

Magnus Berg, Marianne Glimsdal, Jonathan Sundt

Utvidet bruk av punktskyer fra bilbåren laserskanning

Ekstraksjon av data fra punktsky til vektorisering og oppdatering av vegdata

Bacheloroppgave i Geomatikk

Veileder: Rune Strand Ødegård

Mai 2020

Utvidet bruk av punktskyer fra bilbåren laserskanning

*Ekstraksjon av data fra punktsky til vektorisering og
oppdatering av vegdata*

Magnus Berg, Marianne Glimsdal og Jonathan Sundt

Gradering: Åpen

Bachelor i geomatikk

Lvert: mai 2020

Veileder: Rune Strand Ødegård

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

Oppgavens tittel:	Dato: 20.05.2020		
Utvidet bruk av punktskyer fra bilbåren laserskanning	Totalt antall sider: 109		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave:	X
Navn: Magnus Berg, Marianne Glimsdal og Jonathan Sundt			
Veileder: Rune Strand Ødegård			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Tore Abelvik v/ Kartverket			

Dagens bruk av punktsky fra bilbåren laserskann er mest brukt til oppfølging og vedlikehold av veg. Denne oppgaven undersøker hvordan bruken kan utvides til oppdatering av vegdata.

Det har blitt utarbeidet to metoder som demonstrerer hvordan relevant informasjon kan hentes ut fra en punktsky og vektoriseres. Den første metoden vektoriserer vegens kantlinjer på bakgrunn av punktskyens intensitetsverdier, og den andre metoden henter ut vegkroppen ved å filtrere støy og vegetasjon rundt vegen.

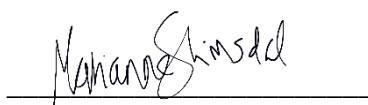
Fra den første metoden kommer det fram at kantlinjene kan vektoriseres til en absolutt nøyaktighet på rett over 0,2 meter, men nedslitt vegoppmerking kan svekke resultatet i stor grad. For metode 2 kommer det fram at resultatets nøyaktighet er mye påvirket av parametere brukt til filtreringen. Ved en streng filtrering kan man oppnå høy nøyaktighet, men på bekostning av fullstendighet. Det motsatte gjelder for en mindre aggressiv filtrering. En av de store svakhetene med metodene som presenteres er at de krever en etablert senterlinje med god nøyaktighet.

Stikkord:

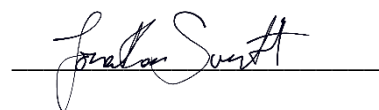
Punktsky
Vektorisering
BLS
Vegdata



Magnus Berg



Marianne Glimsdal



Jonathan Sundt

Abstract

Today, the main use of data acquired from a mobile laser scanner is used to detect a demand for maintenance on roads. This study examines how to extend the use of these data to improve and update existing road data. The focus is not to find a full functioning solution, but rather to highlight potential uses and obstacles in future studies.

To examine this problem, two different methods are developed. Both methods demonstrate how to automatically extract and vectorize relevant information from a given point cloud. The first method extracts road shoulder line by examining intensity values in the point cloud. While the second, extracts the entire road surface by filtering noise and vegetation surrounding the road surface.

Based on the first method, we find that road shoulder lines can be returned with an accuracy just over 0.2 meters, but is vulnerable to decrepit road surface marking.

In the second method the accuracy will depend on parameters used during filtering. An aggressive filtering will result in higher accuracy, but low coverage and vice versa during a milder filtering.

One of the main drawbacks in both methods is the dependency of an already accurate centerline for any given road.

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet på oppdrag fra Kartverket, som i samarbeid med SVV har tilgjengeliggjort interessante datasett samt interne analyser og rapporter som har gjort denne oppgaven mulig å gjennomføre.

Innledningsvis ble dette prosjektet valgt på grunnlag av en fremtidsrettet og interessant tematikk, som kan gi en dypere forståelse for fremtidige arbeidsmetoder og ny teknologi, men produktet av oppgaven kan også muligens benyttes under videreutvikling av fremtidige arbeidsmetoder.

Etter 3 år med geomatikk ved NTNU i Gjøvik har vi oppnådd en god grunnleggende forståelse for organiseringsstrukturer og produksjonsrutiner som benyttes for etablering av geografisk informasjon i Norge.

