

Martin Frøyna Alfsen, Ánde Trosten, Ole Kristian Ødegård

# Manuell vektorisering av punktskyer med ulik punkttetthet

Bacheloroppgave i Bachelor i Geomatikk

Veileder: Tormod Urke

Mai 2020



Martin Frøyna Alfsen, Ánde Trosten, Ole Kristian  
Ødegård

# **Manuell vektorisering av punktskyer med ulik punkttetthet**

Bacheloroppgave i Bachelor i Geomatikk  
Veileder: Tormod Urke  
Mai 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



**NTNU**

Kunnskap for en bedre verden





Kunnskap for en bedre verden

# Manuell vektorisering av punktskyer med ulik punkttetthet

Martin Frøyna Alfsen  
Ánde Trosten  
Ole Kristian Ødegård

[Gradering: Åpen]

Bacheloroppgave i Geomatikk

Innlevert:

Veileder:

Oppdragsiver

Kontaktperson oppdragsgiver

Mai 2020

Tormod Urke

Geomatikk Survey AS

Håkon Andresen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

|   |                  |                 |   |
|---|------------------|-----------------|---|
| Oppgavens tittel:   | Dato: 19.05.20   |                 |   |
| Vektorisering av punktskyer med ulik punkttetthet.                | Antall sider: 77 |                 |   |
|   | Masteroppgave:   | Bacheloroppgave | × |
| Navn:<br>Ole Kristian Ødegård, Ánde Trosten, Martin Frøyne Alfsen |                  |                 |   |
| Veileder:<br>Tormod Urke  |                  |                 |   |
| Oppdragsgiver kontakt:<br>Håkon Andresen (Geomatikk Survey)       |                  |                 |   |

**Sammendrag:**

Laserskannere er blitt en sentral del av fagområdet geomatikk. Bare ett tiår er gått og nå er det blitt allemannseie for de fleste aktører. Laserskannere blir brukt på biler, droner, helikopter og fly. Flere av dagens totalstasjoner er også integrert med en laserskanner. På markedet eksisterer også rendyrkede laserskannere som er i bruk. Dette gjør at geomatikere i dag har mulighet for å innhente enorme mengder data på kort tid. Disse mengdene med data tar mye plass og tar tid å bearbeide. Prosjektet *nasjonal detaljert høydemodell* vil i løpet av prosjektet ha lasermålt 230 000 m<sup>2</sup> av Norge. Dette er data som er gjort tilgjengelig for allmenheten i form av blant annet punktskyer. Denne oppgaven har gått inn og sett på punktskyer og punkttetthet pr. m<sup>2</sup>.

Oppgaven er skrevet i samarbeid med Geomatikk Survey A/S. Via dem har Eigerøy bru i Rogaland blitt gjort tilgjengelig i forbindelse med innhenting av data. Datainnhenting fra Eigerøy gav oss en punktsky med en punkttetthet på 1-2 millioner punkt pr. m<sup>2</sup>.

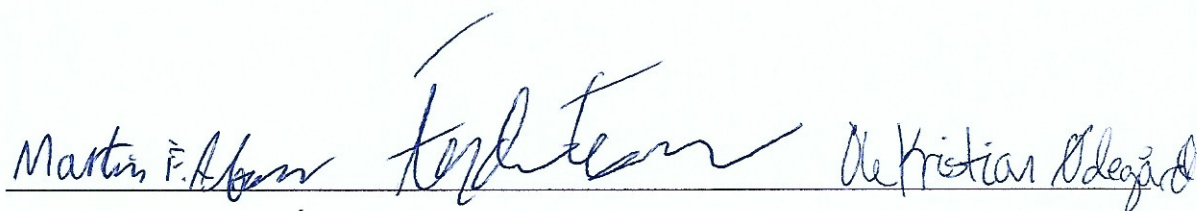
Denne punktskyen er deretter blitt tynnet ned til lavere punkttettheter pr. m<sup>2</sup>. Deretter er en kantstein i forbindelse med gang- og sykkelveg blitt manuelt vektorisert med de ulike punkttetthetene. Også punktsky fra NDH er brukt til denne vektoriseringen.

Resultatet er deretter sammenlignet med detaljinnmålinger gjort med totalstasjon med høy nøyaktighet. Målet har vært å finne ut hvor lav punkttetthet pr. m<sup>2</sup> kan en punktsky være, før den manuelle vektoriseringen ikke lenger har en nøyaktighet som er god nok i forhold til gjeldende standarder. Samme kantstein er også målt inn med GNSS for å se om satellittinnmålinger har god nok nøyaktighet.

Resultatet fra våre funn er at punktskyer ned mot 400 punkter pr. m<sup>2</sup> er det ingen problemer å vektorisere. Lavere tetthet enn dette gjør at både vektoriseringen blir vanskeligere og nøyaktigheten dårligere. Punktsky fra høydedata.no er ikke mulig å vektorisere uten tilgang på ortofoto, men resultatet fra vektorisering har litt bedre nøyaktighet enn punktsky fra terrestrisk laserskanner med tilsvarende punkttetthet.

Stikkord:

|               |            |
|---------------|------------|
| Vektorisering | Punktskyer |
| Landmåling    | Høydedata  |
| Punkttetthet  | Laserdata  |
| Laserskanning | Tynning    |

  
Martin Frøyna Alfsen, Ánde Trosten og Ole Martin Ødegård

# Abstract (engelsk)

In this study, the goal is to understand how different point cloud densities affect accuracy. A point cloud with a low density is easier for computers to process and thus will streamline the work. Less dense point clouds also take up less storage space, and therefore can be easily shared on the internet and be stored on web servers and cloud-based services. The study uses point clouds from two different sources, one from a ground-based laser scanner, and one that is made with airborne laser scanner, also called Lidar. Our problem translated to English:

*«How low point density pr  $m^2$  vs. high point density can a pointcloud have before manual vectorization is no longer within quality requirements in relation to surveyed data and current standards»*

In order to answer the problem of this bachelor thesis, a case was made available from our bachelor employer. The case was a bridge located in Eigerøy in Rogaland county. In Eigerøy all necessary data was retrieved through GNSS, land surveying measurements and laserscanning. The pointcloud retrieved with laserscanning had a point density of 1-2 million points pr.  $m^2$ . The point cloud was reduced to many different point cloud densities, ranging from 2 million points pr.  $m^2$  to 3-5 points pr.  $m^2$ . All different point cloud densities were vectorized, then matched up against highly accurate totalstation detail measurements. The free and available *national detailed height level* point cloud was also vectorised and matched up against total station measurements. GNSS vector lines were tested to see if they would be accurate enough to make accuracy requirements made by national agency *Kartverket*.

Our results show that all point cloud down to 200-400 points pr.  $m^2$  are easily constructed to vector lines while remaining within the accuracy demands. Point clouds less dense than 200-400 points pr.  $m^2$  are more time consuming to work with and vectors tend to become inaccurate. Point cloud from *national detailed height project* where not possible to vectorize unless orthophotography was used, which caused the accuracy to be equal or better than the thinned point cloud from laserscanner with as many point pr.  $m^2$ .



# Forord

Endelig er vi i mål! Bacheloren er ferdig, 3 årig utdanning er over og snart venter arbeidslivet. Arbeidet med denne oppgaven startet for vår del ganske tidlig. Etter samarbeid om flere skolerelaterte prosjekter så ble vi tidlig høsten 2019 enige om å skrive bacheloroppgave sammen. Det var noen krav vi stilte til en fremtidig bacheloroppgave: vi ville skrive for eksternt bedrift og vi ville skrive en oppgave som trakk inn flere elementer fra fagområdet geomatikk.

Etter å kan kontakte flere aktuelle bedrifter på Østlandsområdet, fikk tidlig kontakt med Geomatikk Survey A/S. Etter noen besøksturer til Oslo og deres kontor så ble det klart at temaet vektorisering ville bli en sentral del av oppgaven.

Opgaven har vært veldig spennende å jobbe med. Den har utfordret oss i praktisk landmåling ute ved vår case i Eigerøy. Den har utfordret oss i bruk av programvarer. Og den har utfordret oss i den akademiske prosessen med å skrive. Oppgaven har vært en stor øyeåpner for hvor omfattende fagområdet Geomatikk er og vi ville ikke vært foruten det arbeidet vi har gjort i forbindelse med denne oppgaven.

Vi vil takke Geomatikk Survey A/S og daglig leder Håkon Andresen for samarbeidet med oppgaven. Håkons engasjement rundt temaet har smittet over på oss og det har vært ekstra viktig energi i disse korona tider. Håkons bakgrunn som fagperson innenfor feltet har vært verdifull for oss da han har kommet med gode råd og innspill i perioden vi har skrevet oppgaven.

Vi vil takke Geoforum A/S som har vært med å støtte oppgaven med et stipend. Med nesten 20 timers reiseveg tur/retur til vår case i Eigerøy, har det vært flott å kunne dele på utgiftene med oppdragsgiver og stipendiatet vi fikk.

Siden arbeidet med oppgaven startet så tidlig får oss, så vil vi takke Rune Strand Ødegård for tips og innspill i startfasen av oppgaven.

Så vil vi takke Morten Eggum for gode tips, innspill og veiledning ved de tilfeller vi har spurt om hjelp. Ang. bruk av utstyr og måleopplegget i Eigerøy.

Så vil vi rette en stor takk til vår veileder Tormod Urke for støtte i denne perioden vi har arbeidet med oppgaven. I disse koronatider har det vært ekstra godt med en veileder som ringer og følger oss opp og bidrar der man kan. Tormod har kommet med mange gode tips og tilbakemeldinger på det meste vi har lurt på, og har vært flink i å spørre de rette spørsmålene til oss.

Gjøvik 19.05.2019

Martin Frøyna Alfsen

Ånde Trosten

Ole Kristian Ødegård



# Innholdsfortegnelse

|   |      |
|---|------|
| Abstract (engelsk) .....  | iv   |
| Forord .....  | v    |
| Innholdsfortegnelse .....   | vi   |
| Figurliste.....   | viii |
| Tabelliste .....  | x    |
| Ordforklaringer og definisjoner .....                             | xi   |
| 1 Innledning.....   | 1    |
| 1.1 Oppgavens bakgrunn .....                                      | 1    |
| 1.2 Problemstilling.....  | 2    |
| 1.2.1 Beskrivelse av problemstilling.....                         | 2    |
| 1.3 Omfang .....  | 3    |
| 1.4 Mål og målgruppe.....   | 5    |
| 2 Teori .....   | 6    |
| 2.1 Laserskanning .....   | 6    |
| 2.1.1 Laserskanning nøyaktighet.....                              | 7    |
| 2.1.2 Punkttetthet på laserskann .....                            | 8    |
| 2.2 Grunnlagsnettet Eigerøy bru.....                              | 9    |
| 2.2.1 Stamnettet, landsnettet, fastmerkenettet og fastmerker..... | 10   |
| 2.2.2 Geodetisk datum.....  | 10   |
| 2.2.3 Horisontalt datum .....                                     | 11   |
| 2.3 Totalstasjon.....   | 12   |
| 2.4 GNSS .....  | 13   |
| 2.5 Høydedata.no og nasjonal detaljert høydemodell.....           | 14   |
| 2.6 FKB .....   | 14   |
| 2.6.1 Krav til FKB .....  | 15   |
| 2.6.2 FKB-A .....   | 15   |
| 2.6.3 FKB-B .....   | 16   |
| 2.6.4 FKB-C .....   | 16   |
| 2.6.5 FKB-D.....  | 16   |
| 2.7 Håndbok V770 - Modellgrunnlag.....                            | 16   |
| 2.8 Vektordata .....  | 18   |
| 2.9 Nøyaktighetslære .....  | 19   |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.10  | Ortofoto.....   | 21 |
| 3     | Metode og analyse.....                                | 23 |
| 3.1   | Feltarbeid.....                                       | 23 |
| 3.1.2 | Utsetting av hjelpepunkter .....                      | 23 |
| 3.1.3 | Detaljinnmålinger med totalstasjon.....               | 25 |
| 3.1.4 | Innmålinger med GNSS .....                            | 26 |
| 3.1.5 | Laserskanning.....                                    | 27 |
| 3.2   | Behandling av P40 punktsky og vektorisering .....     | 29 |
| 3.3   | Vektorisering av punktsky fra Høydedata. ....         | 31 |
| 3.4   | Geometrisk kontroll av vektorene .....                | 34 |
| 3.5   | Analyse av grunnlagsnett.....                         | 35 |
| 4     | Resultater.....                                       | 38 |
| 4.1   | Resultater fra analyse av grunnlagsnett .....         | 38 |
| 4.2   | Resultat av linje fra totalstasjonsmålinger.....      | 38 |
| 4.3   | Resultat av linje fra GNSS data.....                  | 39 |
| 4.4   | Høydedifferanse mellom vegbane og vegskulderkant..... | 39 |
| 4.5   | Resultat av vektorisering i NDH punktsky.....         | 40 |
| 4.6   | Resultat av vektorisering i P40 punktsky .....        | 42 |
| 4.7   | Resultat fra kontroll av NDH vektorer .....           | 50 |
| 4.8   | Resultat fra kontroll av P40 vektorer.....            | 51 |
| 4.9   | Resultat for alle NDH og terrestrisk vektorer.....    | 52 |
| 5     | Diskusjon.....  | 53 |
| 5.1   | Nøyaktighet på grunnlaget.....                        | 53 |
| 5.2   | Diskusjon om vektorisering i P40 punktsky.....        | 54 |
| 5.3   | Diskusjon om vektorisering i NDH punktsky .....       | 57 |
| 6     | Konklusjon .....                                      | 60 |
|       | Litteraturliste .....                                 | 61 |
|       | Vedlegg .....   | 65 |

# Figurliste

|  |    |
|--|----|
| Figur 1 Eigerøy bru. Foto: Mathias Oppedal / NRK.....  | 3  |
| Figur 2 Utklipp fra <a href="http://www.Norgebilder.no">www.Norgebilder.no</a> .....                 | 4  |
| Figur 3 Laserskanner brukt i oppgave. Leica P40.....   | 6  |
| Figur 4 Target brukt til å georeferere punktskyer .....  | 7  |
| Figur 5: Punktettheter fra Geomatikk Survey AS sine laserskanninger på Eigerøy (Andresen, 2019)..... | 8  |
| Figur 6 Oversikt over fastmerker ved Eigerøy bru .....   | 9  |
| Figur 7 Fastmerke ved Eigerøy bru.....   | 10 |
| Figur 8 Leica Foto: privat. MS60. Totalstasjonen brukt ved Eigerøy bru .....                         | 12 |
| Figur 9: Nøyaktighet CPOS målinger (Kartverket) .....  | 14 |
| Figur 10: inngrepssone (rød ramme) og visualiseringssone (grønn ramme.) .....                        | 17 |
| Figur 11 Utklipp med oversikt over standardene i Geodatastandarden .....                             | 19 |
| Figur 12: Tvangssentrering over fastmerke .....  | 23 |
| Figur 13: Fastmerke oversikt.....  | 24 |
| Figur 14: Fastmerker og observasjoner i GISLINE .....  | 25 |
| Figur 15: Frioppstilling .....   | 25 |
| Figur 16: Detaljeinnmålinger .....   | 26 |
| Figur 17: Innmålinger med GNSS .....   | 27 |
| Figur 18:Target.....   | 28 |
| Figur 19: Laserskanning oppstilling.....   | 28 |
| Figur 20: Punktskyen etter sammenslåingen Leica REGISTER 360.....                                    | 29 |
| Figur 21: Eksempel på støy, og manuell selektering av punkter.. ..                                   | 30 |
| Figur 22: Punktskyen etter rydding av støy. ....   | 30 |
| Figur 23: NDH punktsky i Gemini Terreng.....   | 32 |
| Figur 24:Punktskyen i 3-D sett fra siden.....  | 32 |
| Figur 25: Punktskyen med kun terrengoverflate. ....  | 33 |
| Figur 26: Punktskyen med stedfestet ortofoto.....  | 34 |
| Figur 27 (Kartverket, 2015). ....  | 34 |
| Figur 28:vektor fra totalstasjons målinger. ....   | 38 |
| Figur 29:Vektorer fra GNSS målinger. ....  | 39 |
| Figur 30: NDH vektorer .....   | 40 |
| Figur 31: NDH vektorer(svart) og vektorer fra totalstasjon(rød).....                                 | 40 |
| Figur 32: NDH vektorer (svart) og vektorer fra totalstasjon (rød).....                               | 41 |
| Figur 33: Utynnet punktsky, med vektorisert høyre vegskuler .....                                    | 42 |
| Figur 34: 5-10k punkt per kvadratmeter punktsky, med vektorisert høyre vegskulder .....              | 42 |
| Figur 35: 200-400 punkter per kvadratmeter, med vektorisert høyre vegskulder.....                    | 43 |
| Figur 36: 3-5 punkter per kvadratmeter, med vektorisert høyre vegskulder.....                        | 43 |
| Figur 37:Alle vektorer fra P40 punktsky.....   | 44 |
| Figur 38: 4 punkt per m <sup>2</sup> .....   | 44 |
| Figur 39: 328 punkt per m <sup>2</sup> .....   | 45 |
| Figur 40: 1176 punkt per m <sup>2</sup> .....  | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Figur 41: 7524 punkt per m <sup>2</sup> .....  | 45 |
| Figur 42: 210 710 punkt per m <sup>2</sup> .....   | 46 |
| Figur 43: 967 569 punkt per m <sup>2</sup> .....   | 46 |
| Figur 44: Utsnitt over område som ble vektorisert, samt intensitet. 1-2 millioner punkter per m <sup>2</sup> ..... | 46 |
| Figur 45: Utsnitt over område som ble vektorisert, samt intensitet. 100-200 tusen punkter per m <sup>2</sup> ..... | 47 |
| Figur 46: Utsnitt over område som ble vektorisert, samt intensitet. 5000 - 10 000 punkter per m <sup>2</sup> ..... | 47 |
| Figur 47: Utsnitt over område som ble vektorisert, samt intensitet. 1000 punkter per m <sup>2</sup> .....          | 48 |
| Figur 48: Utsnitt over område som ble vektorisert, samt intensitet. 200 - 400 punkter per m <sup>2</sup> .....     | 48 |
| Figur 49: Utsnitt over område som ble vektorisert, samt intensitet. 3-5 punkter per m <sup>2</sup> .....           | 49 |
| Figur 50: Standardavvik for høyre vegskulder vektor. ....  | 52 |
| Figur 51: Standardavvik for venstre vegskulder vektor. ....  | 52 |

# Tabelliste

|   |    |
|---|----|
| Tabell 1: Toleranseverdier for punktskyer. Kilde: Kartverket (FKB-Laser) .....  | 7  |
| Tabell 2: Krav til punkttetthet (Kartverket) .....  | 8  |
| Tabell 3 Definisjon av UTM og NTM .....   | 11 |
| Tabell 4 UTM NTM sammenligning av feil .....  | 11 |
| Tabell 5:Toleranseverdier(standardavvik) i ulike nøyaktighetsklasser. Kilde Kartverket (FKB<br>produktspesifikasjon). ..... | 15 |
| Tabell 6: Kilde håndbok V770 .....  | 18 |
| Tabell 7 Nøyaktighetslærens formål .....  | 20 |
| Tabell 8 Instrumentparametre .....  | 36 |
| Tabell 9: Standardavvik for alle punkter .....  | 38 |
| Tabell 10: Resultat av linjer fra totalstasjonsmålinger data med totalstasjon. ....   | 38 |
| Tabell 11: Høydedifferanse vegbane og vegskulderkant (høyre vegskulder).....  | 39 |
| Tabell 12:Høydedifferanse vegbane og vegskulderkant (venstre vegskulder) .....  | 39 |
| Tabell 13: antall punkt og lengde for høyre og venstre vegskulder vektor.....   | 41 |
| Tabell 14:antall punkt og lengde for venstre vegskulder vektor. ....  | 49 |
| Tabell 15: antall punkt og lengde for høyre vegskulder vektor. ....   | 49 |
| Tabell 16: Standardavvik fra NDH høyre vegskulderkant. ....   | 50 |
| Tabell 17: Standardavvik fra NDH venstre vegskulderkant. ....   | 50 |
| Tabell 18:Høyre vegskulder grunnriss: standardavvik, middel, og minimum og maksimum<br>avvik. ....                          | 51 |
| Tabell 19: Høyre vegskulder høyde: standardavvik, middel, og minimum og maksimum verdi<br>.....                             | 51 |
| Tabell 20: Venstre vegskulder grunnriss: standardavvik, middel, og minimum og maksimum<br>verdi.....                        | 51 |
| Tabell 21: Venstre vegskulder høyde: standardavvik, middel, og minimum og maksimum<br>verdi.....                            | 52 |

# Ordforklaringer og definisjoner

|               |  |
|---------------|--|
| Vektorisering | Innenfor fagfeltet geomatikk betyr dette å strekke linjer fra A til B. Innmålte punkter fra terreng kan i etter brukes i programvare til å vektorisere (strekke linjer). Man kan også bruke punkter i en punktsky til å strekke linjer.                          |
| MKM           | Minste kvadraters metode. Vanlig matematisk metode for å behandle observasjonsmateriale.   |
| NDH           | Nasjonalt detaljert høydemodell. Et av Norgeshistoriens største kartleggingsprosjekter.  |
| GS            | Geomatikk Survey A/S. Oppdragsgiver på prosjektet  |
| TS            | Totalstasjon   |
| MS            | «Multistation» er en moderne totalstasjon  |
| Tynning       | Minske datastørrelsen på en punktsky ved å redusere antall punkt i en punktsky.  |
| LiDAR         | Light Detection and Ranging.   |
| Fastmerke     | <i>«Varig merket punkt, markert med bolt eller annen egnet permanent markering, der horisontale koordinater, høyde, tyngde og/eller andre koordinater er bestemt, eller planlagt bestem i et koordinatbasert referansesystem» (Statens Kartverk, 2009, p. 6)</i> |
| Punktthet     | Antall punkt per kvadratmeter i en punktsky.   |
| Punktsky      | Et produkt av laserskann. En mengde punkter med koordinater.   |
| Toleranse     | Innenfor en gitt verdi.  |
| Standardavvik | <i>«Statistisk størrelse som angir spredningen for en gruppe måle- eller beregningsverdier i forhold til deres sanne eller estimerte verdi» (Kartverket, 2015, p. 13)</i>  |
| Targets       | Er objekter med kjente koordinater i grunnriss og høyde (X, Y, Z) som blir med i laserskannet for i ettertid georeferere flere skann til et kjent geografisk datum   |
| Georeferering | Å transformere et bilde, eller et skann,   |

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Leica Cyclone REGISTER 360 | Programvare brukt til å hente inn store mengder data, og lage punktsky. Dette en modul for Leica Cyclone  |
| Leica Cyclone              | Programvare som blir brukt for punktsky prosessering.   |
| Støy                       | Punkter som blir dannet av forstyrrelser, som f.eks. forbikjørende biler, personer osv.   |
| Kartverket                 | Statens kartverk. Statlig forvaltningsorgan under kommunal og moderniseringsdepartementet. Kartverket er statens faglige rådgiver innen kart, geodata og offentlig eiendomsinformasjon. Ansvarsområdet er Norges land-, kyst-, og havområder. |
| ppm                        | Forkortelse for <i>parts per million</i> . Et mål på nøyaktighetsavvik i lengde. For Euref89 UTM tilsvarer 400 ppm 40 cm avvik per kilometer.   |
| Ortofoto                   | Et geografisk stedfestet flybilde.  |



# 1 Innledning

## 1.1 Oppgavens bakgrunn

Vårt ønske har fra begynnelsen vært å skrive oppgaven for ekstern bedrift. Geomatikk Survey A/S (GS) var et av bedriftene i østlandsområdet vi tok kontakt med. Etter første møte med dem så kom det frem at de er aktive i bruken av laserskannere i deres tjenester. Deres bruk av laserskannere i felt betyr at de henter inn store mengder data.

