidet. Ved å gjøre dette før selve feltarbeidet ble det kontrollert at man behersket utstyret og at det var riktige innstillinger.

Videre punkter nevner det som var nødvendig utstyr for å gjennomføre feltarbeidet.

- Tofrekvent Leica Viva GNSS GS15 receiver (Internt nummer B-1), serienummer 1500768, med CPOS-korreksjoner både for GPS- og Glonass-satelitter via GPRS. CPOS er en posisjonstjeneste som sender korreksjonsdata i sanntid og gir centimeters nøyaktighet (Kartverket, 2012).
- Målebok: Leica Viva Controller CS15, serienummer 1570461.
- Bil med varselblink
- Skilt
- Kjegler
- Arbeidstøy i verneklasse 3 - refleksklasse 2

Figur 3.4 viser et bilde av GNSS-motakeren, måleboken, bilen med varselblink og arbeidstøyet.



FIGUR 3.4: Innmåling av kontrollpunkter med GNSS

Før feltarbeidet fant sted ble det satt kriterier til de syv objektene som skulle måles inn:

- Objektene skal være målt inn i referanserammene NN2000 og EUREF89 med kartprojeksjon UTM32.
- Objektene må ikke være til hinder for trafikken når det måles inn.
- Objektene må være godt synlige i punktskyen.

3.1.4 Gjennomførelse

TerraTec AS sendte en liste over hvilke objekter som de ønsket skulle måles inn som kontrollpunkter. De syv objektene var lyktestolpe, topp kantstein, sirkelformede og rektangulære kummer.

I hvert objekt ble det målt inn posisjon 3 ganger, med unntak av tre punkter, med sanntids-GNSS i 10 sekunder hver gang. Det var minst 5 minutters mellomrom på målingene. Det ble til slutt utført midling på alle enkeltmålingen i hvert punkt. Det er viktig å ha et visst tidsrom mellom hver måling i samme punkt slik at man får redusert tidskorrelasjonen (Bratheim et al., 2009). En annen forutsetning for enkeltmålingene var at utstyret må slås helt av før en ny måling slik at initiering og heltallsberegning starter på nytt. De tre punktene som ble målt inn kun to ganger, er målinger i nærheten av hverandre og Leicas eget kvalitetsmål angir maksimalt 3.1 cm. Målrapporten for feltarbeidet befinner seg i vedlegg C.

Objektene som hadde en stor geometrisk figur ble målt inn med flere punkter slik at det kunne beregnes et senter av objektet. Det vil si at de sirkelformede kummene fikk målt inn tre punkter i ytterkant, og de rektangulære kummene og bunnen av lyktestolpen ble målt inn med fire ytterpunkter. Figurene 3.5 og 3.6 viser eksempler på innmålte punkter.



FIGUR 3.5: Innmåling av rektangulær kum med GNSS



FIGUR 3.6: Innmåling av sirkelformet kum med GNSS

3.1.5 Sluttresultat

Da kontrollpunktene var levert til TerraTec AS og de hadde matchet laserdataene ble en rekke filer levert som grunndata for forsøket:

- **Bilder (Optech og ViaPhoto)**

Originale og lysjusterte bilder tatt med Optech(peker bakover) og Viaphoto (peker framover) kameraene. Det er også tilhørende indeksfiler og KML-filer som viser hvor bildene er tatt.

- **Blokker**

Prosjektfil med laserdata som er delt opp i blokker som kan åpnes i Terrasolid. Disse dataene er i NN2000 høyder og er ikke matchet mot kontrollpunkter.

- **Geoidmodell**

Geoidmodell for både NN1954 og NN2000 som kan åpnes i Terrasolid.

- **SBET (Smooth Best Estimated Trajectory)**

Posisjonsfil for bilen med nøyaktighetsfil.

- **Striper**

SBET-filen georeferert med laserdataen. Denne filen er i ellipsoidiske høyder og er ikke matchet mot kontrollpunkter.

- **Baner**

SBET-filen hvor kun der det er skannet er inkludert. Denne posisjonsfilen åpnes i Terrasolid.

- **Video**

Video som brukes til å orientere seg. Denne åpnes i TerraTec AS sitt eget program, TerraView.

3.2 Posisjonering av objekter med laserdata

Det har blitt gjennomført et forsøk for å prøve og finne ut om vegobjektene er gjenkjennelige i punkttskyen. Og hvis objektene er gjenkjennelige om det da mulig å posisjonere dem. Objektene som ble undersøkt i forsøket er kummer, sandfangskummer, veglys og vegoppmerkinger. som er typiske objekter langs veg.

3.2.1 Bakgrunn

Laserskanningen med TerraTec AS sin bil, Lynx Mobile Mapper, har resultert i to punktstyker. Den ene punktstyken består av laserdata som ikke er matchet, men den andre har TerraTec AS levert ferdig matchet. For nærmere beskrivelse av matching, se kapittel 3.1.1. Begge punktstykene har blitt behandlet med applikasjonen Terrasolid i programvaren Microstation, mer om disse kan leses i kapittel 2.4.

I prinsippet skulle alle 209 objekter som Nidaros Oppmåling hadde målt inn i tunnelene også bli forsøkt posisjonert i Terrasolid. Det ble fort oppdaget at det ikke var mulig å se noen av vegoppmerkingene. Dette kan skyldes at de er små,

tildekket av grus, støv og is eller at laseren produserer et ugyldig eller mindre nøyaktig signal på grunn av refleksene (Optech Incorporated, 2006). Dermed ble vegoppmerkingene fjernet fra forsøket og de resterende 81 objektene ble undersøkt.

I dette forsøket er det ønskelig å få svar på følgende spørsmål:

1. Er det mulig å finne igjen objektene i punktskyen skannet med laser?
2. Tilfredsstiller vegobjektene Statens vegvesen sine krav om nøyaktighet?

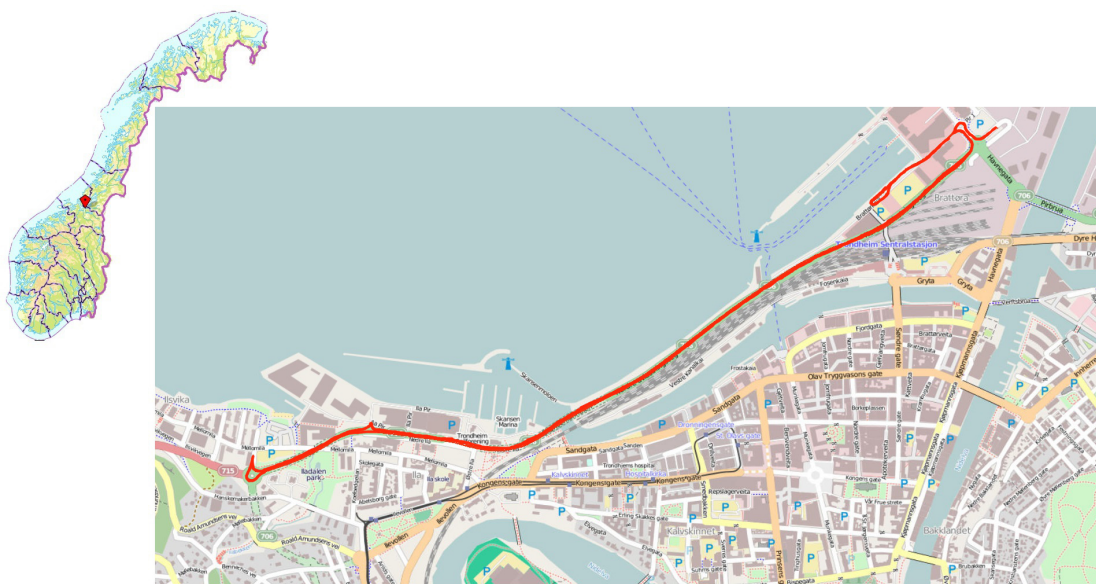
3.2.2 Kriterier og Avgrensning

Det har blitt satt visse kriterier og avgrensninger i det gjennomførte forsøket:

- For at objektene målt i Terrasolid skulle ha samme referanser som Nidaros Oppmåling sine data ble referanserammene NN2000 og EUREF89 med kart-projeksjon UTM32 benyttet.
- Alle innmålte objekter skal være vurdert etter Statens vegvesen sin krav til nøyaktighet. Siden ingen av vegobjektene ennå har blitt spesifisert i datakatalogen til NVDB følger man dermed kun kravene til stedsfestingsnøyaktighet gitt av FKB-B, som er på maksimalt 20 cm sandardavvik i både høyde og grunnriss.
- Videre analyser og resultater viser kun til objekter som har blitt funnet i punktskyene.
- For gjenfinning av vegobjektene i punktskyen, ble koordinatene som Nidaros Oppmåling målte for hvert objekt importert inn i Terrasolid. Slik at det skulle være enklere å gjenkjenne objektene i punktskyen.

3.2.3 Område

For at forsøket skulle ha best mulig effekt ble vegstrekningen Fylkesveg 706 valgt. Den strekker seg fra Ilsvikøra til Brattørkaia i Trondheim, Sør-Trøndelag. Forsøksområdet inneholder to tunneler og har tilstrekkelig GNSS-dekning i det man kjører inn i tunnelåpningen. I tillegg er området lett tilgjengelig å bevege seg rundt i utenfor tunnelene. Figur 3.7 viser hvilke strekning TerraTec AS har laserskannet.



FIGUR 3.7: Oversiktskart over forsøksområdet, basert på OpenStreetMap contributors (2013) og KML-fil fra TerraTec AS. Den røde linjen viser hvor bilen har kjørt med laserskanner

3.2.4 Forberedelser

Før posisjoneringen av vegobjektene kunne starte ble Microstation og Terrasolid installert på datamaskinen. Dette er to avanserte verktøyer med mange funksjoner og valgmuligheter, derfor ble det satt av mye tid til opplæring av applikasjonen og programmet.

TerraTec AS leverte to datasett med laserdata etter at oppdraget var gjennomført, et som ikke var matchet mot kontrollpunkter og et som var matchet. Begge disse datasettene kunne importeres rett inn i programvaren.

3.2.5 Innmåling

I dette avsnittet vil det bli gått gjennom den praktiske bruken av programmet for å gjenfinne og posisjonere et objekt.

Når programmet Microstation var åpnet bruktes applikasjonen TerraScan til å importere punktskyen. Det første som ble gjort var å åpne prosjektet. Her lå punktdataene delt opp i forskjellige blokker for å gjøre arbeidsmengden på data-maskinen mindre. Videre ble posisjonsfilen til bilen importert slik at man kunne se hvor bilen hadde kjørt. Deretter kunne posisjoneringen av objektene starte.

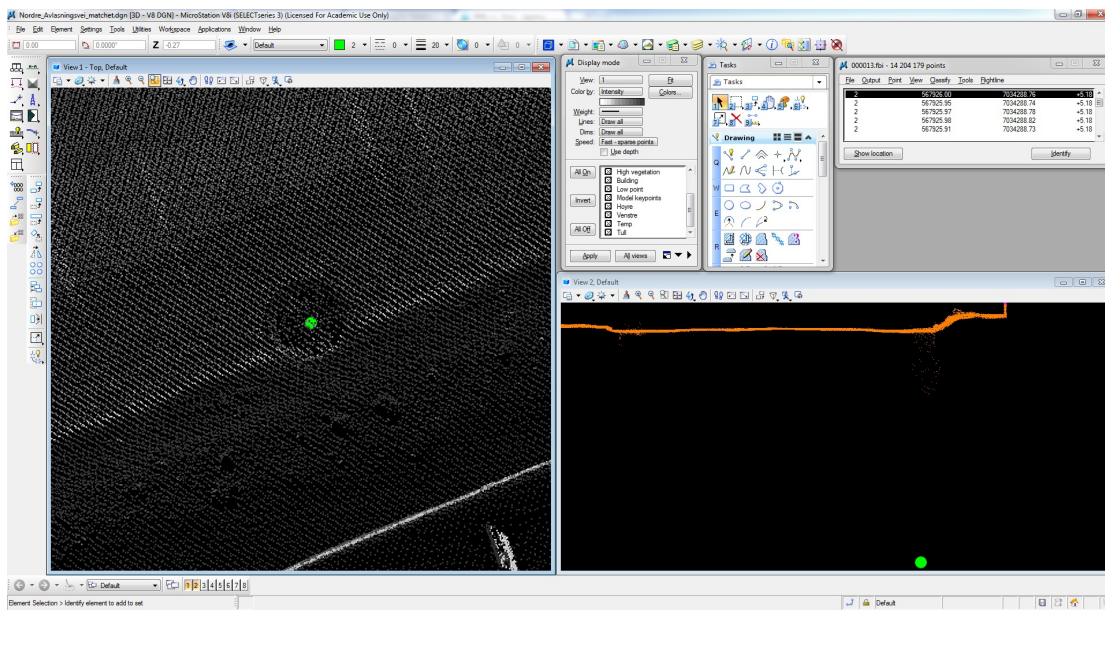
Det finnes flere måter å vise punktskyen, man kan blant annet bruke klasser, høyde, intensitet, flylinje og skanner. I dette forsøket har det hovedsaklig blitt brukt intensitet, da det viste seg at objektene kom best til syne med denne visningen. Intensiteten blir målt på styrken til den returnerende lysstråla (Soininen, 2012). Til tider har det også blitt brukt klasser til fremvisningen for å få en oversikt over hva som blir vist i de forskjellige vinduene. Det var mulig å kun vise valgte klasser i et vindu. Klassene kan for eksempel være delt inn i bakke, lavt terreng og høyt terreng.

I tillegg til å velge type visning, ble det brukt vekting på punktene og endring på fargeskalaen. Vekting av punktene vil si synlig størrelse på hvert enkelt punkt. Ser man punktskyen langt unna og vil ha oversikt, vektet det lavt slik at punktene ikke sklir over i hverandre. Ønskes det derimot å se punktene på nært hold kan det være lurt å vekte høyt slik at punktene dominerer bildet og ikke den sorte bakgrunnen. Endringer på fargeskalaen betyr at man kan stille skalaen i ønsket antall fargenyanser. Dette gjør at man får større eller mindre kontraster i terrenget, og objektene blir enklere å se.

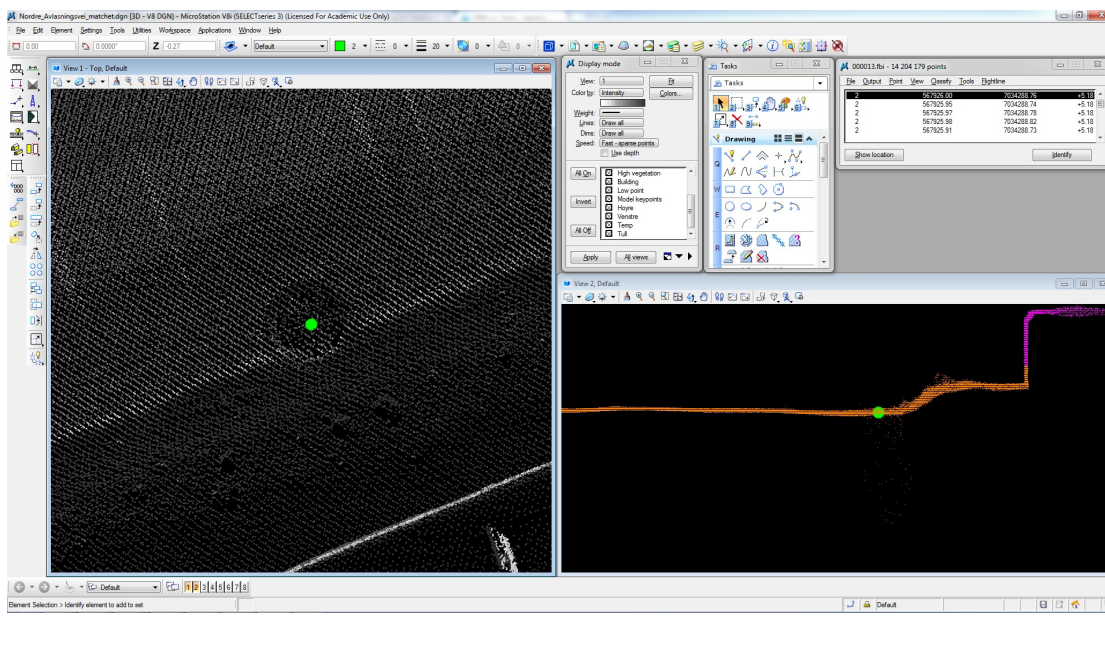
Når ønsket objekt var funnet plasserte man et aktivt punkt på riktig plass, som er angitt i produktspesifikasjonen i NVDB. Selv om punktet ble plassert korrekt i xy-plan var det ofte ikke plassert i riktig høyde. Figur 3.8 viser plassert punktet i feil høyde før det har blitt korrigert. Figur 3.9 viser punktet etter det er justert i

Kapittel 3. Forsøk

riktig høyde. Når punktet var riktig plassert ble koordinatene eksportert ut til en tekstfil.



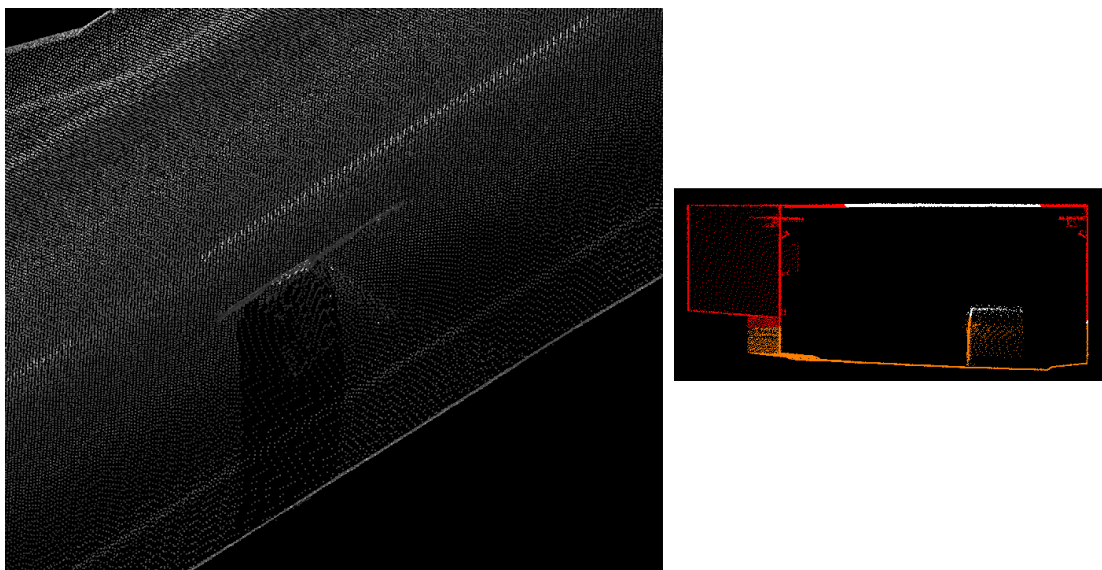
FIGUR 3.8: Før korrigert høyde på innmålt punkt(grønn prikk)



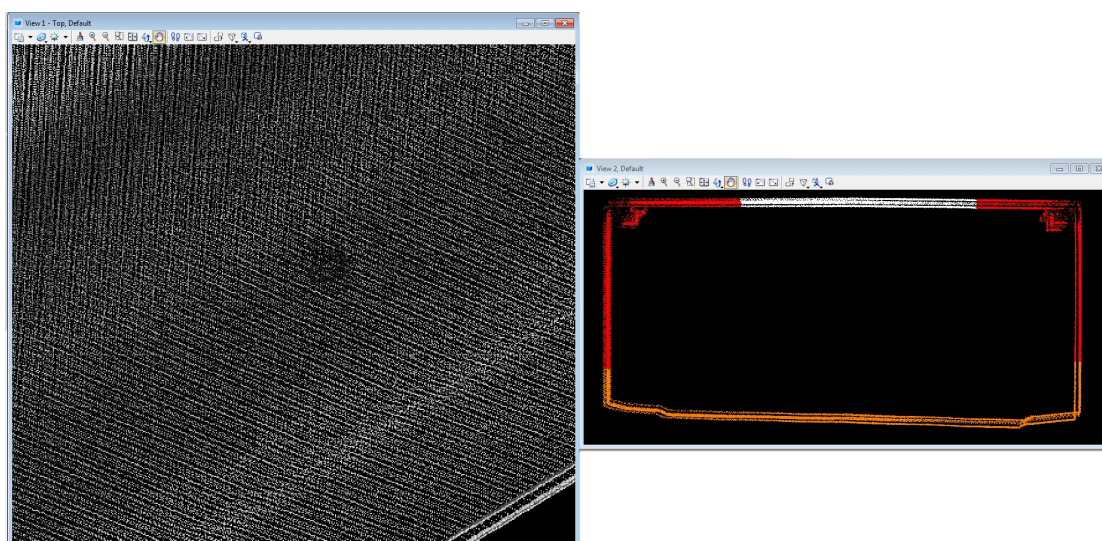
FIGUR 3.9: Etter korrigert høyde på innmålt punkt(grønn prikk)

I punktskyen hvor det ikke var matchet opp mot kontrollpunkter ble det kun brukt et av skannene med laserdata om gangen, slik at man kunne se objektene

bedre. Et skann er en resulterende punktsky fra en enkelt laserskanner. Bilen har montert to skannere og har kjørt i begge kjøreretninger i forsøksområdet i tilfelle det har stått hindringer i vegen ved første kjøretur. Figur 3.10 viser hvordan en punktsky blir når en bil hindrer sikten fra skanneren. Når alle tilgjengelige skann var gjennomgått ble koordinatene for hvert objekt midlet med lik vekt. Figur 3.11 viser et eksempel på hvordan det vil se ut med alle skannene over hverandre, uten at de er matchet sammen.