Anno 2020 skulle det allikevel oppstå noen uforutsette utfordringer, og den 12. mars ble skolen stengt ned på grunn av koronaviruset. Dette førte til at arbeidsstrukturen måtte omformes til en digital modell, med MS Teams som grunnplattform. Teams har fungert bra, men møter «over bordet» er et grunnleggende element i et slikt prosjekt. Personlig isolering som strekker seg over mange uker har også vært noe krevende med tanke på å opprettholde motivasjon og pågangsmot. Allikevel har gruppa prestert godt, og prosjektet har fått høy prioritet også i denne merkelige perioden, noe som speiles av resultatet presentert i denne rapporten.

Vi vil takke Kartverket, og spesielt Tore Abelvik, for muligheten han har gitt oss, og all hjelpen angående innfallsvinkel. Det blir spennende å se på utviklingen videre innen ITS og hvordan dette løses hos Kartverket. Videre ønsker vi å rekke en takk til Marius Øie ved Statens Vegvesen for viktig innledende hjelp angående fangst og utnyttelse av punktsky fra bilbåren laserskanning, samt leveranse av grunnlagsdata som vi har benyttet.

Vi ønsker å rekke en stor takk til vår veileder, Rune Strand Ødegård, og øvrige ansatte ved NTNU som har hjulpet oss. Som veileder har Rune vært imøtekommende og behjelpelig med alt vi kunne tenke oss å lure på, også over nett etter campus ble stengt. Takk til våre medstudenter for mange gode diskusjoner og tilbakemeldinger. Sist men ikke minst vil vi takke familie og venner som har støttet oss gjennom denne studieperioden.

Innholdsfortegnelse

Abstract	i
Forord.....	ii
Innholdsfortegnelse	iii
Figurliste	v
Tabelliste	vii
Forkortelser og ordforklaringer	viii
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.2 Problemstilling.....	2
1.3 Oppgavens oppbygning	2
2 Teori.....	3
2.1 Offentlige kartgrunnlag	3
2.1.1 Kvalitetskrav og datafangst.....	4
2.1.2 Produktspesifikasjoner og geodata-produkter.....	4
2.1.3 HD-kart	6
2.2 Laserskanning	7
2.2.1 Laserskanning i SOSI-standard	8
2.2.2 Bilbåren laserskanning	8
2.3 Punktskyer og LAS-formatet.....	9
2.3.1 Klassifisering av punktsky i LAS	9
2.4 Nøyaktighet og kvalitet	10
2.4.1 Nøyaktighetsbegrepet og målefeil	10
2.4.2 Presisjon	11
2.4.3 Statistiske analyser og tester	11
2.5 GNSS i fart	12
2.6 Vegoppmerking	14
3 Metode	16
3.1 Datasett	17
3.2 Programvare.....	18
3.2.1 FME - Feature Manipulation Engine	18
3.2.2 ArcGIS Pro.....	18
3.2.3 LAStools	18
3.2.4 Lasnoise.exe	18
3.3 Metode 1 – Halvautomatisert vektorisering av kantlinjer	19
3.3.1 Del 1 – Fra georeferert punktsky til vektoriserte kantlinjer.....	19
3.3.2 Del 2 – Etablering av sammenhengende kantlinjer	21
3.3.3 Sammendrag metode 1	26
3.4 Metode 2 – Ekstraksjon av vegdekkekant basert på senterlinje	27
3.4.1 Del 1: Behandling av punktsky i LAStools/lasnoise.exe	27
3.4.2 Del 2: Vektorisering.....	28