De er derfor veldig interesserte i å forske på vektorisering av punktskyer med ulike punkttettheter. Blant annet hadde GS et ønske om å formidle kunder hva punktskyer med ulik punkttetthet kan brukes til. Etter innspill fra GS så fikk vi etablert en løs problemstilling som vi fikk frie hender til å forme videre.

For oss har det vært viktig å sette oss inn i eksisterende kunnskap om dette før vi begynte med oppgaven. Men vi har funnet veldig lite teori og studier som omhandler punktskyer, punkttettheter og vektorisering. Vi har for eksempel ikke funnet noen bachelor/masteroppgaver som direkte går inn på punkttetthet ved vektorisering av punktskyer. Dette har bidratt til at vi har vært enda sikrere på at oppgaven vi jobber med er relevant for fagområdet og oss.

Laserskanning er i dag blitt en sentral del av Geomatikkbransjen. Det som for 10 år siden var et eksklusivt verktøy er i dag blitt allemannseie blant de fleste geomatikkbedrifter. Enkelte mener at prisene på laserskannere begynner å bli så lav at nesten alle kan investere i dette utstyret fremover (Reisvang, 2019). Tilgangen på laserskannere gjør at det i dag innhentes store mengder data i form av punktskyer.

Med mulighetene for å innhente store mengder data på kort tid og store mengder data tilgjengelig for det offentlige, så er det et tidsaktuelt spørsmål å finne ut hvor mye data trenger man egentlig for å gjøre de oppgavene man er ute etter. Kan for eksempel en linje vektorisert med punktskyer fra Nasjonal Detaljert Høydemodell erstatte enkelte landmålingsoppgaver som utføres fysisk i dag? Hvor lavt kan man gå ned på punkttettheten på punktskyer før man mister kvalitet på vektoriseringen?

Med dagens enorme mengder data tilgjengelig så blir det et spørsmål om kapasitet til å behandle data. Jo lavere punkttetthet på punktskyer jo mindre data blir det å behandle.

## 1.2 Problemstilling

*«Hvor lav punkttetthet pr.  $m^2$  kontra høy punkttetthet pr  $m^2$  kan en punktsky ha før manuell vektorisering ikke lenger er innenfor kvalitetskrav, i forhold til landmålte data og gjeldende standarder»*

### 1.2.1 Beskrivelse av problemstilling

Vektorisering er en sentral del av oppgaven. Vektorisering innen fagfeltet geomatikk er prosessen med å strekke linjer fra punkt A til punkt B. Disse punktene er typisk innmålt med totalstasjon, punkter i en punktsky eller punkter innmålt med GNSS.

*Eksempler på vektorisering:*

- 1. Et firma trenger å få en modell av et hus, ved å skanne huset med laserskanner så har man målt inn millioner av punkter med X, Y og Z koordinater. Disse punktene brukes til å strekke linjer for å få modell av huset.*
- 2. En offentlig etat vil bygge ny veg og trenger en nøyaktig modell av eksisterende veg. Da kan en geomatiker gå inn å måle punkter langs vegkanten med totalstasjon. Disse innmålte punktene kan i ettertid i programvare brukes til å strekke vegkantens linje og på den måten få et en vegmodell med høy nøyaktighet.*

Målet med oppgaven er å se på punkttettheten på punktskyer. Hvordan ulik punkttetthet påvirker resultatet ved manuell vektorisering. Det blir spesielt interessant å se hvor tynne punktskyene fra terrestrisk laserskanning kan være før resultatet ikke lenger tilfredsstiller de kvalitetskrav som foreligger fra ulike nøyaktighetskrav. De nøyaktighetskrav som er relevant for oss er FKB kravene og stedfestingsnøyaktigheten i HåndbokV770. Det blir også relevant å se på datasettene som er gjort tilgjengelig gjennom NDH-prosjektet. Kan disse datasettene benyttes i større grad for vektoriseringsformål og kan disse datasettene erstatte landmålingsjobber til enkelte formål innenfor vektorisering? GNSS innmålinger er også blitt vektorisert.

## Delspørsmål

For å besvare problemstillingen er det laget 5 delspørsmål:

*Kan manuell vektorisering gjøres med en punktsky med disse punkttetthetene, og fortsatt beholde god nøyaktighet på vektoriserte linjer:*

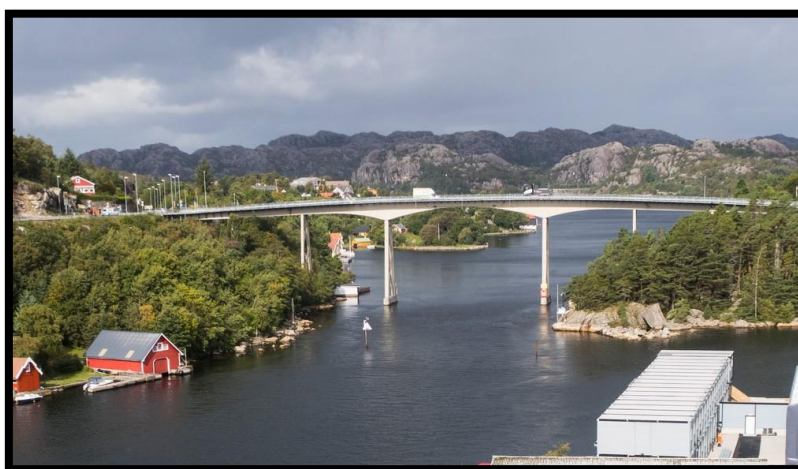
- ❖ *1 – 2 punkt pr. m<sup>2</sup>?*
- ❖ *5 punkt pr. m<sup>2</sup>?*
- ❖ *250 punkt pr. m<sup>2</sup>?*
- ❖ *1000 – 5000 punkt pr. m<sup>2</sup>?*
- ❖ *Kan en vektorisering gjøres med en punktsky fra Nasjonal Detaljert Høydemodell på 5. punkt pr. m<sup>2</sup>?*

Sammenligningsgrunnlaget er egne detaljinnmålinger av punkter gjort med totalstasjon. De punktene er vektorisert for å sammenligne med vektoriseringsresultater fra laserskannerens punktsky og NDH punktsky.

## 1.3 Omfang

I møtet med GS så ble det løftet fram at de hadde et bruprosjekt i Egersund Kommune, Eigerøy Bru som kanskje kunne være av interesse for oss i arbeidet med denne problemstillingen. GS i samarbeid med Statens Vegvesen gav oss muligheten til å bruke Eigerøy bru som feltområde i arbeidet med vår problemstilling.

(Schibeavaag, 2018)



Figur 1 Eigerøy bru. Foto: Mathias Oppedal / NRK

GS har ved Eigerøy bru drevet konstruksjon av digital terrengmodell med innmåling og terrestrisk laserskanning (Vestbø, 2019).

Grunnet stor trafikk i området så var HMS også et tema. Trafikken gjorde at vi ikke fikk muligheter til å gå på selve bruene og gjøre innmålinger. Derfor valgte vi å avgrense oss til et område i nærheten av bruene. I utklippet fra [www.Norgebilder.no](http://www.Norgebilder.no) så er området der våre innmålinger ble gjort merket i rødt. I dette området er det kantsteiner i forbindelse med fortauet, og det er disse kantsteinene vi har valgt å vektorisere.



Figur 2 Utklipp fra [www.Norgebilder.no](http://www.Norgebilder.no)

## 1.4 Mål og målgruppe

Med denne oppgaven så er det en del mål vi har lyst å oppnå:

- Besvare problemstillingen vår
- Besvare delspørsmålene våre
- Være et nyttig dokument for de dette temaet kan være av interesse for
- At oppgaven kan være med å konkretisere begrepene *vektorisering* og *tyunning* innenfor feltet landmåling og geomatikk.
- At oppgaven løfter frem punkttetthetens rolle i laserskanning.
- At dokumentet kan være et hjelpemiddel for de som vil jobbe videre med tematikken rundt vektorisering av punktskyer.

Oppgavens målgruppe kan deles inn i to grupper:

Gruppe 1. Personer innenfor fagområdet geomatikk som søker faglig input på de områdene innefor geomatikk som oppgaven dekker.

Gruppe 2. Mennesker som ønsker å forbedre sin kunnskap rundt punktskyer, vektorisering og tyunning.

# 2 Teori

## 2.1 Laserskanning

Laserskanning er en mye brukt metode innenfor landmåling. Laserskanning utføres både fra fly og på bakke. Flybåren laserskanning kalles ofte LiDAR (Light Detection and Ranging) (Kartverket, 2013) og er et fjernmålings system som bruker laser til å samle inn topografisk data fra (Heywood, et al., 2011).

Bakkebaserte laserskannere brukes ofte til å skanne bygninger og terreng for masseberegning, dokumentasjon, restaurering, BIM modellering eller vektorisering.

Funksjonen til den bakkebaserte laserskanneren er godt beskrevet i et produktark fra Geomatikk Survey:

*«Skanneren bruker laserteknologi for å produsere svært detaljerte, tredimensjonale bilder av komplekse miljøer og geometrier på bare noen få minutter».*

Dette skjer ved at skanneren sender ut en rekke laserpulser på kort tid, som reflekterer på gjenstandens overflate, og returnerer til skanneren og blir registrert (NGU, 2015). Moderne laserskannere kan registrere mangfoldige pulser i sekundet. I arbeidet med denne bacheloroppgaven er det blitt brukt Leica P-40

laserskanner. Leicas P40 laseskanner kan måle opp til 1 millioner punkt i sekundet (Leica Geosystems, 2017). Når laserskanneren registrerer returpulser, beregner den tiden det tok fra pulsen ble sendt ut til den returnerte til skanneren, på den måten kan skanneren beregne avstanden til objektet (Kartverket, 2015).



Figur 3 Laserskanner brukt i oppgave. Leica P40.

Pulsen til laserskanneren kan også gjengi intensitet, som tilsvarer lysmengden som reflekteres fra objektet (Smakic, 2005). Slik kan man skille mellom ulike typer overflater, ettersom ulike overflater absorberer og reflekterer lys i ulike grader. Intensitet kan dermed brukes til å klassifisere punktskyen (Dick, 2015).

Punktskyer må som regel forankres/georefereres til et koordinatsystem. En mye brukt metode er å bruke targets, som plasseres strategisk slik at de er synlige i punktskyen. En tommelfinger regel er å ha minst tre av de samme sikteskivene i alle skanns, som til slutt utgjør den endelige punktskyen. Ved bruk av totalstasjon blir targets innmålt, og i ettertid kan punktskyen georefereres med høy absolutt nøyaktighet (Scan Survey).



Figur 4 Target brukt til å georeferere punktskyer

### 2.1.1 Laserskanning nøyaktighet

I dag foreligger det en egen produktspesifikasjon som skal være med å kvalitetssikre etablering og forvaltning av høydedata. Standarden er i hovedsak fokusert på flybåren datafangst, men skal kunne brukes som utgangspunkt også for terrestrisk laserskanning (Statens Kartverk, 2018). I produktspesifikasjonen er det presisert hva toleransenivået er for punktskyer brukt til produksjon av Digitale terrengmodeller (DTM).

| Kvalitetsэлеment         | Delelement  | Kvalitetsmål   | Nøyaktighetsklasse |            |            |
|--------------------------|---|--|--------------------|------------|------------|
|                          |   |  | DTM5               | DTM10      | DTM20      |
|                          |   |  | Toleranse          | Toleranse  | Toleranse  |
| Stedfestings-nøyaktighet | Absolutt høydenøyaktighet                                   | Standardavvik  | 0.03 m (0)         | 0.04 m (0) | 0.07 m (0) |
| Stedfestings-nøyaktighet | Absolutt høydenøyaktighet                                   | Systematisk avvik  | 0.05 m (1)         | 0.10 m (1) | 0.20 m (1) |
| Stedfestings-nøyaktighet | Absolutt grunnrissnøyaktighet                               | Standardavvik  | 0.05 m (2)         | 0.10 m (2) | 0.20 m (2) |
| Stedfestings-nøyaktighet | Absolutt grunnrissnøyaktighet                               | Systematisk avvik  | 0.15 m (2)         | 0.30 m (2) | 0.60 m (2) |
| Egenskaps-nøyaktighet    | Nøyaktighet til kvalitative egenskaper - feilklassifisering | Prosentandel feil klassifiserte punkt (jf. LAS-klassene) | 2 % (3)            | 2 % (3)    | 2 % (3)    |
|                          |   | Andel bakkepunkt på åpne veldefinerte flater             | 80 % (4)           | 80 % (4)   | 80 % (4)   |
| Logisk konsistens        | Egenskaps-konsistens  | Prosentandel feil  | 0 % (5)            | 0 % (5)    | 0 % (5)    |
| Logisk konsistens        | Formatkonsistens  | Prosentandel feil  | 0 %                | 0 %        | 0 %        |

Tabell 1: Toleranseverdier for punktskyer. Kilde: Kartverket (FKB-Laser)

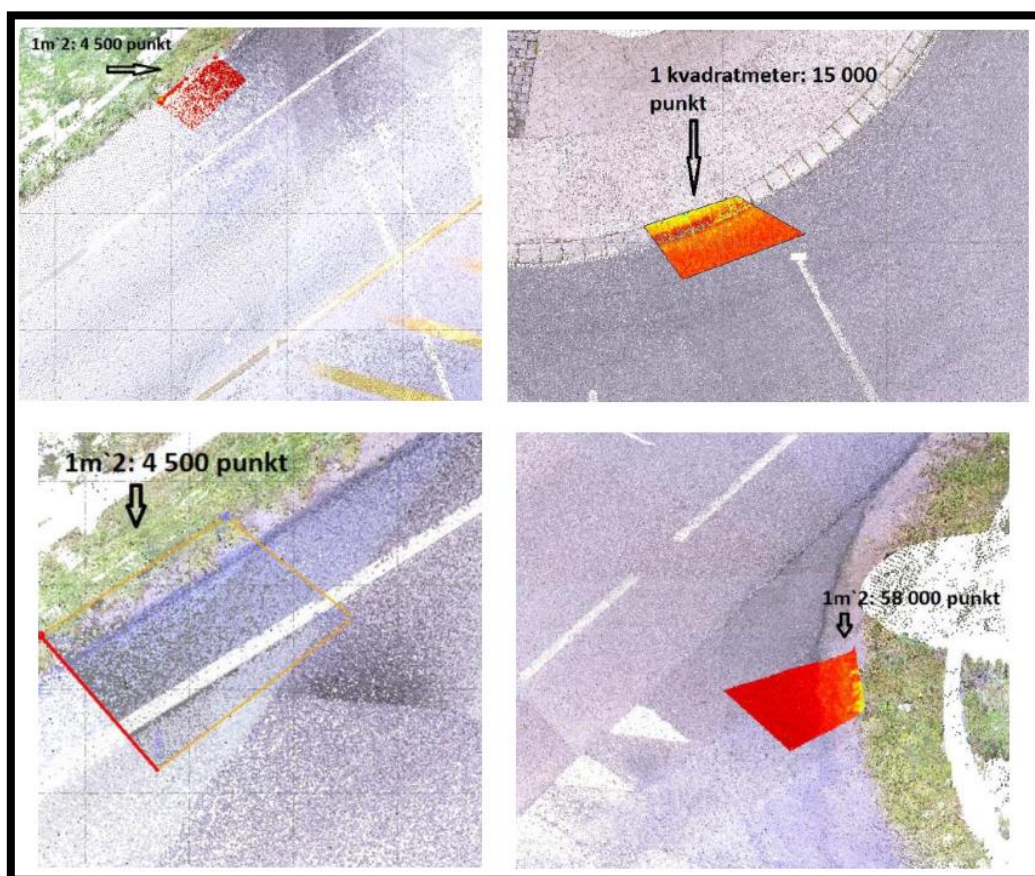
## 2.1.2 Punktetthet på laserskann

I arbeidet med denne oppgaven så er punktsettheten et viktig element. Punktsetthet oppgis ofte i antall punkt pr. m<sup>2</sup>. Kartverket spesifiserer hva minimum punktsetthet for de ulike FKB-Laser gruppene (Kartverket, 2013).

Tabell 2: Krav til punktsetthet (Kartverket)

| Delspesifikasjon | Punktsetthet                    | Nøyaktighet, ref tabell 7.2     |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| FKB-Laser-A      | minimum 10pkt/m <sup>2</sup>    | Standard = DTM10, Opsjon = DTM5 |
| FKB-Laser-B      | minimum 5pkt/m <sup>2</sup>     | Standard = DTM10, Opsjon = DTM5 |
| FKB-Laser-C      | minimum 2pkt/m <sup>2</sup>     | DTM10                           |
| FKB-Laser-D      | mindre enn 2 pkt/m <sup>2</sup> | DTM20                           |

I bildet nedenfor så er punktsettheten på bakgrunn av terrestriske innmålinger gjort av GS i Eigerøy illustrert.



Figur 5: Punktsettheter fra Geomatikk Survey AS sine laserskanninger på Eigerøy (Andresen, 2019)



## 2.2 Grunnlagsnettet Eigerøy bru



Figur 6 Oversikt over fastmerker ved Eigerøy bru

Fastmerkene brukt i landmålingen i Eigerøy er det Statens Vegvesen som har etablert. Det er landsnettpunkt, stamnettpunkt og CPOS basestasjon som er grunnlagspunkter for utjevningen av grunnriss og høyde på nyetablerte punkter ved Eigerøy bru (Dale, 2019).

I fastmerke rapporten fra Statens Vegvesen nevnes ikke nøyaktigheten på fastmerker som er brukt. I kommentarer på beregninger de har gjort så nevner det at ved etableringen av fastmerkene så har de observasjonene som har gitt utslag i test av observasjoner blitt satt passiv og at ved test av ytre pålitelighet så tilfredsstillende punktene nøyaktighetskravene i normklasse 1 fra grunnlagsstandard (Dale, 2019).

## 2.2.1 **Stamnettet, landsnettet, fastmerkenettet og fastmerker**

Stamnettet legger grunnlaget for landsnettet som er en fortetning av stamnettet (Statens Kartverk, 2019). Stamnettet og landsnettet utgjør fastmerkenettet. Fastmerkenettet er grunnlaget for våre fastmerker og dermed våre innmålinger på Eigerøy. Grunnlaget for fastmerkenettet var ny-målinger og beregninger som pågikk fra 1994-1997 (Skogseth & Norberg, 2014, p. 34).

De endelige verdiene til punktene stamnettet ble satt i datumet EUREF89 i 1997 (Skogseth & Norberg, 2014, p. 47). Ved etableringen av EUREF89 så var det nye geodetiske grunnlaget basert på GNSS teknologi (Statens Kartverk, 2019).

I boken til Skogseth & Norberg så er punkthierarkiet i Norge definert følgende:

Nasjonale basispunkter (113 stk)

Stamnettet (817 stk)

Landsnettet (ca. 11 000 stk)

Grunnlagsnett, detaljnett, «bruksnett»



*Figur 7 Fastmerke ved Eigerøy bru*

## 2.2.2 **Geodetisk datum**

Fastmerkene er satt i et geodetisk referansesystem som omfatter horisontalt og vertikalt datum. I det geodetiske referansesystemet inngår matematiske modeller, tidspunkt, fysiske konstanter og parametre for jorden. Det finnes flere måter benytte koordinater på i et geodetisk referansesystem (Dick, 2015).

Fastmerkene er ennå fremdeles viktig, men etter satellittbasert posisjonering tok over så har behovet for fastmerkene blitt mindre (Statens Kartverk, 2019).

Både NTM og UTM er to projeksjoner i et geodetisk referansesystem. UTM og NTM er offisielle kartprojeksjoner i Norge. Forskjellen er at UTM er en projeksjon som kan skape problemer på mindre avstander (Statens Kartverk).

Tabell 3 Definisjon av UTM og NTM

| Definisjon                 | UTM (Universal Transversal Mercator)                          | NTM (Norsk Transversal Mercator)              |
|----------------------------|---|---|
| <b>Sonebredde:</b>         | 6 lengdegrader, 60 soner som dekker jorda                     | 1 grad, 26 soner som dekker Norge. Soner 5-30 |
| <b>Akser:</b>              | Nord akse midt i aktuell sone langs en lengdesirkel(meridian) | Nord akse i sonen på hver halve grad          |
| <b>Målestokkfaktor:</b>    | 0.9996  | 1.0000  |
| <b>Sylinderprojeksjon:</b> | Konform (vinkelriktig)  | Konform (vinkelriktig)                        |

Målestokkfaktoren til UTM ligger på 0.9996, dette vil gi en systematisk feil på 4 cm pr. 100 meter. Det kan skape problemer for bygg-og anlegg der man for eksempel bruker prefabrikkerte elementer og feilen ikke blir korrigert.

Tabell 4 UTM NTM sammenligning av feil

| Sammenligning av feil på NTM og UTM forskjell på 100m |                        |
|---|------------------------|
| UTM   | NTM                    |
| 4 cm feil pr. 100m                                    | 0,11 cm feil pr. 100m. |

Målestokskorreksjon i NTM ligger på maksimalt 11ppm, som gir 1.1 mm pr 100 m, det er innenfor den nøyaktigheten som dagens landmålingsutstyr opererer med (Skogseth & Norberg, 2014, p. 43). NTM er derfor etablert som et eget anleggsdatum i Norge.

Ankomsten av GNSS baserte målemetoder førte til en overgang fra toposentrisk til geosentriske datum. Det betyr at det ikke lenger er et punkter på overflaten som er referansesystem, men jordsentrum (Dick, 2015).

I prosjektet ved Eigerøy bru har arbeidet foregått i datumet EUREF89 NTM Sone 5.

### 2.2.3 Horisontalt datum

Høydesystemet som er brukt i Eigerøy er NN2000. NN2000 betyr «normalnull fra år 2000». NN2000 erstatter det gamle høydesystemet NN1954. NN2000 gir nødvendig referanse for å angi hvor langt over havet et objekt i terrenget ligger (moh). NN2000 er homogent over lange avstander, noe som gjør det mer tilpasset dagens satellittbaserte måleteknologi (Statens Kartverk, 2018).

*Kartverket oppsummerer på sin nettside fakta om NN2000:*

- NN2000 er Norges nye høydesystem.
- NN2000 er ensartet og homogent og av kjent kvalitet for hele landet.
- NN2000 er et felles vertikalt datum for Norge, Sverige og Finland.
- NN2000 avviker minimalt fra det nye europeiske systemet EVRF2007.
- NN2000 tilfredsstillter kravene til nøyaktige 3D-data og data fra laserskanning.
- NN2000 er et viktig fundament for å rydde opp i gamle lokale høydenett.

Det er det nederlandske fundamentalpunktet «*Normaal Amsterdams Peil*» som er utgangshøyden for NN2000. Slik som NN2000 er felles for de skandinaviske land, så er ofte fundamentalpunkter også felles for et eller flere land (Dick, 2015).