FIGUR 3.10: Resultatet fra et skann når en bil hindrer sikten til laserskanneren



FIGUR 3.11: Synligheten til objektet når punktskyen ikke er matchet

3.2.6 Visning av bilder

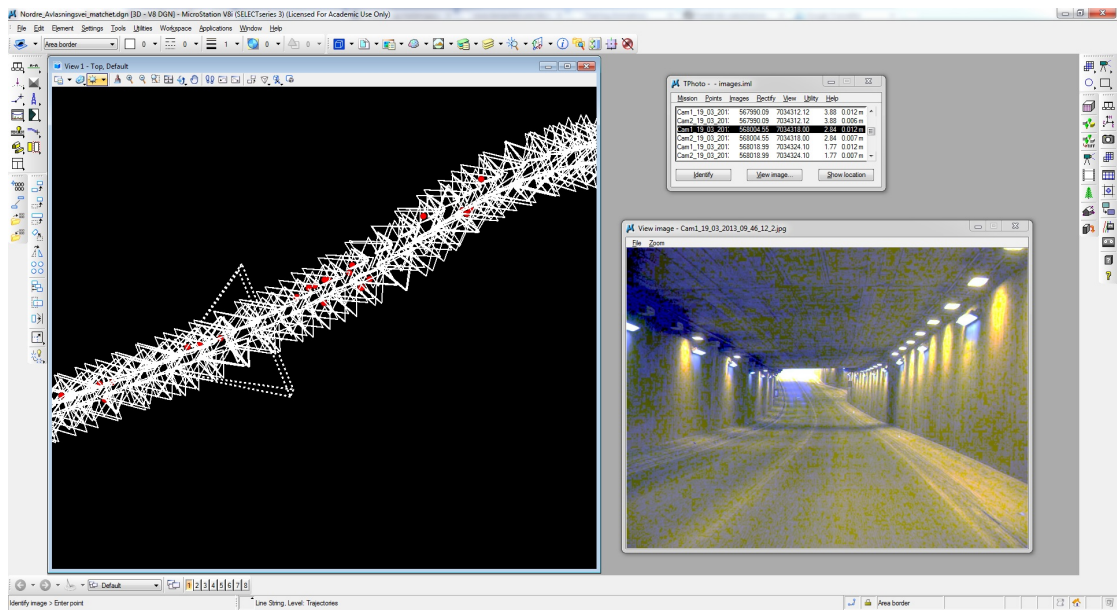
Som ekstra hjelp til å navigere rundt i punktskyene har bildene som ble tatt under laserskanningen blitt brukt. For å vise disse bildene har applikasjonen TerraPhoto blitt kjørt.

I TerraPhoto ble det opprettet et oppdrag og lagt inn kalibreringsfiler for kameraene. Disse filene inneholder informasjon om den indre og ytre orienteringen til kameraene. I dette forsøket var det TerraTec AS som leverte kalibreringsfilene. Etter at riktig sti er lagt til bildene er det klart for å vise enkeltbilder i programmet ved å klikke på ønsket sted. Figur 3.12 viser et eksempel på visning av et bilde i TerraPhoto.

Det har ikke blitt påført RGB-verdier på punktskyen i dette forsøket. Dette kan være en fordel for lettere å gjenkjenne objektene. Det krever endel arbeid. Kameraene må nøye kalibreres for indre (Blant annet piksler og linsefortegning) og ytre orienteringsparametre (hvordan bildet er orientert med hiv, rull og stamp). For den ytre orienteringen må det kalibreres under gode GNSS-forhold for å utelukke posisjoneringsfeil på kameraet. I tillegg må kameraposisjonen påføres samme korreksjoner som laserdataene fikk under matchingen, da de er utsatt for samme feilkilder. Deresom alt dette blir gjennomført bra vil det være mulig å påføre en RGB-verdi per laserpunkt. Laserpunktet blir da projisert ned på bildet og får den RGB-verdien som bildet har. Siden det er mange bilder for hvert laserpunkt må det velges en metode som bestemmer hvilket bilde som skal gjelde. En mulighet er da å velge det bildet som er nærmest laserpunktet i tid eller posisjon.

Hvis det er ønskelig å påføre RGB-verdier på punktskyen er en mulighet å ha dette i bestillingen når man gjennomfører oppdraget. En annen er å gjennomføre det selv i ettertid. Som sagt er det tidkrevende og blir det gjort av en mindre erfaren person kan det bli vanskelig. Om det ikke blir sett på som nødvendig å få RGB-verdier på laserpunktene kan et alternativ være å vise bildene enkeltvis i TerraPhoto.

Kapittel 3. *Forsøk*



FIGUR 3.12: Visning av bilder i TerraPhoto

Kapittel 4

Resultater

I dette kapitlet blir det tatt for seg gjenfinning av objekter i punktskyene og resultatene til de posisjonerte objektene.

4.1 Resultater fra forsøk

For å undersøke synligheten og nøyaktigheten til objektene målt i Terrasolid har det blitt laget en oversikt over hvilke objekter som ikke ble funnet og for de objektene som ble funnet er det registrert koordinatene. De innmålte posisjonene har blitt sammenlignet med fasiten, som er koordinatene fra innmålingen med Nidaros Oppmåling. Tabell 4.1 og 4.2 viser hvert objekt sine resulterende koordinater fra Nidaros Oppmåling, laserdataene som ikke er matchet og laserdataene som er matchet. Koordinatene til innmålingen av objektene med punktskyen som ikke er matchet har blitt midlet. Det er disse datasettene som er grunnlaget for videre resultater, analyser og diskusjoner.

TABELL 4.1: Tilgjengelige datasett i Ilsviktunnelen. Koordinatene er i referanserammene Euref89 med kartprosjeksjon UTM32 i planet og NN2000 i høyden.

Ilsviktunnelen

Objekt- nr	Objekttype	Nidaros Oppmåling			Laserdata - ikke matchet			Laserdata - matchet		
		Nord (y)	Øst (x)	Høyde (z)	Nord (y)	Øst (x)	Høyde (z)	Nord (y)	Øst (x)	Høyde (z)
86	Sandfangskum	7034287,263	567925,345	5,176	7034287,148	567925,210	5,088	7034287,252	567925,333	5,191
84	Sandfangskum	7034293,594	567923,791	5,163	7034293,621	567923,769	5,139	7034293,616	567923,764	5,166
92	Veglyskum	7034307,015	567956,287	5,162	7034306,904	567956,294	5,138	7034307,093	567956,226	5,188
98	Sandfangskum	7034305,187	567976,420	3,128	Finner ikke			7034312,276	567973,886	3,200
100	Sandfangskum	7034312,247	567973,860	3,215	7034312,268	567974,080	3,113	7034305,264	567976,794	3,244
80	Kum	7034313,102	567979,984	2,690	7034313,025	567979,965	2,707	7034313,111	567979,982	2,730
68	Veglyskum	7034329,306	568014,543	1,042	7034329,221	568014,570	1,043	7034329,378	568014,475	1,063
66	Sandfangskum	7034330,582	568020,178	-0,351	7034330,540	568020,348	-0,325	7034330,586	568020,158	-0,319
62	Kum	7034333,378	568029,811	-1,067	7034333,344	568029,801	-1,068	7034333,396	568029,823	-1,061
50	Sandfangskum	7034352,232	568064,846	-3,352	7034352,288	568064,925	-3,405	7034352,248	568064,809	-3,290
46	Veglyskum	7034356,565	568070,429	-2,450	7034356,558	568070,440	-2,338	7034356,667	568070,415	-2,438
48	Kum	7034357,659	568073,089	-3,425	Finner ikke			Finner ikke		
44	Kum	7034349,792	568077,517	-3,014	Finner ikke			Finner ikke		
38	Kum	7034360,237	568077,611	-3,407	Finner ikke			Finner ikke		
36	Sandfangskum	7034360,422	568079,540	-3,517	7034360,515	568079,694	-3,436	7034360,479	568079,637	-3,479
32	Kum	7034363,402	568089,140	-3,330	7034363,426	568089,156	-3,317	7034363,401	568089,155	-3,324
30	Kum	7034356,609	568094,576	-2,792	Finner ikke			Finner ikke		
34	Sandfangskum	7034367,001	568090,534	-3,301	7034367,091	568090,553	-3,269	7034366,999	568090,491	-3,290
28	Kum	7034356,930	568095,090	-2,761	Finner ikke			Finner ikke		
26	Kum	7034360,531	568098,543	-2,776	Finner ikke			Finner ikke		
16	Veglyskum	7034389,553	568123,251	0,081	7034389,640	568123,256	-0,039	7034389,669	568123,254	0,108
10	Kum	7034392,212	568141,455	0,158	7034392,238	568141,566	0,160	7034392,191	568141,426	0,184
4	Kum	7034390,776	568143,309	0,330	Finner ikke			7034390,787	568143,419	0,346
8	Sandfangskum	7034392,839	568145,193	0,400	Finner ikke			7034392,846	568145,214	0,425
2	Kum	7034406,746	568149,877	1,538	Finner ikke			Finner ikke		

TABELL 4.2: Tilgjengelige datasett i Skansentunndelen. Koordinatene er i referanserammene Euref89 med kartprosjeksjon UTM32 i planet og NN2000 i høyden.

Skansentunnelen

Objekt-nr	Objekttype	Nidaros Oppmåling			Laserdata - ikke matchet			Laserdata - matchet		
		Nord (y)	Øst (x)	Høyde (z)	Nord (y)	Øst (x)	Høyde (z)	Nord (y)	Øst (x)	Høyde (z)
138	Sandfangskum	7034384,959	568517,476	-1,550	7034384,853	568517,463	-1,454	7034384,902	568517,483	-1,394
136	Veglys	7034382,710	568522,134	-0,628	7034382,646	568522,115	-0,555	7034382,694	568522,137	-0,591
134	Kum	7034383,003	568522,343	-1,758	Finner ikke			Finner ikke		
150	Kum	7034385,917	568548,202	-2,540	Finner ikke			Finner ikke		
126	Sandfangskum	7034377,731	568546,405	-2,614	7034377,641	568546,232	-2,515	7034377,688	568546,543	-2,580
152	Kum	7034385,491	568550,899	-2,577	Finner ikke			Finner ikke		
154	Sandfangskum	7034384,129	568553,125	-2,714	7034384,200	568553,150	-2,751	7034384,127	568553,158	-2,709
158	Kum	7034383,780	568557,396	-2,692	Finner ikke			Finner ikke		
118	Veglys	7034367,998	568581,903	-1,168	7034367,920	568581,876	-1,104	7034367,989	568581,902	-1,131
116	Kum	7034368,277	568582,335	-2,546	Finner ikke			Finner ikke		
114	Kum	7034368,170	568583,032	-2,547	Finner ikke			Finner ikke		
168	Sandfangskum	7034374,228	568603,094	-3,401	7034374,284	568603,147	-3,477	7034374,249	568603,115	-3,374
102	Kum	7034373,702	568628,208	-3,525	Finner ikke			7034373,713	568628,225	-3,492
180	Kum	7034374,686	568648,100	-3,657	Finner ikke			Finner ikke		
228	Veglys	7034364,478	568646,683	-1,867	7034364,345	568646,677	-1,785	7034364,481	568646,715	-1,838
184	Sandfangskum	7034374,342	568653,080	-3,826	7034374,522	568653,201	-3,837	7034374,366	568653,097	-3,806
224	Kum	7034366,225	568659,596	-3,113	Finner ikke			Finner ikke		
190	Kum	7034378,931	568677,053	-3,897	Finner ikke			Finner ikke		
198	Sandfangskum	7034384,764	568701,171	-4,334	7034384,777	568701,197	-4,408	7034384,787	568701,174	-4,309
210	Kum	7034377,801	568708,164	-3,724	Finner ikke			Finner ikke		
212	Veglys	7034377,513	568708,421	-2,740	7034377,241	568708,367	-2,638	7034377,497	568708,418	-2,703
208	Kum	7034378,072	568708,841	-3,747	Finner ikke			Finner ikke		
240	Kum	7034389,396	568735,681	-4,971	Finner ikke			Finner ikke		
238	Kum	7034389,719	568736,340	-5,014	Finner ikke			Finner ikke		
250	Kum	7034404,068	568742,861	-6,414	Finner ikke			Finner ikke		
254	Sandfangskum	7034405,032	568746,222	-6,701	7034405,172	568746,085	-6,735	7034405,002	568746,198	-6,688
298	Veglys	7034406,226	568765,287	-5,918	7034406,023	568765,270	-5,859	7034406,235	568765,310	-5,894
262	Kum	7034418,601	568766,387	-7,960	Finner ikke			Finner ikke		
270	Sandfangskum	7034433,284	568788,418	-9,570	7034433,446	568788,408	-9,553	7034433,272	568788,397	-9,563
284	Veglys	7034442,787	568816,377	-9,859	7034442,589	568816,355	-9,808	7034442,791	568816,388	-9,853
282	Kum	7034443,295	568816,515	-11,028	Finner ikke			Finner ikke		
280	Kum	7034443,704	568817,087	-11,051	Finner ikke			Finner ikke		
308	Kum	7034462,106	568822,447	-10,989	Finner ikke			Finner ikke		
306	Kum	7034462,681	568823,285	-11,001	Finner ikke			Finner ikke		
304	Kum	7034460,436	568825,676	-11,247	Finner ikke			Finner ikke		
416	Sandfangskum	7034453,420	568829,831	-11,496	7034453,249	568829,785	-11,568	7034453,429	568829,845	-11,492
302	Kum	7034463,875	568830,677	-11,226	7034463,979	568830,591	-11,252	7034463,907	568830,605	-11,213
412	Kum	7034454,808	568833,087	-11,399	Finner ikke			Finner ikke		
408	Veglys	7034461,793	568844,423	-9,998	7034461,649	568844,392	-9,970	7034461,798	568844,424	-9,957
318	Kum	7034481,441	568858,180	-9,864	Finner ikke			Finner ikke		
402	Sandfangskum	7034475,148	568863,798	-10,188	7034474,986	568863,810	-10,160	7034475,172	568863,839	-10,145
396	Kum	7034476,977	568868,335	-9,733	Finner ikke			Finner ikke		
398	Veglys	7034476,710	568868,527	-8,570	7034476,575	568868,540	-8,565	7034476,692	568868,553	-8,551
328	Kum	7034498,345	568887,283	-7,840	Finner ikke			Finner ikke		
330	Kum	7034498,709	568888,045	-7,809	Finner ikke			Finner ikke		
334	Sandfangskum	7034506,027	568902,589	-6,900	7034506,213	568902,605	-6,832	7034506,029	568902,563	-6,896
380	Kum	7034507,844	568922,636	-5,338	Finner ikke			Finner ikke		
382	Veglys	7034507,711	568923,187	-4,140	7034507,677	568923,215	-4,116	7034507,714	568923,201	-4,101
378	Kum	7034508,232	568923,290	-5,289	Finner ikke			Finner ikke		
344	Kum	7034525,169	568935,293	-4,286	Finner ikke			Finner ikke		
346	Kum	7034528,825	568941,679	-3,807	Finner ikke			Finner ikke		
350	Sandfangskum	7034530,533	568946,286	-3,570	7034530,759	568946,370	-3,796	7034530,561	568946,357	-3,543
360	Kum	7034534,680	568970,483	-1,696	Finner ikke			Finner ikke		
362	Kum	7034535,006	568971,068	-1,651	Finner ikke			Finner ikke		
364	Kum	7034542,182	568983,813	-0,685	Finner ikke			Finner ikke		
366	Kum	7034542,536	568984,408	-0,641	Finner ikke			Finner ikke		

Av objektene vist i tabell 4.1 og 4.2 var det mulig å gjenkjenne totalt 37 av 81 objekter når punktskyen ikke var matchet. Det vil si at 45.7 % ble funnet. Det utmerket seg at det var kun kummer som ikke ble funnet.

Det var mulig å gjenkjenne totalt 41 av 81 objekter i tabell 4.1 og 4.2 i begge tunnelene i punktskyen som var matchet. Det vil si at 50.6 % ble funnet. Av objektene som ikke ble funnet var alle utenom én kummer.

4.2 Sammenligning av punktskyene

Det har totalt blitt sammenlignet fire datasett mot fasiten. Både det matchede og ikke matchede datasettet er igjen delt opp i hver sin tunnel, som til sammen utgjør fire datasett.

For å finne ut hvor stor forskjell det er mellom punktskyene og fasiten har det blitt beregnet avvik. Vedlegg D viser avvikene for hvert objekt i datasettene. Likningene 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 og 2.6 i kapittel 2.5 viser hvordan avvikene er beregnet. Det har også blitt beregnet gjennomsnitt med aritmetisk middelværdi, likning 2.7 i kapittel 2.5, og standardavvik, likning 2.8 i kapittel 2.5, på avvikene til de forskjellige datasettene. Resultatene viser ingen tydelig trend til Kalmanfilteret i kapittel 2.3.2, dermed kan standardavviket som er beskrevet i kapittel 2.5 brukes da det gjelder for identisk uavhengig fordelte variabler.

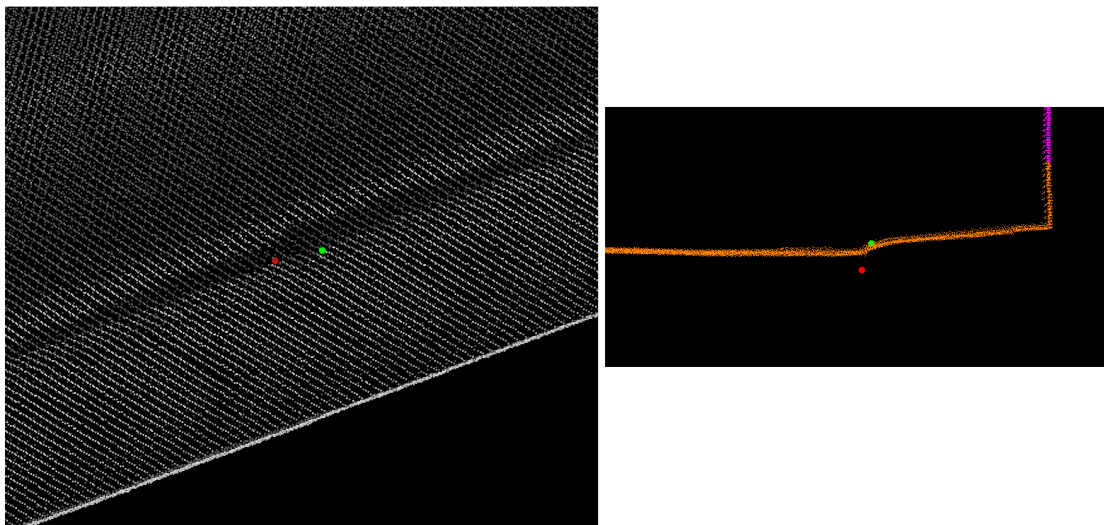
Teoretisk sett ligger 3% av de tilfeldige feilene tre standardavvik over eller under gjennomsnittet, disse ansees som grove feil (Skogseth et al., 1998). Ved å betrakte alle avvikene hver for seg i x-, y- og z-retning fjernes hele objektet med en grov feil fra resultatene.

Tabell 4.3 viser gjennomsnitt, standardavvik og grove feil på avvikene fra forsøket. resultatene fra beregningene og hvilke objekter som har grove feil.

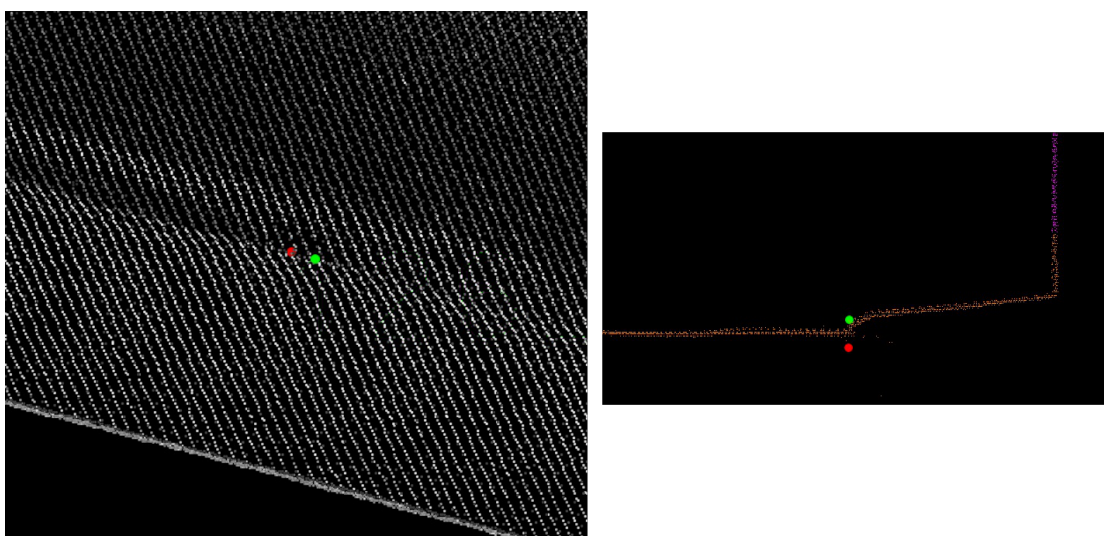
TABELL 4.3: Gjennomsnitt og standardavvik til avvikene og grove feil i forsøket.
 Verdiene er oppgitt i meter

			Objekt- nr	dx	dy	dz	grunnriss	3D
Ilsvik- tunnelen	Matchet	Gjennomsnitt med grove feil		0,019	0,032	0,026	0,073	0,083
		Standardavvik med grove feil		0,100	0,041	0,018	0,086	0,083
		Objekter med grove feil	98	0,374			0,381	0,383
		Gjennomsnitt uten grove feil		-0,002	0,030	0,026	0,055	0,065
		Standardavvik uten grove feil		0,048	0,040	0,019	0,040	0,038
	Ikke matchet	Gjennomsnitt		0,042	-0,003	-0,003	0,102	0,118
		Standardavvik		0,090	0,071	0,058	0,062	0,060
	Skansen- tunnelen	Matchet	Gjennomsnitt med grove feil		0,014	0,000	0,047	0,035
Standardavvik med grove feil				0,039	0,023	0,084	0,031	0,084
Objekter med grove feil			126	0,138			0,144	
Gjennomsnitt uten grove feil				0,008	0,002	0,029	0,030	0,046
Standardavvik uten grove feil				0,028	0,021	0,031	0,020	0,031
Ikke matchet		Gjennomsnitt		-0,012	-0,030	0,011	0,148	0,166
		Standardavvik		0,065	0,148	0,078	0,066	0,068

I dette forsøket ble det funnet to grove feil, hvor begge er i den matchede punktskyen. Objektene er sandfangskummer og hadde grov feil i x-retning. Det kan være flere grunner til at det oppstår grove feil. Nidaros Oppmåling kan ha målt feil, TerraTec AS kan ha matchet feil og den mest sannsynlige årsaken er innmålingsfeil i punktskyen. I tilfellene med sandfangskummene kan det være vanskelig å se hvor midten befinner seg. Grensen mellom kantsteinen og sandfangskummen er diffus og i punktskyen er ikke dette alltid like lett å se overgangen. Figurene 4.1 og 4.2 viser hvordan objektene så ut i punktskyen ved innmåling.