3.5 Kvalitetskontroll	31
4 Resultat.....	33
4.1 Resultat av metode 1 - Halvautomatisert vektorisering av kantlinjer	33
4.1.1 Fylkesveg 1950 – «Kroksrudvegen»	34
4.1.2 Fylkesveg 175 – «Sandervegen»	38
4.2 Resultat av metode 2 – Ekstraksjon av Vegdekkekant basert på senterlinje	42
4.2.1 Del 1: Behandling av punktsky i LAStools/lasnoise.exe	43
4.2.2 Del 2: Vektorisering av vegdekkekant	46
5 Diskusjon.....	51
5.1 Drøfting av metode 1 – Halvautomatisert vektorisering av kantlinje	51
5.1.1 Diskusjon angående metoden	51
5.1.2 Drøfting av resultat: Fylkesveg 1950 – «Kroksrudvegen»	53
5.1.3 Drøfting av resultat: Fylkesveg 175 – «Sandervegen»	56
5.1.4 Absolutt og relativ nøyaktighet.....	57
5.2 Drøfting av metode 2 – Ekstraksjon av Vegdekkekant basert på senterlinje	61
5.2.1 Diskusjon angående metode	61
5.2.2 Drøfting av resultat	64
5.2.3 Hvor vil metoden fungere best?	71
6 Konklusjon og anbefalinger	72
6.1 Konklusjon.....	72
6.2 Videre arbeid	73
Litteraturliste.....	74
Vedlegg I – Resultater fra metode 1	77
A. Fylkesveg 1950 – «Kroksrudvegen»	77
B. Fylkesveg 175 – «Sandervegen»	81
Vedlegg II – Resultater fra metode 2.....	85
Vedlegg III – FME Workspace	95
A. Metode 1 – Del 1	95
B. Metode 1 – Del 2.....	96
C. Metode 2	97
D. Kontroll.....	98

Figurliste

Figur 1: Detaljeringsnivå i veglenkegeometrien	6
Figur 2: Viser glassperlers plassering i vegmerkingen (Skaar and Giæver, 2019, s. 63).....	15
Figur 3: Over: Punktsky. Midten: Konveks omhyll av punktsky. Under: Konveks omhyll med alfa-verdi. Alfaverdien er definert for lavt til at mengden kobles sammen til en polygon, i tillegg går man glipp av ett punkt.	21
Figur 4: Illustrasjonene over viser hvordan linje trekkes automatisk mellom punkter slik de dukker opp i egenskapstabellen.	22
Figur 5: Flytdiagrammet viser hvordan det bestemmes om punktene sorteres i nord- eller østretning.....	22
Figur 6: Illustrasjonen viser hvordan delstrekninger etableres basert på normaler og buffer fra senterlinje.....	23
Figur 7: Illustrasjonen viser hvordan punktene sorteres i hver sin side av veg. Buffersone i grønn farge.	24
Figur 8: Sammendrag av hvordan punkter klippes etter delstrekninger, og nye linjer trekkes på bakgrunn av sortering.	25
Figur 9: Forenklet visualisering av metode 1.....	26
Figur 10: Figur viser en buffer i blått rundt senterlinjen med hensikt å fjerne punkter midt i vegen. Punkter i rødt illustrerer punktene med klassifisering 3.....	28
Figur 11: Områdene rundt vegkroppen er delt i to polygoner. Vegen skal tilsvare det tomme rommet mellom polygonene.	29
Figur 12:Konvekst omriss av utstrekning	30
Figur 13: Polygoner klippes ut av omrisset.....	30
Figur 14: Med en topologisk spørring filtreres vekk all geometri som ikke deler skjæringspunkt med senterlinje.....	31
Figur 15: Kontrollmetodens elementer	32
Figur 16: Over: punktskyen av fv. 1950 i sin helhet med markør som lokaliserer presentasjonsområde. Under: presentasjonsområde som brukes for figurer fra denne vegen.	34
Figur 17: Resultatmatrise som viser gangen i metoden. (a) punktsky etter den er filtrert for 0,5% høyeste intensitetsverdier. (b) vektoriserte kantlinjer. (c) opprettede endepunkter basert på resultatet i (b). (d) resultatet av å trekke linjer mellom endepunktene.....	35
Figur 18: Resultatmatrise fra kontroll av fv. 1950 0,5%. (a) Histogram over avstanden mellom test- og kontrollpunkter. (b) 10 dårligste testpunkter basert på avstand til kontrollpunkt sortert synkende. (c) Sammendrag for toleransekontroll og standardavviket som er beregnet. D gjelder for distanse, N for nord-retning og Ø for øst-retning. (d) Autokorrelasjonen i testpunktene. (e) Resultatets fullstendighet.	36
Figur 19: (a) 0,5%-filtrering uten bruk av støyfilter. (b) resultat etter bruk av støyfilter.	37
Figur 20: Over: punktskyen av fv. 175 i sin helhet med markør som lokaliserer presentasjonsområde. Under: presentasjonsområde som brukes for figurer fra denne vegen.	38
Figur 21: Resultatmatrise som viser steg i metoden. (a) punktsky etter den er filtrert for 0,5% høyeste intensitetsverdier. Legg merke til tverrgående vegoppmerking i nord-vestre hjørne. (b) vektorisert vegoppmerking. (c) viser opprettede endepunkter basert på resultatet i (b). (d) resultatet av å trekke linjer mellom endepunktene.	39
Figur 22: Resultatmatrise fra kontroll av fv. 175 0,5%. (a) Histogram over avstanden mellom test- og kontrollpunkter. (b) 10 dårligste testpunkter basert på avstand til kontrollpunkt sortert synkende. (c) Sammendrag over toleransen og standardavviket som er beregnet. D	