## 2.3 Totalstasjon

En totalstasjon er et instrument brukt innenfor landmåling. Den består av en teodolitt som måler i vinkler, og en elektronisk avstandsmåler som måler avstand (Mæhlum & Ørstavik, 2020). Totalstasjon brukes mye på bygg og anlegg, hvor det i stor grad brukes til utplassering av koordinater (stikking) og etablering av grunnlagsnett. Totalstasjon egner seg også like godt innendørs som utendørs, for eksempel bygninger, tunneler og gruver hvor bruk av satellittbasert posisjonsbestemmelse ikke er mulig, eller gir for dårlig kvalitet (Mæhlum & Ørstavik, 2020)

For å bruke en totalstasjon skal den orienteres slik at stasjonen vet hvor den befinner seg relativt til koordinatsystem. Dette kan gjøres på flere måter. En mye brukt



*Figur 8 Leica Foto: privat. MS60. Totalstasjonen brukt ved Eigerøy bru*

metode er frioppstilling. Ved frioppstilling blir stasjonen satt på et vilkårlig punkt hvor det er sikt til flere fastmerker, disse fastmerkene har kjente koordinater i nord(x), øst(y) og høyde(z). På Eigerøy er det frioppstilling som er bruk til stasjonsetableringen.

## 2.4 GNSS

GNSS står for Global Navigation Satellite Systems. Det er en mye brukt teknologi innenfor landmåling som benytter målinger fra satellitter for å få koordinater. Det brukes ulike satellittsystemer for GNSS målinger slik som GPS, BeiDou, Galileo og GLONASS (Forsell, 2019).

GNSS brukes mye i landmåling ved bruk av metodene RTK-målinger og statiske målinger. Begge anvender en mottakerantenne som tar imot signaler fra satellitter den har tilgang til. Satellitter sender ut radiobølger på to frekvenser. Disse radiobølgene kodes med navigasjonsmeldinger som blir lest av antennen. Navigasjonsmeldingene inneholder informasjon om satellittens beliggenhet. Med denne dataen kan posisjonen til GNSS antennen beregnes (Kartverket, 2009).

Det finnes ulike posisjonstjenester for GNSS-målinger. Disse tjenestene tilfører korreksjonsdata for å forbedre nøyaktigheten på GNSS målinger. Disse korreksjonsdataene sendes i sanntid til brukeren fra basestasjoner som kontinuerlig måler mot satellitter (Skogseth & Norberg, 2014).

En slik posisjonstjeneste er CPOS. Denne tjenesten driftes av Kartverket og krever et abonnement. Når man benytter CPOS tjenesten oppretter den en virtuell referansestasjon i nærheten av GNSS mottakeren. Denne referansestasjon vil for GNSS roveren oppfattes som en basestasjon (Skogseth & Norberg, 2014).

|                                     | I områder med ca. 35 km mellom<br>SATREF PGS | I områder med ca. 70 km mellom<br>SATREF PGS |
|-------------------------------------|--|--|
| Grunnriss EUREF 89                  | 8 mm   | 14 mm  |
| Høyde EUREF89 (over<br>ellipsoiden) | 17 mm  | 30 mm  |
| Høyde NN2000                        | 20 mm  | 36 mm  |

Figur 9: Nøyaktighet CPOS målinger (Kartverket)

I tabellen ovenfor er det listet forventet nøyaktighet på CPOS målinger i grunnriss og høyde. Målinger av høyde har ikke like bra nøyaktighet som med grunnriss.

Innmålinger gjort med GNSS er ikke oppgavens hovedfokus, men det er blitt gjort innmålinger i Eigerøy med GNSS mottaker for å sjekke de vektoriserte GNSS linjene opp mot totalstasjon og vektorene fra punktsky.

## 2.5 Høydedata.no og nasjonal detaljert høydemodell

høydedata.no er en nettside forvaltet av Kartverket. Nettstedet inneholder geografiske datasett i form av punktskyer, digitale terreng modeller (DTM) og overflatemodeller (DOM) (Statens kartverk, 2018). Datasettene er utarbeidet av Geovekst prosjektet og er tilgjengelig for allmenheten. Nasjonal detaljert høydemodell (NDH) er et prosjekt hvor dataene fortløpende havner på høydedata.no. Målet med NDH å samle svært detaljerte høydedata for hele landet (Kartverket, 2019).

## 2.6 FKB

FKB er en forkortelse for Felles Kartdatabase. Det er en samling med ulike datasett, som er innhentet og driftes av Geovekst-samarbeidet. FKB består av vektordata som egner seg for kartproduksjon og saksbehandling (Granum, 2019).

FKB datasett er fordelt i fire forskjellige grupper: FKB-A, FKB-B, FKB-C og FKB-D. Hvor FKB-A har høyst detaljeringsgrad og nøyaktighet. FKB-A er egnet for byområder med høy utvikling. FKB-D har lavest detaljeringsgrad og nøyaktighet og er tilpasset bruk i fjellområder

(Statens kartverk, 2020). De fire gruppen har også fire forskjellige kvalitetsklasser som har som formål å spesifisere toleranseverdier for stedfestningsnøyaktighet i høyde og grunnriss, for objekttyper i datasettet. Klassene har navn klasse 1, 2, 3 og 4, hvor klasse 1 har høyest nøyaktighet og klasse 4 har den laveste (Statens kartverk, 2020).

FKB gruppene er også tilegnet slik at kommuner kan anvende dem som et lappetepe i sitt område. «*Dette gir datagrunnlag som er tilpasset behovet for felles kartdata i de ulike områdene av kommunen*» (Statens kartverk, 2020, p. 13)

Det er Geovekst-samarbeidet som avgjør hvilke FKB standard som skal brukes i ulike områder i Norge. Kommuner har ansvaret for å ha tilstrekkelig kartlegging standard for utføring av planleggingsoppgaver i de ulike områdene i kommunen.

### 2.6.1 Krav til FKB

| FKB-Standard |           | Nøyaktighetsklasse                              |   |                                      |  |
|--------------|-----------|---|---|--------------------------------------|--|
|              |           | Klasse 1<br>Svært veldefinerte<br>detaljer (cm) | Klasse 2<br>Veldefinerte detaljer<br>(cm) | Klasse 3<br>Uskarpe detaljer<br>(cm) | Klasse 4<br>Diffuse naturlige<br>detaljer (cm) |
| FKB-A        | Grunnriss | 10  | 15  | 35                                   | 55   |
|              | Høyde     | 10  | 15  | 25                                   | 40   |
| FKB-B        | Grunnriss | 15  | 20  | 35                                   | 55   |
|              | Høyde     | 15  | 20  | 35                                   | 50   |
| FKB-C (1)    | Grunnriss | 48  | 55  | 70                                   | 100  |
|              | Høyde     | 48  | 70  | 90                                   | 150  |
| FKB-D (1)    | Grunnriss | 48  | 55  | 70                                   | 100  |
|              | Høyde     | 48  | 70  | 90                                   | 150  |

Tabell 5: Toleranseverdier (standardavvik) i ulike nøyaktighetsklasser. Kilde Kartverket (FKB produktspesifikasjon).

### 2.6.2 FKB-A

Er den meste detaljerte og nøyaktige standarden for FKB datasett. Den er mye brukt innenfor plan og prosjektering i byområder hvor det er høy utvikling. Datasettene vil inneholde stor grad av detaljer for bygninger, slik som trapp og små verandaer FKB-A datasett blir etablert hovedsakelig med fotogrammetri med flybilder med oppløsning på 5-8 cm (Statens kartverk, 2020).

### 2.6.3

#### **FKB-B**

Denne standarden benyttes i områder med tettbebyggelse og blandet bebyggelse, utbyggingsområder og langs større veger slik som europaveger. FKB generell del spesifiserer at denne standarden burde brukes i områder utenfor byene, hvor det finnes en mengde bygninger og tekniske installasjoner. I FKB-B datasett vil bygningers hovedform være synlig, men noen av detaljene er tapt. Detaljer for veg vil være likt for både FKB-A og FKB-B. Kartverket presiserer også at standarden kan brukes til prosjektering og utarbeidelse av reguleringsplaner, men har noen begrensinger sammenlignet med FKB-A standarden. Likt med FKB-A datasett blir FKB-B datasett etablert med fotogrammetri av flybilder med oppløsning på 8-12 cm, FKB-B datasett vil derfor ikke ha like bra stedfestingsnøyaktighet enn FKB-A datasett.

### 2.6.4

#### **FKB-C**

FKB-C datasett er tilpasset bruk i spedt bebygde og ubebygde områder (sitat). FKB-C datasett har begrensinger innenfor utarbeidelse av reguleringsplaner, situasjonsplaner og byggeplaner. FKB-C burde ikke etableres i områder hvor det er naturlig å utarbeide FKB-B datasett. Kartverket presiserer at FKB-C data kan brukes til utarbeiding av N5 produkter. N5 kartdata er en forenklet utgave av FKB-data (sitat produktspesifikasjon N5).

FKB-C datasett har et større minstemål enn FKB-A og B og viser i likhet med FKB-B bygningers hovedform og de dominerende detaljene i topografien. FKB-C blir også etablert med fotogrammetrisk kartlegging hvor flybildene har en oppløsning på 15-25 cm.

### 2.6.5

#### **FKB-D**

FKB-D standarden benyttes i områder med liten eller ingen bebyggelse, oftest i fjellstrøk. FKB-D skal brukes til å heldekket de resterende områdene i kommuner.

## **2.7 Håndbok V770 - Modellgrunnlag**

Statens vegvesen har flere håndbøker de gir ut i dag. Håndbøkene gis ut som enten nomaler eller retningslinjer. En av håndbøkene som er relevant får denne oppgaven er Håndbok V700



*Modellgrunnlag – Krav til grunnlagsdata og modeller.* I forordet på Håndboken så står følgende: «Håndbok V770 Modellgrunnlag med vedlegg stiller krav til hvordan grunnlagsdata og modeller skal bestilles, utarbeides og leveres i vegprosjekter».

Kvalitetskravet til terrengoverflater og andre grunnlagsdata skilles i håndboken i so soner: inngrepssone og visualiseringssone (Statens vegvesen, 2015).

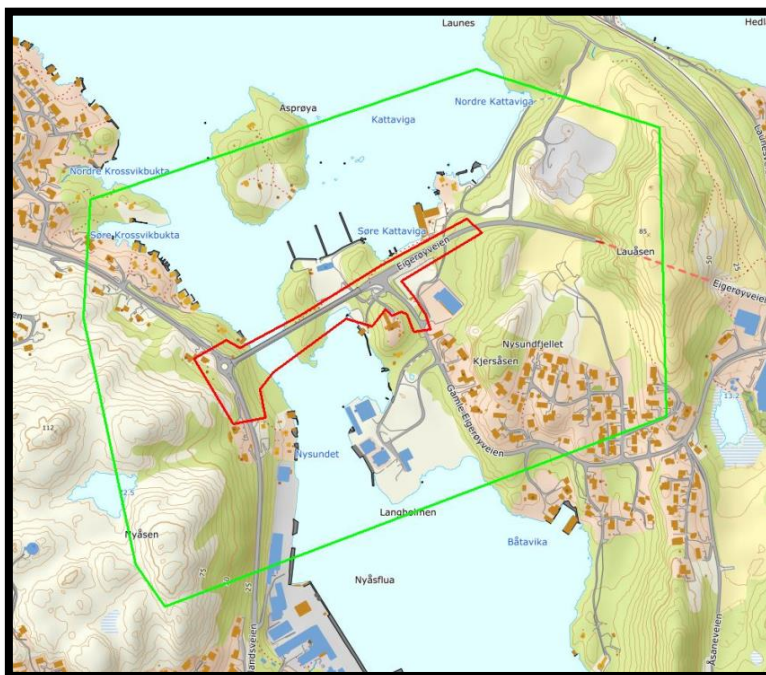
## Inngrepssone

Inngrepssonen er der hvor arbeidet foregår +5 til 50 meter utenfor. Her er det høyere krav til nøyaktighet i grunnriss og høyde.

## Visualiseringssone

Denne sonen omhandler terrenget rundt inngrepssonen. Datagrunnlaget i visualiseringsgrunnlaget skal kunne brukes analyser av støy, vannavrenning mm. Nøyaktighetskravet til denne sonen er også lavere enn inngrepssonen. Totalt bør minimum 100 m utenfor inngrepssonen være dekket i visualiseringssonen.

På prosjektet Eigerøy som GS har jobbet i, er datagrunnlaget delt opp i inngrepssone og visualiseringssone.



Figur 10: inngrepssone (rød ramme) og visualiseringssone (grønn ramme.)

Det kravet som er relevant i håndboken er kapittel 6 *Høydegrunnlag for terrengoverflatemodell*. Der tar håndboken opp kvalitet i inngreps- og visualiseringssonen.

For visualiseringssonen så er det FKB-DTM 10 som er kravet. For inngrepssonen står det i håndboken at at FKB DTM data generelt har for dårlig kvalitet som grunnlag for prosjektering og planlegging. Derfor må det alltid etableres nytt høydegrunnlag for terrengoverflate for inngrepssonen. Håndboken gir i en tabell anbefaling om nøyaktigheten til høydegrunnlaget i ulike prosjektfaser.

Tabell 6: Kilde håndbok V770

| Stedfestingsnøyaktighet i ulike prosjektfaser |   |
|---|---|
| Prosjektfase                                  | Høydegrunnlag   |
| Oversiktsplan                                 | FKB-DTM 10, +/- 3 eller 6 cm, samt innmåling av objekter som trenger bedre nøyaktighet med landmåling |
| Reguleringsplan                               | +/- 3 eller 6 cm, samt innmåling av objekter som trenger bedre nøyaktighet med landmåling             |
| Konkurransegrunnlag                           | +/- 3cm eller 6cm, samt innmåling av objekter som trenger bedre nøyaktighet med landmåling            |
| Bygging                                       | +/- 3cm eller 6cm, samt innmåling av objekter som trenger bedre nøyaktighet med landmåling            |

## 2.8 Vektordata

Vektorisering er et begrep/emne som står sentral i denne oppgaven. Vektordata består av stedfestet geometri som består av punkt, linje og polygon. Dette har som formål og representerer et fenomen fra virkeligheten på et kart. Hvilke fenomen som skal visualiseres som punkt, linje eller polygon er veldig avhengig av kartets formål og målestokk.

Huisman og de By (2009) skriver at punkt er mye brukt til å visualisere fenomener som betegnes som formløse med endimensjonale egenskaper. Videre så nevner de at linjer brukes ofte til å representere veger, toglinjer, kanaler, elever og strømlinjer. Linjesegmenter er i grunn dannet av to eller flere noder. Nodene kan anses som punkt, men brukes kun til å definere linjen og tilpasse den virkelige formen (Huisman & de By, 2009, p. 96).

Polygoner blir brukt til å visualisere områder og fenomen med et avgrenset område.

Polygoner består av linjesegmenter som danner en løkke og har samme koordinater på start og sluttnode.

## 2.9 Nøyaktighetslære

For å sikre at arbeid gjøres etter en standardisert måte i Norge og at arbeidet som blir gjort er etter de samme retningslinjene, så ble *Geodatastandarden* laget av Kartverket. Denne standarden stiller krav til kvalitetssikringen ved å stille krav til faglig kompetanse, kontroller og dokumentasjon (Skogseth & Norberg, 2014, p. 334)

Flere deler av *Geodatastandarden* er i dag skilt ut som egne selvstendige standarder. I standarden *Kart og geodata* finnes en figur som illustrerer alle de standardene som i dag utgjør *Geodatastandarden*.

|  |   |   |                            |                                    |  |  |
|--|---|---|----------------------------|------------------------------------|--|--|
| <b>Grunn-<br/>lagsnett</b>   | <b>Plassering og<br/>beliggenhets-<br/>kontroll</b> | <b>Stedfesting av<br/>eiendoms- og<br/>råderettsgrenser</b> | <b>Kart og<br/>geodata</b> | <b>Kontroll<br/>av<br/>geodata</b> | <b>Produkt-<br/>spesifika-<br/>sjon for<br/>FKB-data</b> | <b>Produkt-<br/>spesifika-<br/>sjon for<br/>ortofoto</b> |
| <b>Kvalitetssikring av oppmåling, kartlegging og geodata<br/>(Geodatastandarden)</b> |   |   |                            |                                    |  |  |

Figur 11 Utklipp med oversikt over standardene i *Geodatastandarden*

I arbeidet med denne oppgaven så er det standarden *Grunnlagsnett* (Statens kartverk, 2009) som er mest relevant. *Grunnlagsnett* definerer kvalitetsmålene for grunnlagsnettet og tallfester kvalitetskravene ved å gi toleranser for kvalitetsmålene. *Grunnlagsnett* spesifiserer også toleransene for ulike typer nett og ulike områdetyper.

I landmåling er det alltid feil på det man gjør. Derfor er det viktig å analysere målingene for å finne ut hvilke typer feil man har og til hvilken grad det påvirker nøyaktigheten på måleopplegget.

Oppgavens hovedformål har ikke så mye med nøyaktigheten til måleopplegget å gjøre. Men nøyaktigheten på måleopplegget vil sette premisser for nøyaktigheten på innmålte punkter. Også utsatte targets og påfølgende punktsky etablert med de targets er påvirket av nøyaktigheten de er satt ut med. En dokumentasjon på måleopplegget er viktig for å være sikre på at vektoriserings-resultatet er innenfor de nøyaktighetskrav oppgaven er ute etter.

Nøyaktigheten oppgaven operer etter knyttes opp mot toleransekrav i FKB. Ifølge Skogseth & Norberg (2014) så er nøyaktighetslærens viktigste formål:

Tabell 7 Nøyaktighetslærens formål

|   |
|---|
| • Gjøre en inndeling av målefeil (grov, systematisk og tilfeldig)         |
| • Beskrive lover for feilfordeling (normalfordeling)                      |
| • Definere nøyaktighetsmål (standardavvik, sann verdi, vekt pålitelighet) |
| • Beregne nøyaktighetsmål for observasjoner (gode eller dårlige målinger) |
| • Beregne nøyaktighetsmål for koordinater og høyder (feilforplantning)    |

Nøyaktighetslæren har to formål i forbindelse med denne oppgaven: *utjevning* og *dokumentasjon av nøyaktighet*. Utjevningen er de matematiske beregningene ved bruk av «MKM» for å gi de mest sannsynlige verdiene for grunnriss og høyde med utgangspunkt fra de observasjonene som er gjort (Skogseth & Norberg, 2014, p. 314). Dokumentasjon av nøyaktighet går ut på å statistisk sett dokumentere nøyaktigheten til de beregningene som er gjort.

Skogseth & Norberg (2014) skiller målefeilene i nøyaktighetslæren til 3 hovedtyper:

- **Grove feil.**  
I hovedtrekk er dette feil som knyttes opp mot observatør, tastefeil i programvare regnes også som målefeil. Feil knyttet til utstyrsvikt går også under *grovfeil*.
- **Systematiske avvik**  
Dette er ensidige feil som påvirker observasjoner ensidig. Denne typen avvik vil som oftest ha skyld i instrumentfeil. Instrumentfeil kan for eksempel være målestokkfeil, i det tilfellet så kan det korrigeres i ettertid og målingene må ikke forkastes.
- **Tilfeldige avvik**  
Gjenstående feil kalles tilfeldige avvik. Dette er feilene som er igjen når systematiske avvik og grove feil er fjernet fra målingene. Skogseth & Norberg(2014) velger i sin bok å kalle tilfeldige avvik for tilfeldige feil, da de påpeker at tilfeldige avvik skyldes begrenset nøyaktighet ved målemetode, observatør eller instrumenter.

Skogseth & Norberg (Skogseth & Norberg, 2014, p. 328) skriver at ulike målinger skal man regne som like nøyaktige. Det som da skal ligge til grunn er at målingen er utført med det samme utstyret og under de samme forholdene. De poengterer at dette vanligvis ikke blir

oppfylt og man i realiteten dermed har målinger av ulik nøyaktighet med i en beregning. Dermed så er vekten på målingene et nøyaktighetsmål. Målinger med størst nøyaktig skal derfor har være de målingene som påvirker resultatet mest, altså de får størst vekt.

Det finnes flere verktøy som kan brukes tile analysen av grunnlag. I arbeidet med denne oppgaven ble GISLINE Landmåling brukt. I GISLINE så kan analyse og utjevninger av observasjoner deles i 5 steg.

Første steg i GISLINE er selve utjevningene. Utjevningen kan forklares som de matematiske beregningene basert på minste kvadraters metode. Utjevningene bruker fastmerkene, geometrien og observasjonene til å beregne nye punkter.

De 4 siste stegene er den statistiske delen som går ut på å speide etter grove- og skjulte feil som nettet kan ha. Man kan også se på nøyaktigheten på målingene opp mot *Geodatanormen* for å se om de går igjennom den testen.

## 2.10 Ortofoto

*«Ortofoto er et fotografisk bilde som ved en transformasjon har fått geometriske egenskaper som tilsvarer en ortogonal projeksjon av det avbildede objektet»* (Kartverket , 2015, p. 60).

Ortofoto kan brukes til flere formål. Noen bruksområder er kartvedlikehold, analyser og saksbehandling. Ortofoto brukes også til vektorisering, også kalt fotogrammetrisk vektorisering (Kartverket, 2013).

Kartverket har spesifisert tre ulike klasser for ortofoto:

- Ortofoto 10: har en oppløsning på 4-15 centimeter. *«Er egnet til å vises på skjerm sammen med FKB-A/B i målestokker ned mot 1:300»* (Kartverket, 2013, p. 10).
- Ortofoto 20: har en oppløsning på 20 centimeter. *«Er egnet til å vises på skjerm sammen med FKB-A/B/C-data i skjermmålestokker ned mot 1:500»* (Kartverket, 2013, p. 10)

- Ortofoto 50: Omløpsfotografering som skal dekke hele landet. Har en oppløsning på 25 centimeter. «*Er egnet til å vises på skjerm sammen med FKB-data i skjermmålestokker ned til 1:750*» (Kartverket, 2013, p. 10)

# 3 Metode og analyse

## 3.1 Feltarbeid

Hele feltarbeidet er gjort i NTM sone 5. Feltarbeidet pågikk i to dager og besto av 4 oppgaver:

1. Utsetting av hjelpepunkter
2. Detaljinnmålinger med totalstasjon
3. Innmålinger med GNSS
4. Laserskanning

### 3.1.2 Utsetting av hjelpepunkter

For å etablere hjelpepunkter så ble fastmerkene fra Statens vegvesen brukt ved frioppstilling. I planleggingen av måleopplegget, ble måleoppleggets art planlagt ut ifra det utgangspunkt at det ville være minimum sikt til 3 fastmerker ved opprettelsen av hjelpepunkter. Ved arbeidets start ble det klart at flere av fastmerkene ikke var tilgjengelig.

To prismer ble sentrert over de fastmerkene som det var sikt til.