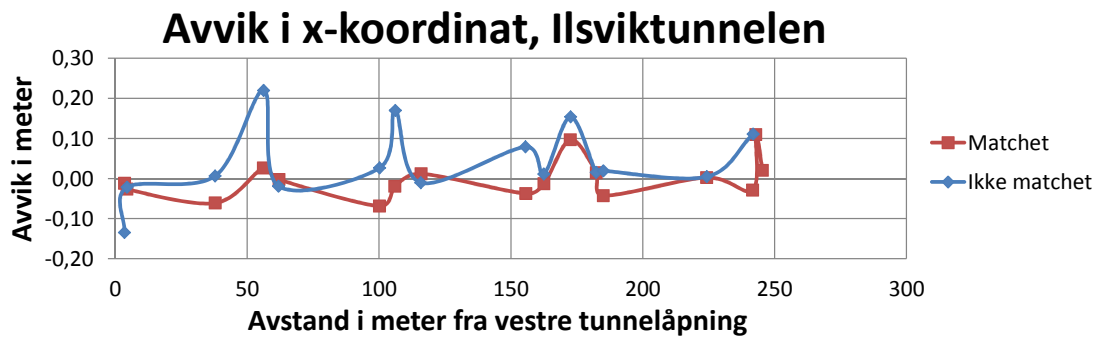


FIGUR 4.1: Objektnummer 98 med grov feil i x-retning. Det grønne punktet viser innmålt punkt i Terrasolid, mens det røde punktet viser importert koordinater fra Nidaros Oppmåling



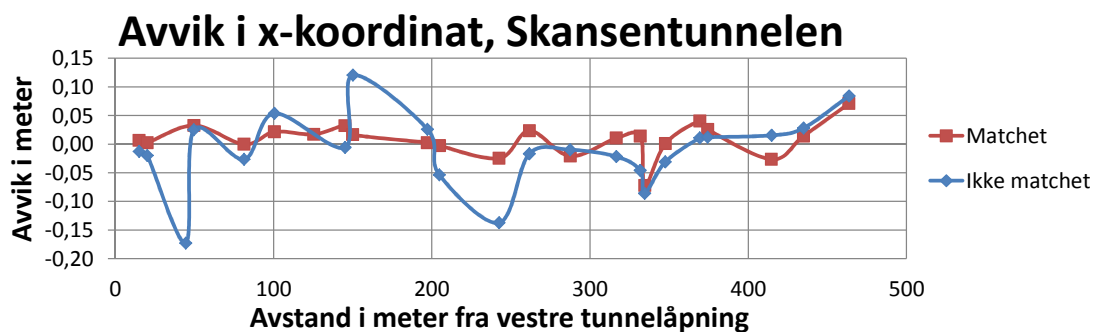
FIGUR 4.2: Objektnummer 126 med grov feil i x-retning. Det grønne punktet viser innmålt punkt i Terrasolid, mens det røde punktet viser importert koordinater fra Nidaros Oppmåling

Figurene 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 og 4.12 viser avvikene uten grove feil mellom Nidaros Oppmåling, som i denne oppgaven regnes som fasit, og punktskyen både med og uten matching. Vedlegg E viser grafer resultatene før grove feil ble fjernet.



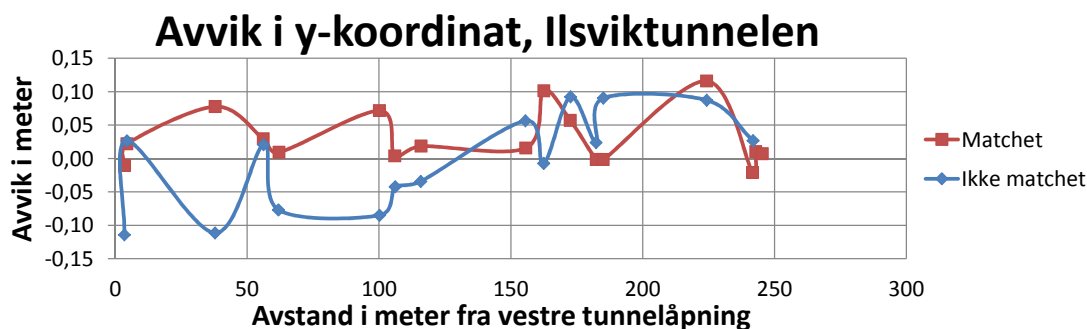
FIGUR 4.3: Avvik mellom x-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punktskyene i Ilsviktunnelen.

Figur 4.3 viser avvikene dx , forklart i likning 2.2 i kapittel 2.5, mellom punktskyene og fasiten i Ilsviktunnelen. Som vist i figuren varierer avviket mellom -6.9 cm og 17.0, med unntak av -13.5cm og 22.0 cm. Det er ingen tydelige trender på avvikene som funksjon av avstanden fra tunnelåpningen.



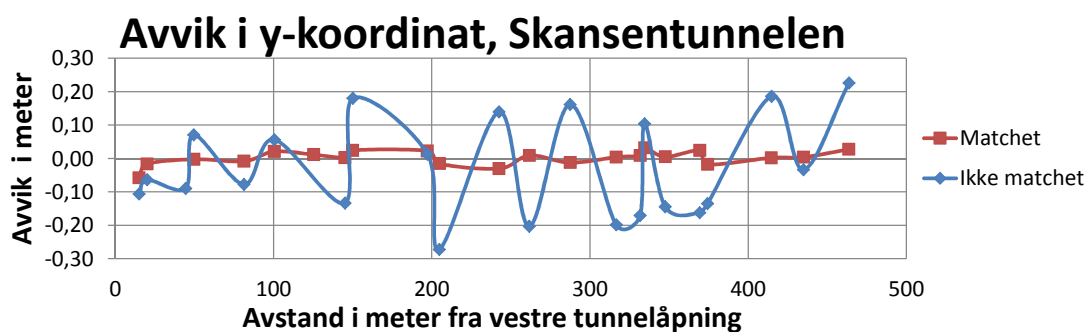
FIGUR 4.4: Avvik mellom x-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punktskyene i Skansentunnelen.

Figur 4.4 viser avvikene dx , forklart i likning 2.2 i kapittel 2.5, mellom punktskyene og fasiten i Skansentunnelen. Avvikene varierer mellom -17.3 cm og 12.0 cm. Det er heller ikke her noen tydelige trender på avvikene, dx , som funksjon av avstanden fra tunnelåpningen, men man kan muligens se en tendens til at det matchede datasettet har lavere avvik.



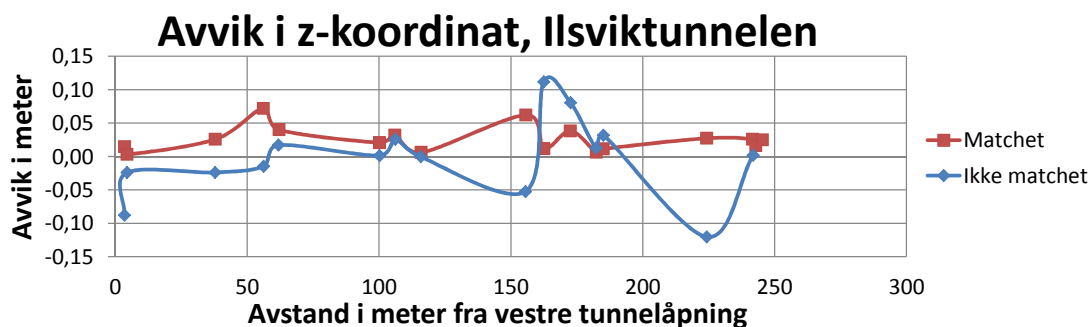
FIGUR 4.5: Avvik mellom y-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punktskyene i Ilsviktunnelen.

Figur 4.5 viser avvikene, dy, forklart i likning 2.3 i kapittel 2.5, mellom punktskyene og fasiten i Ilsviktunnelen. Som vist i figuren varierer avviket mellom -11,4 cm og 11,6 cm. Det er ingen tydelige trender på avvikene som funksjon av avstanden fra tunnelåpningen.



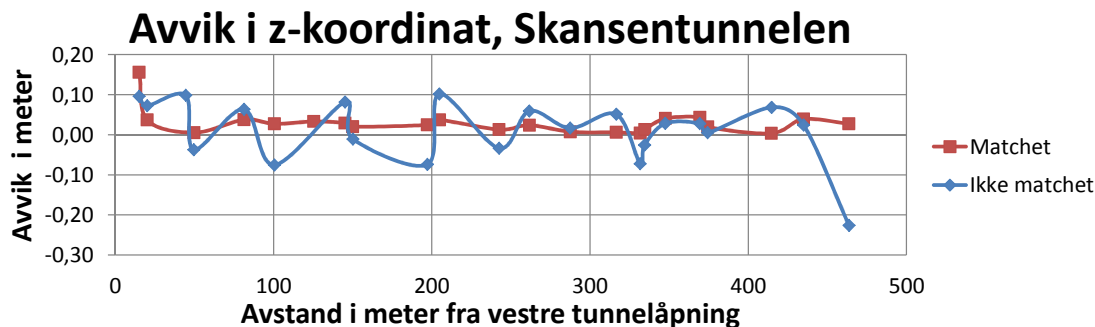
FIGUR 4.6: Avvik mellom y-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punktskyene i Skansentunnelen.

Figur 4.6 viser avvikene dy, forklart i likning 2.3 i kapittel 2.5, mellom punktskyene og fasiten i Skansentunnelen. Som vist i figuren varierer avvikene mellom -20,3 cm og 18,6 cm, med unntak av -27,2 cm og 22,6 cm. Det er ingen tydelige trender på avvikene til det ikke matchede datasettet som funksjon av avstanden fra tunnelåpningen, men det matchede datasettet ligger betydelig mer stabilt og har maksimalt avvik på -5,8 cm.



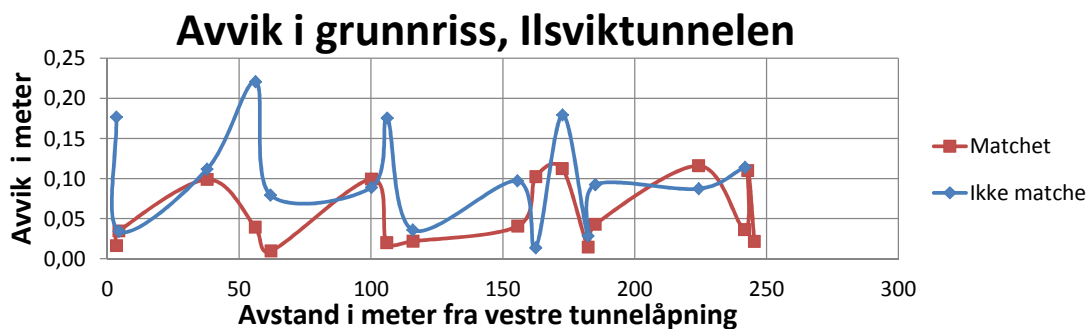
FIGUR 4.7: Avvik mellom z-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punktskyene i Ilsviktunnelen.

Figur 4.7 viser avvikene dz , forklart i likning 2.4 i kapittel 2.5, mellom punktskyene og fasiten i Ilsviktunnelen. Som vist i figuren varierer avvikene mellom -12,0 cm og 11,2 cm. Det er ingen tydelige trender på avvikene som funksjon av avstanden fra tunnelåpningen. Det ser ut til at det matchede datasettet holder seg mer stabilt, med avvik mellom 0,3 cm og 7,2 cm.



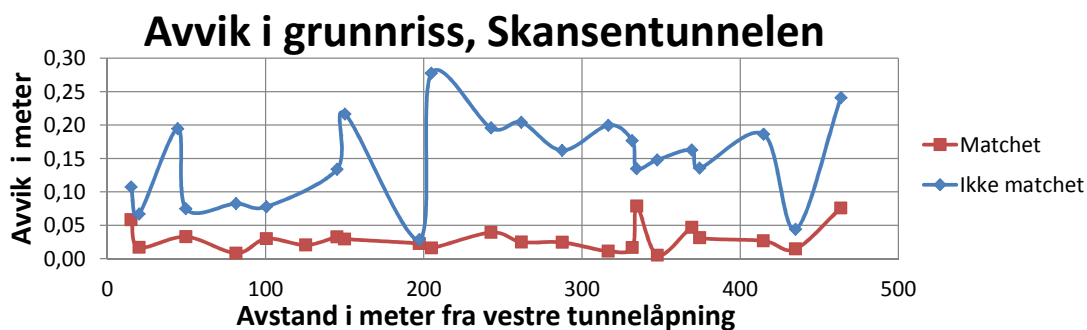
FIGUR 4.8: Avvik mellom z-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punktskyene i Skansentunnelen.

Figur 4.8 viser avvikene dz , forklart i likning 2.4 i kapittel 2.5, mellom punktskyene og fasiten i Skansentunnelen. Som vist i figuren varierer avviket mellom -7,6 cm og 15,6 cm, med unntak av -22,6 cm. Det er ingen tydelige trender på avvikene til det ikke matchede datasettet som funksjon av avstanden fra tunnelåpningen, men det matchede datasettet ligger betydelig mer stabilt med unntak av et par objekter.



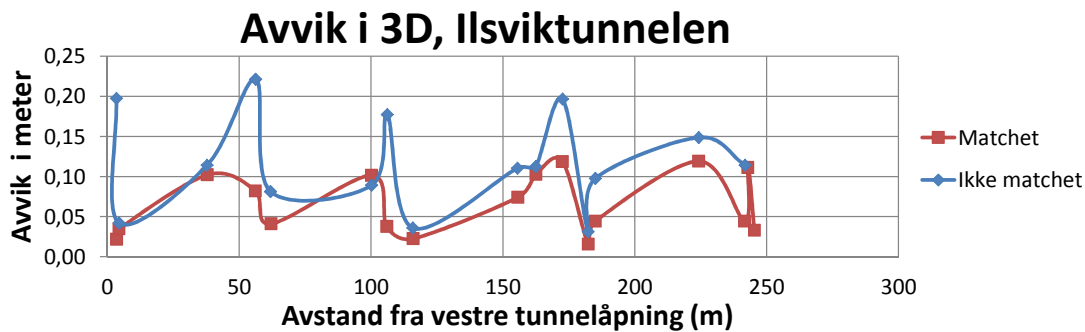
FIGUR 4.9: Avvik mellom xy-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punkt-skyene i Ilsviktunnelen.

Figur 4.9 viser avvikene i grunnriss, forklart i likning 2.5 i kapittel 2.5, mellom punkt-skyene og fasiten i Ilsviktunnelen. Som vist i figuren varierer avvikene mellom 1.0 cm og 22.1 cm. Det er ingen tydelige trender på avvikene som funksjon av avstanden fra tunnelåpningen.



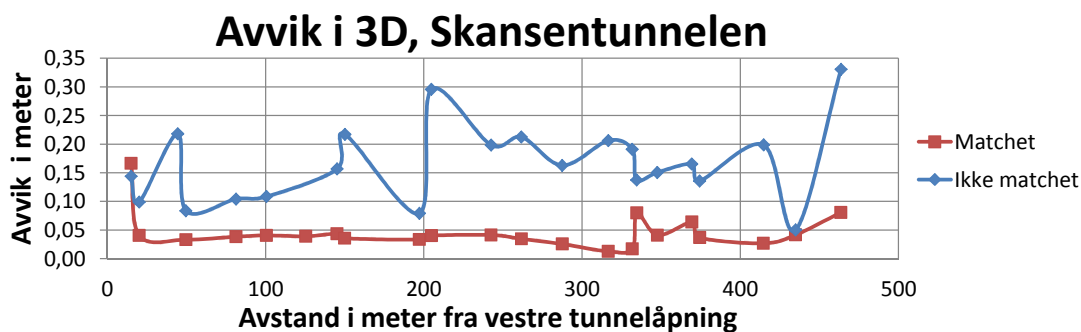
FIGUR 4.10: Avvik mellom xy-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punkt-skyene i Skansentunnelen.

Figur 4.10 viser avvikene i grunnriss, forklart i likning 2.5 i kapittel 2.5, mellom punkt-skyene og fasiten i Skansentunnelen. Som vist i figuren varierer avvikene mellom 0.5 cm og 21.7 cm, med unntak av 24.1 cm og 27.8 cm. Det er ingen tydelige trender på avvikene som funksjon av avstanden fra tunnelåpningen, men på samtlige objekter ligger avvikene høyre for det ikke matchede datasettet i forhold til det matchede.



FIGUR 4.11: Avvik mellom xyz-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punkt-skyene i Ilsviktunnelen.

Figur 4.11 viser avvikene i 3D, forklart i likning 2.6 i kapittel 2.5, mellom punkt-skyene og fasiten i Ilsviktunnelen. Som vist i figuren varierer avvikene mellom 1.6 cm og 22.1 cm. Det er ingen tydelige trender på avvikene som funksjon av avstanden fra tunnelåpningen.



FIGUR 4.12: Avvik mellom xyz-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punkt-skyene i Skansentunnelen.

Figur 4.12 viser avvikene i 3D, forklart i likning 2.6 i kapittel 2.5, mellom punkt-skyene og fasiten i Skansentunnelen. Som vist i figuren varierer avvikene mellom 1.3 cm og 21.8 cm, med unntak av 29.6 cm, 33.1 cm. Det er ingen tydelig trend på avvikene til det ikke matchede datasettet som funksjon av avstanden fra tunnelåpningen. Likevel kan man se en liten tendens til Kalman filteret fra kapittel

2.3.2 ved at flere av avvikene er større midt inne i tunnelen enn de er ved tunnelåpningen. Det matchede punktskyen ligger betydelig mer stabilt med unntak av et par objekter.

Forventningene til avvikene i den ikke matchede punktskyen var at disse grafene skulle ha samme trend som Kalmanfilteret i kapittel 2.3.2. Det betyr at jo lengre unna tunnelåpningen objektene befant seg, jo større skulle avviket være. Det viste seg at ingen slik sammenlikning kan sees. Den ikke matchede punktskyen har dårlig presisjon, men den varierer rundt null. Selv om de grove feilene ble fjernet, viser den ikke matchede punktskyen ingen antydning til å minne om Kalmanfilteret. Og siden den matchede punktskyen har blitt korrigert med kontrollpunkter var forventningene at grafene skulle ligge mot null. Det matchede punktskyen antyder i de fleste grafene at det er mindre avvik og mer stabilt rundt null. Spesielt grafene over Skansentunnelen viser stabile avvik som tilfredsstillende forventningene.

4.3 Statistisk testing

For å undersøke om det matchede datasettet var signifikant forskjellig fra det ikke matchede datasettet ble det gjennomført to statistiske tester, beskrevet i kapittel 2.5. Først ble gjennomsnittene sammenlignet i Students t-test, og deretter ble variansen sammenlignet i Fishers test. Dette ble gjort for å teste om det er nødvendig å matche datasettet. X representerte avvikene til posisjoneringen gjort med det matchede datasettet, mens Y representerte avvikene til posisjoneringen gjort med det ikke matchede datasettet. Resultatene fra teststatistikken, likningene 2.11 og 2.15, i testene vises i tabellene 4.4 og 4.5. Hele utregningen kan ses i vedlegg F.

TABELL 4.4: Resultatene fra teststatistikken for Students t-test og Fishers test for Ilsviktunnelen i dx-, dy- og dz-komponenten

Ilsviktunnelen

Students t test				Fisher test			
	dx	dy	dz		dx	dy	dz
T	-23,701334	28,576094	45,435594	F	0,000000	85,930305	88,321342

Med signifikansnivå $\alpha = 0.05$ blir den kritiske regionen

$$C = \{t : t \geq -t_{\alpha, n_X + n_Y - 2}\} = \{t : t \geq -t_{0.05, 30}\} = \{t : t \geq -1.70\} \quad (4.1)$$

$$[0, f_{\alpha, n_X - 1, n_Y - 1}] = [0, f_{0.05, 16, 14}] = [0, 2.44] \quad (4.2)$$

Siden $T_X < 1.70$ blir ikke H_0 avvist for avvik i x-retning. T_Y og T_Z er større enn -1.70 og havner derfor innenfor det kritiske området, og H_0 blir avvist. Dette betyr at den matchede punktskyen ikke er signifikant forskjellig i gjennomsnittlig avvik fra det ikke matchede datasettet i x-retning. For y-, og z-retning er punktskyenes gjennomsnittlige avvik signifikant forskjellig, og i følge den alternative hypotesen H_1 har den ikke matchede punktskyen betydelig større gjennomsnittlige avvik.

I Fishers testen havner F_X innenfor den kritiske regionen og H_0 blir derfor avvist. F_Y og F_Z er ikke innfor den kritiske regionen og H_0 blir dermed ikke avvist i disse tilfellene. Det betyr at for x-retning er punktskyene signifikant forskjellig, hvor variansen til den ikke matchede punktskyen er betydelig større enn for den matchede punktskyen. For y- og z-retning kan man ikke si at variansen til punktskyene er signifikant forskjellig.

TABELL 4.5: Resultatene fra teststatistikken for Students t-test og Fishers test for Skansentunnelen i dx-, dy- og dz-komponenten

Skansentunnelen

Students t test				Fisher test			
	dx	dy	dz		dx	dy	dz
T	27,070238	9,297207	17,578906	F	0,481291	0,002805	7,319805

De kritiske regionene er:

$$C = \{t : t \geq -t_{\alpha, n_X + n_Y - 2}\} = \{t : t \geq -t_{0.05, 42}\} = \{t : t \geq -1.68\} \quad (4.3)$$

$$[0, f_{\alpha, n_X-1, n_Y-1}] = [0, f_{0.05, 21, 21}] \approx [0, f_{0.05, 20, 20}] = [0, 2.12] \quad (4.4)$$

Siden T_X , T_Y og T_Z alle er større enn -1.68 er de innenfor den kritiske regionen og nullhypotesene vil i både x-, y- og z-retning bli avvist. Dette betyr at gjennomsnittlige avvik til den matchede punktskyen er signifikant forskjellig fra de gjennomsnittlige avvikene til den ikke matchede punktskyen, hvor den matchede har betydelig mindre gjennomsnittlig avvik enn den ikke matchede punktskyen.

I Fisher testen er både F_X og F_Y innenfor det kritiske området, mens F_Z ligger utenfor det kritiske området. Dette betyr at H_0 blir avvist for x- og y- retning som vil si at variansen til avvikene for den matchede punktskyen er signifikant forskjellig fra variansen til avvikene for den ikke matchede punktskyen. For z-retningen blir ikke H_0 avvist og det kan dermed ikke fastslås at det er en signifikant forskjell i variansen til avvikene i de forskjellige punktskyene.