gjelder for distanse, N for nord-retning og Ø for øst-retning. (d) Autokorrelasjonen i testpunktene. (e) Resultatets fullstendighet.	40
Figur 23: (a) 0,5%-filtrering uten bruk av støyfilter. (b) resultat etter bruk av støyfilter.	41
Figur 24: Over: fv. 1950 – «Kroksrudvegen» med markør som lokaliserer presentasjonsområdet. Under: Punktsky i presentasjonsområdet som brukes i dette kapittelet.....	42
Figur 25: Delresultat med parameterkombinasjon 1: 0.5, 0.001, 5.....	43
Figur 26: Delresultat med parameterkombinasjon 2: 0.5, 0.001, 10.....	43
Figur 27: Delresultat med parameterkombinasjon 3: 0.5, 0.003, 10.....	44
Figur 28: Delresultat med parameterkombinasjon 4: 0.5, 0.003, 15.....	44
Figur 29: Resultat ved å sile 0.5, 0.001, 5 med parameterkombinasjonen 0.25, 1, 6. Grønne punkter visualiserer lav vegetasjon, og røde punkter viser støy.	45
Figur 30: Resultat ved å sile 0.5, 0.001, 10 med parameterkombinasjonen 0.25, 1, 6. Grønne punkter visualiserer lav vegetasjon, og røde punkter viser støy.	45
Figur 31: Forenklet sammendrag av metoden. Resultatene kommer fra 01x5_0.25x1x10-datasettet	46
Figur 32: Oversiktsbildet viser områder hvor metoden ikke leverer tilfredsstillende kvalitet.	47
Figur 33: Histogram over avvik mellom test- og kontrollpunkt for 01x5_0.25x1x6.....	47
Figur 34: Oversiktsbildet viser områder hvor metoden ikke leverer tilfredsstillende kvalitet.	48
Figur 35: Histogram viser avvik mellom test- og kontrollpunkter for 01x10_0.25x1x10.....	48
Figur 36: Utsnittet viser et område der senterlinjen fra Elveg er stedfestet helt opp mot definert vegdekkekant i FKB.	53
Figur 37: Utsnitt av typiske problemer som oppstår. Tekstboksene beskriver testpunktets ID og avvik til kontrollpunkt i meter. (a) viser effekten av støy langs vegen. (b) effekten av skadet/nedslitt vegoppmerking hvor linjene kuttes gjennom krumningen	54
Figur 38: Viser område i vegen der vegoppmerkingen er fraværende. Nede til venstre kan man skimte en hvitstripe.....	55
Figur 39: Utsnitt av problemer som oppstår. Tekstboksene beskriver testpunktets ID og avvik til kontrollpunkt i meter. (a) Uønsket effekt ved kanalisering av vegen inn mot rundkjøring. (b) viser effekten av tverrgående vegoppmerking.	56
Figur 40: Figuren viser et utsnitt med datasettene sammen. Fasit visualiseres som stiplet linje. Blå linjer viser den strengeste behandlingen, og spenner gjennom grønt, oransje og til slutt brunt som er mildest behandlet.	65
Figur 41: Problemområde 1. Figurene visualiserer kjøreslitasje i vegen.....	68
Figur 42: Problemområde 2. Figurene visualiserer kjøreslitasje i vegen.....	69
Figur 43: Problemområde 3. Figurene visualiserer problemer som oppstår ved overgang til busslomme.	70