Sentrering ble utført med sikteloddet på prismefoten og det ble brukt et Leica målebånd for å notere prismehøyde. Dette målebåndet er spesielt laget for måling av prismehøyder, og kompenserer for skråvinkelen som oppstår når man bruker vanlig målebånd eller tommestokk, som kan gi feil prismehøyde. For å sikre uavhengige målinger på prismehøyden ble høyden målt 3 ganger av to personer for så å bruke den midlede høyden som prismehøyde

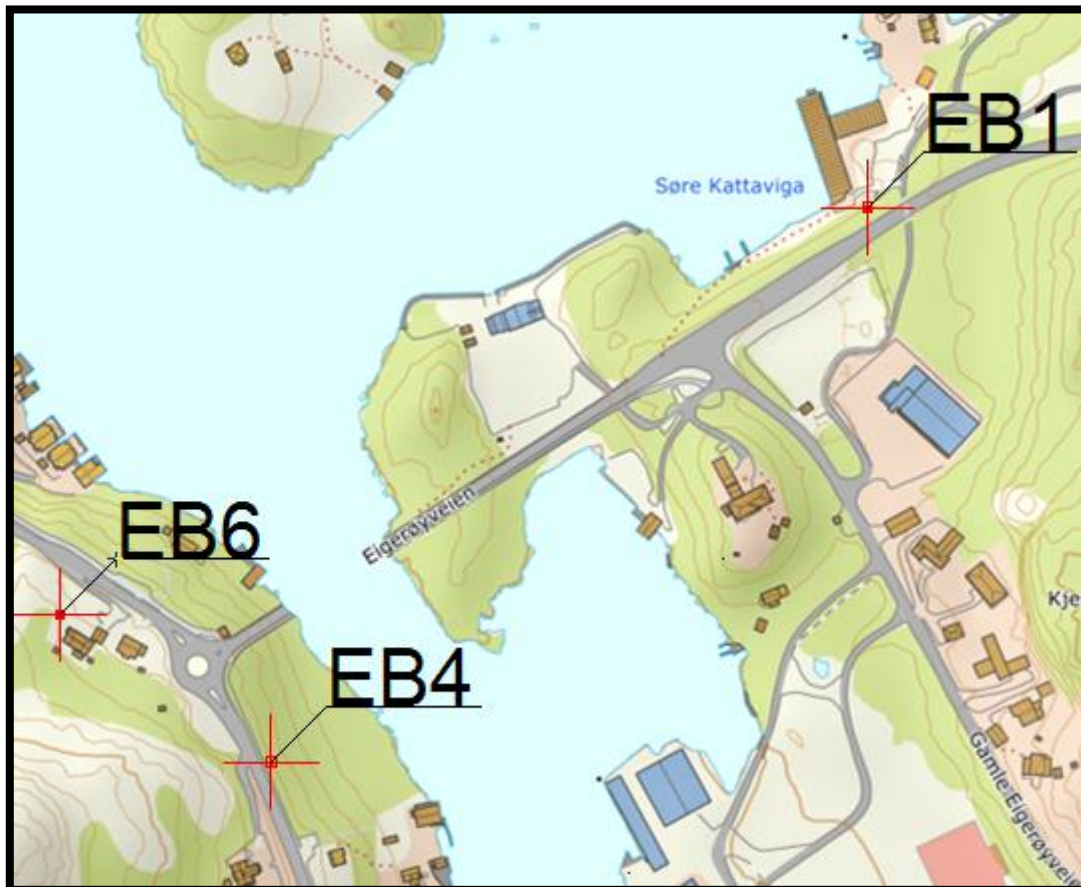
Sikt til bare to fastmerker er i utgangspunktet ikke ønskelig. Skogseth & Norberg(2014, s. 166) nevner i boken sin at det bør være minst to overbestemmelser ved grunnriss-beregning



Figur 12:  
Tvangssentrering over  
fastmerke

av nye punkter ved frioppstilling. Videre så nevner de at for å oppnå denne overbestemmelsen så bør det måles i horisontretninger til minst 3 kjente punkter.

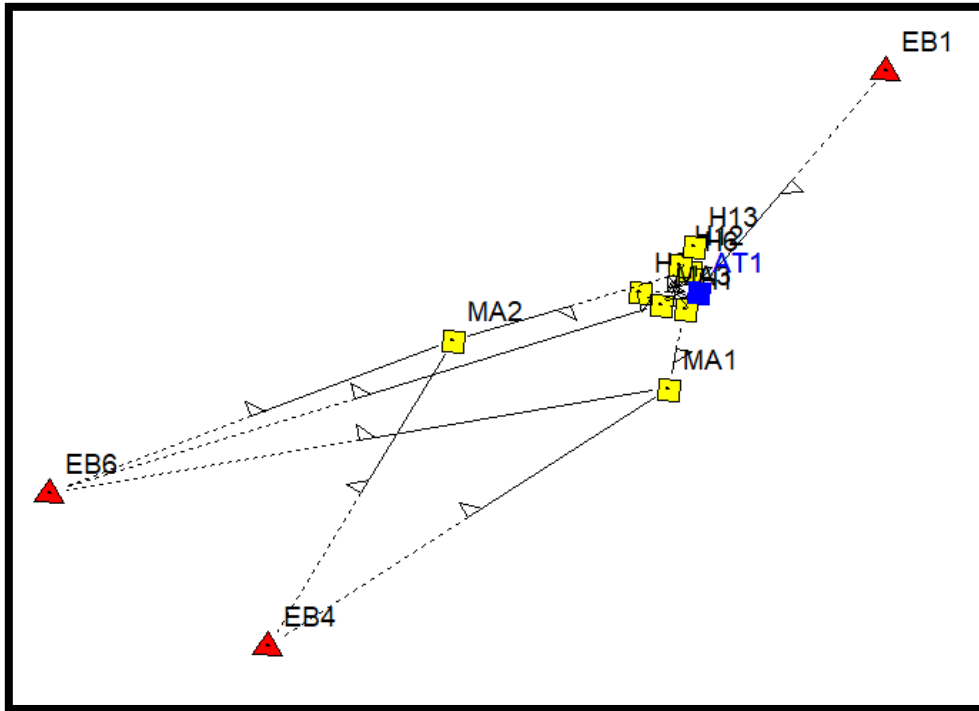
Med frioppstilling med kun sikt til 2 fastmerker, så vil nøyaktigheten på frioppstilling i enda større grad basere seg på at de oppgitte koordinatene er korrekt. Måleopplegget ble derimot styrket ved at man utover i arbeidet klarte å «koble» seg på et tredje fastmerke som man fikk sikt til.



*Figur 13: Fastmerke oversikt*

EB6 og EB4 ble brukt ved første frioppstilling. Utover i måleopplegget koblet man seg på EB1.





Figur 14: Fastmerker og observasjoner i GISLINE

Med kjent orientering på totalstasjon ble hjelpunktene etablert. Hjelpunktene ble satt ut i områder hvor det ikke var sikt til fastmerker og i området man hadde sikt til fra flere oppstillinger.

### 3.1.3 Detaljinnmålinger med totalstasjon

Med bakgrunn av hjelpunkter etablert og sikt til ett fastmerke ble det gjort frioppstilling med totalstasjon. Frioppstillingen ble gjort i samme område der laserskanningen skulle foregå. Etter frioppstillingen ble alle targets målt inn for å kunne brukes i laserskanningen.



Figur 15: Frioppstilling



*Figur 16: Detaljeinnmålinger*

Deretter ble samme objekt som i ettertid skulle vektoriseres med punktsky fra laserskanning målt inn med totalstasjon og Leica Mini prisme. For å ha god nøyaktighet ble innmålingene gjort med veldig tett mellomrom. Objektet som ble målt inn var øvre del av kantsteinen i forbindelse med gang- og sykkelvei.

### **3.1.4 Innmålinger med GNSS**

De samme områdene som ble skannet med laser ble også målt inn med veldig høy tetthet med totalstasjon ble også målt inn med GNSS. I strekninger med litt kurve og knekkpunkt, ble det foretatt målinger veldig tett. Dette for å få med geometrien så nøyaktig som mulig. I motsetning ble det gjort færre målinger på rette strekninger.



*Figur 17: Innmålinger med GNSS*

### **3.1.5 Laserskanning**

Det samme området som ble målt inn med både GNSS og totalstasjon ble gradvis laserskannet med veldig høy punkttetthet og overlapp. Targets for laserskanning ble plassert strategisk, slik at de var synlige for laserskanneren. Noen targets ble plassert på stativer og andre ble plassert på lyktestolper og autovern.



*Figur 18:Target*

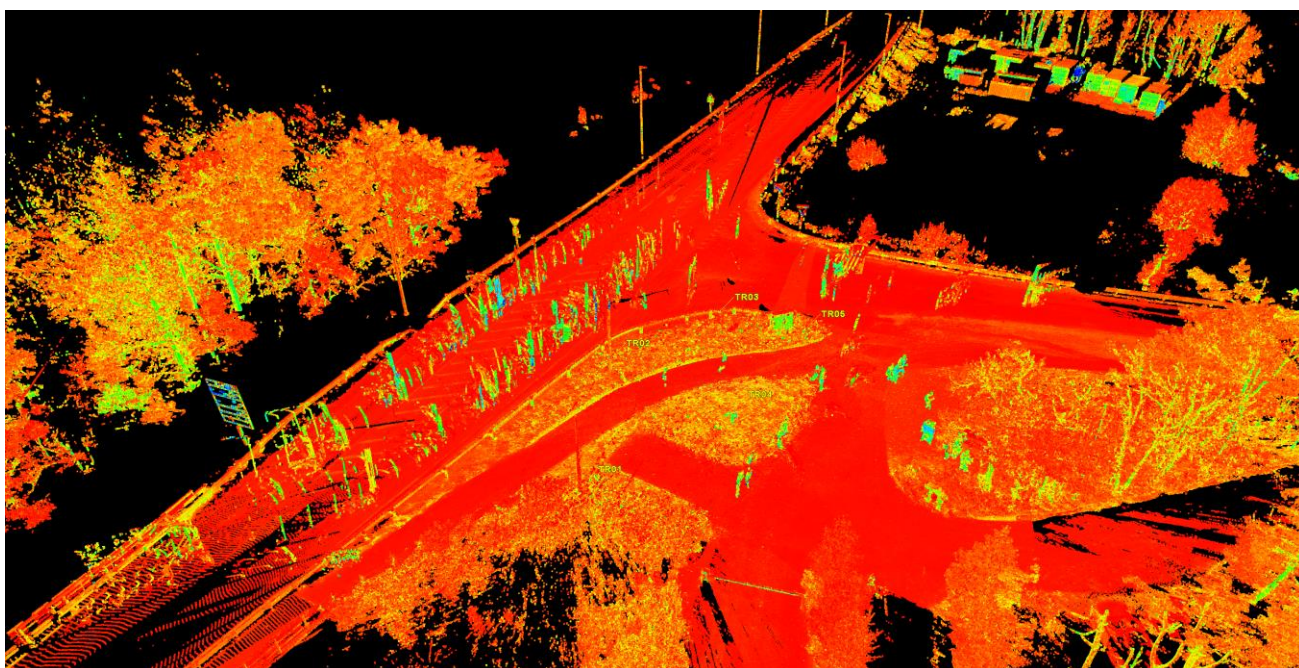
P40 laserskanner blir satt opp slik at alle targets var synlige i hvert skann. Skannevinkel ble satt til  $-55^{\circ}$  til  $20^{\circ}$ . Punkttetthet ble satt til 3.1 millimeter på 10 meter. Det ble satt en maks avstand på 27 meter, slik at ikke det ble skannet store deler som var unødvendig. For alle skanns som ble utført, ble det foretatt «sub-scanns» av alle targets. Det ble totalt ni ulike skannlokasjoner som ble gjennomført.



*Figur 19: Laserskanning oppstilling*

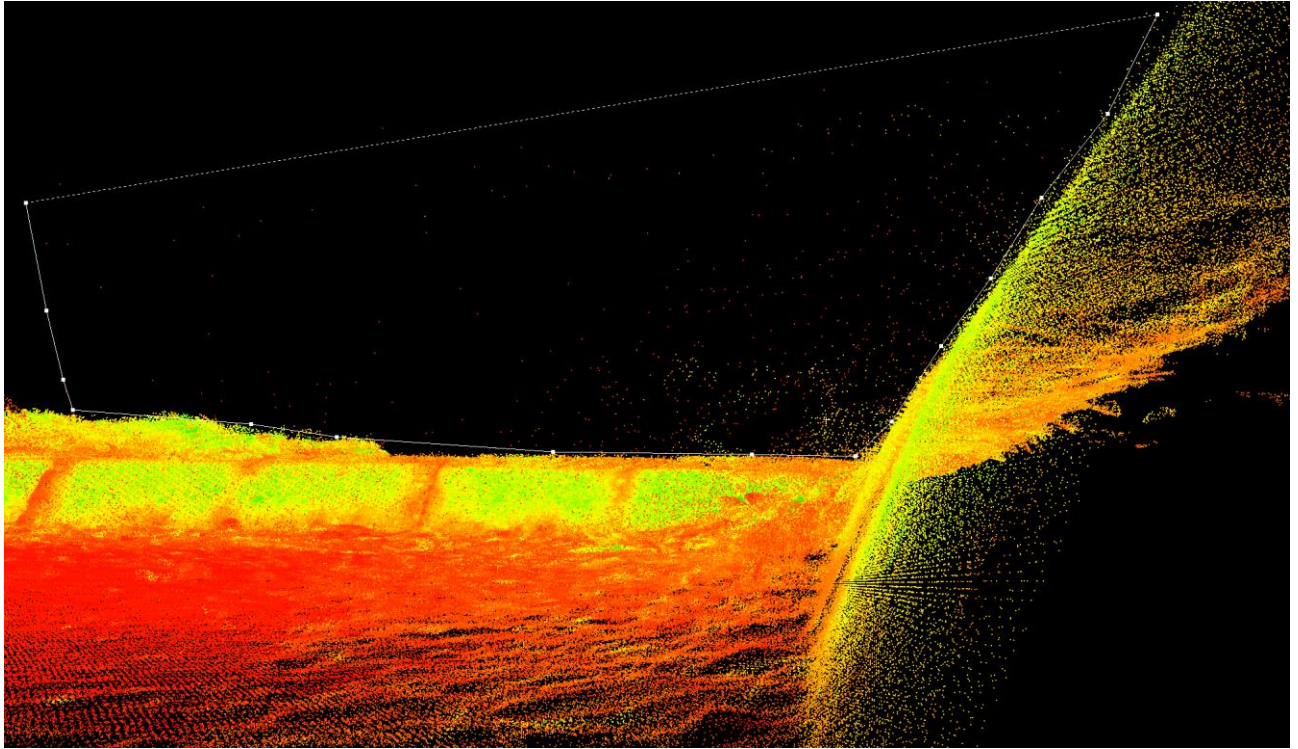
## 3.2 Behandling av P40 punktsky og vektorisering

Det ble brukt syv ulike punktskyer av totalt ni, til å lage en punktsky. Dette ble gjort i Leica Cyclone REGISTER 360. Disse punktskyene ble sammenslått til en punktsky, ved hjelp av targets uten koordinater. Her ble punkter som lå oppå hverandre, automatisk fjernet. I Leica REGISTER 360 får en ut en rapport som beskriver hvilken kvalitet en får på punktskyen, etter at punktskyen er sammenslått. I rapporten er det informasjon om de ulike standardavvikene, samt informasjon om hver enkel punktsky. (se vedlegg 3)

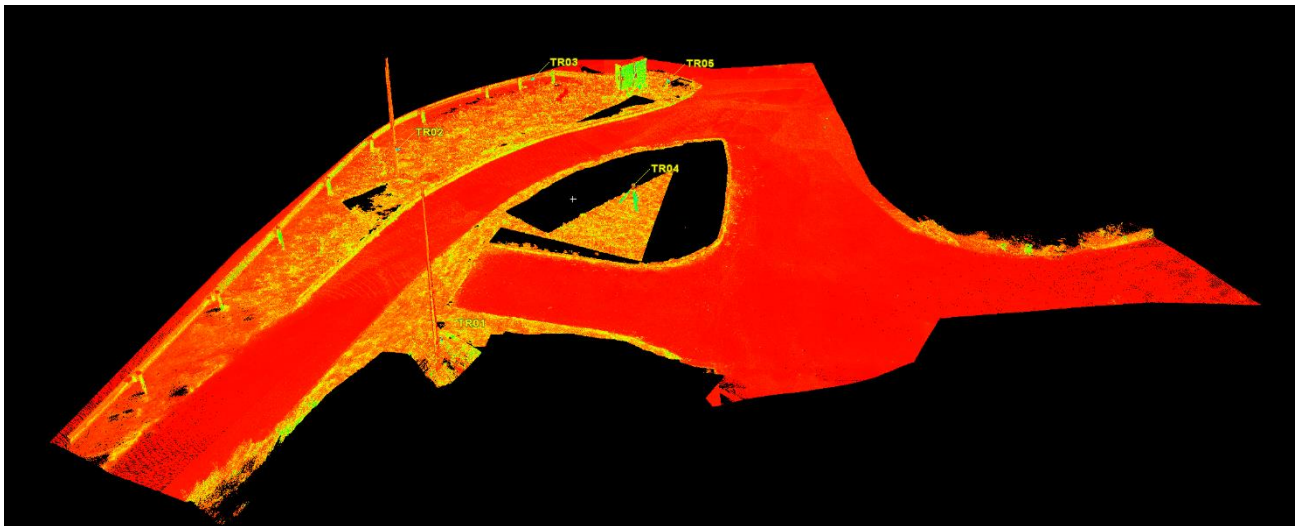


*Figur 20: Punktskyen etter sammenslåingen Leica REGISTER 360*

Selve behandlingen av punktskyen ble gjort i Leica Cyclone. Her ble punktskyen georeferert, basert på innmålte targets. Koordinatene var i EUREF 89 NTM sone 5. Dette medfører at hele punktskyen får koordinater i nord, øst og høyde. Punktskyen ble også ryddet for støy før selve vektorisering ble påbegynt. Grunnen til dette er å fjerne punkter som ikke befinner seg på vegskulderkanten, slik at det ikke blir vektorisert ut ifra feil punkt



Figur 21: Eksempel på støy, og manuell selektering av punkter..



Figur 22: Punktskyen etter rydding av støy.

Etter at punktskyen ble ryddet, så kan en starte å lage vektorlinjer. Vektorisering ble gjort manuelt ved å velge ett og ett punkt, langs vegskulderen. Etter at alle vektorlinjene ble lagd, så tynnes punktskyen ned til ønsket punkttetthet. Etter hver tynning, så ble det laget nye

vektorlinjer. Dette gjentas til punktskyene har en punkttetthet på 100-200 tusen punkt pr. m<sup>2</sup>, 5000-10 000 punkt pr. m<sup>2</sup>, 1000 punkt pr. m<sup>2</sup>, 200-400 punkt pr. m<sup>2</sup>, og 3-5 punkter pr. m<sup>2</sup>. (se figur 33 til figur 36 for punkttetthetene)

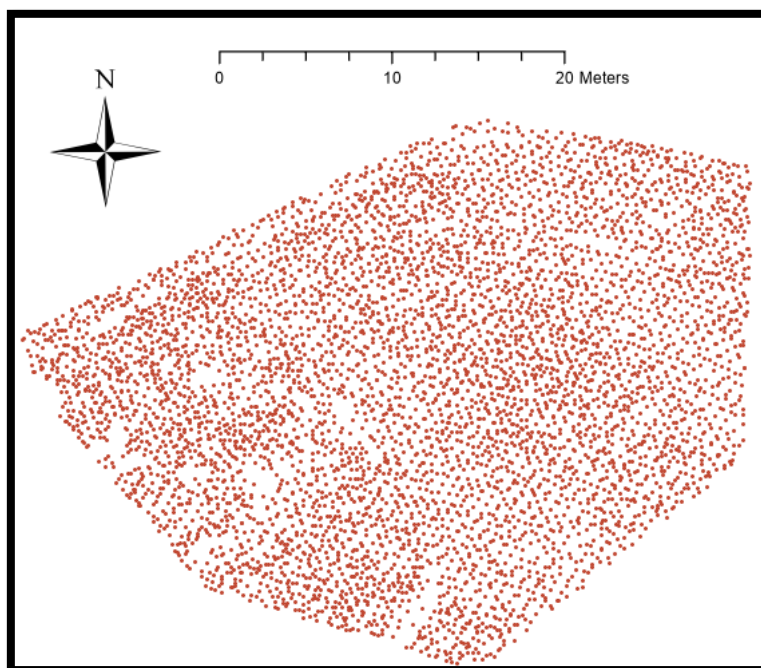
Det ble også gjort en analyse for å finne ut hvor mange punkt det befant seg i en kvadratmeter i punktskyen, ettersom dette er en indikasjon på hvor tett punktskyen er. Dette ble gjort hver gang punktskyen ble tynnet. Geomatikk Survey har også brukt denne metoden for å illustrere antall punkt pr. kvadratmeter (figur 5).

### **3.3 Vektorisering av punktsky fra Høydedata.**

En av oppgavens hensikter var å undersøke om punktskyer tilgjengelige på Høydedata.no kan brukes til vektorisering av vegskulderkant. Hvordan vil disse vektorlinjene måle seg opp mot vektorlinjene tegnet ut ifra den terrestriske punktskyen? Og vil stadfestningsnøyaktighet ligge innenfor henhold til de krav som stilles i FKB og NVDB. Resultatet skal sammenlignes med *Kartverkets* toleranseverdier, samt feltmålingene fra Eigerøy, og vektorlinjene fra den terrestriske punktskyen.

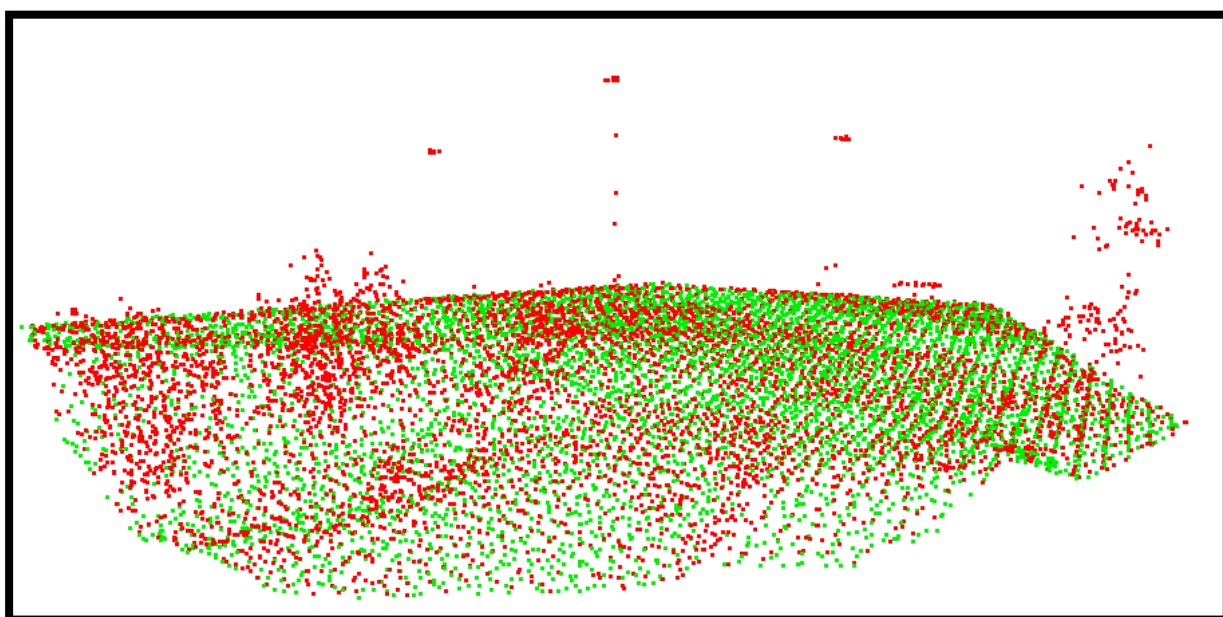
På *Høydedata.no* har man mulighet til å velge et utsnitt for nedlastning av aktuelle prosjekter. Prosjektet som ble valgt var '*NDH Jæren-Randaberg-Sola 5pkt 2017*', som i henhold til navnet inneholder 5 punkter pr. kvadratmeter. Denne punkttettheten er veldig vanlig for punktskyer tilgjengelig på Høydedata.no, og derfor er denne punktskyen representativ for bruk i denne oppgaven.