4.4 Feilkilder

En betydelig feil i dette forsøket kan være at det har blitt posisjonert på et annet sted i punktskyen enn Nidaros Oppmåling har målt inn. Fasiten ble levert med en standard beskrivelse om hvor på objektene det ble målt, men det kan likevel ligge en feilmargin i dette. Figur 4.13 viser eksempler på hvor Nidaros Oppmåling har målt inn på objektene. Andre grunner til feilkilder i denne oppgaven kan være:

- Nøyaktigheten til navigasjonsløsningen.
- Unøyaktig innmåling med totalstasjon.
- Unøyaktig innmåling med GNSS.
- Feil i matching av punktsky.
- Feil tyding av objektene i punktskyen.



FIGUR 4.13: Eksemplet viser på objektene sandfangskum og veglys Nidaros Oppmåling har målt inn. Bildet er tatt av Nidaros Oppmåling

Kapittel 5

Diskusjon

Dette kapitlet tar for seg diskusjon av resultatene, laserskanningen og erfaringer gjort i applikasjonen Terrasolid.

Resultatene

Resultatene fra forsøket i kapittel 4.2 i tabell 4.3 viser at gjennomsnittene og standardavvikene, både med og uten grove feil, på avvikene går betraktelig ned når de grove feilene fjernes. Likevel er det ingen av standardavvikene som overskrider Statens vegvesen sitt nøyaktighetskrav på 20 cm i standardavvik. I den virkelige verden, hvor man ikke har noen fasit å sammenligne med, vil det være naturlig å se på avvikenes gjennomsnitt og standardavvik med grove feil. I teorien kom det fram forskjellen på nøyaktighet og presisjon. Ut i fra tabellen ligger gjennomsnittet på avvikene på maksimalt 16.6 cm i 3D og standardavviket er maksimalt 14.8 cm. Til å være i tunnel hvor det er vanskelig å posisjonere, er det liten spredning og posisjonene til objektene er nærme fasiten.

Siden posisjoneringen gjennomført i forsøket tilfredsstillter Statens vegvesen sine nøyaktighetskrav, kan det vurderes om Statens vegvesen skal implementere laserskannere på sine egne biler. I kapittel 2.2 beskrives bilene til Statens vegvesen som bruker ViaPPS. Disse blir ikke brukt til innmåling av vegobjekter i dag,

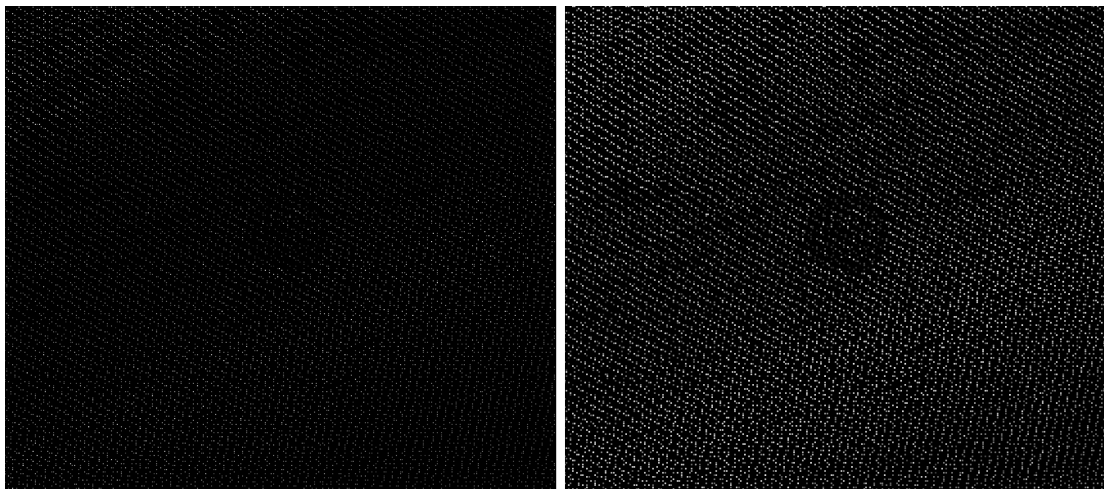
men en mulighet kan være å implementere LiDARteknologien på disse bilene for å slippe å ha egne biler som kjører kun for innmåling av vegobjekter. Bilene med ViaPPS er allerede daglig ute på vegen av andre årsaker og de har allerede montert posisjoneringsutstyret. Hvis Statens vegvesen ønsker å gjennomføre denne ideen vil det ikke bli målt inn kontrollpunkter samtidig som bilen er ut på vegen, dermed vil det ikke være mulig å matche punktskyen. Enten må det på et senere tidspunkt bli målt inn kontrollpunkter eller så må Statens vegvesen posisjonere i en punktsky som ikke er matchet. Ut i fra de statistiske testene vises det til en signifikant forskjell i gjennomsnitt og variasjon i avvikene til den matchede og ikke matchede punktskyen. På en annen side, ved å lese verdier fra tabell 4.3 i kapittel 4.2 overskrider ikke disse Statens vegvesen sine krav på 20 cm standardavvik i grunnriss og høyde. I tillegg viser resultatene fra kapittel 4.1 at det kun ble funnet 4 flere objekter med den matchede punktskyen.

De statistiske testene, kapittel 4.3, undersøkte om det var en signifikant forskjell på det matchede og det ikke matchede datasettet. For Ilsviktunnelen var det varierende resultater, mens for Skansentunnelen var testene mer entydig. Med tanke på at Skansentunnelen hadde tydeligere resultater er det denne som vil bli diskutert videre. Det viste seg at det er en signifikant forskjell i både gjennomsnitt og varians til de to datasettene, med unntak av variansen til avvikene i z-retning. Dette kan forklares med at høyden ofte har mer usikkerhet og er vanskeligere å bestemme, derfor varierer både det matchede datasettet og det ikke matchede datasettet mye og variansene til avvikene vil derfor ikke være signifikant forskjellig fra hverandre. Selv om z-retningene i Fishers testen ikke er signifikant forskjellig fra hverandre, viser testen at x- og y-retningen er det. Alle disse retningene henger sammen, man kan ikke velge å kun posisjonere i en retning. Dermed kan det sies at den matchede og den ikke matchede punktskyen er signifikant forskjellig fra hverandre både i gjennomsnitt og varians til avvikene. Ut i fra den alternative hypotesen har den matchede punktskyen betydelig mindre varians enn den ikke matchede. Det betyr at det vil være en forskjell for Statens vegvesen hvis de velger å bruke laserskannere på egne biler for så å ikke matche de resulterende punktskyene. I kapittel 2.5 nevnes det at det er ønskelig å unngå feilen og avvise H_0 hvis

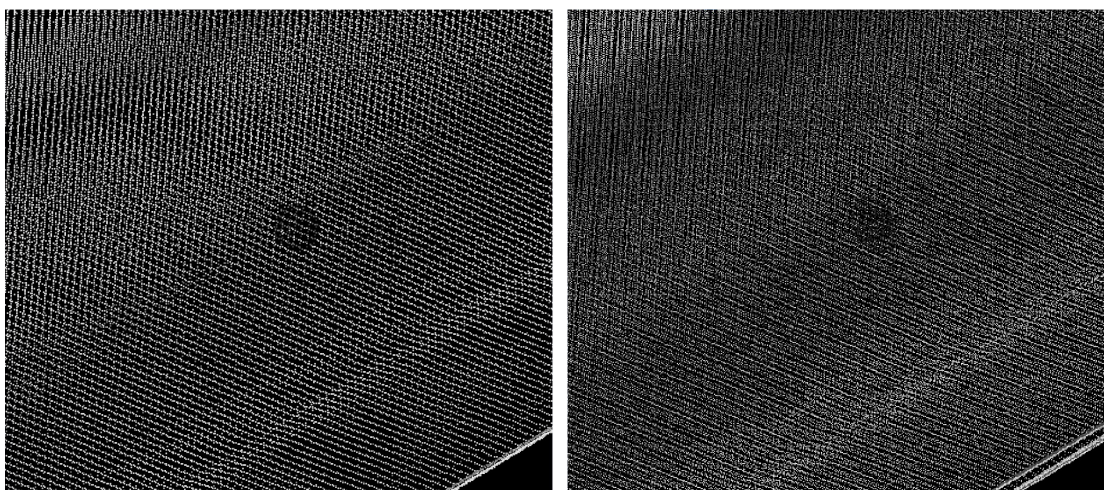
den faktisk representerer det reelle tilfellet. Derfor må det flere undersøkelser til før man kan slå fast at det er signifikant forskjell på den matchede og ikke matchede punktskyen

Om det viser seg at det er en signifikant forskjell i både gjennomsnitt og varians til de to datasettene. Vil det i hovedsak bety at det er en fordel for Statens vegvesen å matche datasettene før det blir utført posisjonering av vegobjektene i punktskyen. Enten ved å betale for det eller å lære opp ansatte til å utføre jobben. Erfaringsmessigst var brukeropplevelsen en helt annen å jobbe i det matchede datasettet. Objektene hadde tydeligere avgrensninger og opplevdes som letter å se. I tillegg ble det brukt mye kortere tid da man ikke behøvde å vise ett og ett skann fra hver enkelt laserskanner.

Det varierte hvor enkelt det var å se objektene i punktskyen. Noen av objektene var veldig tydelige å se både i fargekontrast og form, mens for andre objekter måtte det justeringer i punktskyen til før objektene ble synlige, kapittel 3.2.5 beskriver hvordan innmålingene ble gjort. Ved justering av punktstørrelse og endring av fargeskala kom objektene tydeligere frem, men dette er en tidkrevende og pirkete jobb. Figur 5.1 viser hvordan et objekt kan se ut før og etter justering av punktstørrelse og fargeskala. Det var betydelig enklere å se klare avgrensninger på objektene i den matchede punktskyen. Grunnen til dette er at alle skannene fra hver enkelt laserskanner har satt sammen i matching og man får dermed flere punkter i området. For å se objektene i den ikke matchede punktskyen var det nødvendig å se på et og et skann fra hver enkelt laserskanner, da det ble "gromsete" å se med alle lagene over hverandre. Dette tok lenger tid å gjennomføre. Figur 5.2 viser forskjellen i synlighet til objektene i en matchet punktsky og en ikke er matchet punktsky.



FIGUR 5.1: Et objekt i punktskyen før og etter endring av punktstørrelse og fargeskala. Kvaliteten på bildet til venstre er av lavere kvalitet enn hva programmet fremstiller.



FIGUR 5.2: Synligheten til samme vegobjektet. Bildet til venstre er med en matchet punktsky og bildet til høyre er en ikke matchet punktsky

Selv om det var enklere å se objektene i den matchede punktskyen ble det kun funnet 4 flere objekter med matching i forhold til punktskyen uten matching. Dette er ikke en betydelig større mengde med tanke på at gjenfinningsprosenten økte fra 45.7 % til 50.6 %. Det var i tillegg ikke mulig å se vegoppmerkingen, disse er ikke medregnet i de 81 objektene som har blitt analysert i oppgaven. Vegoppmerkingene representerte 128 av de totalt 209 objektene som Nidaros Oppmåling målte inn.

Hvis dette er tilfellet for de fleste laserskann i tunnel, vil Statens vegvesen uansett måtte ty til det nåværende systemet med vegreferanser for å få stedfestet alle vegobjekter som befinner seg i en tunnel.

Av alle objektene, utenom ett, som ikke ble funnet var det kun kummer. At det var kummer som hadde høyt frafall kan skyldes at det ligger støv, sand, grus, is eller snø over kumløkket og gjør det ugjenkjennelig i punkttskyene. Det siste objektet som ikke ble funnet er en sandfangskum. Alle disse objektene ligger i bakkeplan og er utsatt for å bli tildekt. I motsetning til veglys som henger på veggen og sandfangskummer som har store hull hvor all potensiell fortetning kan falle rett gjennom.

For å potensielt finne flest mulig objekter i punkttskyene ble det i forsøket importert inn fasiten fra Nidaros Oppmåling før posisjoneringen av vegobjektene ble gjennomført i programmet. Dette kan ha hatt en stor innvirkning på antall objekter som totalt ble funnet. Det er mulig færre objekter ville blitt oppdaget, hvis dette ikke hadde blitt gjort. På flere av objektene ble det brukt lang tid ved å endre på visningsinnstillingene og rotere på synsvinkelen, hadde man ikke visst at det lå et objekt i området ville det mest sannsynlig ikke blitt funnet. For Statens vegvesen sin del kan det være en mulighet å importere inn koordinatene som ikke tilfredsstillende nøyaktighetskravene for de objektene som allerede ligger i NVDB. Dette vil gi en veiledning på hvor mange objekter som befinner seg i tunnelen og hvor omtrentlig det befinner seg. I denne oppgaven har dette ikke blitt undersøkt noe videre. En annen mulighet for å potensielt finne flere objekter kan være å påføre RGB-verdier på laserpunktene, kapittel 3.2.6 beskriver hvordan dette ville blitt gjort. Påføring av RGB-verdier på punktene er en tidkrevende og komplisert prosess. Det må derfor vurderes om det er verdt jobben i forhold til hvor mange flere punkter som blir funnet.

Mobil kartlegging

Det er flere fordeler med mobil kartlegging. For det første kan laserskanning gjennomføres uavhengig av lysforhold. LiDAR er en "aktiv" lysteknikk som, i motsetning til andre innmålingsteknikker som fotografering, ikke avhenger av lys fra omgivelsene for å utføre jobben (Optech Incorporated, 2006). Det betyr at man kan samle inn data selv om det er mørk. Ulempen er at bildene som blir tatt samtidig som laserskanningen kan bli uskarpe og vil da ikke være til noen hjelp for å orientere seg i punktskyen. En annen fordel er at denne teknikken kan brukes året rundt når det gjelder tunnel. I dagen er det nødvendig å sjekke været før man starter med skanningen, da laserskanneren bruker lys og er avhengig av at ingen atmosfæriske tilstander forstyrrer strålen. Likevel viser erfaringene fra forsøket at selv om man er inne i tunnelen kan is og snø dekke over objekter.

Andre fordeler er at mobil kartlegging vil gjøre det lettere for Statens vegvesen ved at det kun trenges en innmålingsmetode under både tilstrekkelige og utilstrekkelige GNSS-forhold. Det betyr at man bare trenger en type bil som er ute på vegen til en hver tid i stedet for flere slik det er i dag. I tillegg kan en bil tilsvarende Lynx Mobile Mapper kjøre jevnt i relativt høy hastighet. Dette medfører mindre hindringer i trafikken og stenging av veger, og vil være mer sikkert både for de ansatte i Statens vegvesen og bilistene. I tillegg vil denne innmålingsmetoden være mer tidsbesparende enn slik det gjøres i dag.

På en annen side er det også ulemper med laserskanning. Sterkt reflekterende gjenstander kan mette mottakersystemet, det vil si produserer et ugyldig eller mindre nøyaktig signal (Optech Incorporated, 2006). Det kan være en av grunnene til at vegoppmerkingene ikke er synlige i laserpunktskyen, da de er dekket av reflekser. Dette vil muligens også gjelde for andre reflekterende objekter, som skilt. En annen ulempe er at laserstrålen ikke klarer å trenge gjennom snø, sand og grus.

Erfaringer i Terrasolid

Det har blitt gjort flere erfaringer i denne oppgavene med applikasjonen Terrasolid i programmet MicroStation. Dette er en applikasjon som er svært omfattende og har mange valgmuligheter. I denne oppgavene har det kun blitt brukt en brøkdel av mulighetene, men likevel har det tatt en stund å lære og sette seg inn programmet. I applikasjonen kan det velges å vise forskjellige skann, endre størrelse, fargeskala, klasser, høyde og intensitet for punktene. Disse verktøyene brukes for å gjenkjenne objektene for så å posisjonere objektet og eksportere ut koordinatene. Men man kan fort føle seg forvirret med alle valgmulighetene. Når det er sagt, applikasjonen er et godt verktøy for behandling og posisjonering av objektene. For uerfarne ansatte hos Statens vegvesen vil det være fullt mulig å beherske samme type verktøy for behandling av punktskyen og posisjonering av objektene etter litt opplæring. Det er trolig ingen umulighet å lære seg matching av punktskyen selv om det har blitt gjort av TerraTec AS i denne oppgaven. Men dette krever at Statens vegvesen har mulighet til selv å måle inn kontrollpunkter.

Kapittel 6

Konklusjon

I denne oppgaven har det blitt sett på laserskanning som alternativ metode for stedfesting av vegobjekter, etter Statens vegvesen sitt ønske. Det er satt krav til nøyaktigheten i forhold til FKB-B-standarden på maksimalt 20 cm standardavvik i både grunnriss og høyde. Forsøket viser til at nøyaktigheten oppfyller Statens vegvesen sine krav, og presisjonen, gjennomsnittlig avvik, ligger på maksimalt 16.6 cm.

Ut i fra forsøket som er gjort med undersøkelser i to tunneler ble det kun funnet 50.6 % av objektene med matchet punktsky og 45.7 % i den ikke matchede punktskyen, og da er ikke vegoppmerkingene inkludert i beregningene. Resultatene betyr at det kan bli vanskelig å gjenfinne samtlige vegobjekter som befinner seg i punktskyen. Hvis dette er tilfellet for de fleste laserskann i tunnel, vil Statens vegvesen i tillegg måtte ty til andre stedfestingsmetoder eller det nåværende systemet med vegreferanser på de resterende objektene. En mulighet for å gjøre det enklere ved gjenfinning kan være å importere unøyaktige koordinater som allerede ligger i NVDB fra før. Disse koordinatene tilfredsstill ikke Statens vegvesen sine nøyaktighetskrav, men kan brukes som veiledning for å finne objektene.

Det har i denne oppgaven også blitt betraktet forskjellene på matchet og ikke matchet punktsky. Dette har blitt gjort for å se om det er en mulighet at Statens

vegvesen kan implementere laserskannere på sine egne biler uten å måle inn kontrollpunkter og matche i ettertid. Resultatene av statistisk testing viste at det var en signifikant forskjell på punktskyene, men ut i fra standardavvik på avvikene oppfyller det Statens vegvesen sitt nøyaktighetskrav. Erfaringsmessigst ble objektene mer markante og det ble brukt kortere tid på å posisjonere dem i den matchede punktskyen.

Det er viktig å påpeke at slutningene konklusjonene ikke er generaliserende for alle tunneler som blir skannet med laser. Dette er kun konklusjoner basert på tunnelene som har blitt undersøkt i forsøket.

Kapittel 7

Videre Arbeid

Denne oppgaven har tatt for seg gjenfinning av objekter ved bruk av laserskanning i tunnel hvor det er utilstrekkelig GNSS-dekning, og om dette tilfredsstillter Statens vegvesen sine nøyaktighetskrav som posisjoneringsmetode. Det ble ikke gjennomført drapering av bildene på punktskyene. Det kan være aktuelt å undersøke om det vil være enklere å gjenkjenne objektene med veiledning av både formen fra punktskyen og fargen fra bildene.

Det som også kan undersøke videre er om det finnes noen gode gjenfinningsalgoritmer. Det er tidkrevende å lete etter alle objektene i punktskyen. Flere av objektene har karakteristiske flater som det burde være mulig å kjenne igjen, som veglys. I Terrasolid kan man kjøre automatisk gjenfinning for veg, hus og master, men det må settes en del spesifikasjoner før det kan kjøres.

Bibliografi

- BeiDou Navigation Satellite System, . Development plan, 2013. URL <http://www.beidou.gov.cn/2012/12/14/2012121481ba700d7ca84dfc9ab2ab9ff33d2772.html>. Besøkt 05.06.2013.
- Bentley Systems Incorporated, . MicroStation V8i, 2013. URL <http://www.bentley.com/en-US/Products/MicroStation/>. Besøkt 14.05.2013.
- Böhler, Wolfgang and Marbs, Andreas. 3D scanning instruments. In *Proceedings of the CIPA WG 6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording, Ziti, Thessaloniki*, pages 9–18, 2002. URL http://www.i3mainz.fh-mainz.de/publicat/korfu/p05_Boehler.pdf.
- Bratheim, Per Christian; Eilefsen, Asbjørn; Elden, Hallstein Vegard; Harsson, Bjørn Heirr; Opseth, Per Erik; Skadberg, Trygve; Skogedal, Pål; Solli, Petter; Svendsen, Jon Glenn Gjevestad, and Sundby, John. Satellittbasert posisjonsbestemmelse. Technical report, 2009. URL <http://www.statkart.no/Documents/Standard/BransjestandarderutoversOSI/satbaspossystemer.pdf>.
- Chen, Victor C and Lipps, Ronald. ISAR imaging of small craft with roll, pitch and yaw analysis. In *Radar Conference, 2000. The Record of the IEEE 2000 International*, pages 493–498. IEEE, 2000. URL <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=851883>.
- Cyclomedia Technology B V, . Mobile Mapping Positioning, 2011.
- Dougherty, Edward R. *Probability and statistics for the engineering, computing, and physical sciences*. Prentice-Hall, Inc., 1990.

- Esri, . ArcGIS Help 10.1, 2012. URL <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//015w00000041000000>. Besøkt 02.04.2013.
- European Space Agency, . Fact sheet, 2013. URL http://download.esa.int/docs/Galileo_IOV_Launch/Galileo_factsheet_2012.pdf. Besøkt 05.06.2013.
- Geng, XueXian; Li, Qingquan, and Shi, ZhongChao. GPS/IMU/DMI integrated high-precision positioning approach. In *Geoinformatics 2006: GNSS and Integrated Geospatial Applications*, pages 64180U—64180U. International Society for Optics and Photonics, 2006. URL <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=1295617>.
- Godha, Saurabh. Performance Evaluation of Low Cost MEMS-Based IMU Integrated With GPS for Land Vehicle Navigation Application, 2006.
- Gong, Jie; Zhou, H; Gordon, C, and Jalayer, M. Mobile Terrestrial Laser Scanning for Highway Inventory Data Collection. In *Computing in Civil Engineering (2012)*, pages 545–552. ASCE, 2012. URL http://www.optech.ca/pdf/Aerial_Perspective.pdf.
- Groves, Paul D. *Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems*. 2008. URL <http://site.ebrary.com/lib/ntnu/docDetail.action?docID=10240782>.
- Gule Sider, . Gule Sider Kart, 2013. URL <http://kart.gulesider.no/m/n02R3>. Besøkt 06.02.2013.
- Hansen, Åsmund Kjenstad. NVDB - Etablering, ajourføring og bruk. Technical report, 2011. URL http://norgedigitalt.no/filestore/Landdivisjonen_ny/Fylkeskartkontorene/Trondheim/Norge_digitalt/20111129ASMHANNorgeDigitaltjulemte-smundHansen.pdf. Besøkt 07.04.2013.
- Heywood, Ian; Cornelius, Sarah, and Carver, Steve. *An introduction to geographical information systems*. Prentice Hall, 4th ed edition, 2011.