Til vektorisering av punktskyen brukes programmet Gemini Terreng (versjon 15.0). Dette programmet ble valgt ettersom det brukes både profesjonelt og på NTNU, derfor har gruppen en grunnleggende kompetanse med programmet. Det støtter også las/laz formatet som NDH punktskyer blir levert i.



*Figur 23: NDH punktsky i Gemini Terreng.*

På figur 23 er den ubehandlede punktskyen som er hentet fra *Høydedata.no*. Dette er det samme område som gruppen har utført terrestrisk laserskanning og feltmålinger. Det er vanskelig å se noe slags terrengformasjoner eller vegtrasé. Det er noen områder hvor punktene er noe mer klynget sammen enn andre steder.

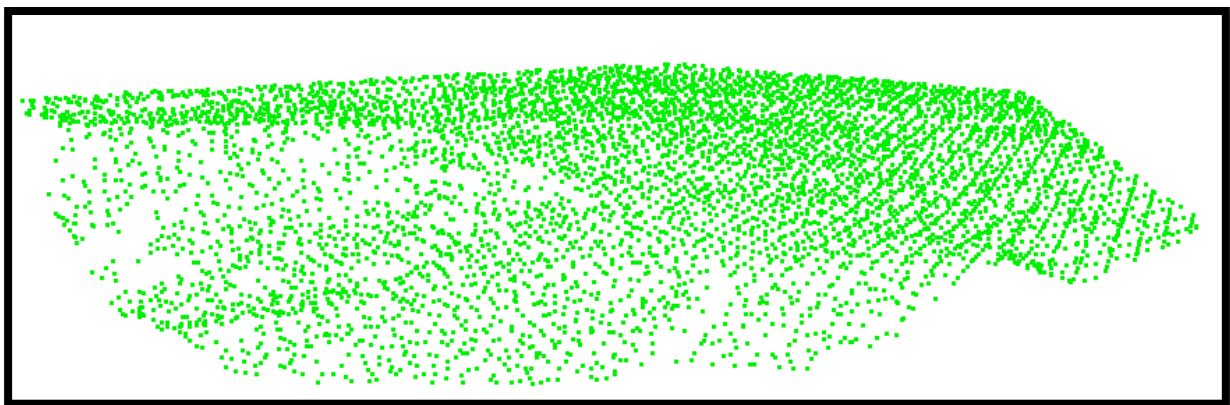


*Figur 24: Punktskyen i 3-D sett fra siden.*



Punktskyen er klassifisert og består totalt fem ulike klasser (Terratec AS, 2017). I denne punktskyen har punkter på vegetasjon og små oppstikkende detaljer blitt klassifisert som ‘uklassifisert’ (rød). Punkter på bakkeoverflaten har blitt klassifisert som ‘terrengoverflate’ (grønn).

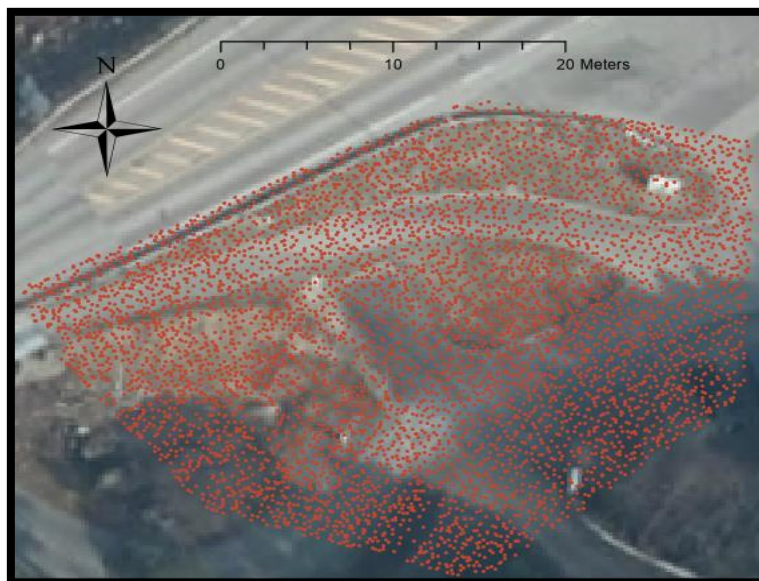
I Gemini terreng kan man kan man sile ut de punktene man vil jobbe med ved å bruke de ulike klassene. For denne oppgaven er kun punktene i klassen ‘terrengoverflate’ (figur 15). Filtrering av uinteressante punkter er et nyttig hjelpemiddel ettersom det kan gi en ryddigere punktsky, og kan minske sjansen for å tegne vektorlinjer ut ifra feil punkt. Dette avhenger jo at klassifiseringen ikke inneholder store feil. Filtrering reduserer også datamengden, som kan gjøre det lettere både for programvaren og datamaskinen å prosessere punktskyen.



*Figur 25: Punktskyen med kun terrengoverflate.*

I denne punktskyen er det også ingen synlige formasjoner av veg eller vegskulderkant. Dette kan skyldes den lave punkttettheten. Dette gjør det veldig vanskelig å vektorisere vegskulderkanten.

Geomatikk Survey har nevnt at de har brukt ortofoto i områder hvor punkttettheten har vært så lav at det blir vanskelig å vektorisere (Andresen, 2019). Men de poengterer også at dette blir mer likt fotogrammetrisk vektorisering. Likevel ønsket gruppen også å prøve dette med denne punktskyen.

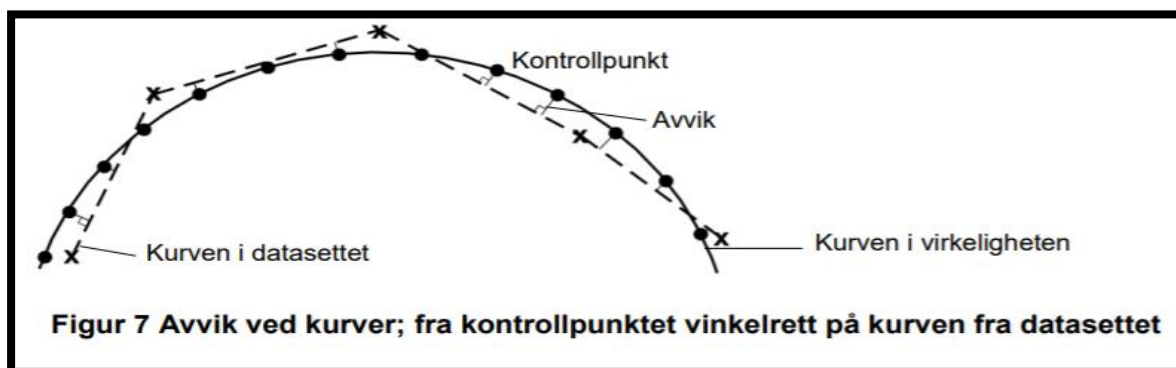


Figur 26: Punktskyen med stedfestet ortofoto.

Ortofotoet har en oppløsning på 10 centimeter, og gjorde mulig å se hvilke punkter som befinner seg på og nær vegskulder (figur 26).

### 3.4 Geometrisk kontroll av vektorene

Geometrisk kontroll er en funksjon i Gemini Terreng hvor man ser på den romlige differansen mellom objekter, slik som vektorlinjer, punkter og triangelnett. Grunnleggende er det en sammenligning mellom sann verdi (måling) og teoretisk punkt (vektoren). For å utføre geometrisk kontroll mot linje beregner Gemini Terreng et teoretisk punkt på linjen likt antall punktmålinger (figur 27).



Figur 27 (Kartverket, 2015).

For denne oppgaven ble det geometrisk kontroll av linje mest brukt. Dette fungerer ved å bruke målingene fra totalstasjon til å kontrollere vektorene gruppen tegnet i terrestrisk punktsky og NDH punktsky.

Resultatet fra kontrollen er en rapport hvor avvik i koordinater og avstand fra punktmålingene listes opp. Man får også informasjon om vektorlinjens standardavvik, middel avvik, minimum og maksimum avvik. Standardavviket kan sammenlignes med toleransene for de ulike FKB-gruppene (tabell 5).

### **3.5 Analyse av grunnlagsnett**

Analysen har gått ut på å dokumentere kvaliteten på hjelpepunkter, targets og innmålte punkter. Kunnskap om kvaliteten på grunnlagsnettet er ikke i seg en del av oppgaven. Men nøyaktigheten på innmålte punkter og punktsky målt inn med laserskanner er avhengig av at grunnlaget de er innhentet på har god nøyaktighet.

Måleoppleggets nøyaktighet vil definere nøyaktigheten på targets, som igjen vil sette premisser for nøyaktighet på punktskyen. Det betyr at nøyaktigheten på våre innmålinger legger en viktig premiss for våre funn.

#### **GISLINE Landmåling**

Verktøyet som er brukt i analysen av grunnlaget var GISLINE Landmåling.

Det er kun sluttresultatet som er tatt med i oppgaven. Det har tatt mange runder med utjevninger, tester, fjerning og sletting av sikt og punktmålinger for å finne frem til de mest nøyaktige og pålitelige observasjonene i måleopplegget. Kort fortalt så er det «Observasjonstest» og «indre pålitelighet» som er brukt for å luke ut grove feil og prøve å komme frem til de best mulige observasjonene og stasjonene som er nødvendig for å sikre nettet god kvalitet. Resultatet fra utjevningene er tatt med i vedlegg 1.

For å ha kontroll over måleopplegget har analysene og utjevningene først blitt testet i grunnriss, for deretter å bli testet i høyde. Dette gjør det lettere for å ha kontroll over eventuelle feil i nettet.

## Vekting.

I arbeidet med utjevning og analyse ble datasettet analysert ut ifra mange forskjellige vektinger. Skogseth & Norberg (Skogseth & Norberg, 2014, p. 328) skriver at ulike målinger skal man regne som like nøyaktige. Det som da skal ligge til grunn er at målingen er utført med dem samme utstyret og under de samme forholdene. De poengterer at dette vanligvis ikke blir oppfylt og man i realiteten dermed har målinger av ulik nøyaktighet med i en beregning. Dermed så er vekten på målingene et nøyaktighetsmål.

Vi vet at produsentene av landmålingsutstyr operer med veldig lave feilmarginer på deres datablad. Men deres feilmarginer skal da være målinger utført under plettfriske forhold. Vi må i våre målinger ta med sentreringsfeil, feil ved innsikting til kikkert, signing og andre elementer som påvirker måleopplegget. Dette betyr at vi operer med høyere feilmarginer som produsentene har.

Tabell 8 Instrumentparametre

| Instrumentparametre  |              |                    | Kommentar   |
|----------------------|--------------|--------------------|---|
| Std. Avvik           | Konstant del | Avstandshengig del | Konstantdel er avstandsuavhengig standardavvik.   |
| Retning              | 0.00120 gon  | 0.00000 gon/km     |   |
| Avstand              | 0.002 m      | 0.003 m/km         |   |
| Høydeforskjell       | 0.00m        | 0.010 m/km         | Asvtandshengig del er standardavvik basert på avstand, gon pr. km.  |
| Sentrering grunnriss | 0.003m       |                    |   |
| Sentrering høyde     | 0.003m       |                    |   |
| Referanseverdier     |              |                    | Sentrering er den antatte nøyaktigheten på sentring, i m.<br><br>Målestokkfeil er ikke relevant da målingene er utført i NTM, og da skal ikke avstander korrigeres. |
| Referansetrykk       | 748.4 mmHg   |                    |   |
| Referansetemperatur  | 2.9°C        |                    |   |
| Addisjonskonstant    | 0.000m       |                    |   |
| Målestokkfeil        | 0.000 m/km   |                    |   |

## **Utjevning**

Dette er den matematiske og statistiske beregningen som benyttes mye i landmåling. Beregningene foregår etter «Minste kvadraters metode» (Sæterdal, 2005).

## **Test av observasjoner**

I GISLINE er funksjonen «Obs. test» en estimasjon av observasjonenes grovfeil. I testen av observasjoner så vil grovfeilene bli vurdert fra en statistisk test om de er grove eller ikke (Norkart, p. 13).

## **Grunnlagstest**

Forutsetning for grunnlagstest er at det ikke foreligger noen grove feil blant observasjoner. Med denne funksjonen så undersøkes det om feilkvadratsummen for fri og tvungen utjevning er signifikant forskjellig.

## **Indre pålitelighet**

Indre pålitelighet er en test hvor godt observasjonene i et system gjensidig kontrollerer hverandre. Indre pålitelighetsfunksjonen vil på den måten gjenspeile grove feil i utjevningen. Et spørsmål som ofte blir stilt er hvor stor trenger en grov feil å være før den blir oppdaget i grovfeilsøket.

## **Ytre pålitelighet**

Ytre pålitelighet er virkningen av ukjente av en grov feil i en observasjon

# 4 Resultater

## 4.1 Resultater fra analyse av grunnlagsnett

Etter analysen av grunnlagsnettet har man kommet frem til et standardavvik på alle punktene.

Tabell 9: Standardavvik for alle punkter

| Nord | Øst  | Punkt | Høyde |
|------|------|-------|-------|
| 1 mm | 1 mm | 2 mm  | 2mm   |

## 4.2 Resultat av linje fra totalstasjonsmålinger

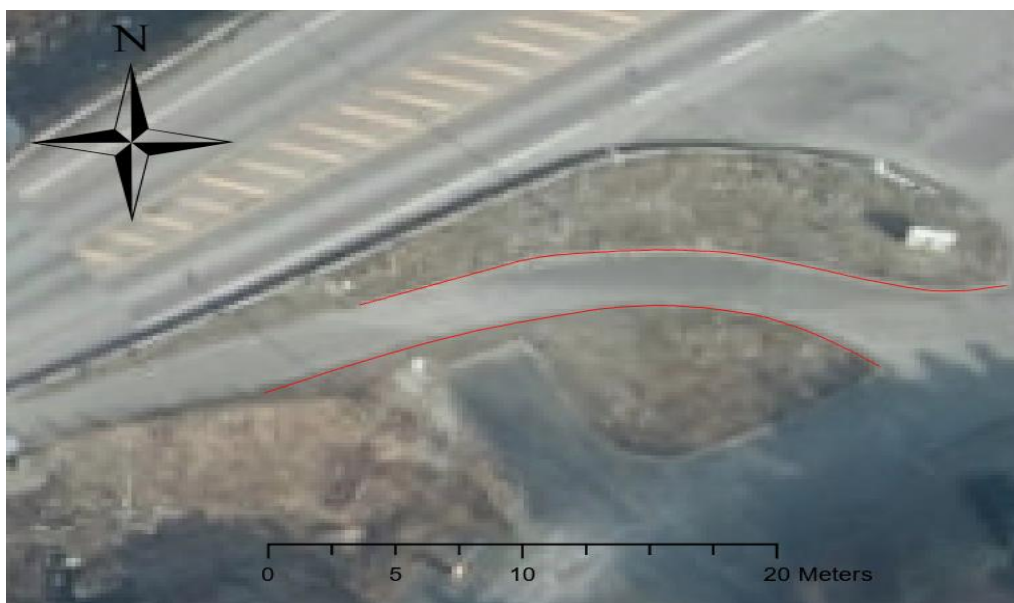
| Innmålt data ved totalstasjon | Antall punkt | lengde I meter |
|-------------------------------|--------------|----------------|
| Høyre side vegskulder         | 92           | 26.249         |
| Venstre side vegskulder       | 65           | 22.366         |

Tabell 10: Resultat av linjer fra totalstasjonsmålinger data med totalstasjon.



Figur 28:vektor fra totalstasjons målinger.

### 4.3 Resultat av linje fra GNSS data



Figur 29: Vektorer fra GNSS målinger.

Figur 29 viser vektorlinjene fremstilt av GNSS målingene.

### 4.4 Høydedifferanse mellom vegbane og vegskulderkant

I løpet av oppgaven ble det nødvendig å finne ut hva høyden fra toppen av vegskulderkant og vegbanene var. Dette ble gjort med geometrisk kontroll i Gemini med totalstasjons målingene.

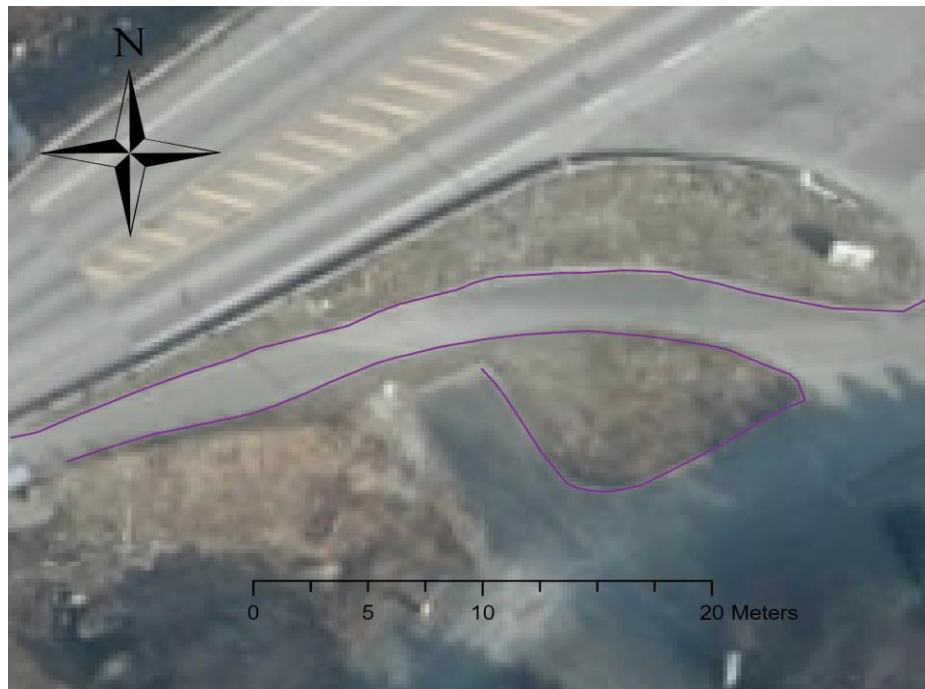
Tabell 11: Høydedifferanse vegbane og vegskulderkant (høyre vegskulder)

| Differanse høyre vegskulder | Standardavvik (m) | middel (m) | max avvik (m) | min avvik (m) |
|-----------------------------|-------------------|------------|---------------|---------------|
| Høyde                       | 0,010             | 0,118      | 0,144         | 0,094         |

Tabell 12: Høydedifferanse vegbane og vegskulderkant (venstre vegskulder)

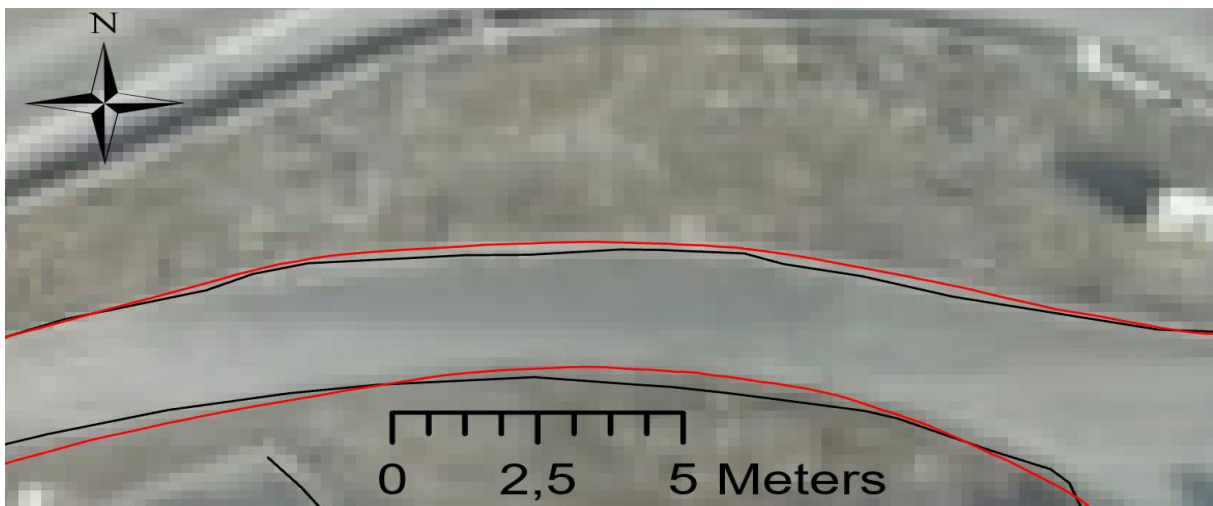
| Differanse venstre vegskulder | Standardavvik (m) | middel (m) | max avvik (m) | min avvik (m) |
|-------------------------------|-------------------|------------|---------------|---------------|
| Høyde                         | 0,008             | 0,125      | 0,141         | 0,106         |

## 4.5 Resultat av vektorisering i NDH punktsky



*Figur 30: NDH vektorer*

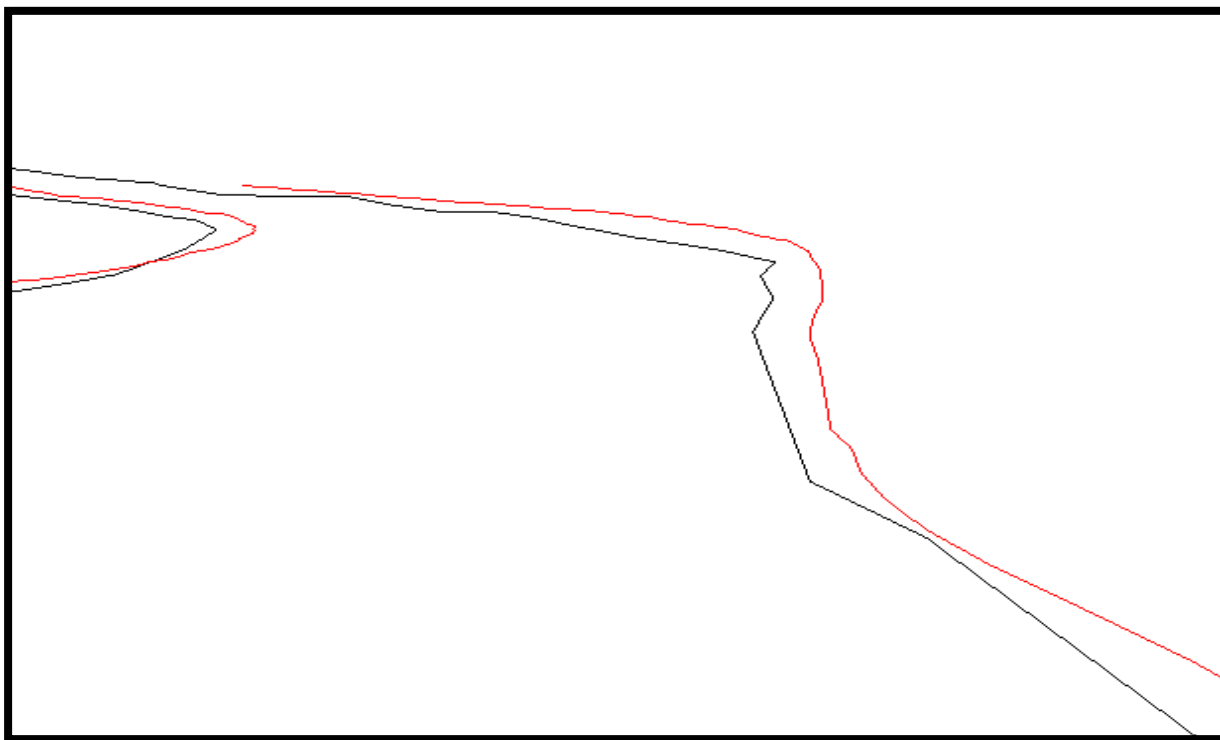
Figur 30 viser alle vektorlinjene tegnet i NDH punktskyen.