- Kaartinen, Harri; Hyyppä, Juha; Kukko, Antero; Jaakkola, Anttoni, and Hyyppä, Hannu. Benchmarking the Performance of Mobile Laser Scanning Systems Using a Permanent Test Field. *Sensors*, 12(9):12814–12835, 2012.
- Kartverket, . SOSI - FKB Gjennomføring av geodatakontroll. Technical report, 1997. URL http://norgedigitalt.no/filestore/Landdivisjonen_ny/Fagomrder/1Geovekst/Veiledningsperm/i5-20.pdf. Besøkt 16.03.2013.
- Kartverket, . CPOS, 2012. URL <http://www.statkart.no/Posisjonstjenester/CPOS/>. Besøkt 30.05.2013.
- Kartverket, . Geovekst, 2013. URL <http://www.statkart.no/om-kartverket/samarbeid/geovekst/>. Besøkt 16.03.2013.
- Lund, Stine Røsjorde. Posisjonsbestemmelse av vegobjekter i områder med utilstrekkelig GNSSdekning. 2012.
- Mæhlum, Lars. FKB, 2013. URL <http://sn1.no/FKB>. Besøkt 08.05.2013.
- Molumen, Lumen Design Studio. File:Molumen zaz 965.svg, 2006. URL http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Molumen_zaz_965.svg. Besøkt 24.05.2013.
- Nitzan, David; Brain, Alfred E, and Duda, Richard O. The measurement and use of registered reflectance and range data in scene analysis. *Proceedings of the IEEE*, 65(2):206–220, 1977. URL <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1454727>.
- OpenStreetMap contributors, . OpenStreetMap, 2013. URL <http://www.openstreetmap.org/>. Besøkt 12.05.2013.
- Optech Incorporated, . About Lidar, 2006. URL <http://www.optech.ca/aboutlaser.htm>. Besøkt 09.05.2013.
- Optech Incorporated, . Lynx Mobile Mapper Brochure. Besøkt 27.03.2013, 2013a. URL http://www.optech.ca/pdf/EN_lynx_brochure_SS_111031_web.pdf.

Optech Incorporated, . Complete Solutions for Mobile Surveying. 2013b. URL http://www.optech.ca/pdf/EN_lynx_brochure_SS_111031_web.pdf. Besøkt 05.05.2013.

Pfeifer, Norbert and Briese, Christian. Laser Scanning - Principles and Applications. Technical report, 2007. URL <http://www.ipf.tuwien.ac.at/np/Publications/geosibirPfeifer.pdf>.

Puente, I; González-Jorge, H; Arias, P, and Armesto, J. Land-Based Mobile Laser Scanning Systems: A Review. 2011.

Puente, I; González-Jorge, H; Martínez-Sánchez, J, and Arias, P. Review of mobile mapping and surveying technologies. *Measurement*, 46(7):2127–2145, 2013. ISSN 0263-2241. doi: 10.1016/j.measurement.2013.03.006. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224113000730>.

Richman, Andrew and Hogarth, Patric. Using Mobile Lidar Data to Manage Risk in Flood-Prone. *Professional surveyor Magazine*, 3:1–3, 2010. URL http://www.optech.ca/pdf/Aerial_Perspective.pdf. Besøkt 10.05.2013.

Samferdselsdepartementet, . Statens vegvesen. URL <http://www.regjeringen.no/nb/dep/sd/dep/underliggende-etater/statens-vegvesen.html?id=443412>. Besøkt 07.04.2013.

Skogseth, Terje; Wangen, Helge; Geir Simensen, ; Aarstein Waade, ; Norberg, Dag, and Øfsti, Oddgeir. *Grunnleggende landmåling*. Universitetsforlaget, 4. opplag edition, 1998. ISBN 978-82-00-42453-6.

Soininen, Arttu. TerraPhoto User ' s Guide. page 188, 2009. URL <http://www.terrasolid.com/download/tphoto.pdf>. Besøkt 14.05.2013.

Soininen, Arttu. TerraScan User ' s Guide. page 311, 2012. URL <http://www.terrasolid.com/download/tscan.pdf>. Besøkt 14.05.2013.

Soininen, Arttu. TerraMatch User's Guide, 2013. URL <http://www.terrasolid.com/download/tmatch.pdf>. Besøkt 07.04.2013.

- Statens vegvesen, . Nasjonal Vegdatabank (NVDB). 2013a. URL <http://www.vegvesen.no/Fag/Teknologi/Nasjonal+vegdatatabank>. Besøkt 15.02.2013.
- Statens vegvesen, . Datakatalog for Statens vegvesen, 2013b. URL <http://kunder.runit.no/vegvesen/datakatalog/>. Besøkt 01.02.2013.
- Statens vegvesen, . På veg for et bedre samfunn, 2013c. URL http://www.vegvesen.no/Om+Statens+vegvesen/Om+Statens+vegvesen/Om+organisasjonen/Fakta/Fakta+om+Statens+vegvesen.183872.cms?fast_title=Fakta+om+Statens+vegvesen. Besøkt 18.05.2013.
- Statens vegvesen, . SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for Felles KartdataBase (FKB), 2013d. URL <http://www.statkart.no/Documents/Standard/SOSIkap3Produktspesifikasjoner/FKB02/0-Generelldel-2013-01-01.pdf>.
- Statens vegvesen, . Veiledning til krav om leveranse av data til FKB-kart og NVDB fra bygge- og driftskontrakter. (2.2), 2013e.
- Terrasolid Oy, . Terrasolid Products, 2013a. URL <http://www.terrasolid.com/products.html>. Besøkt 14.05.2013.
- Terrasolid Oy, . TerraPhoto – Ortho-rectification of Images and Data Visualization, 2013b. URL <http://www.terrasolid.com/products/terrphotopage.html>. Besøkt 14.05.2013.
- Terrasolid Oy, . TerraScan – Software for LiDAR Data Processing and 3D Vector Data Creation, 2013c. URL <http://www.terrasolid.com/products/terrascanpage.html>. Besøkt 14.05.2013.
- TerraTec AS, . Laserskanning fra bil og tog, 2013. URL http://terratec.no/bilbaaren_laserskanning/cms/82/30/hent_artikkel/21. Besøkt 05.05.2013.
- Vegdirektoratet, . *Håndbok 273 Nasjonalt vegreferansesystem*. Number April. 2010. URL http://www.vegvesen.no/_attachment/61505/binary/320498?fast_title=H%C3%A5ndbok+273+Nasjonal+vegreferansesystem.pdf.

Vegdirektoratet, . Håndbok 051 Arbeid på og ved veg. Technical report, 2012a.

URL http://www.vegvesen.no/_attachment/61423.

Vegdirektoratet, . *Håndbok 138 Modellgrunnlag*. 2012b. ISBN 9788272076534.

URL http://www.vegvesen.no/_attachment/395908/binary/679032.

ViaTech AS, . ViaPPS. Besøkt 03.06.2013, 2012. URL http://www.viatech.no/ezpublish-4.2.0/local/datasheets_no/ViaPPS_N0.pdf.

Vosselman, George; Maas, Hans-Gerd, and Others, . *Airborne and terrestrial laser scanning*. Whittles, 2010.

Won, Seong-hoon Peter; Melek, Wael William, and Golnaraghi, Farid. A Kalman / Particle Filter-Based Position and Orientation Estimation Method Using a Position Sensor / Inertial Measurement Unit Hybrid System, 2010.

Tillegg A

Oppgavebeskrivelse



MASTEROPPGAVE
(TBA4925 Geomatikk, masteroppgave)

VÅREN 2013
for
Stine Røsjorde Lund

Posisjonering av vegobjekter i områder med utilstrekkelig GNSS-dekning

BAKGRUNN

Statens vegvesen ønsker å undersøke laserskanning som ny metode for posisjonering av objekter langs veien. Det har kommet nye nøyaktighetskrav i objektene i NVDB, og den nåværende metoden for posisjonering i tunnel oppfyller ikke disse kravene.

OPPGAVE

Beskrivelse av oppgaven

1. Gi en oversikt over posisjoneringssystemet som brukes ved bilbåren laserskanning.
2. Gi en kritisk gjennomgang av dette systemet med fokus på kravene fra Statens vegvesen (brukervennlighet, system mobilitet, gjenfinning og nøyaktighet).
3. Basert på de innsamlede feltdataene, gi en detaljert analyse av objektets posjoneringsnøyaktighet ved bruk av 3D laserskanning

Målsetting og hensikt

Hensikten med oppgaven er å undersøke nye innmålingsmuligheter for objekter i tunnel for Statens vegvesen. Målet er å kartlegge laserskanning som innmålingsmetode, og utføre forsøk for å studere om den tilfredsstillende Statens vegvesen sine krav.

GENERELT

Oppgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendighet i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- forord
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- innholdsfortegnelse inklusive oversikt over figurer, tabeller og vedlegg
- om nødvendig en liste med beskrivelse av viktige betegnelser og forkortelser benyttet
- hovedteksten
- referanser til kildemateriale som ikke er av generell karakter, dette gjelder også for muntlig informasjon og opplysninger.
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.
- besvarelsen skal ha komplett paginering (sidenummerering).

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel. Arbeidet leveres da også med rapportforside og tittelside og om nødvendig med vedlegg som dokumenterer arbeid utført i prosessen med utforming av artikkelen.

Se forøvrig «Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave ved Institutt for bygg, anlegg og transport». Finnes på <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ eksternt samarbeidspartner.

Ved innlevering av oppgaven skal kandidaten levere en CD med besvarelsen i digital form i pdf- og word-versjon med underliggende materiale (for eksempel datainnsamling) i digital form (f. eks. excel). Videre skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i SB II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og eksternt samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om



Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
Institutt for bygg, anlegg og transport

Page 3 of 3 pages

det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>.

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Innleveringsfrist:

Arbeidet med oppgaven starter 10. januar 2013

Besvarelsen leveres senest ved registrering i DAIM innen 10. juni 2013 kl 1500.

Faglærer ved instituttet: Trond Arve Haakonsen

Veileder(eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner: Åsmund Hansen, Statens vegvesen, og Nadezda Sokolova, SINTEF

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU
Dato: 14.01.2013, (revidert: 05.06.2013)

Underskrift



Trond Arve Haakonsen

Tillegg B

Arbeidsvarslingsplan

Bruk av regnearkene

Det er i utgangspunktet bare nødvendig å fylle ut de hvite feltene på arkene. Data som brukes i flere ark, hentes først og fremst fra arket **Risikovurdering**.

NB: **Særskilt vedtak** skal fylles ut av skiltmyndigheten!

Låsing

For å hindre at det skrives i ruter som ikke skal endres, er regnearkene låst. Når regnearket er låst, kan det bare skrives i de hvite cellene.

For å låse opp et ark:

Tidl. Office-versjon: Velg Verktøy - Beskyttelse - Opphev arkbeskyttelse - passord 051

Office 2010: Fil - Informasjon - Tillatelser - passord 051.

For å låse et ark:

Tidl. Office-versjon: Velg Verktøy - Beskyttelse - Beskytt ark - Skriv inn passord 051 (sjekk at det bare er krysset av for ulåste celler)

Deretter må passordet gjentas.

Office 2010: Se gjennom - Beskytt ark - Skriv inn passord 051 som over.

Vegmelding (Skiltmyndighet)

Vegmelding sendes til Vegtrafikksentralen når en veg blir stengt eller når det blir redusert fremkommelighet på veger med en del trafikk (f.eks med ADT over 1500). (Dette er ønsket praksis fra VTS-sør; må avklares i hver region)


Utskrift (Skiltmyndighet)


Arkene bør skrives ut i pdf-format før lagring i Sveis og ved oversendelse til entreprenører.

Justert den: **18.7.2012**



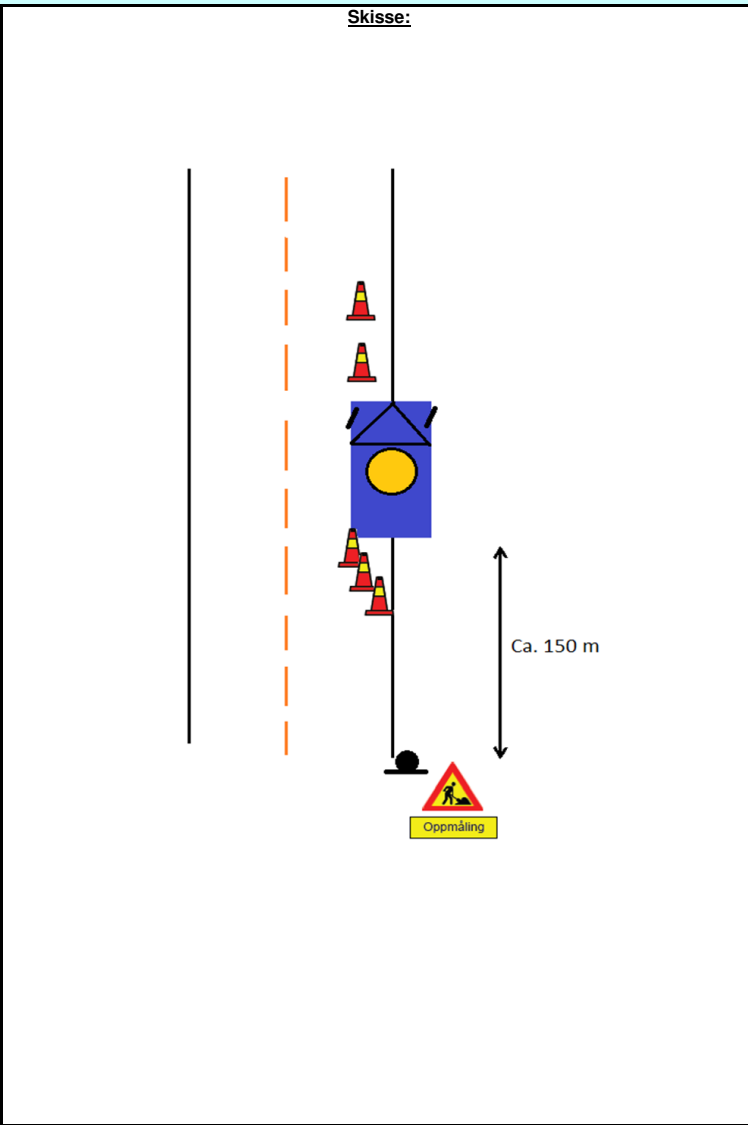

- Endret tekst i arkene fra "Sveis nr." til "Sak/Sveis nr."

- Plan-, sak/sveis- og vedtaksnummer legges inn via arket **Særskilt vedtak**.

 Statens vegvesen																																																																											
Enkel risikovurdering av arbeide på eller ved veg																																																																											
Plan nr.: 0	Sak/Sveis nr.: 0	Vedtak nr.: 0																																																																									
Veg nr.: Rv706	fra Hp/km: 1/5,963	til Hp/km: 1/8,479																																																																									
Strekning: Fra rundkjøringa Rv 715 og Rv 706 til Brattøra		Sted: Trondheim																																																																									
Arbeid som skal utføres: Innmåling av objekter																																																																											
Ansvarshavende:		Tlf./e-post:																																																																									
Entreprenør:		Adresse:																																																																									
Arbeidet utføres i perioden																																																																											
Fra dato: 8 april	2013	Til dato: 10 juni	2013																																																																								
			E-post:																																																																								
<p>En risikovurdering er en vurdering av hva som kan gå galt, hva som kan gjøres for å hindre det og hvordan en kan redusere konsekvensene dersom noe skjer.</p> <p>▲ Tre enkle spørsmål er kjernen i risikovurderingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hva kan gå galt? - Hva kan vi gjøre for å hindre dette? - Hva kan vi gjøre for å redusere konsekvensene dersom det skjer? 																																																																											
Forhold som kan medføre risiko for ulykke:																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;"></th> <th style="width: 10%; text-align: center;">Sannsynlighet:</th> <th style="width: 10%; text-align: center;">Konsekvens:</th> <th style="width: 20%; text-align: center;">Prioritet: (= produktet)</th> </tr> <tr> <td></td> <td>Sett inn verdi for :</td> <td>Sett inn verdi for :</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Stor: 1</td> <td>Stor: 1</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Middels: 2</td> <td>Middels: 2</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Liten: 3</td> <td>Liten: 3</td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Forhold nr.: ↓ Beskrivelse:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Eks.: Byggegrøp 1 m dyp umiddelbart inntil kjørebane</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>1: Påkjørsel av bil</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">6</td> </tr> <tr> <td>2: Påkjørsel av arbeider</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>3:</td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>4:</td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>5:</td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>6:</td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>7:</td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>8:</td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>9:</td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>10:</td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>11:</td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> </tbody> </table>					Sannsynlighet:	Konsekvens:	Prioritet: (= produktet)		Sett inn verdi for :	Sett inn verdi for :			Stor: 1	Stor: 1			Middels: 2	Middels: 2			Liten: 3	Liten: 3		Forhold nr.: ↓ Beskrivelse:				Eks.: Byggegrøp 1 m dyp umiddelbart inntil kjørebane	1	2	2	1: Påkjørsel av bil	2	3	6	2: Påkjørsel av arbeider	1	2	2	3:			0	4:			0	5:			0	6:			0	7:			0	8:			0	9:			0	10:			0	11:			0
	Sannsynlighet:	Konsekvens:	Prioritet: (= produktet)																																																																								
	Sett inn verdi for :	Sett inn verdi for :																																																																									
	Stor: 1	Stor: 1																																																																									
	Middels: 2	Middels: 2																																																																									
	Liten: 3	Liten: 3																																																																									
Forhold nr.: ↓ Beskrivelse:																																																																											
Eks.: Byggegrøp 1 m dyp umiddelbart inntil kjørebane	1	2	2																																																																								
1: Påkjørsel av bil	2	3	6																																																																								
2: Påkjørsel av arbeider	1	2	2																																																																								
3:			0																																																																								
4:			0																																																																								
5:			0																																																																								
6:			0																																																																								
7:			0																																																																								
8:			0																																																																								
9:			0																																																																								
10:			0																																																																								
11:			0																																																																								
Forhold nr.:																																																																											
↓ Tiltak for å forhindre at ulykker skjer / reduserer konsekvensene av en ulykke:																																																																											
1: Bruk av bil med varselblink, bruk av skilt 110 og underskilt oppmåling pågår																																																																											
2: Bruk av bil med varselblink, bruk av skilt 110 og underskilt oppmåling pågår, arbeidstøy verneklasse 3 - refleksklasse 2																																																																											
3:																																																																											
4:																																																																											
5:																																																																											
6:																																																																											
7:																																																																											
8:																																																																											
9:																																																																											
10:																																																																											
11:																																																																											
Merknader:																																																																											

 Statens vegvesen		
Plan for varsling og sikring av vegarbeide		
Plan nr.: 0	Sak/Sveis nr: 0	Vedtak nr.: 0
Veg nr.: 0	fra Hp/km: 0	til Hp/km: 0
Strekning: 0	Sted: 0	
Arbeid som skal utføres: 0		
Entreprenør: 0		
Adresse: 0	0	0
Ansvarshavende: 0	Tlf./e-post: 0	
Stedsansvarlig(e): Stine Røsjorde Lund	Tlf./e-post: 99770535	
Arbeidet utføres	fra dato: 8 april 2013	Til dato: 10 juni 2013

Underskrevet plan er vedtak med hjemmel i skiltforskriftens §29 og §30. Særskilt vedtak for trafikkregulerende tiltak skal vedlegges.

<p>Varslingsmaterieill:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Skilt nr.:</th> <th style="text-align: left;">Ant.:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> <td style="text-align: center;">110 1</td> </tr> </tbody> </table> <p>Merknader:</p> <p>Blankettfordeling:</p> <p><input type="checkbox"/> Statens vegvesen</p> <p><input type="checkbox"/> Entreprenør</p> <p><input type="checkbox"/> Ansvarshavende</p> <p><input type="checkbox"/> Politiet</p> <p><input type="checkbox"/> _____</p>	Skilt nr.:	Ant.:		110 1	<p style="text-align: center;">Skisse:</p> 
Skilt nr.:	Ant.:				
	110 1				

Fylles ut av skiltmyndigheten:	
Sted	Dato
Sign. (etter fullmakt)	

Tillegg C

Målerappport



Målerappport

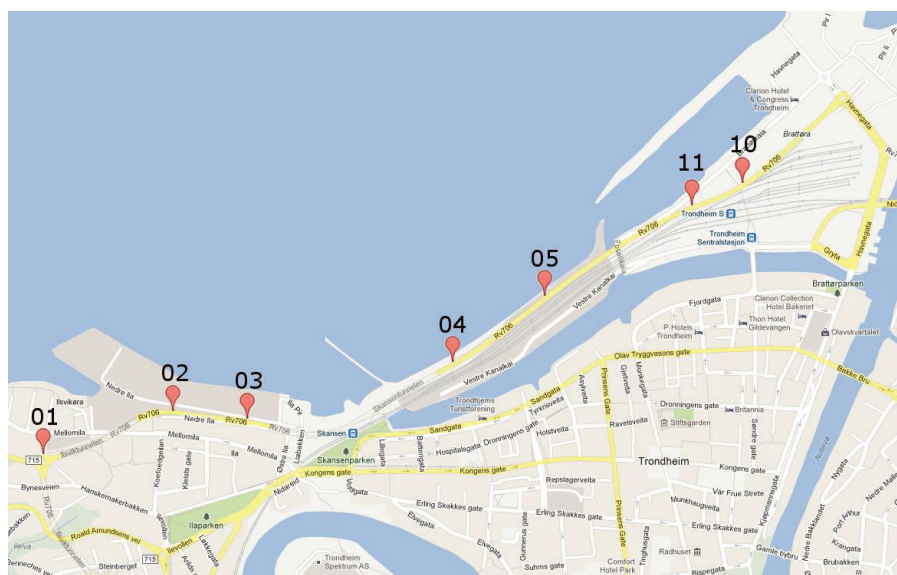
Bilbåren laserskanning i Trondheim

Sammendrag	2
1 Hovedkapittel.....	2
1.1 Oppdragstaker/oppdragsgiver	2
1.2 Leveranser	2
1.3 Datum/proeksjon/høydegrunnlag	3
1.4 Instrument	3
1.5 Punktnummering	3
1.6 Beregning og kvalitet	10

Sammendrag

- Leveranser
KOF-filen: *EU89UTM32NN2000_original.kof*
KOF-filen: *EU89UTM32NN2000_stortert_etter_pktnummer.kof*
- Hvert punkt er middel av 3 enkeltmålinger, med unntak av punktnummer 01A-3, 02A-2 og 11 hvor det er en middel av kun to enkeltmålinger. Målingene ble utført med sanntids-GNSS med tidsforsinkelse mer enn 5 minutter. Mottakeren er restartet for å oppnå ny heltallsløsning mellom hver enkeltmåling.