*Figur 31: NDH vektorer(svart) og vektorer fra totalstasjon(rød).*

Figur 31 viser den visuelle forskjellen mellom vektorene fra NDH punktsky og vektorer fra feltmålinger med totalstasjon.





Figur 32: NDH vektorer (svart) og vektorer fra totalstasjon (rød).

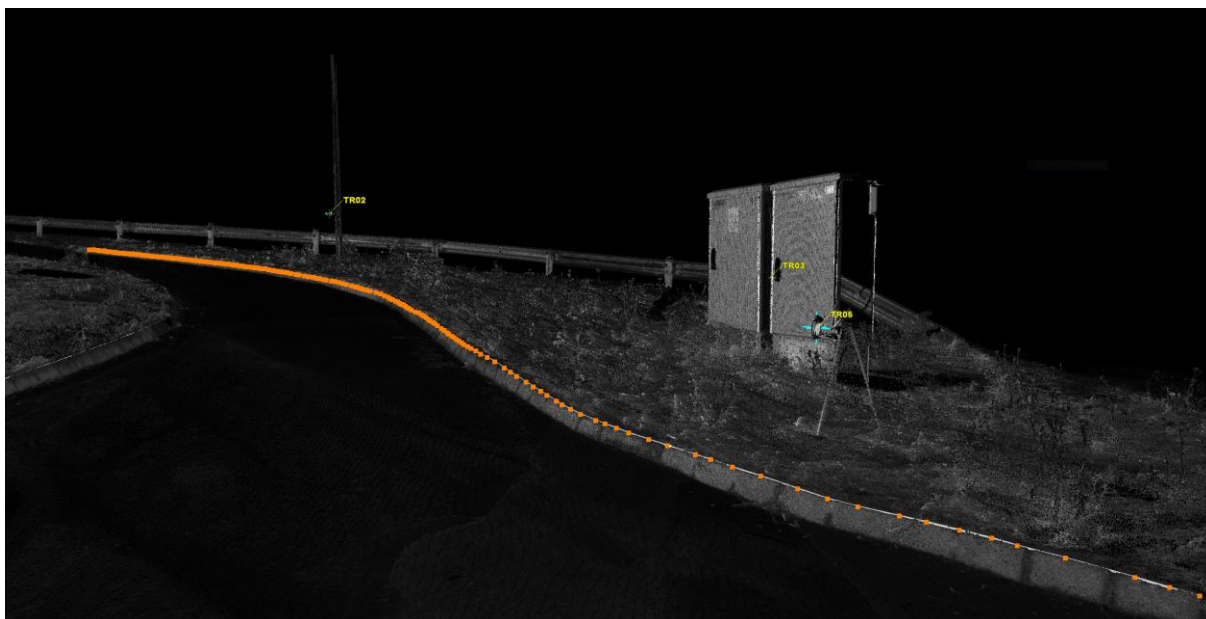
Figur 32 illustrerer forskjellen i høyde mellom NDH vektorene (svart) og totalstasjon vektorene (rød).

Tabell 13: antall punkt og lengde for høyre og venstre vegskulder vektor.

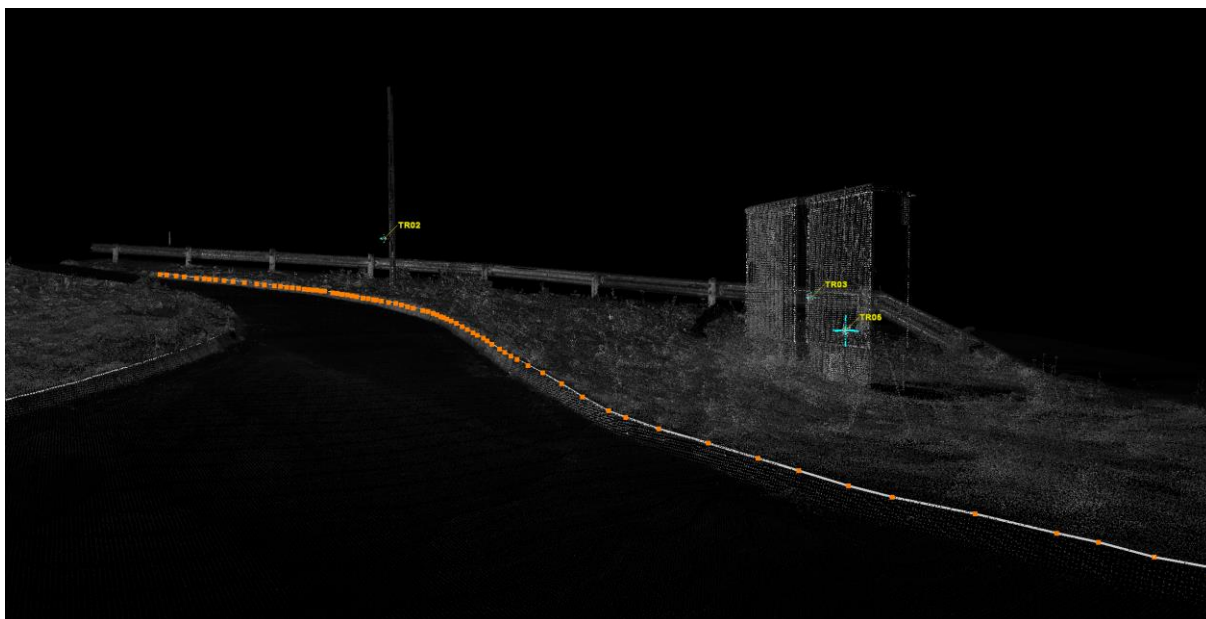
|                     | Punkttetthet (m2) | Antall punkt i vektorlinje | lengde (m) |
|---------------------|-------------------|----------------------------|------------|
| NDH høyre vegkant   | 5                 | 21                         | 26,502     |
| NDH venstre vegkant | 5                 | 19                         | 22,837     |

Tabell 13 inneholder informasjon om hvor mange punkt NDH vektoren består/er tegnet av, og lengden på vektorene.

## 4.6 Resultat av vektorisering i P40 punktsky



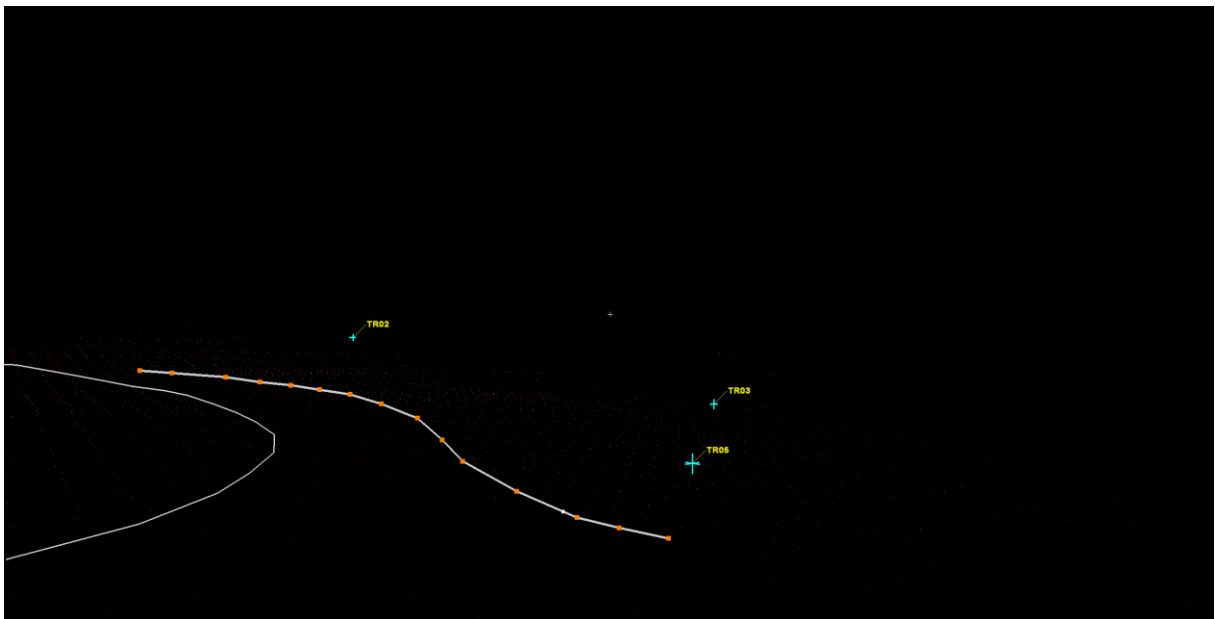
Figur 33: Utynnet punktsky, med vektorisert høyre vegskulder



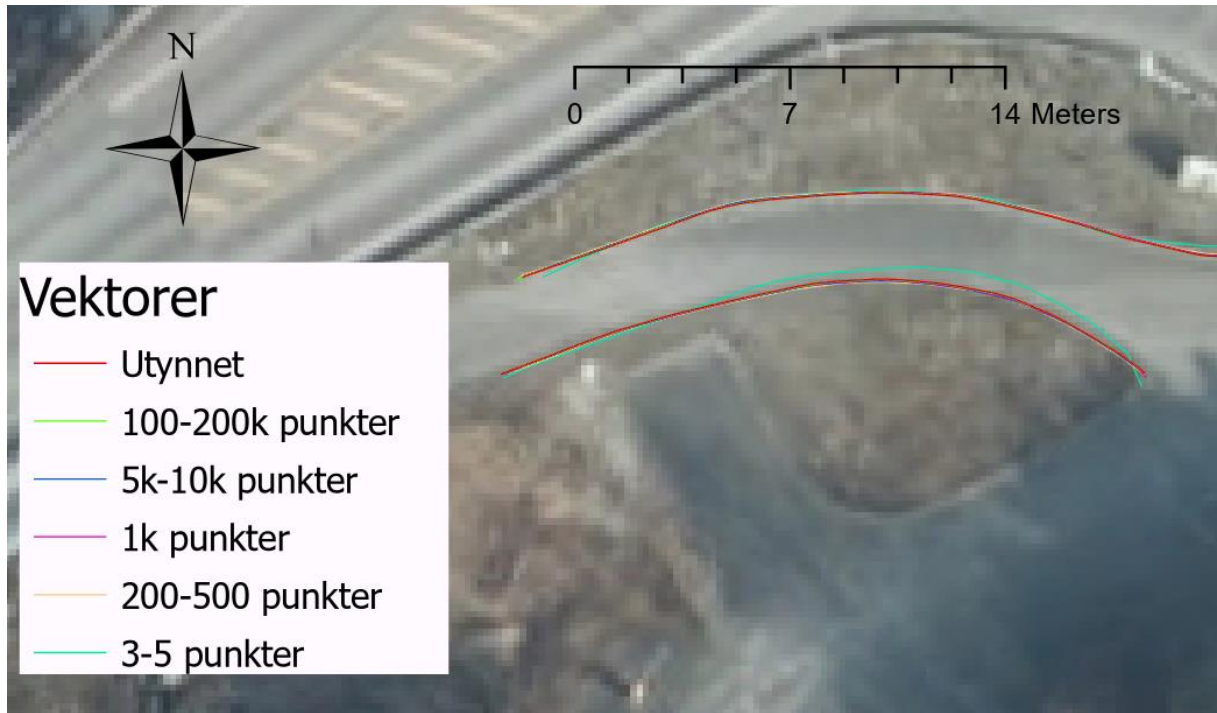
Figur 34: 5-10k punkt per kvadratmeter punktsky, med vektorisert høyre vegskulder



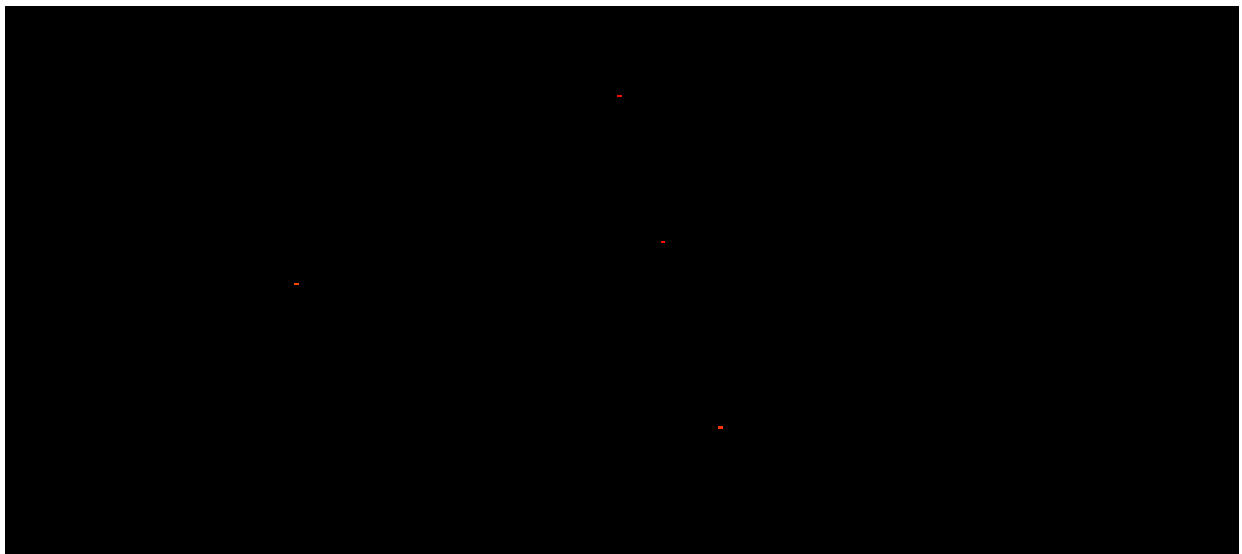
*Figur 35: 200-400 punkter per kvadratmeter, med vektorisert høyre vegskulder*



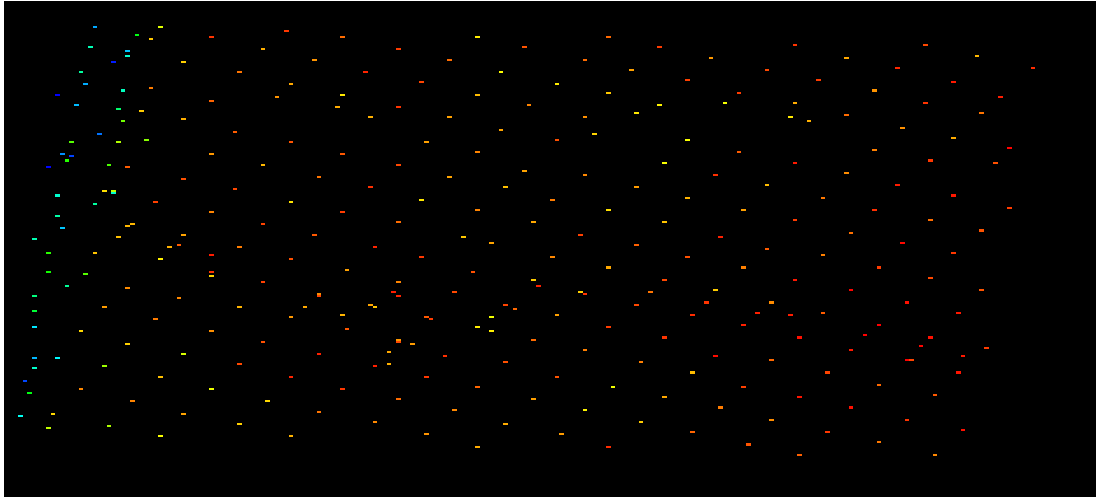
*Figur 36: 3-5 punkter per kvadratmeter, med vektorisert høyre vegskulder*



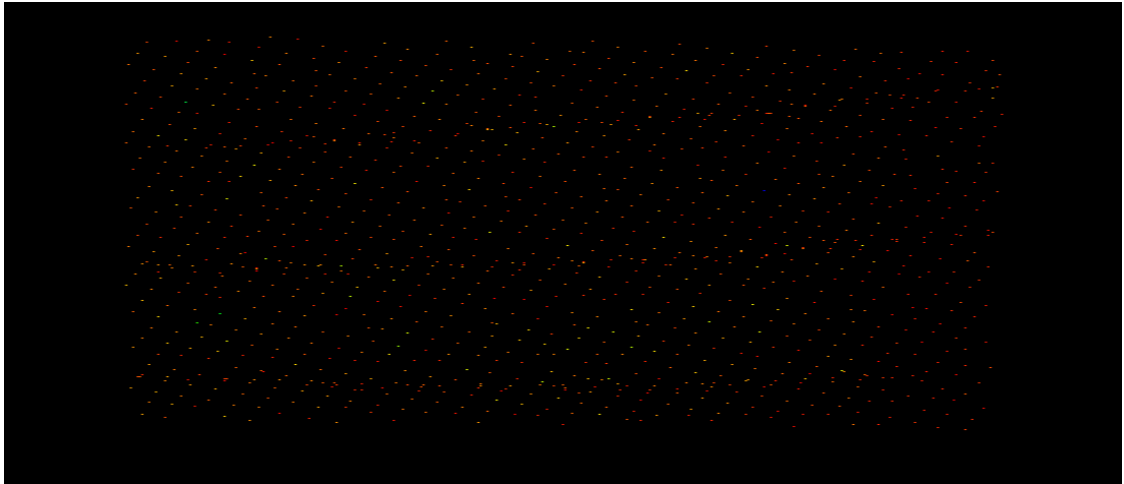
*Figur 37: Alle vektorer fra P40 punktsky.*



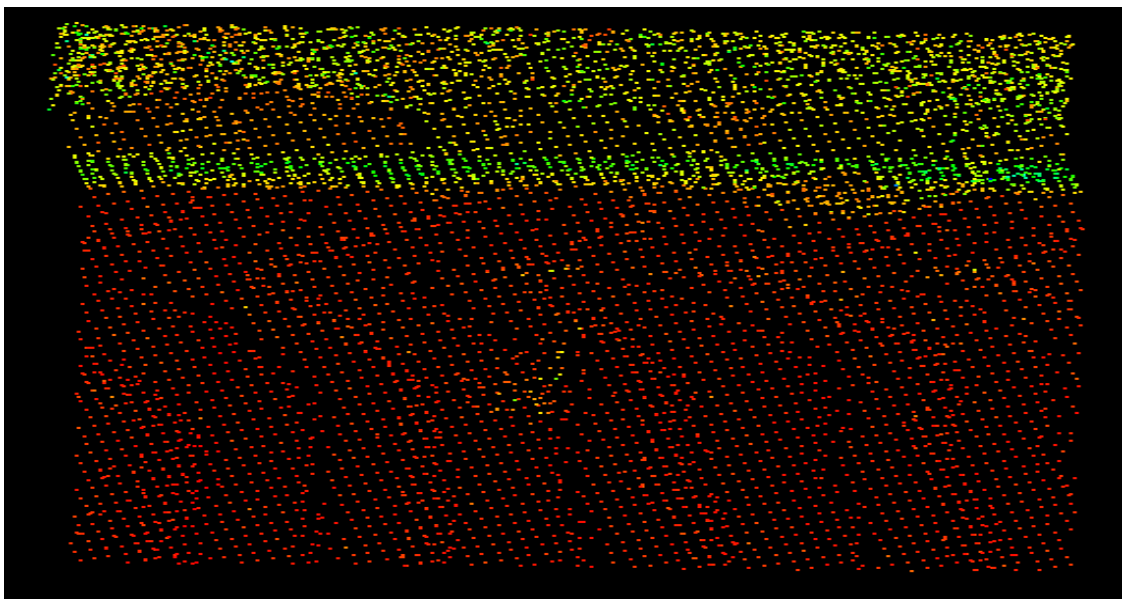
*Figur 38: 4 punkt per m<sup>2</sup>*



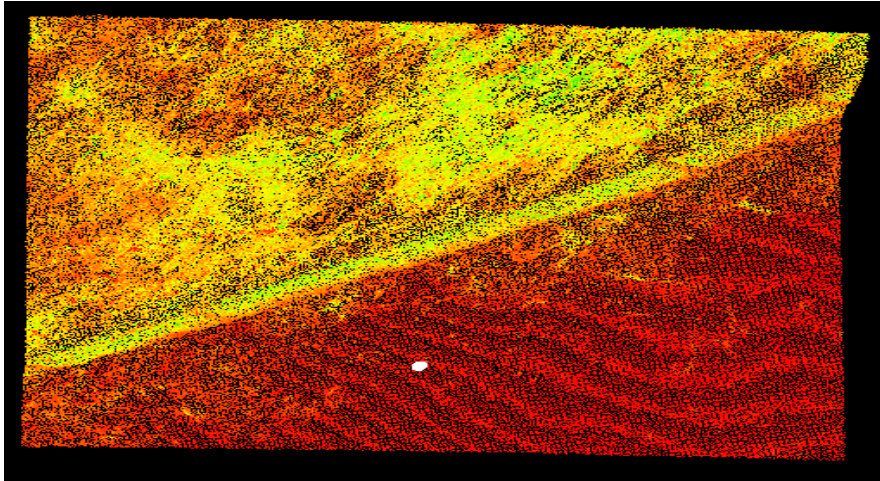
*Figur 39: 328 punkt per m<sup>2</sup>*



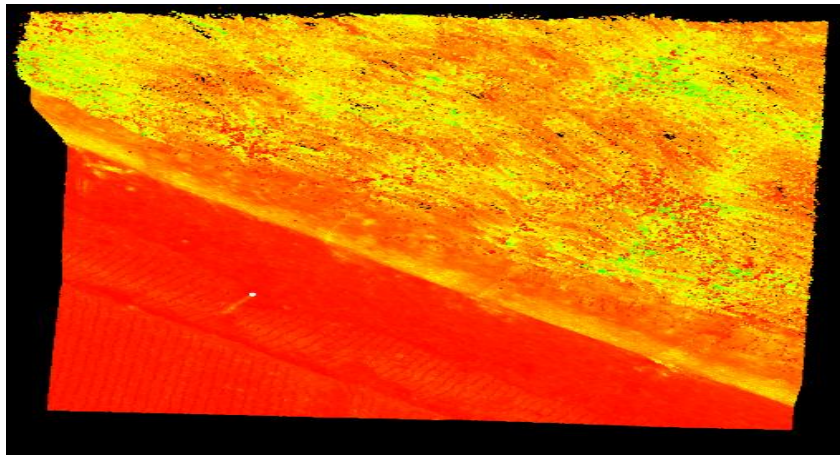
*Figur 40: 1176 punkt per m<sup>2</sup>*