1 Hovedkapittel



Figur 1: Oversiktskart av punktene

1.1 Oppdragstaker/oppdragsgiver

TerraTec AS

1.2 Leveranser

- KOF-fil: *EU89UTM32NN2000_original.kof*
- KOF-fil: *EU89UTM32NN2000_stortert_etter_pktnummer.kof*

1.3 Datum/projeksjon/høydegrunnlag

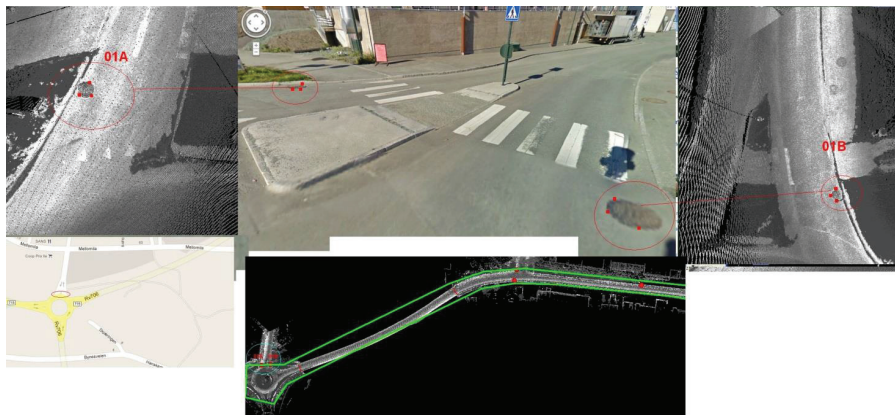
Referanseramme i plan/kartprojeksjon: EUREF89/UTM32
Vertikal referanseramme: NN2000

1.4 Instrument

Tofrekvent Leica Viva GNSS GS15 receiver (Internt nummer B-1), serienummer 1500768, med CPOS-korreksjoner (både GPS og Glonass-satelitter) via GPRS.
Leica Viva Controller CS15, serienummer 1570461.

1.5 Punktnummering

Punktnummer 01

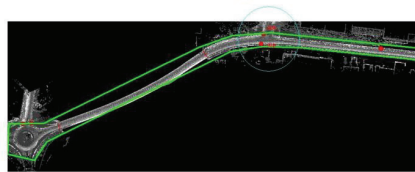
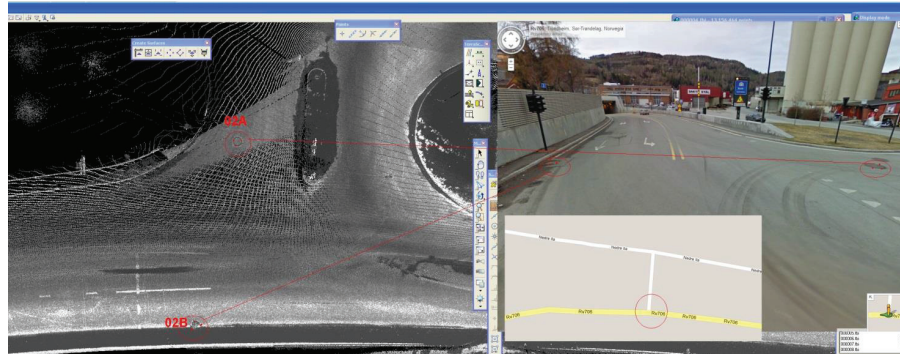


Figur 2: Punkt 01A

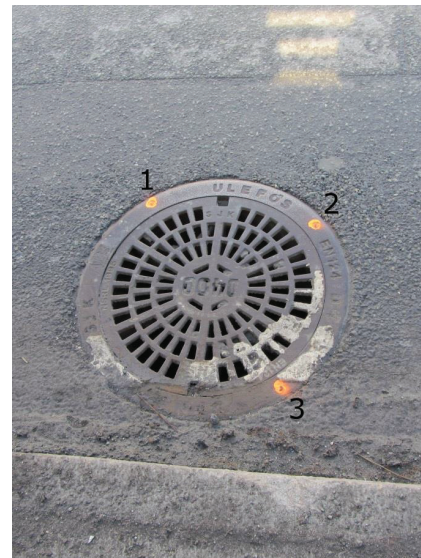


Figur 3: Punkt 01B

Punktnummer 02

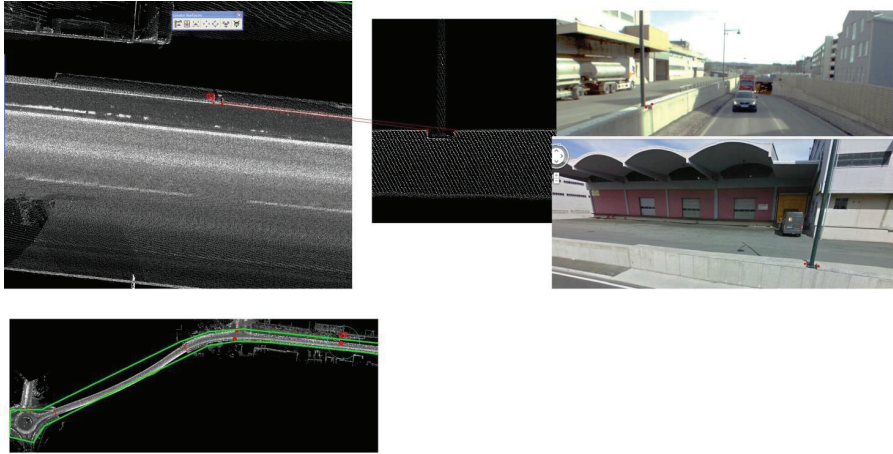


Figur 4: Punkt 02A



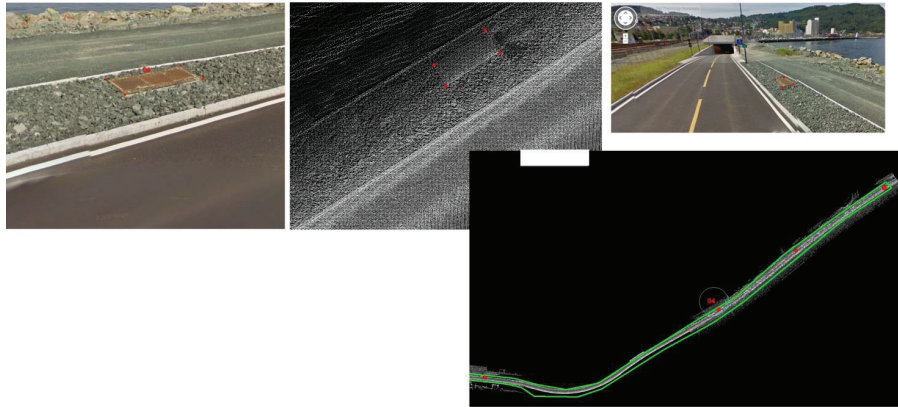
Figur 5: Punkt 02B

Punktnummer 03



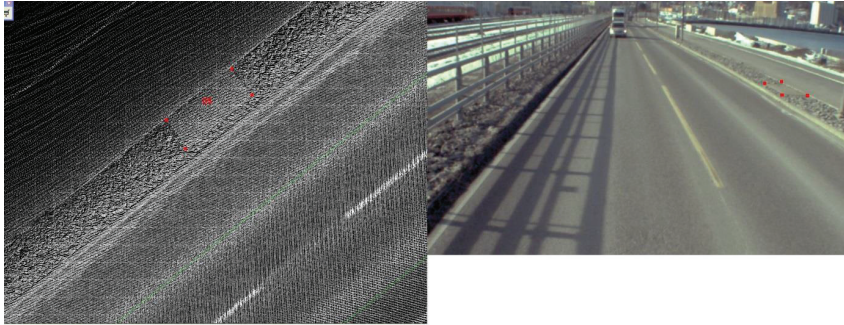
Figur 6: Punkt 03

Punktnummer 04



Figur 7: Punkt 04

Punktnummer 05



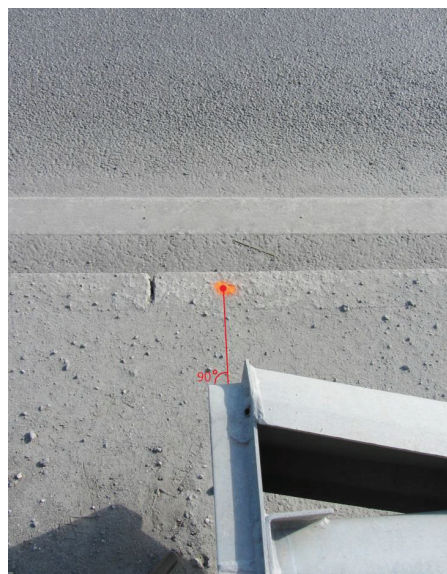
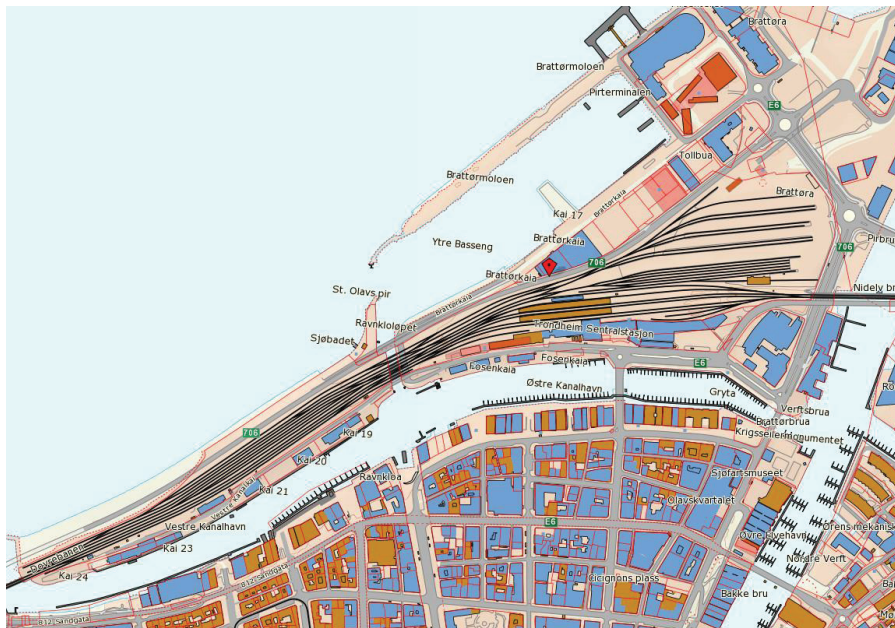
Figur 8: Punkt 05

Punktnummer 10



Figur 9: Punkt 10

Punktnummer 11



Figur 10: Punkt 11

1.6 Beregning og kvalitet

Punktene 01-05 er målt inn slik det var forespurt i mail fra Morten Taraldsten Brunes. I tillegg var punktet 07 beskrevet, men grunnet for høy boks og trafikkert vei ble dette punktet sett bort i fra. I stedet ble punktene 10 og 11 målt inn.

Punkt 11 er forsøkt blitt plassert 90° ut i fra skiltplanten, som vist i figur 9.

Hvert punkt er middel av 3 enkeltmålinger, med unntak av punktnummer 01A-3, 02A-2 og 11 hvor det er en middel av kun to enkeltmålinger. Målingene ble utført med sanntids-GNSS med tidsforsinkelse mer enn 5 minutter. Mottakeren er restartet for å oppnå ny heltallsløsning mellom hver enkeltmåling. Tabell 1 viser de beregnede koordinatene.

Standardavviket i 3D på alle enkeltmålingene er maksimalt 4.8 cm

De tre punktene hvor det kun er to enkeltmålinger er målingene i nærheten av hverandre og standardavviket i 3D er maksimalt 3.1 cm

Punktnummer		Nord	Øst	Høyde
01A	1	7034297,12	567876,85	5,49
	2	7034296,63	567876,73	5,50
	3	7034297,13	567876,25	5,49
01B	1	7034298,07	567889,39	5,29
	2	7034297,72	567889,01	5,31
	3	7034297,34	567889,35	5,30
02A	1	7034432,51	568235,04	4,00
	2	7034432,06	568234,81	4,02
	3	7034432,29	568234,36	4,03
02B	1	7034415,71	568231,80	3,76
	2	7034415,65	568232,31	3,78
	3	7034415,16	568232,25	3,77
03	1	7034408,75	568410,94	6,02
	2	7034408,72	568411,37	6,02
04	1	7034595,63	569053,78	3,58
	2	7034594,45	569051,96	3,58
	3	7034594,96	569051,64	3,61
	4	7034596,13	569053,46	3,63
05	1	7034757,98	569266,29	4,27
	2	7034756,62	569264,61	4,28
	3	7034757,09	569264,25	4,27
	4	7034758,46	569265,92	4,28
10		7035097,75	569827,70	3,93
11		7035042,45	569719,12	3,77

Tabell 1: Koordinatene til hver punkt

Tilhørende KOF-fl

```

-00 FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
-01 OOOOOOOOOO DDDDDDDDDDD VVVVVVVVVV KKKKKKKKKK OOOOOOOOOO
-02 SSSSSSSSS KKKKKKKK NNNNNNNN TTTTTTTT TTTTTTTT II.III Bk MMMMMMM
-03 TTTTTTTTTT KKKKKKKK HHH.HHHH VVV.VVVV AAAA.AAA SS.SSS Bk MMMMMMM
-04 TTTTTTTTTT KKKKKKKK HHH.HHHH DDDD.DDD AAAA.AAA SS.SSS Bk MMMMMMM
-05 PPPPPPPPP KKKKKKKK XXXXXXXX.XXX YYYYYY.YYY ZZZZ.ZZZ Bk MMMMMMM
-06 PPPPPPPPP KKKKKKKK PPPPPPP.PPP AAAAAA.AAA ZZZZ.ZZZ Bk MMMMMMM
-07 PPPPPPPPP KKKKKKKK dXXXXXX.XXX dYYYYY.YYY dZZZ.ZZZ Bk MMMMMMM
-08 Epi E1 E2 E3 E4
-09_Pi Sammenheng FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF MMMMMMM
-00 Leica Geosystems AG
-00 Instrument: CS15 Måledato: 08.04.2013
-00 Målejobb: FORSOK08042013 Operatør:
-00 Jobbeskrivelse: MASTER
05 M-Ref 0418 7034299.689 567891.368 4.623 0.000
05 01B 1 7034298.074 567889.388 5.286 0.016
05 01B 2 7034297.723 567889.009 5.317 0.017
05 01B 3 7034297.344 567889.347 5.298 0.016
05 01A 11 7034297.114 567876.847 5.484 0.016
05 01A 21 7034296.631 567876.730 5.504 0.021
05 01A 31 7034297.127 567876.250 5.485 0.019
05 M-Ref 0606 7034300.279 567891.137 4.303 0.000
05 01B 12 7034298.066 567889.396 5.296 0.015
05 01B 22 7034297.725 567889.011 5.310 0.017
05 01B 32 7034297.346 567889.350 5.307 0.016
05 01A 12 7034297.120 567876.855 5.498 0.020
05 01A 22 7034296.631 567876.728 5.503 0.018
05 01A 32 7034297.137 567876.255 5.488 0.016
05 M-Ref 0789 7034300.089 567891.357 3.272 0.000
05 01B 13 7034298.067 567889.396 5.281 0.014
05 01B 23 7034297.722 567889.016 5.303 0.014
05 01B 33 7034297.337 567889.355 5.298 0.014
05 01A 13 7034297.114 567876.854 5.486 0.021
05 01A 23 7034296.619 567876.720 5.502 0.019
05 M-Ref 0369 7034416.108 568233.405 0.872 0.000
05 02B 11 7034415.713 568231.800 3.749 0.019
05 02B 21 7034415.645 568232.306 3.778 0.023
05 02B 31 7034415.148 568232.246 3.747 0.024
05 M-Ref 0487 7034416.053 568233.714 1.822 0.000
05 02B 12 7034415.696 568231.807 3.762 0.022
05 02B 22 7034415.640 568232.310 3.769 0.013
05 02B 32 7034415.167 568232.246 3.799 0.023
05 M-Ref 0560 7034416.004 568232.491 0.943 0.000
05 M-Ref 0582 7034414.445 568231.995 3.687 0.000
05 M-Ref 0590 7034415.064 568232.485 4.407 0.000
05 02B 13 7034415.721 568231.800 3.774 0.017
05 02B 23 7034415.659 568232.311 3.790 0.018
05 02B 33 7034415.157 568232.255 3.766 0.022
05 02B 24 7034415.659 568232.315 3.785 0.016
05 M-Ref 0713 7034432.570 568234.176 -1.601 0.000

```

05 02A 11	7034432.511	568235.040	4.003	0.015
05 02A 31	7034432.290	568234.361	4.034	0.014
05 03 11	7034408.733	568410.942	6.033	0.037
05 03 21	7034408.714	568411.379	6.003	0.048
05 M-Ref 0929	7034431.550	568236.680	-0.595	0.000
05 02A 12	7034432.514	568235.041	4.004	0.015
05 02A 21	7034432.056	568234.813	4.022	0.002
05 02A 32	7034432.293	568234.365	4.022	0.015
05 03 12	7034408.757	568410.937	6.015	0.020
05 03 22	7034408.719	568411.366	6.001	0.021
05 M-Ref 0100	7034431.607	568236.059	-2.061	0.000
05 02A 13	7034432.513	568235.044	4.007	0.013
05 02A 23	7034432.056	568234.813	4.023	0.014
05 02A 33	7034432.297	568234.354	4.034	0.013
05 03 23	7034408.712	568411.364	6.045	0.021
05 03 13	7034408.751	568410.937	6.023	0.030
05 M-Ref 0391	7034594.831	569054.542	-4.325	0.000
05 04 11	7034595.635	569053.764	3.594	0.012
05 04 21	7034594.460	569051.955	3.582	0.014
05 04 31	7034594.951	569051.637	3.620	0.015
05 04 41	7034596.127	569053.456	3.645	0.015
05 M-Ref 0481	7034593.908	569054.323	-4.287	0.000
05 04 12	7034595.630	569053.778	3.580	0.012
05 04 22	7034594.453	569051.952	3.574	0.013
05 04 32	7034594.954	569051.643	3.607	0.014
05 04 42	7034596.132	569053.455	3.630	0.014
05 M-Ref 0557	7034594.127	569053.792	-4.206	0.000
05 04 13	7034595.627	569053.783	3.579	0.013
05 04 23	7034594.451	569051.963	3.569	0.015
05 04 33	7034594.960	569051.637	3.607	0.014
05 04 43	7034596.127	569053.459	3.623	0.014
05 05 11	7034757.981	569266.290	4.274	0.015
05 05 21	7034756.625	569264.607	4.275	0.014
05 05 31	7034757.093	569264.245	4.264	0.013
05 05 41	7034758.451	569265.925	4.277	0.014
05 M-Ref 0721	7034755.456	569265.111	-3.477	0.000
05 05 12	7034757.981	569266.293	4.271	0.016
05 05 23	7034756.623	569264.616	4.276	0.017
05 05 33	7034757.094	569264.256	4.272	0.015
05 05 43	7034758.456	569265.920	4.275	0.014
05 M-Ref 0819	7034755.602	569265.014	-2.533	0.000
05 05 14	7034757.986	569266.288	4.272	0.014
05 05 24	7034756.618	569264.612	4.283	0.014
05 05 34	7034757.093	569264.249	4.271	0.014
05 05 44	7034758.464	569265.924	4.278	0.016
05 M-Ref 0963	7035045.436	569720.567	-1.970	0.000
05 M-Ref 0975	7035046.321	569720.530	5.042	0.000
05 09A 11	7035056.290	569748.495	3.876	0.069
05 08 12	7035056.412	569748.731	3.811	0.038
05 10 1	7035097.745	569827.697	3.919	0.017

05 M-Ref 0204	7035096.162	569827.987	-1.393	0.000
05 10 2	7035097.752	569827.707	3.935	0.018
05 M-Ref 0233	7035101.501	569828.485	9.138	0.000
05 10 3	7035097.760	569827.709	3.944	0.020
05 11 1	7035042.442	569719.124	3.763	0.031
05 M-Ref 0288	7035042.300	569720.112	0.929	0.000
05 11 3	7035042.455	569719.122	3.767	0.020
05 M-Ref 0647	7032609.123	570266.381	37.595	0.000
05 M-Ref 0758	7032608.322	570267.665	38.352	0.000
05 M-Ref 0858	7032606.171	570267.584	41.078	0.000
05 G1	7032608.509	570267.287	40.137	0.006
05 G2	7032598.995	570271.988	40.068	0.004
05 G3	7032573.395	570288.886	40.014	0.008

Tillegg D

Utregning av avvik

Vedlegg D. Utregning av avvik

Ilsviktunnelen, ikke matchet puntsky

Punkt-nr	Objekttype	Skanner-nr	Avstand	Terrasolid			Gjennomsnitt - Terrasolid			Nidaros Oppmåling			Terrasolid,gj.snitt - Nidaros						
				X	Y	Z	X	Y	Z	x	Y	z	dx	dy	dz	Avvik2D	Avvik3D		
Start	Ilsviktunnelen			567922,722	7034289,39	6,1													
86	Sandfangskum	3	3,427	567925,186	7034287,163	5,257	567925,210	7034287,148	5,088	567925,345	7034287,263	5,176	-0,135	-0,114	-0,088	0,177	0,197		
86	Sandfangskum	6	3,578	567925,234	7034287,134	4,919				567925,345	7034287,263	5,176							
84	Sandfangskum	2	4,439	567923,849	7034293,569	5,111	567923,769	7034293,621	5,139	567923,791	7034293,594	5,163	-0,022	0,026	-0,024	0,034	0,042		
84	Sandfangskum	5	4,488	567923,689	7034293,673	5,167				567923,791	7034293,594	5,163							
92	Veilys	5	37,825	567956,202	7034306,968	5,155	567956,294	7034306,904	5,138	567956,287	7034307,015	5,162	0,006	-0,111	-0,024	0,112	0,114		
92	Veilys	2	37,929	567956,385	7034306,840	5,122				567956,287	7034307,015	5,162							
100	Sandfangskum	2	56,241	567974,051	7034312,181	3,092	567974,080	7034312,268	3,113	567973,860	7034312,247	3,128	0,220	0,021	-0,015	0,221	0,221		
100	Sandfangskum	3	56,362	567974,108	7034312,355	3,135				567973,860	7034312,247	3,128							
98	Sandfangskum		56,048							567976,420	7034305,187	3,215							
80	Kum	3	61,875	567979,806	7034313,015	2,652	567979,965	7034313,025	2,707	567979,984	7034313,102	2,69	-0,019	-0,077	0,017	0,079	0,081		
80	Kum	6	61,948	567979,903	7034312,977	2,696				567979,984	7034313,102	2,69							
80	Kum	5	62,074	567979,991	7034313,101	2,740				567979,984	7034313,102	2,69							
80	Kum	2	75,117	567980,159	7034313,006	2,740				567979,984	7034313,102	2,69							
68	Veilys	5	100,202	568014,506	7034329,273	1,049	568014,570	7034329,221	1,043	568014,543	7034329,306	1,042	0,027	-0,085	0,001	0,089	0,089		
68	Veilys	2	100,279	568014,634	7034329,170	1,038				568014,543	7034329,306	1,042							
66	Sandfangskum	2	106,138	568020,348	7034330,540	-0,325	568020,348	7034330,540	-0,325	568020,178	7034330,582	-0,351	0,170	-0,042	0,026	0,175	0,177		
62	Kum	3	115,829	568029,646	7034333,335	-1,153	568029,801	7034333,344	-1,068	568029,811	7034333,378	-1,067	-0,011	-0,034	0,000	0,036	0,036		
62	Kum	6	115,906	568029,757	7034333,284	-1,057				568029,811	7034333,378	-1,067							
62	Kum	5	116,025	568029,833	7034333,419	-1,020				568029,811	7034333,378	-1,067							
62	Kum	2	116,119	568029,967	7034333,337	-1,040				568029,811	7034333,378	-1,067							
50	Sandfangskum	3	155,503	568064,651	7034352,197	-3,520	568064,925	7034352,288	-3,405	568064,846	7034352,232	-3,352	0,079	0,056	-0,053	0,097	0,110		
50	Sandfangskum	2	155,857	568065,006	7034352,308	-3,284				568064,846	7034352,232	-3,352							
50	Sandfangskum	6	155,987	568065,118	7034352,360	-3,410				568064,846	7034352,232	-3,352							
46	Veilys	5	162,437	568070,376	7034356,577	-2,281	568070,440	7034356,558	-2,338	568070,429	7034356,565	-2,45	0,011	-0,007	0,112	0,013	0,113		
46	Veilys	2	162,544	568070,504	7034356,539	-2,395				568070,429	7034356,565	-2,45							
48	Kum		165,413							568073,089	7034357,659	-3,425							
44	Kum		166,411							568077,517	7034349,792	-3,014							
38	Kum		170,588							568077,611	7034360,237	-3,407							
36	Sandfangskum	2	172,597	568079,694	7034360,515	-3,436	568079,694	7034360,515	-3,436	568079,540	7034360,422	-3,517	0,154	0,092	0,081	0,179	0,197		
32	Kum	3	182,298	568089,048	7034363,403	-3,423	568089,156	7034363,426	-3,317	568089,140	7034363,402	-3,33	0,016	0,024	0,013	0,029	0,031		
32	Kum	6	182,355	568089,145	7034363,340	-3,300				568089,140	7034363,402	-3,33							
32	Kum	5	182,439	568089,185	7034363,459	-3,280				568089,140	7034363,402	-3,33							
32	Kum	2	182,512	568089,246	7034363,503	-3,266				568089,140	7034363,402	-3,33							
30	Kum		184,746							568094,576	7034356,609	-2,792							
34	Sandfangskum	3	185,098	568090,461	7034367,063	-3,489	568090,553	7034367,091	-3,269	568090,534	7034367,001	-3,301	0,019	0,090	0,032	0,092	0,098		
34	Sandfangskum	5	185,153	568090,527	7034367,094	-3,127				568090,534	7034367,001	-3,301							
34	Sandfangskum	2	185,295	568090,671	7034367,116	-3,191				568090,534	7034367,001	-3,301							
28	Kum		185,340							568095,090	7034356,930	-2,761							
26	Kum		189,875							568098,543	7034360,531	-2,776							
16	Veilys	3	224,273	568123,228	7034389,668	-0,238	568123,256	7034389,640	-0,039	568123,251	7034389,553	0,081	0,005	0,087	-0,120	0,087	0,149		
16	Veilys	2	224,287	568123,284	7034389,612	0,159				568123,251	7034389,553	0,081							
10	Kum	6	241,847	568141,591	7034392,120	0,352	568141,566	7034392,238	0,160	568141,455	7034392,212	0,158	0,111	0,027	0,002	0,114	0,114		
10	Kum	3	241,863	568141,545	7034392,245	0,189				568141,455	7034392,212	0,158							
10	Kum	5	241,869	568141,540	7034392,261	0,000				568141,455	7034392,212	0,158							
10	Kum	2	241,940	568141,589	7034392,328	0,098				568141,455	7034392,212	0,158							
4	Kum		242,839							568143,309	7034390,776	0,33							
8	Sandfangskum		245,413							568145,193	7034392,839	0,4							
2	Kum		255,720							568149,877	7034406,746	1,538							
													Gjennomsnitt, \bar{x}	0,042	-0,003	-0,003	0,102	0,118	
													Standarddevvik, σ	0,090	0,071	0,058	0,062	0,060	
													$\bar{x} + 3\sigma$	0,312	0,211	0,172	0,290	0,298	
													$\bar{x} - 3\sigma$	-0,228	-0,217	-0,177	-0,085	-0,062	

Vedlegg D. Utregning av avvik

Skansentunnelen, ikke matchet punktsky

Punkt-nr	Objekttype	Skanner-nr	Avstand	Terrasolid			Gjennomsnitt - Terrasolid			Nidaros Oppmåling			Terrasolid,gj.snitt - Nidaros							
				X	Y	Z	x	y	z	X	Y	Z	dx	dy	dz	Avvik2D	Avvik3D			
Start	Skansentunnelen			568504,084	7034391,44	0,7														
138	Sandfangskum	3	15,040	568517,439	7034384,861	-1,449	568517,463	7034384,853	-1,454	568517,476	7034384,959	-1,55	-0,013	-0,106	0,096	0,107			0,144	
138	Sandfangskum	6	15,090	568517,487	7034384,845	-1,460				568517,476	7034384,959	-1,55								
136	Veilys	3	20,098	568522,115	7034382,646	-0,555	568522,115	7034382,646	-0,555	568522,134	7034382,710	-0,628	-0,020	-0,064	0,073	0,067			0,099	
136	Veilys	6	20,098	568522,115	7034382,646	-0,555				568522,134	7034382,710	-0,628								
134	Kum		20,261		Finner ikke					568522,343	7034383,003	-1,758								
150	Kum		44,580		Finner ikke					568548,202	7034385,917	-2,54								
126	Sandfangskum	3	44,464	568546,232	7034377,641	-2,515	568546,232	7034377,641	-2,515	568546,405	7034377,731	-2,614	-0,173	-0,090	0,099	0,195			0,218	
152	Kum		47,304		Finner ikke					568550,899	7034385,491	-2,577								
154	Sandfangskum	4	49,632	568553,059	7034384,165	-2,747	568553,150	7034384,200	-2,751	568553,125	7034384,129	-2,714	0,025	0,071	-0,037	0,075			0,084	
154	Sandfangskum	1	49,802	568553,242	7034384,235	-2,755				568553,125	7034384,129	-2,714								
158	Kum		53,966		Finner ikke					568557,396	7034383,780	-2,692								
118	Veilys	6	81,284	568581,872	7034367,920	-1,116	568581,876	7034367,920	-1,104	568581,903	7034367,998	-1,168	-0,027	-0,078	0,064	0,082			0,104	
118	Veilys	3	81,293	568581,881	7034367,919	-1,093				568581,903	7034367,998	-1,168								
116	Kum		81,671		Finner ikke					568582,335	7034368,277	-2,546								
114	Kum		82,369		Finner ikke					568583,032	7034368,170	-2,547								
168	Sandfangskum	6	100,487	568602,987	7034374,185	-3,582	568603,147	7034374,284	-3,477	568603,094	7034374,228	-3,401	0,054	0,056	-0,075	0,078			0,108	
168	Sandfangskum	4	100,684	568603,209	7034374,270	-3,421				568603,094	7034374,228	-3,401								
168	Sandfangskum	1	100,700	568603,246	7034374,396	-3,426				568603,094	7034374,228	-3,401								
102	Kum		125,455		Finner ikke					568628,208	7034373,702	-3,525								
180	Kum		145,053		Finner ikke					568648,100	7034374,686	-3,657								
228	Veilys	6	145,162	568646,678	7034364,368	-1,804	568646,677	7034364,345	-1,785	568646,683	7034364,478	-1,867	-0,006	-0,134	0,082	0,134			0,157	
228	Veilys	3	145,168	568646,676	7034364,322	-1,767				568646,683	7034364,478	-1,867								
184	Sandfangskum	1	150,141	568653,201	7034374,522	-3,837	568653,201	7034374,522	-3,837	568653,080	7034374,342	-3,826	0,120	0,180	-0,011	0,217			0,217	
224	Kum		157,589		Finner ikke					568659,596	7034366,225	-3,113								
190	Kum		173,481		Finner ikke					568677,053	7034378,931	-3,897								
198	Sandfangskum	3	197,279	568701,176	7034384,575	-4,472	568701,197	7034384,777	-4,408	568701,171	7034384,764	-4,334	0,026	0,013	-0,074	0,029			0,079	
198	Sandfangskum	1	197,304	568701,218	7034384,980	-4,344				568701,171	7034384,764	-4,334								
210	Kum		204,582		Finner ikke					568708,164	7034377,801	-3,724								
212	Veilys	3	204,803	568708,367	7034377,241	-2,638	568708,367	7034377,241	-2,638	568708,421	7034377,513	-2,74	-0,054	-0,272	0,102	0,278			0,296	
208	Kum		205,241		Finner ikke					568708,841	7034378,072	-3,747								
240	Kum		231,675		Finner ikke					568735,681	7034389,396	-4,971								
238	Kum		232,332		Finner ikke					568736,340	7034389,719	-5,014								
250	Kum		239,217		Finner ikke					568742,861	7034404,068	-6,414								
254	Sandfangskum	1	242,505	568746,085	7034405,172	-6,735	568746,085	7034405,172	-6,735	568746,222	7034405,032	-6,701	-0,137	0,139	-0,034	0,196			0,199	
298	Veilys	3	261,674	568765,275	7034405,921	-5,844	568765,270	7034406,023	-5,859	568765,287	7034406,226	-5,918	-0,017	-0,203	0,059	0,204			0,212	
298	Veilys	6	261,677	568765,265	7034406,124	-5,874				568765,287	7034406,226	-5,918								
262	Kum		263,848		Finner ikke					568766,387	7034418,601	-7,96								
270	Sandfangskum	1	287,500	568788,313	7034433,442	-9,566	568788,408	7034433,446	-9,553	568788,418	7034433,284	-9,57	-0,010	0,162	0,017	0,162			0,163	
270	Sandfangskum	4	287,688	568788,503	7034433,450	-9,541				568788,418	7034433,284	-9,57								
284	Veilys	3	316,594	568816,362	7034442,463	-9,790	568816,355	7034442,589	-9,808	568816,377	7034442,787	-9,859	-0,022	-0,199	0,051	0,200			0,206	
284	Veilys	6	316,622	568816,349	7034442,715	-9,826				568816,377	7034442,787	-9,859								
282	Kum		316,923		Finner ikke					568816,515	7034443,295	-11,028								
280	Kum		317,555		Finner ikke					568817,087	7034443,704	-11,051								
308	Kum		326,322		Finner ikke					568822,447	7034462,106	-10,989								
306	Kum		327,265		Finner ikke					568823,285	7034462,681	-11,001								
304	Kum		329,128		Finner ikke					568825,676	7034460,436	-11,247								
416	Sandfangskum	3	331,732	568829,818	7034453,050	-11,437	568829,785	7034453,249	-11,568	568829,831	7034453,420	-11,496	-0,046	-0,171	-0,072	0,177			0,191	
416	Sandfangskum	1	331,751	568829,751	7034453,448	-11,700				568829,831	7034453,420	-11,496								
302	Kum	6	334,503	568830,436	7034463,813	-11,467	568830,591	7034463,979	-11,252	568830,677	7034463,875	-11,226	-0,086	0,104	-0,026	0,135			0,137	
302	Kum	1	334,711	568830,608	7034464,050	-11,160				568830,677	7034463,875	-11,226								
302	Kum	4	334,832	568830,728	7034464,074	-11,129				568830,677	7034463,875	-11,226								
412	Kum		335,269		Finner ikke					568833,087	7034454,808	-11,399								
408	Veilys	3	347,625	568844,403	7034461,528	-9,958	568844,392	7034461,649	-9,970	568844,423	7034461,793	-9,998	-0,031	-0,145	0,028	0,148			0,151	
408	Veilys	6	347,653	568844,380	7034461,770	-9,981				568844,423	7034461,793	-9,998								
318	Kum		365,509		Finner ikke					568858,180	7034481,441	-9,864								
402	Sandfangskum	3	369,405	568863,787	7034474,839	-10,140	568863,810	7034474,986	-10,160	568863,798	7034475,148	-10,188	0,011	-0,162	0,028	0,163			0,165	
402	Sandfangskum	6	369,516	568863,832	7034475,132	-10,180				568863,798	7034475,148	-10,188								
396	Kum		374,306		Finner ikke					568868,335	7034476,977	-9,733								
398	Veilys	3	374,368	568868,553	7034476,455	-8,558	568868,540	7034476,575	-8,565	568868,527	7034476,710	-8,57	0,012	-0,135	0,005	0,136			0,136	
398	Veilys	6	374,397	568868,526	7034476,695	-8,573				568868,527	7034476,710	-8,57								
328	Kum		397,925		Finner ikke					568887,283	7034498,345	-7,84								
330	Kum		398,755		Finner ikke					568888,045	7034498,709	-7,809								
334	Sandfangskum	1	414,788	568902,605	7034506,213	-6,832	568902,605	7034506,213	-6,832	568902,589	7034506,027	-6,9								

Ilsviktunnelen, matchet punktsky

Punkt-nr	Objekttype	Avstand	Terrasolid			Nidaros Oppmåling			Avvik					
			X	Y	Z	x	y	z	dx	dy	dz	Avvik2D	Avvik3D	
Start	Ilsviktunnelen		567922,722	7034289,391	6,1									
86	Sandfangskum	3,496	567925,333	7034287,252	5,191	567925,345	7034287,263	5,176	-0,012	-0,011	0,015	0,016	0,022	
84	Sandfangskum	4,451	567923,764	7034293,616	5,166	567923,791	7034293,594	5,163	-0,027	0,022	0,003	0,034	0,035	
92	Veilys	37,922	567956,226	7034307,093	5,188	567956,287	7034307,015	5,162	-0,061	0,078	0,026	0,099	0,102	
100	Sandfangskum	56,124	567973,886	7034312,276	3,200	567973,860	7034312,247	3,128	0,026	0,029	0,072	0,039	0,082	
98	Sandfangskum	56,426	567976,794	7034305,264	3,244	567976,420	7034305,187	3,215	0,374	0,077	0,029	0,381	0,383	
80	Kum	62,070	567979,982	7034313,111	2,730	567979,984	7034313,102	2,69	-0,002	0,009	0,040	0,010	0,041	
68	Veilys	100,214	568014,475	7034329,378	1,063	568014,543	7034329,306	1,042	-0,069	0,072	0,021	0,099	0,101	
66	Sandfangskum	105,981	568020,158	7034330,586	-0,319	568020,178	7034330,582	-0,351	-0,020	0,004	0,032	0,020	0,038	
62	Kum	116,010	568029,823	7034333,396	-1,061	568029,811	7034333,378	-1,067	0,012	0,018	0,006	0,022	0,023	
50	Sandfangskum	155,652	568064,809	7034352,248	-3,290	568064,846	7034352,232	-3,352	-0,038	0,016	0,062	0,041	0,074	
46	Veilys	162,518	568070,415	7034356,667	-2,438	568070,429	7034356,565	-2,45	-0,013	0,101	0,012	0,102	0,103	
48	Kum	165,413	Finner ikke			568073,089	7034357,659	-3,425						
44	Kum	166,411	Finner ikke			568077,517	7034349,792	-3,014						
38	Kum	170,588	Finner ikke			568077,611	7034360,237	-3,407						
36	Sandfangskum	172,533	568079,637	7034360,479	-3,479	568079,540	7034360,422	-3,517	0,097	0,057	0,038	0,112	0,119	
32	Kum	182,390	568089,155	7034363,401	-3,324	568089,140	7034363,402	-3,33	0,014	-0,002	0,006	0,014	0,016	
30	Kum	184,746	Finner ikke			568094,576	7034356,609	-2,792						
34	Sandfangskum	185,088	568090,491	7034366,999	-3,290	568090,534	7034367,001	-3,301	-0,043	-0,002	0,011	0,043	0,044	
28	Kum	185,340	Finner ikke			568095,090	7034356,930	-2,761						
26	Kum	189,875	Finner ikke			568098,543	7034360,531	-2,776						
16	Veilys	224,287	568123,254	7034389,669	0,108	568123,251	7034389,553	0,081	0,002	0,116	0,027	0,116	0,119	
10	Kum	241,732	568141,426	7034392,191	0,184	568141,455	7034392,212	0,158	-0,029	-0,021	0,026	0,036	0,044	
4	Kum	242,943	568143,419	7034390,787	0,346	568143,309	7034390,776	0,33	0,109	0,010	0,016	0,110	0,111	
8	Sandfangskum	245,413	568145,214	7034392,846	0,425	568145,193	7034392,839	0,4	0,020	0,007	0,025	0,022	0,033	
2	Kum	255,720	Finner ikke			568149,877	7034406,746	1,538						
									Gjennomsnitt, \bar{x}	0,019	0,032	0,026	0,073	0,083
									Standardavvik, σ	0,100	0,041	0,018	0,086	0,083
									$\bar{x} + 3\sigma$	0,319	0,154	0,081	0,332	0,332
									$\bar{x} - 3\sigma$	-0,281	-0,089	-0,029	-0,186	-0,167
									Gjennomsnitt uten grove feil	-0,002	0,030	0,026	0,055	0,065
									Standardavvik uten grove feil	0,048	0,040	0,019	0,040	0,038