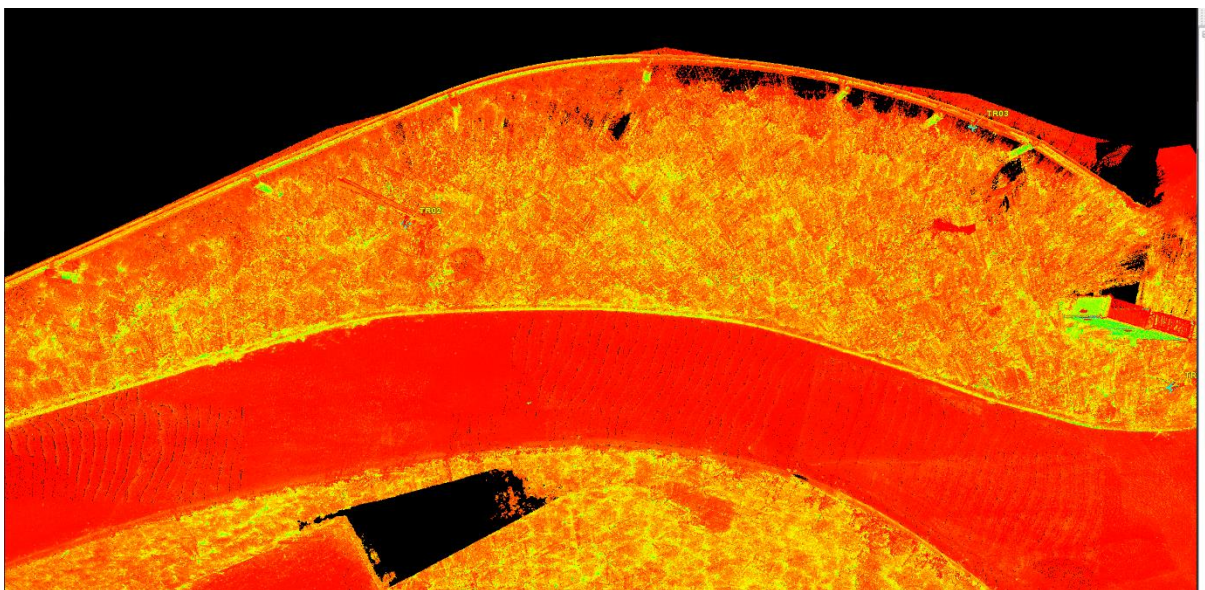
*Figur 41: 7524 punkt per m<sup>2</sup>*



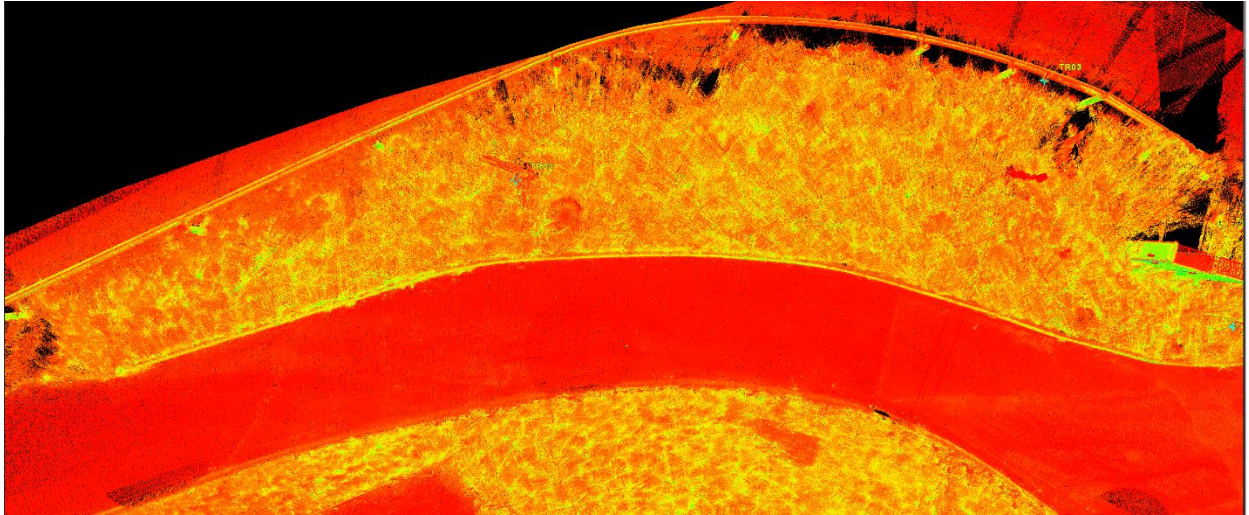
*Figur 42: 210 710 punkt per m<sup>2</sup>*



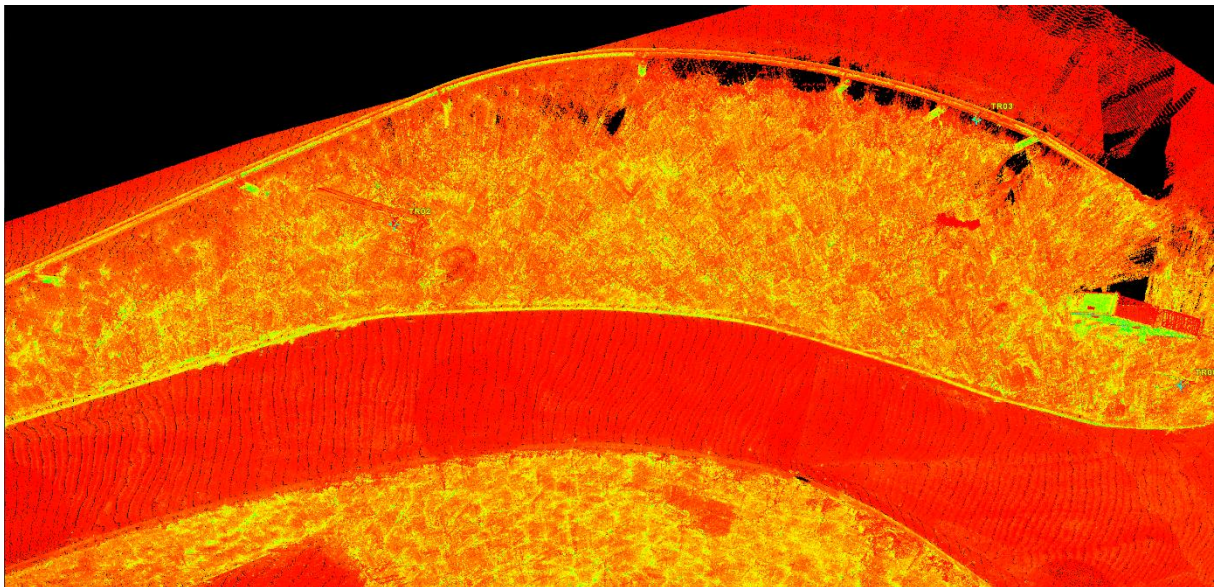
*Figur 43: 967 569 punkt per m<sup>2</sup>*



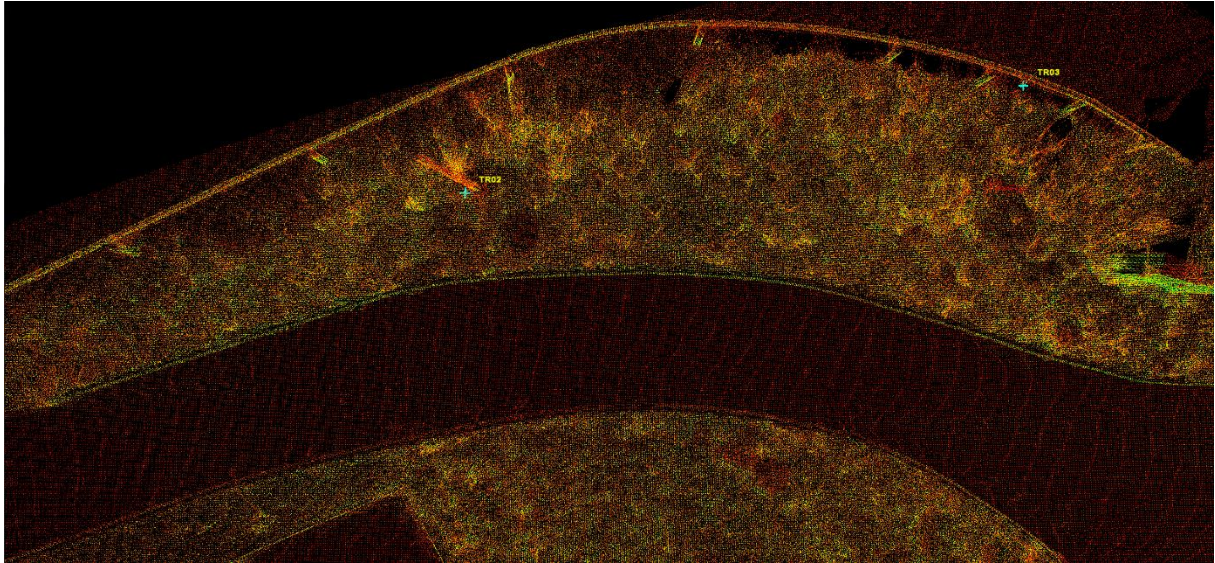
*Figur 44: Utsnitt over område som ble vektorisert, samt intensitet. 1-2 millioner punkter per m<sup>2</sup>*



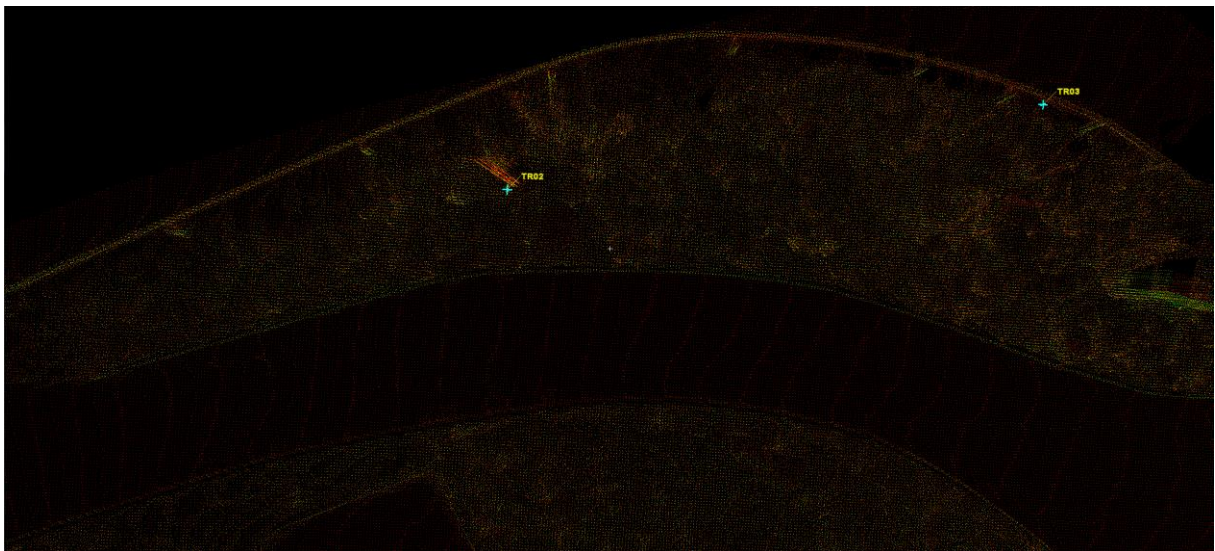
Figur 45: Utsnitt over område som ble vektorisert, samt intensitet. 100-200 tusen punkter per  $m^2$



Figur 46: Utsnitt over område som ble vektorisert, samt intensitet. 5000 - 10 000 punkter per  $m^2$



Figur 47: Utsnitt over område som ble vektorisert, samt intensitet. 1000 punkter per  $m^2$



Figur 48: Utsnitt over område som ble vektorisert, samt intensitet. 200 - 400 punkter per  $m^2$





Figur 49: Utsnitt over område som ble vektorisert, samt intensitet. 3-5 punkter per m<sup>2</sup>

Tabell 14: antall punkt og lengde for venstre vegskulder vektor.

| Punkttetthet (m2) | Antall punkt i vektorlinje | lengde (m) |
|-------------------|----------------------------|------------|
| Utynnet           | 165                        | 22,132     |
| 100k-200k         | 143                        | 22,122     |
| 5k-10k            | 96                         | 21,81      |
| 1k                | 54                         | 22,121     |
| 200-400           | 24                         | 21,882     |
| 3 til 5           | 17                         | 22,768     |

Tabell 15: antall punkt og lengde for høyre vegskulder vektor.

| Punkttetthet (m2) | Antall punkt i vektorlinje | lengde (m) |
|-------------------|----------------------------|------------|
| Utynnet           | 162                        | 26,004     |
| 100k-200k         | 155                        | 26,218     |
| 5k-10k            | 78                         | 26,072     |
| 1k                | 51                         | 25,909     |
| 200-400           | 42                         | 25,893     |
| 3 til 5           | 15                         | 23,471     |

Tabell 14 og 15 inneholder informasjon om lengde av vektoren og antall punkt de består/er tegnet av tegnet, fra P40 punktsky.

## 4.7 Resultat fra kontroll av NDH vektorer

Det ble kun utført geometrisk kontroll av to av vektorene. Dette er fordi feltmålinger med totalstasjon ble utført nokså likt i forhold til andre steder i feltområdet. Vektorene har navn høyre og venstre vegskulderkant.

Tabell 16: Standardavvik fra NDH høyre vegskulderkant.

| Høyre vegskulderkant | Standardavvik (m) | middel (m) | max avvik (m) | min avvik (m) |
|----------------------|-------------------|------------|---------------|---------------|
| Grunnriss            | 0,070             | 0,134      | 0,253         | 0,001         |
| Høyde                | 0,026             | 0,094      | 0,129         | 0,023         |

Tabell 16 viser standardavviket, gjennomsnittlig avvik, og maksimum og minimum avvik, fra geometrisk kontroll av NDH vektor mot totalstasjon målinger i høyde og grunnriss.

Tabell 17: Standardavvik fra NDH venstre vegskulderkant.

| Venstre vegskulderkant | Standardavvik (m) | middel (m) | max avvik (m) | min avvik (m) |
|------------------------|-------------------|------------|---------------|---------------|
| Grunnriss              | 0,118             | 0,218      | 0,4           | 0,002         |
| Høyde                  | 0,040             | 0,071      | 0,143         | 0,001         |

Tabell 17 viser standardavviket, gjennomsnittlig avvik, og maksimum og minimum avvik fra geometrisk kontroll av NDH vektor mot totalstasjon målinger i høyde og grunnriss.

## 4.8 Resultat fra kontroll av P40 vektorer

I dette kapittelet blir det sett på resultatene fra geometrisk kontroll av vektorene som er tegnet ut ifra den terrestriske punktskyen, opp mot feltmålingene.

Tabell 18: Høyre vegskulder grunnriss: standardavvik, middel, og minimum og maksimum avvik.

| Punkttetthet | SD grunnriss (m) | middel (m) | min avvik (m) | maks avvik (m) |
|--------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| Utynnet      | 0,005            | 0,005      | 0             | 0,037          |
| 100k-200k    | 0,005            | 0,01       | 0             | 0,028          |
| 5k-10k       | 0,008            | 0,027      | 0,012         | 0,046          |
| 1k           | 0,009            | 0,036      | 0,014         | 0,061          |
| 200-400      | 0,014            | 0,063      | 0,024         | 0,091          |
| 3 til 5      | 0,095            | 0,096      | 0,004         | 0,443          |

Tabell 19: Høyre vegskulder høyde: standardavvik, middel, og minimum og maksimum verdi

| Punkttetthet | SD høyde (m) | middel (m) | min avvik (m) | maks avvik (m) |
|--------------|--------------|------------|---------------|----------------|
| Utynnet      | 0,002        | 0,001      | -0,007        | 0,008          |
| 100k-200k    | 0,003        | 0          | -0,018        | 0,005          |
| 5k-10k       | 0,003        | 0          | -0,012        | 0,008          |
| 1k           | 0,008        | 0,004      | -0,014        | 0,03           |
| 200-400      | 0,024        | -0,009     | -0,055        | 0,038          |
| 3 til 5      | 0,047        | -0,005     | -0,075        | 0,135          |

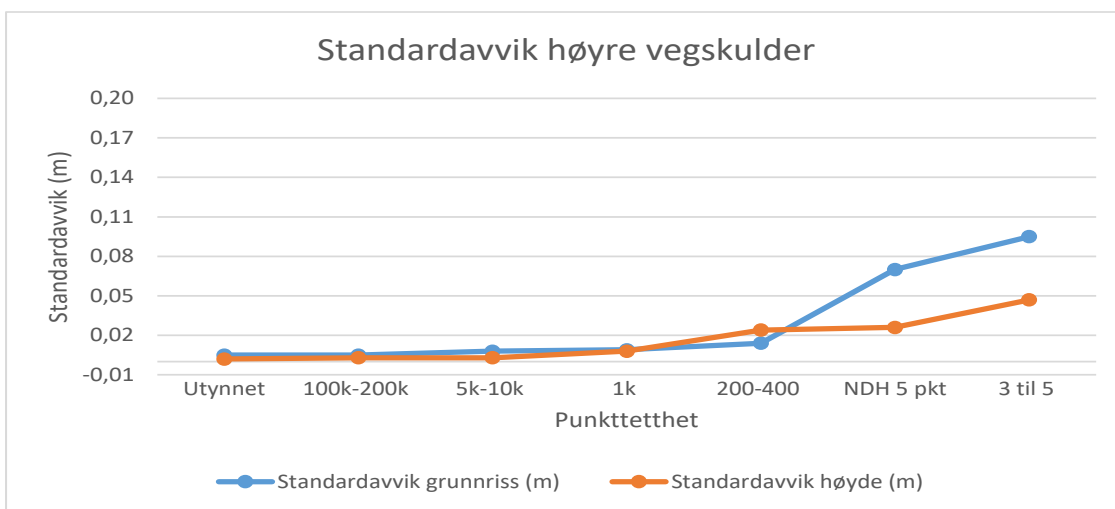
Tabell 20: Venstre vegskulder grunnriss: standardavvik, middel, og minimum og maksimum verdi.

| Punkttetthet | SD grunnriss (m) | middel (m) | min avvik (m) | maks avvik (m) |
|--------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| Utynnet      | 0,004            | 0,006      | 0             | 0,018          |
| 100k-200k    | 0,005            | 0,008      | 0             | 0,021          |
| 5k-10k       | 0,007            | 0,026      | 0,012         | 0,041          |
| 1k           | 0,013            | 0,038      | 0,017         | 0,067          |
| 200-400      | 0,015            | 0,059      | 0,023         | 0,092          |
| 3-5 punkter  | 0,152            | 0,299      | 0,008         | 0,553          |

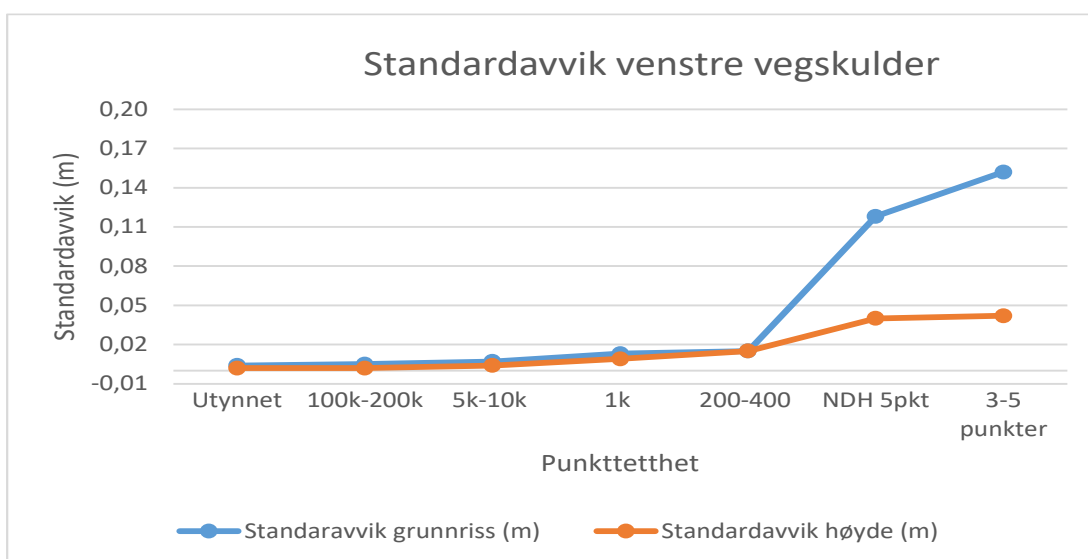
Tabell 21: Venstre vegskulder høyde: standardavvik, middel, og minimum og maksimum verdi.

| Punktthet   | SD høyde (m) | middel (m) | min avvik (m) | maks avvik (m) |
|-------------|--------------|------------|---------------|----------------|
| Utynnet     | 0,002        | 0,002      | -0,003        | 0,008          |
| 100k-200k   | 0,002        | 0,001      | -0,003        | 0,005          |
| 5k-10k      | 0,004        | 0          | -0,01         | 0,008          |
| 1k          | 0,009        | -0,004     | -0,024        | 0,01           |
| 200-400     | 0,015        | -0,024     | -0,061        | 0,001          |
| 3-5 punkter | 0,042        | 0,11       | 0,016         | 0,152          |

## 4.9 Resultat for alle NDH og terrestrisk vektorer



Figur 50: Standardavvik for høyre vegskulder vektor.



Figur 51: Standardavvik for venstre vegskulder vektor.

# 5 Diskusjon

## 5.1 Nøyaktighet på grunnlaget

Oppsummert viser det seg at grunnlagsnettets ikke har noen nevneverdige store feil. Måleoppleggets utførelse har vært gjort på riktig måte og gitt god nok kvalitet på grunnlaget til å kunne bruke targets og innmålte punkter videre i prosessen. I test av ytre pålitelighet så gikk alle oppstillinger i grunnriss igjennom høyeste normklasse (1 byområde) i Geodatanormen – Grunnlagsnett. Tilsvarende test for høyder så gikk alle målinger igjennom normklasse 2 (tettbygd/utbyggingsområder).

I Utjevningen- og analysen av grunnlagsnettets så var det indikasjoner på at høyden til EB1 ikke var god nok. Med tanke på geometrien ved måleoppleggets start med kun sikt til to fastmerker så er det og forvente at det tredje fastmerket blir av programvaren oppfattet som det punktet med mest feil i. Fastmerket er dermed ikke tatt ut av utjevningsprosessen da det siste fastmerket gir vesentlig større styrke til nettet.

Resultatet fra utjevningene viser ingen restfeil som er større enn antatt  $M^0$ , dvs. store grovfeil. I grunnriss så er feilkvadratsummen lav og i høyde så er feilkvadratsummen litt høyere. Feilkvadratsummen bør være lav da det brukes til å beregne standardavviket på vektsenheten.  $M^0$  er veldig lav i grunnriss og litt høyere i høyde.  $M^0$  skal være under tabellverdi. Lav  $M^0$  viser at den beregnede middelfeilen er lavere enn den antatte feilen.

Med et standardavvik på 1-2 mm på punktene som er satt ut, så er grunnlaget for oppgavens del absolutt er innenfor og med god nok nøyaktighet for å gjøre resten av arbeidet.

## 5.2 Diskusjon om vektorisering i P40 punktsky

Punktskyen som har blitt brukt, er skannet inn med mange millioner punkt pr. kvadratmeter. Tynning av denne punktskyen gjør at en har alle områder dekt av flere punkter. Det vil være forskjell på vår punktsky på f.eks. 200-400 punkter per  $m^2$  som er tynnet ned fra flere millioner punkter, sammenlignet med en punktsky skannet inn med lav punkttetthet som ikke er tynnet ned. Ved å skanne med lav punkttetthet kan en gå glipp av nyttige punkter i punktskyen, som vil kunne hjelpe med vektoriseringen og kvaliteten en får.

Vektorisering av den uttynnede punktskyen krevde mye datakraft for å håndtere den. Enkle ting som å rotere og zooming var tungt. Under vektoriseringen ble funksjonen «limit box» brukt for å midlertidig fjerne deler av punktskyen slik at den ble enklere for programvaren og datamaskinen å håndtere. Men en ulempe med dette er at en ikke får en kontinuerlig vektorlinje, men heller flere små som en i ettertid må sette sammen i ett programvare for analyse av linjene. Selv om punktskyen er tung å håndtere, så er den veldig oversiktlig og det er lett å se f.eks. detaljer på vegskulderen. Men det anbefales ikke å vektorisere med denne type punkttetthet, ettersom at det er tidkrevende og krever mye datakraft.

Punktskyen på 100 000 – 200 000 punkt per  $m^2$ , er visuelt identisk den uttynnede punktskyen, og man ser vegskulderen fortsatt like tydelig. Det viser at man taper veldig lite informasjon selv om ca. 200 millioner punkter renskes vekk. Den tynnede punktskyen ble også lettere å håndtere enn den uttynnede, som også forårsaker at en ikke trenger å dele opp punktskyen i så små deler, noe som igjen førte til at vektorisering-prosessen gikk raskere. Selv om denne punkttettheten er lettere å håndtere, så kreves det fremdeles en del datakraft.

Forskjellen mellom 1000 punkt per  $m^2$ , og 200-400 punkt per  $m^2$  er veldig liten, men det blir litt mer utfordrende ved 200-400 punkt per  $m^2$ . Ved å bare gå ned et par hundre punkt per  $m^2$ , gjør at en må jobbe i et mer fugleperspektiv for å kunne se hvor vegkanten går. Siden det ikke har blitt brukt bilder til å fargelegge skann, så ble istedenfor intensitet ett viktig hjelpemiddel for punktskyene med lavere tetthet. I figur 41 så kan en se et tydelig eksempel på intensitet, hvor det er en veldig lys stripe med punkter. Disse punktene er hvor vegkanten går, og det kan en også se i figur 42. Ved punkttetthet på 1000 punkt per  $m^2$  og mindre, så hjelper denne intensiteten når en ser på punktskyen i fugleperspektiv (se figur 47 for eksempel). Her kan en tydelig se en kantlinje langs med veien.

Ved vektorisering av punktskyen med 3-5 punkter per m<sup>2</sup>, var punkttettheten såpass lav at det ble utfordrende å tegne linjene. Her måtte en zoome nesten helt ut for å ha mulighet til å se hvor vegkanten går, Det var vanskelig å se en antydning til en vegskulderkant i punktskyen og vektoriseringen ble utført ved å gjette seg fram til hvor vegskulderen lå. Det ble også brukt mye tid på å redigere linjen i ettertid slik at den skulle ligge så riktig som mulig. I figur 49 så kan en se hvor viktig intensiteten var for å klare å vektoriseringen. I denne figuren så går det et felt som er mye mørkere enn området rundt, dette er hvor veien går. Vektorlinjene ble dratt i overgangen mellom mørkt og lyst område i denne punkttettheten. Det hjalp også at en hadde vektorisert flere ganger fra før av, noe som gjorde at en viste ca. hvor veien gikk.

Som gruppen forventet, blir standardavviket for vektorene i P40 punktskyen gradvis større jo mindre punkttettheten ble (tabell 18-21). Fra uttynnet punktsky, ned til 1000 punkter per m<sup>2</sup>, varier standardavviket kun med millimeter, og havner først oppe på centimeter nivå når punkttettheten er på 200-400 punkt per m<sup>2</sup>. For 1000 punkt per m<sup>2</sup>, er det kun grunnriss for venstre vegkant som er over cm nivå. Resten av resultatene for 1000 punkt per m<sup>2</sup> og oppover er på millimeter nivå.

I grunnriss er det et betydelig hopp i standardavviket med en punkttetthet på 3-5 punkt per m<sup>2</sup> (tabell 18 og 20). Disse standardavvikene er nokså like standardavvikene fra NDH punktsky, og er faktisk litt høyere. Grunnen til dette kan være at punkttettheten er noe lavere i og med at den varierer fra 3-5 punkt per m<sup>2</sup>. Her er det også viktig å merke seg at den terrestriske punktskyen har ikke hjelp fra bilder eller farger, kun intensitet. NDH punktskyen måtte ha hjelp av ortofoto for at gruppen i det hele tatt skulle klare å vektorisere i denne punktskyen. Det ble forsøkt å vektorisere i NDH punktskyen, uten bruk av ortofoto men som en ser i figur 23 så er det ingen antydning til en vei i den punktskyen. Det fører til at resultatene fra NDH punktskyen viser egentlig kvaliteten på ortofotoet som har blitt brukt.

Standardavvikene i høyde, likt som NDH vektorene, er lavere enn standardavvikene i grunnriss. Fra uttynnet punktsky, til 5000 – 10 000 punkt per m<sup>2</sup> ligger standardavvikene på millimeter, og havner opp på centimeter nivå når punkttettheten er 200-400 punkt per m<sup>2</sup> og 3-5 punkt per m<sup>2</sup>. Som en ser i figur 50 og 51, så øker standardavviket for hver gang punktskyen tynnes. Ønsker en å holde seg på millimeters nivå nøyaktighet, så er punktskyer på 1000 punkt per m<sup>2</sup> og oppover best egnet for dette.

Som en del av problemstillingen er det interessant å se om vektorlinjene havner innenfor toleranskravene for FKB-data (tabell 5) og toleransekrav stilt i håndbok V770 (tabell 6). For FKB, er toleransene er nokså romslige, og de fleste vektorene har lavt nok standardavvikene til at de havner innenfor mesteparten av toleranseklassene. Derimot har vektorene for venstre vegskulder et standardavvik på 15,9 centimeter i grunnriss, og er ikke godkjent for FKB-A klasse 1-2 og FKB-B klasse 1. For høyde er alle standardavvikene godt innenfor alle klassene. Sammenlignet med kravene fra Håndbok V770 (tabell 6), er alle vektorene tegnet fra uttynnet punktsky ned til 200-400 punkt per m<sup>2</sup>, innenfor kravet på 3 centimeter i inngrepssonen. Men for vektorene tegnet i punktskyen 3-5 punkt per m<sup>2</sup>, er standardavviket alt for høyt i grunnriss, mens det er akkurat litt for stort i høyde hvor det ligger ca. 1 centimeter for over kravet.

Figur 50-51 viser at vektorisering i NDH punktsky har et litt mindre standardavvik i forhold til detaljmålingene, enn P40 punktsky med 3-5 punkter per m<sup>2</sup>. Men dette er et resultat av at det ble brukt ortofoto som hjelpemiddel for vektorisering i NDH punktskyen.

Det ble ikke valgt å bruke GNSS målingene for å utføre geometrisk kontroll. Grunnet at målingene som ble gjort med totalstasjon fikk en høy nøyaktighet og fungerte dermed bra som en fasit for geometrisk kontroll.



### 5.3 Diskusjon om vektorisering i NDH punktsky

Vektorisering av vegskulderkant i punktskyen fra NDH viste seg å være umulig, uten bruk av ortofoto. Punktskyen i seg selv skapte ingen markante former av veg eller vegskulderkant. Også med ortofoto var det tidvis utfordrende å vektorisere ettersom det i noen områder var vanskelig å lokalisere hvilke punkt som faktisk lå nærmest vegskulderkanten.

Dette førte til at man måtte zoome nærmere inn på ortofotoet som igjen førte til at det ble uklart og dermed vanskeligere å tolke. Dette er antakeligvis en grunn til at noen strekninger på vektoren avviker en del fra vegskulderkanten (figur 30). Dette kunne muligens blitt unngått ved å endre størrelsen på punktene i Gemini slik at de er mer synlige. Men dette viste seg kun mulig i 3-D modus og ikke 2-D modus, hvor vektoriseringen ble foretatt. I 3-D modus var det ikke mulig å bruke ortofotoet, antakeligvis fordi det er et 2-dimensjonalt-bilde.

Som man kan se på figur 30 og 31 er det tydelig at de tegnede vektorene ikke alltid ligger på vegskulderen. De er også tydelige krokete og ujevne. Alt i alt er dette et resultat av at ortofotoet ikke alltid ble tolket riktig, og den lave punkttettheten som forårsaket at man måtte tidvis vektorisere ut ifra punkter som tydelig ikke befant seg på vegskulderkanten.

Geometrisk kontroll av vektoren tegnet i NDH punktskyen ble utført mot totalstasjons målingene.

Tabell 18 viser at avvik på 7 centimeter i grunnriss og 2,6 centimeter i høyde for høyre vegskulderkant. Det første som er interessant med dette resultatet er at standardavvikene i grunnriss er høyere enn avvikene i høyde. Det samme gjelder også for venstre vegskulder (tabell 19).

Årsaken til at standardavvikene er høyere i grunnriss er antakeligvis på grunn av den lave punkttetthet i NDH punktskyen. Dette fører til at det blir stor avstand mellom punktene som befinner seg nærmest vegskulderen og selve vegskulderen.

Grunnen til at standardavviket i høyde er noe lavere enn standardavviket grunnriss, kan antakeligvis være på grunn av at NDH punktskyen er nokså plan og varierer lite høyde. De avvikene som forekommer i høyde kan være en konsekvens at punkt som befinner seg i selve

vegbanen og ikke på vegskuldrene, har blitt brukt til vektoriseringen, ettersom disse ligger noe lavere enn punktene som befinner seg opp vegskulderkanten.

Som man kan se i tabell 16 er den gjennomsnittlige høydedifferansen på 11,8 centimeter og maksimum differanse er på 14,4 cm og minimum differanse på 9,4 cm. Dette gjenspeiler også maksimum avvik som forekommer i høyde for venstre vegskulderkant som ligger på 12,9 cm (tabell 17). Det betyr nok at punkter som befant seg på vegbanen ble vektoriserte og dermed medfører det avviket i høyde.

For venstre vegskulderkant er resultatet litt mer interessant (tabell 16). Standardavviket i høyde er større enn for høyre vegskulderkant, men både middel verdi og minimum avvik er lavere. Derimot er maksimum avvik på 14,3 cm litt større enn for høyre vegskulderkant. Her er konklusjonen den samme som for høyre vegskulder at punkter som egentlig befant seg på vegbanen har blitt vektorisert. Igjen er nok dette en konsekvens av den lave punkttettheten, ettersom punkter. Det må ikke sees bort ifra NDH punkttskyen som har et standardavvik på 3,3 centimeter i høyde (Terratec AS, 2017). Dette kan også få uttelling på høydeavvikene.

For venstre vegkant er standardavvikene omtrent like, men noe høyere i grunnriss når punkttettheten er på 3-5 per m<sup>2</sup>. Dette erfarte gruppen også med vektorene fra P40 punktsky, hvor venstre vegskulder hadde høyre standardavvik både i grunnriss og høyde. Årsaken til dette kan være at det var vanskeligere å vektorisere den riktig, eller at feltmålingene også avviker litt fra virkeligheten og dermed gir større utslag på geometrisk kontroll enn det som det faktisk burde være. Men hvis man ser på figur 31, er det tydelig at den nederste vektoren avviker en del fra totalstasjonsmålingene, så det kan besvaregrunne til at det er større standardavvik for venstre vegskulder.

FKB-A klasse 1 har en toleranse på 10 cm i grunnriss og høyde (tabell 5), og standardavviket for høyre vegskulder på 7 cm er innenfor dette (tabell 16). Men for venstre vegskulder er standardavviket på 11,8 cm (tabell 17) og er dermed akkurat ikke innenfor FKB-A klasse 1.

Om man tar for seg kravene stilt i håndbok V770 (tabell 6) som ligger på +/- 3 centimeter i inngrepssonen, er standardavvikene i grunnriss og høyde fra geometrisk kontroll høyere enn kravet. Høyden på høyre vegskulder ligger akkurat under kravet med 4 millimeter.

Et viktig moment er at ortofotoet har en varierende nøyaktighet på 35 centimeter mer eller mindre. Det betyr at ortofotoet ikke er en eksakt fasit, og ettersom ortofoto ble brukt som et hjelpemiddel til vektorisering, så blir dette en faktor som får uttelling i geometrisk kontroll.

Det er også diskutabelt om standardavvikene muligens kunne blitt redusert om det ble gjort flere forsøk på vektorisering i punktskyen. Til sammen ble det gjort 3-4 forsøk på vektorisering, grunnet at det noen gang ble gjort betydelige feil som måtte rettes opp. Men det gruppene erfarte var at kvaliteten på vektorene, i form av standardavviket, ikke alltid ble bedre ved flere forsøk. Det må også tas stiling til at det ikke er kostnadseffektivt å utføre mange forsøk når resultatet ikke virker å bli bedre.

Det kan viser seg dermed at vektorlinjer tegnet i en NDH punktsky med 5 punkt per m<sup>2</sup>, ikke oppnår tilstrekkelig nøyaktighet for bruk i områder hvor det er høyt krav til stedfestningsnøyaktigheten, slik det er i en inngrepssone. Derimot kan vektorlinjene ha god nok nøyaktighet til at de kan brukes i visualiseringssoner, og i noen FKB datasett.

## 6 Konklusjon

I arbeidet med denne oppgave så ser vi at punktskyer kan ha en punkttetthet ned mot 200-400 punkter pr. m<sup>2</sup> og foreta en vektorisering som er innenfor de krav som stilles av FKB og stedfestingsnøyaktighetskravet i Håndbok V770. Punktskyer med lavere punkttetthet en dette kan komme innenfor de krav som stilles av FKB, men ikke håndbok V770.

Når det gjelder vektorisering av NDH punktsky med 5 punkt per m<sup>2</sup> så viser vårt arbeid at det er utfordrende. For å foreta en vektorisering med NDH behøves et ortofoto. Med bruken av ortofoto viste det seg at standardavvikene ikke ble altfor store og rent kvalitetsmessig er resultatet innenfor mange av FKB klassene. Men for nøyaktige landmålte krav, slik som foreligger for inngrepssone i henhold til håndbok V770, er ikke vektorene nøyaktige nok.

Konklusjonen vår blir at for å foreta en manuell vektorisering som er innenfor de gitte krav, med punktsky fra terrestrisk laserskanner så behøves en punkttetthet på mer enn 200-400 punkt pr m<sup>2</sup>.

Oppfordring til videre studier:

I arbeidet med denne oppgaven så har det vært fokus på manuell vektorisering. Dersom vi skal oppfordre til videre studier, så blir det innefor automatisk vektorisering.

For videre forskning på punkttetthet, så oppfordrer vi til å prøve å skanne med ulike punkttettheter istedenfor tynning av punktskyer med mange millioner punkter per m<sup>2</sup>.

# Litteraturliste

Andresen, H., 2019. *Mulighetsstudie / Testprosjekt*, Oslo: Geomatikk Survey AS.

Dale, B., 2019. *Rapport av fastmerkemåling til rv. 42 Eigerøy Bru*, Leikanger: Statens Vegvesen.

Dick, Ø. B., 2015. *Store norske leksikon*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/NN2000>  
[Funnet 14 05 2020].

Dick, Ø. B., 2015. *Store Norske Leksikon*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/fastmerke>  
[Funnet 05 05 2020].

Dick, Ø. B., 2015. *Store Norske Leksikon*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/laser - laserskanning av skog>  
[Funnet 6 mai 2020].

Dick, Ø. B., 2015. *Store Norske Leksikon*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/fundamentalpunkt>  
[Funnet 02 04 2020].

Forsell, B., 2019. *Store norske leksikon*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/GNSS>  
[Funnet 8 mai 2020].

Geomatikk Survey AS, u.d. *Terrestrisk 3D laserskanning*, s.l.: s.n.

Granum, N., 2019. *Store norske leksikon*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/FKB>  
[Funnet 7 mai 2020].

Heywood, I., Cornelius, S. & Carver, S., 2011. *Geographical Information Systems*. 4. red. Essex: Pearson Education Limited.

Huisman, O. & de By, R. A., 2009. *Principles of Geographic Information Systems*. 4 red. Enschede: ITC.

Kartverket , 2015. *Produksjon av basis geodata* , s.l.: Kartverket .

Kartverket, 2009. *Satellittbasert posisjonsbestemmelse*, s.l.: Kartverket.

Kartverket, 2013. *Nasjonal modell for høydedata fra laserskanning (FKB-Laser)*, Hønefoss: Kartverket.

Kartverket, 2013. *Produktspesifikasjon for ortofoto i Norge*, s.l.: Statens Kartverk.

Kartverket, 2015. *Geodatakvalitet*, s.l.: Statens Kartverk.

Kartverket, 2019. *kartverket.no*. [Internett]

Available at: <https://www.kartverket.no/Prosjekter/Nasjonal-detaljert-hoydemodell/om-nasjonal-detaljert-hoydemodell/>

[Funnet januar 2020].

Kartverket, 2019. *Om nasjonal detaljert høydemodell (NDH)*. [Internett]

Available at: <https://www.kartverket.no/Prosjekter/Nasjonal-detaljert-hoydemodell/om-nasjonal-detaljert-hoydemodell/>

[Funnet 04 05 2020].

Leica Geosystems, 2017. *Leica Scanstation P30/P40*. [Internett]

Available at: [https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/general/brochures-datasheet/Leica\\_ScanStation\\_P30-P40\\_Plant\\_DS\\_en.pdf](https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/general/brochures-datasheet/Leica_ScanStation_P30-P40_Plant_DS_en.pdf)

[Funnet 12 03 2020].

Mæhlum, L. & Ørstavik, E., 2020. *Store Norske Leksikon*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/totalstasjon>

[Funnet 8 mai 2020].

NGU, 2015. *Terrestrisk Laserskanning*, s.l.: NGU.

Norge i bilder, 2020. *www.norgebilder.no*. [Internett]

Available at: <https://www.norgebilder.no/>

[Funnet 05 05 2020].

Norkart, u.d. *Utjevning og analyse*, s.l.: Norkart.

Reisvang, H., 2019. *www.tu.no*. [Internett]

Available at: <https://www.tu.no/artikler/snart-bli-laserskannere-sa-billige-at-alle-byggeplasser-vil-skannes-24-7-br/458842>

[Funnet 04 05 2020].

Sæterdal, P. N., 2005. *Kompendium i Landmåling*. [Internett]

Available at: <http://www.psland.no/hib/landm/kompend2/komp.htm>

[Funnet 21 04 2020].

Scan Survey, u.d. *Terrestrisk laserskanning av Uit Narvik*, s.l.: Scan Survey.

Schibevaag, T. A., 2018. *www.NRK.no*. [Internett]

Available at: <https://www.nrk.no/rogaland/denne-brua-kan-sette-over-1000-arbeidsplassar-i->

spel-1.14225170

[Funnet 05 05 2020].

Skogseth, T. & Norberg, D., 2014. *Grunnleggende landmåling*. 3 red. Trondheim/Gjøvik: Gyldendahl Norsk Forlag AS.

Smakic, G., 2005. *Laserskanning fra bakke-stasjon*, Gjøvik: s.n.

Statens Kartverk, 2009. *Fastmerkenummerering og fastmerkeregister*. [Internett]

Available at: <https://www.kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/fastmerk.pdf>

[Funnet 05 07 2020].

Statens kartverk, 2009. *Grunnlagsnett*. [Internett]

Available at: <https://www.kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/grunnlag.pdf>

[Funnet 05 14 2020].

Statens Kartverk, 2018. *Høydesystemet NN2000*. [Internett]

Available at: <https://www.kartverket.no/NN2000>

[Funnet 27 03 2020].

Statens kartverk, 2018. *Kartverket*. [Internett]

Available at: <https://www.kartverket.no/Prosjekter/Nasjonal-detaljert-hoydemodell/forvaltningslosning-for-hoydedata/>

[Funnet 20 Januar 2020].

Statens Kartverk, 2018. *Produktspesifikasjon Nasjonal modell for høydedata fra laserskanning (FKB-Laser)*. [Internett]

Available at: [https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner\\_FKB-Laser\\_v5\\_fkb-laser-v30-2018-01-01\\_.pdf](https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner_FKB-Laser_v5_fkb-laser-v30-2018-01-01_.pdf)

[Funnet 15 04 2020].

Statens Kartverk, 2019. *Dei koordinatbestemte fastmerka*. [Internett]

Available at: <https://www.kartverket.no/kunnskap/Kart-og-kartlegging/De-koordinatbestemte-fastmerkene/>

[Funnet 25 02 2020].

Statens kartverk, 2020. *SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for Felles Kartdatabase (FKB)*, Hønefoss: Kartverket.

Statens Kartverk, u.d. *EUREF89 NTM (Norsk Transversal Mercator sone 5-30)*. [Internett]

Available at:

<https://www.kartverket.no/globalassets/arkiv/posisjonstjenester/euref89ntmbeskrivelse.pdf>

[Funnet 14 05 2020].

Statens vegvesen , 2020. *Nasjonal vegdatabank (NVDB)*, s.l.: Statens vegvesen.

Statens vegvesen, 2013. *Veiledning til krav om leveranse av data til FKB-kart og NVDB fra bygge og driftskostnader*, s.l.: Statens vegvesen .

Statens vegvesen, 2015. *Håndbok V770 - Modellgrunnlag*. [Internett]

Available at:

[https://www.vegvesen.no/attachment/395908/binary/1098509?fast\\_title=H%C3%A5ndbok+V770+Modellgrunnlag.pdf](https://www.vegvesen.no/attachment/395908/binary/1098509?fast_title=H%C3%A5ndbok+V770+Modellgrunnlag.pdf)

[Funnet 16 05 2020].

Terratec AS, 2017. *NDH Jæren-Randaberg-Sola 5pkt 2017*, s.l.: Terratec AS.

Vestbø, S. I., 2019. *Rapport Konstruksjon av digital Terreng modell (DTM) og datanfangst for Statens vegvesen, Region vest*, Bergen: Geomatikk Survey AS.



# Vedlegg

- Vedlegg 1: Utjevninger.
- Vedlegg 2: Standardavvik på målinger.
- Vedlegg 3: Skannrapport.
- Vedlegg 4: Høydedifferanse mellom vegbane og vegskulderkant for venstre vegskulder.
- Vedlegg 5: Høydedifferanse mellom vegbane og vegskulderkant for høyre vegskulder.
- Vedlegg : 6: Geometriske kontroller fra Gemini Terreng.
- Vedlegg: 7: Møter
- Vedlegg: 8: Vektoriisering for de ulike punktskyene.