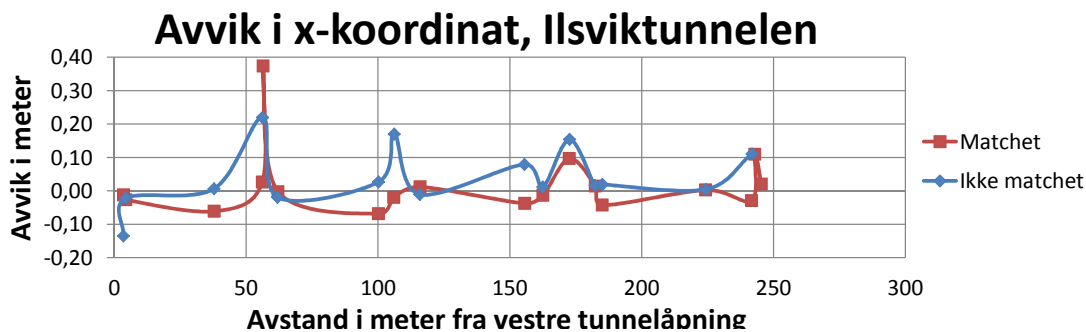
Skansentunnelen, matchet punktsky

Punkt-nr	Objekttype	Avstand	Terrasolid			Nidaros Oppmåling			Avvik					
			X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	Avvik2D	Avvik3D	
Start	Skansentunnelen		568504,084	7034391,435	0,700									
138	Sandfangskum	15,053	568517,483	7034384,902	-1,394	568517,476	7034384,959	-1,55	0,007	-0,058	0,156	0,058	0,166	
136	Veglys	20,099	568522,137	7034382,694	-0,591	568522,134	7034382,710	-0,628	0,003	-0,017	0,037	0,017	0,041	
134	Kum	20,261	Finner ikke			568522,343	7034383,003	-1,758						
150	Kum	44,580	Finner ikke			568548,202	7034385,917	-2,54						
126	Sandfangskum	44,749	568546,543	7034377,688	-2,580	568546,405	7034377,731	-2,614	0,138	-0,043	0,034	0,144	0,148	
152	Kum	47,304	Finner ikke			568550,899	7034385,491	-2,577						
154	Sandfangskum	49,732	568553,158	7034384,127	-2,709	568553,125	7034384,129	-2,714	0,033	-0,002	0,005	0,033	0,033	
158	Kum	53,966	Finner ikke			568557,396	7034383,780	-2,692						
118	Veglys	81,294	568581,902	7034367,989	-1,131	568581,903	7034367,998	-1,168	0,000	-0,008	0,037	0,008	0,038	
116	Kum	81,671	Finner ikke			568582,335	7034368,277	-2,546						
114	Kum	82,369	Finner ikke			568583,032	7034368,170	-2,547						
168	Sandfangskum	100,594	568603,115	7034374,249	-3,374	568603,094	7034374,228	-3,401	0,021	0,021	0,027	0,030	0,041	
102	Kum	125,469	568628,225	7034373,713	-3,492	568628,208	7034373,702	-3,525	0,017	0,011	0,033	0,020	0,039	
180	Kum	145,053	Finner ikke			568648,100	7034374,686	-3,657						
228	Veilys	145,178	568646,715	7034364,481	-1,838	568646,683	7034364,478	-1,867	0,032	0,002	0,029	0,032	0,044	
184	Sandfangskum	150,055	568653,097	7034374,366	-3,806	568653,080	7034374,342	-3,826	0,017	0,024	0,020	0,029	0,036	
224	Kum	157,589	Finner ikke			568659,596	7034366,225	-3,113						
190	Kum	173,481	Finner ikke			568677,053	7034378,931	-3,897						
198	Sandfangskum	197,265	568701,174	7034384,787	-4,309	568701,171	7034384,764	-4,334	0,002	0,022	0,025	0,023	0,033	
210	kum	204,582	Finner ikke			568708,164	7034377,801	-3,724						
212	Veilys	204,837	568708,418	7034377,497	-2,703	568708,421	7034377,513	-2,74	-0,003	-0,016	0,037	0,016	0,040	
208	kum	205,241	Finner ikke			568708,841	7034378,072	-3,747						
240	kum	231,675	Finner ikke			568735,681	7034389,396	-4,971						
238	kum	232,332	Finner ikke			568736,340	7034389,719	-5,014						
250	Kum	239,217	Finner ikke			568742,861	7034404,068	-6,414						
254	Sandfangskum	242,606	568746,198	7034405,002	-6,688	568746,222	7034405,032	-6,701	-0,025	-0,030	0,013	0,039	0,041	
298	Veilys	261,728	568765,310	7034406,235	-5,894	568765,287	7034406,226	-5,918	0,023	0,009	0,024	0,025	0,034	
262	kum	263,848	Finner ikke			568766,387	7034418,601	-7,96						
270	Sandfangskum	287,558	568788,397	7034433,272	-9,563	568788,418	7034433,284	-9,57	-0,021	-0,012	0,008	0,024	0,026	
284	Veilys	316,674	568816,388	7034442,791	-9,853	568816,377	7034442,787	-9,859	0,010	0,004	0,006	0,011	0,013	
282	Kum	316,923	Finner ikke			568816,515	7034443,295	-11,028						
280	Kum	317,555	Finner ikke			568817,087	7034443,704	-11,051						
308	Kum	326,322	Finner ikke			568822,447	7034462,106	-10,989						
306	Kum	327,265	Finner ikke			568823,285	7034462,681	-11,001						
304	kum	329,128	Finner ikke			568825,676	7034460,436	-11,247						
416	Sandfangskum	331,831	568829,845	7034453,429	-11,492	568829,831	7034453,420	-11,496	0,014	0,009	0,004	0,017	0,017	
302	Kum	334,679	568830,605	7034463,907	-11,213	568830,677	7034463,875	-11,226	-0,072	0,031	0,013	0,079	0,080	
412	Kum	335,269	Finner ikke			568833,087	7034454,808	-11,399						
408	Veilys	347,701	568844,424	7034461,798	-9,957	568844,423	7034461,793	-9,998	0,001	0,005	0,041	0,005	0,041	
318	Kum	365,509	Finner ikke			568858,180	7034481,441	-9,864						
402	Sandfangskum	369,531	568863,839	7034475,172	-10,145	568863,798	7034475,148	-10,188	0,040	0,024	0,043	0,047	0,064	
396	Kum	374,306	Finner ikke			568868,335	7034476,977	-9,733						
398	Veilys	374,422	568868,553	7034476,692	-8,551	568868,527	7034476,710	-8,57	0,025	-0,018	0,020	0,031	0,037	
328	Kum	397,925	Finner ikke			568887,283	7034498,345	-7,84						
330	Kum	398,755	Finner ikke			568888,045	7034498,709	-7,809						
334	Sandfangskum	414,698	568902,563	7034506,029	-6,896	568902,589	7034506,027	-6,9	-0,027	0,002	0,004	0,027	0,027	
380	kum	434,480	Finner ikke			568922,636	7034507,844	-5,338						
382	Veilys	434,975	568923,201	7034507,714	-4,101	568923,187	7034507,711	-4,14	0,014	0,004	0,039	0,015	0,042	
378	Kum	435,214	Finner ikke			568923,290	7034508,232	-5,289						
344	Kum	451,498	Finner ikke			568935,293	7034525,169	-4,286						
346	Kum	458,679	Finner ikke			568941,679	7034528,825	-3,807						
350	Sandfangskum	463,658	568946,357	7034530,561	-3,543	568946,286	7034530,533	-3,57	0,071	0,027	0,027	0,076	0,081	
360	Kum	487,907	Finner ikke			568970,483	7034534,680	-1,696						
362	Kum	488,561	Finner ikke			568971,068	7034535,006	-1,651						
364	Kum	502,858	Finner ikke			568983,813	7034542,182	-0,685						
366	Kum	503,532	Finner ikke			568984,408	7034542,536	-0,641						
									Gjennomsnitt, \bar{x}	0,014	0,000	0,030	0,035	0,050
									Standardavvik, σ	0,039	0,023	0,030	0,031	0,037
									$\bar{x} + 3\sigma$	0,130	0,068	0,121	0,127	0,163
									$\bar{x} - 3\sigma$	-0,102	-0,069	-0,061	-0,057	-0,062
									Gjennomsnitt uten grove feil	0,008	0,002	0,029	0,030	0,046
									Standardavvik uten grove feil	0,028	0,021	0,031	0,020	0,031

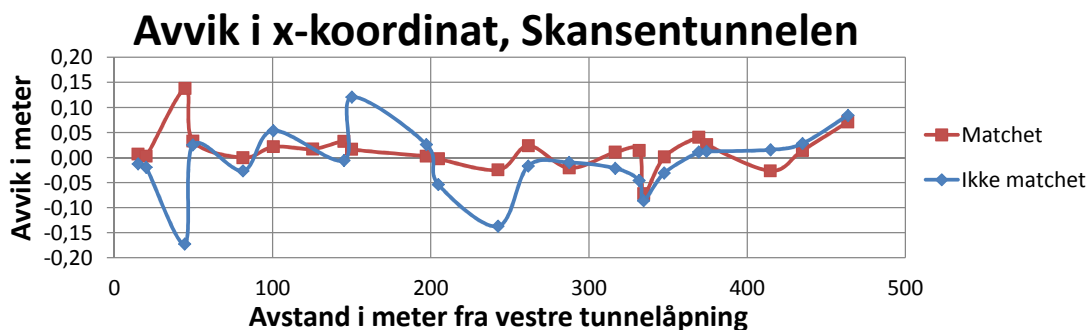
Tillegg E

Resultater

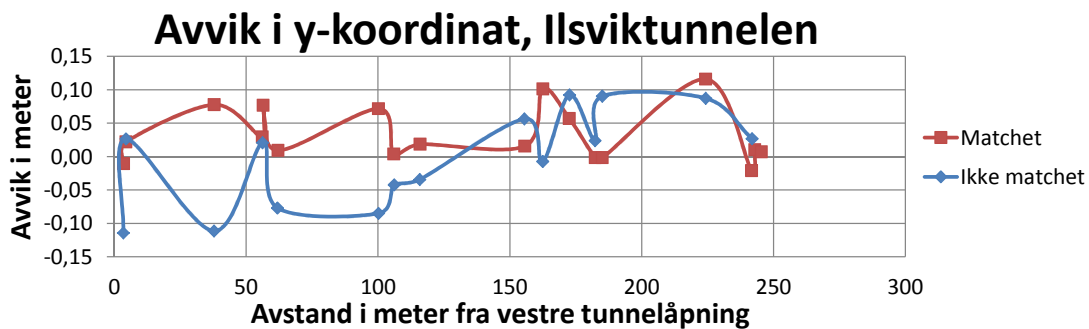
Figurene viser resultatene før grove feil har blitt fjernet.



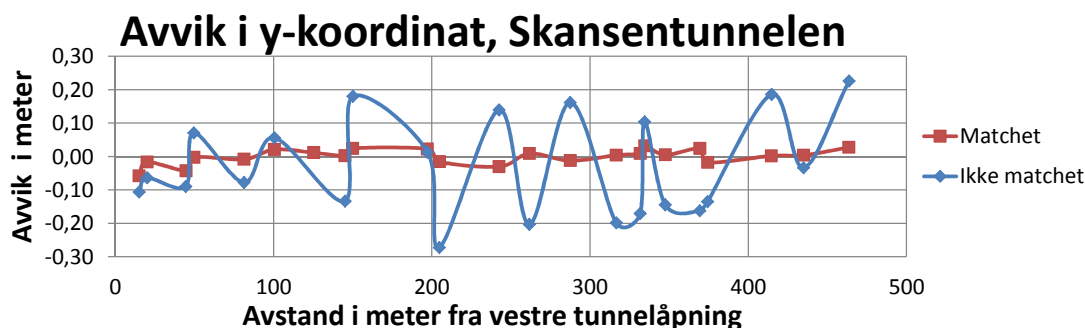
Avvik mellom x-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punktskyene i Ilsviktunnelen.



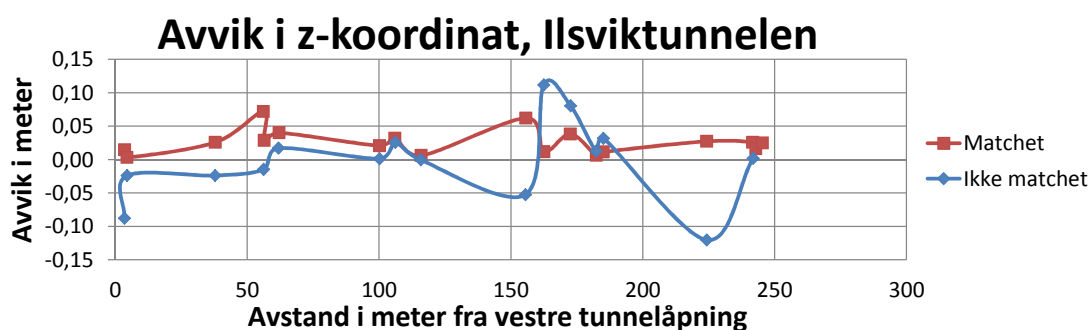
Avvik mellom x-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punktskyene i Skansentunnelen.



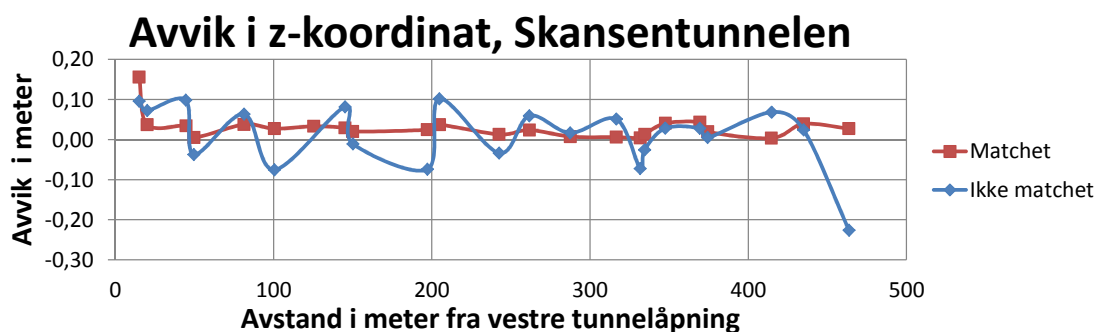
Avvik mellom y-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punktskyene i Ilsviktunnelen.



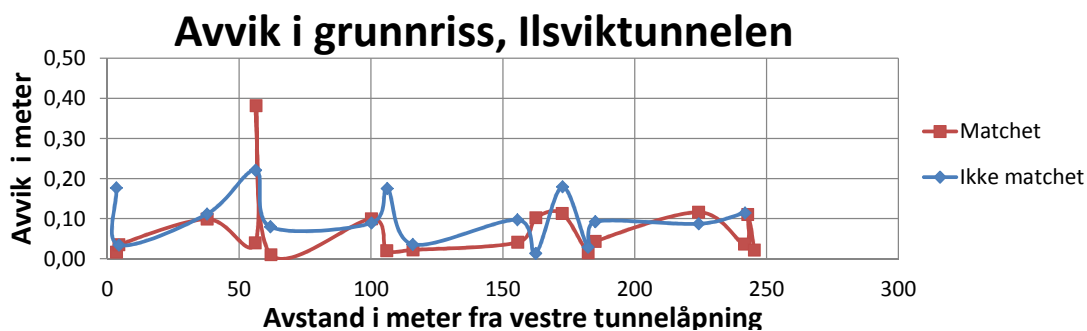
Avvik mellom y-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punktskyene i Skansentunnelen.



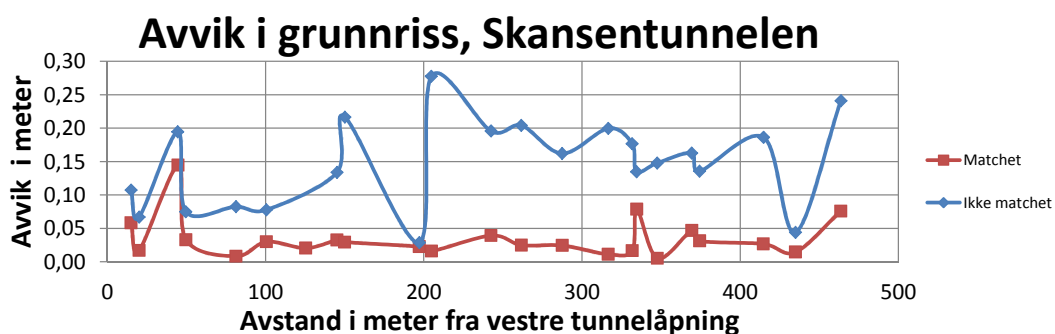
Avvik mellom z-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punktskyene i Ilsviktunnelen.



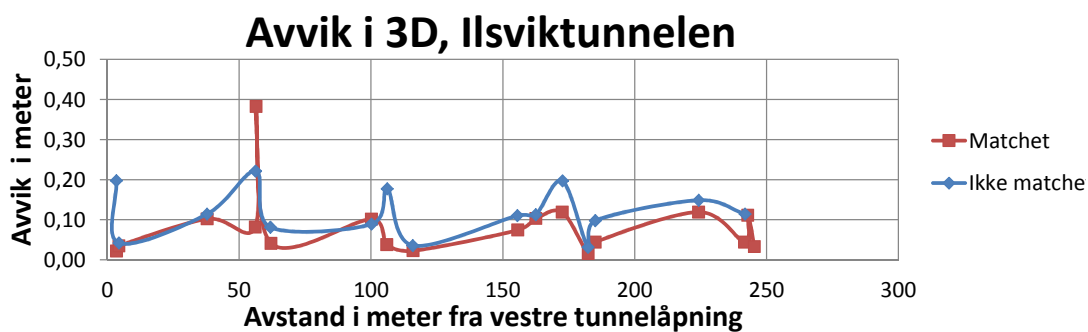
Avvik mellom z-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punktskyene i Skansentunnelen.



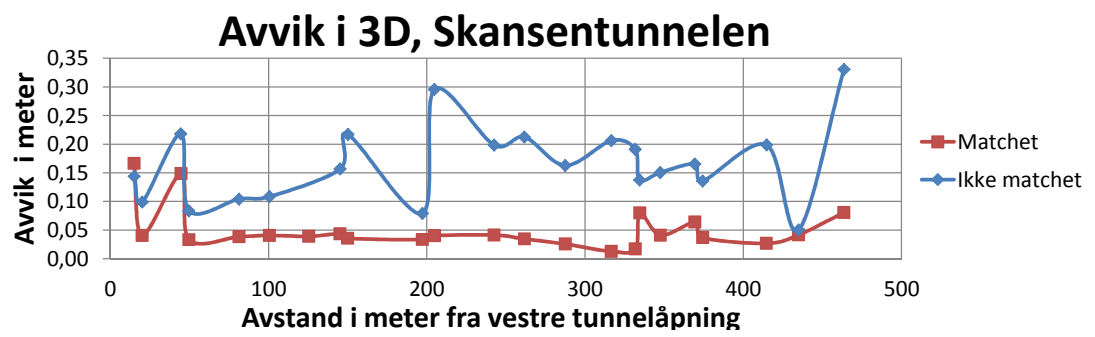
Avvik mellom xy-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punkttskyene i IIsviktunnelen.



Avvik mellom xy-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punkttskyene i Skansentunnelen.



Avvik mellom xyz-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punkttskyene i IIsviktunnelen.



Avvik mellom xyz-koordinatene til Nidaros Oppmåling og punktskyene i Skansentunnelen.

Tillegg F

Beregninger av statistiske tester

Ilsviktunnelen - matchet

$n_x = 17$

dx	$(X_{x,i} - \bar{X}_x)^2$	dy	$(X_{y,i} - \bar{X}_y)^2$	dz	$(X_{z,i} - \bar{X}_z)^2$
-0,012	0,000103	-0,011	0,001620	0,015	0,00012
-0,027	0,000609	0,022	0,000059	0,003	0,00051
-0,061	0,003506	0,078	0,002300	0,026	0,00000
0,026	0,000783	0,029	0,000000	0,072	0,00214
-0,002	0,000000	0,009	0,000414	0,040	0,00020
-0,069	0,004481	0,072	0,001755	0,021	0,00002
-0,020	0,000310	0,004	0,000669	0,032	0,00004
0,012	0,000189	0,018	0,000127	0,006	0,00039
-0,038	0,001269	0,016	0,000196	0,062	0,00131
-0,013	0,000132	0,101	0,005120	0,012	0,00019
0,097	0,009755	0,057	0,000749	0,038	0,00016
0,014	0,000261	-0,002	0,000981	0,006	0,00038
-0,043	0,001673	-0,002	0,000982	0,011	0,00021
0,002	0,000018	0,116	0,007449	0,027	0,00000
-0,029	0,000749	-0,021	0,002570	0,026	0,00000
0,109	0,012386	0,010	0,000377	0,016	0,00009
0,020	0,000495	0,007	0,000511	0,025	0,00000
Gjennomsnitt, \bar{X}	-0,00192	0,030		0,026	
$\sum_{i=1}^{n_x} (X_i - \bar{X})^2$	0,036718		0,025879		0,005770

Ilsviktunnelen - ikke matchet

$n_y = 15$

dx	$(Y_{x,i} - \bar{Y}_x)^2$	dy	$(Y_{y,i} - \bar{Y}_y)^2$	dz	$(Y_{z,i} - \bar{Y}_z)^2$
-0,135	0,031322	-0,114	0,012329	-0,088	0,007277
-0,022	0,004085	0,026	0,000874	-0,024	0,000452
0,006	0,001267	-0,111	0,011723	-0,024	0,000450
0,220	0,031609	0,021	0,000564	-0,015	0,000142
-0,019	0,003738	-0,077	0,005459	0,017	0,000393
0,027	0,000237	-0,085	0,006681	0,001	0,000017
0,170	0,016385	-0,042	0,001540	0,026	0,000803
-0,011	0,002769	-0,034	0,000965	0,000	0,000005
0,079	0,001363	0,056	0,003550	-0,053	0,002492
0,011	0,000944	-0,007	0,000017	0,112	0,013120
0,154	0,012494	0,092	0,009117	0,081	0,006946
0,016	0,000699	0,024	0,000731	0,013	0,000242
0,019	0,000535	0,090	0,008777	0,032	0,001193
0,005	0,001405	0,087	0,008159	-0,120	0,013831
0,111	0,004749	0,027	0,000893	0,002	0,000022
Gjennomsnitt, \bar{y}	0,042	-0,003		-0,003	
$\sum_{i=1}^{n_x} (Y_i - \bar{Y})^2$		0,113601		0,071378	

Ilsviktunnelen

Students t test			
	dx	dy	dz
T	-23,701334	28,576094	45,435594

Fisher test			
	dx	dy	dz
F	0,000000	85,930305	88,321342

Skansentunnelen - matchet

$n_x = 22$

dx	$(X_{x,i} - \bar{X}_x)^2$	dy	$(X_{y,i} - \bar{X}_y)^2$	dz	$(X_{z,i} - \bar{X}_z)^2$
0,007	0,000003	-0,058	0,003546	0,156	0,015941
0,003	0,000033	-0,017	0,000337	0,037	0,000056
0,033	0,000592	-0,002	0,000015	0,005	0,000588
0,000	0,000075	-0,008	0,000099	0,037	0,000063
0,021	0,000171	0,021	0,000372	0,027	0,000004
0,017	0,000076	0,011	0,000092	0,033	0,000014
0,032	0,000575	0,002	0,000001	0,029	0,000000
0,017	0,000068	0,024	0,000514	0,020	0,000087
0,002	0,000035	0,022	0,000434	0,025	0,000022
-0,003	0,000124	-0,016	0,000296	0,037	0,000056
-0,025	0,001093	-0,030	0,001022	0,013	0,000270
0,023	0,000226	0,009	0,000051	0,024	0,000032
-0,021	0,000860	-0,012	0,000197	0,008	0,000481
0,010	0,000004	0,004	0,000006	0,006	0,000549
0,014	0,000032	0,009	0,000057	0,004	0,000637
-0,072	0,006464	0,031	0,000894	0,013	0,000261
0,001	0,000053	0,005	0,000011	0,041	0,000125
0,040	0,001021	0,024	0,000509	0,043	0,000189
0,025	0,000291	-0,018	0,000379	0,020	0,000099
-0,027	0,001222	0,002	0,000000	0,004	0,000668
0,014	0,000033	0,004	0,000004	0,039	0,000089
0,071	0,003900	0,027	0,000667	0,027	0,000005
Gjennomsnitt, \bar{X}	0,008	0,002		0,029	
$\sum_{i=1}^{n_x} (X_i - \bar{X})^2$	0,016951		0,009503		0,020236

Skansentunnelen - ikke matchet

$n_y = 22$

dx	$(Y_{x,i} - \bar{Y}_x)^2$	dy	$(Y_{y,i} - \bar{Y}_y)^2$	dz	$(Y_{z,i} - \bar{Y}_z)^2$
-0,013	0,000001	-0,106	0,005873	0,096	0,007186
-0,020	0,000059	-0,064	0,001159	0,073	0,003821
-0,173	0,025822	-0,090	0,003566	0,099	0,007712
0,025	0,001368	0,071	0,010076	-0,037	0,002317
-0,027	0,000211	-0,078	0,002325	0,064	0,002784
0,054	0,004309	0,056	0,007400	-0,075	0,007462
-0,006	0,000039	-0,134	0,010758	0,082	0,004994
0,120	0,017550	0,180	0,044050	-0,011	0,000466
0,026	0,001422	0,013	0,001811	-0,074	0,007196
-0,054	0,001743	-0,272	0,058801	0,102	0,008248
-0,137	0,015690	0,139	0,028643	-0,034	0,001979
-0,017	0,000023	-0,203	0,030119	0,059	0,002320
-0,010	0,000005	0,162	0,036688	0,017	0,000033
-0,022	0,000093	-0,199	0,028456	0,051	0,001618
-0,046	0,001150	-0,171	0,019861	-0,072	0,006911
-0,086	0,005475	0,104	0,017861	-0,026	0,001346
-0,031	0,000361	-0,145	0,013156	0,028	0,000305
0,011	0,000532	-0,162	0,017593	0,028	0,000296
0,012	0,000581	-0,135	0,011081	0,005	0,000035
0,015	0,000753	0,186	0,046484	0,069	0,003320
0,028	0,001609	-0,034	0,000015	0,024	0,000177
0,084	0,009246	0,226	0,065353	-0,226	0,056303
Gjennomsnitt, \bar{Y}	-0,012	-0,030		0,011	
$\sum_{i=1}^{n_x} (Y_i - \bar{Y})^2$		0,088042		0,461129	

Skansentunnelen

Students t test			
	dx	dy	dz
T	27,070238	9,297207	17,578906

Fisher test			
	dx	dy	dz
F	0,481291	0,002805	7,319805