Tabelliste

Tabell 1:Klasser som påkreves ved en punktskyleveranse.	10
Tabell 2: Tilgjengelige satellittsystemer.	12
Tabell 3: Aktuelle korreksjonssystemer til GNSS.	13
Tabell 4:Kvalitetsparametere ved GNSS-navigasjon.....	13
Tabell 5: Metadata om punktsky av fv. 1950.....	17
Tabell 6: Metadata om punktsky av fv. 175.....	17
Tabell 7: Prosesseringstid for metode 1, gitt i sekunder.	33
Tabell 8: Oversikt over metadata for visualisering av resultat metode 1.....	34
Tabell 9: Sammendrag av kontrollresultatet fra fv. 1950 for tre ulike filtreringsverdier, med og uten støyfilter. DIFF er differansen mellom det støyfiltrerte og ikke-støyfiltrerte resultatet.....	37
Tabell 10: Sammendrag av kontrollresultatet fra fv. 175 for tre ulike filtreringsverdier, med og uten støyfilter. DIFF er differansen mellom det støyfiltrerte og ikke-støyfiltrerte resultatet.....	41
Tabell 11: 4 parameterkombinasjoner brukt i første utsiling.	43
Tabell 12: Parameterkombinasjoner for andre utsilingsfase.	44
Tabell 13: Fargeforklaring for påfølgende resultater.	49
Tabell 14: Kontrollresultat for 05x01x10.....	49
Tabell 15: Kontrollresultat for 05x01x5.....	50
Tabell 16: Kontrollresultat for 05x03x15.....	50
Tabell 17: Kontrollresultat for 05x03x10.....	50
Tabell 18: Grunnleggende operasjonskriterier.	61
Tabell 19: Oversikt over parameterkombinasjoner.	62
Tabell 20: Parameterkombinasjoner for andre utsilingsfase.	63
Tabell 21: Sammendrag av de gjennomsnittlige nøkkelderier fra tabell 14-17.	64
Tabell 22: Utrekning av nøyaktighet med feilforplantning.....	67

Forkortelser og ordforklaringer

ASCII	American Standard Code for Information Interchange.
BLS	Bilbåren laserskanning.
CPOS	Centimeterposisjon, tjeneste levert av Kartverket.
EGSC	European GNSS Service Centre.
Elveg	Elveg – Elektronisk vegnett, henviser til produktet Elveg 2.0 med mindre annet er spesifisert.
ETPOS	Etterposisjonering, tjeneste levert av Kartverket.
FDV	Forvaltning, Drift og Vedlikehold.
FKB	Felles KartdataBase.
FLS	Flybåren laserskanning.
GNSS	Global Navigation Satellite System.
HD-kart	High Definition-kart, høyoppløste kart.
Konveks omhyll	Fra engelsk <i>convex hull</i> , den minste formen som kan omkranse en konveks mengde.
Lidar	Laserskanning, optisk fjernmålingsteknikk.
NVDB	Nasjonalt vegdatabank.
SFKB	Sentral Felles KartdataBase. Forvaltningssystem der kartdata blir oppdatert i en sentralt database hos Kartverket.
SVV	Statens Vegvesen.
TLS	Terrestrisk laserskanning.
Toleranse	Maksimalt tillatt avvik.
Vbase	Datasekk som omfatter senterlinje og sperringer for alle kjørbare veger lengre enn 50 meter. Datasetset består av linje- og punktgeometri.
Vektorisere	Transformasjon fra et format til vektorformat.

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn for oppgaven

I 2018 ble «Alt skjer et sted - Nasjonal geodatastrategi frem mot 2025» publisert. I den kommer det frem at økt tilgang på geografiske data fra blant annet ITS (Intelligente transportsystemer) gir muligheter for smart utnyttelse av dataene (KMD, 2018, s. 7). I tilhørende handlingsplan presenteres en rekke tiltak som skal understøtte strategien. Blant tiltakene finner vi tiltak 7 «ITS – intelligente transportsystemer – bidra til smartere og sikrere transport». Ifølge tiltaket er det avgjørende at det finnes detaljerte kartdata som kan fungere som et supplement til systemets fysiske plassering (Kartverket, 2020b, s. 24).

I tillegg finner vi tiltak 9, som handler om videreutvikling av FKB for fremtiden. Det er derfor tenkelig at det fremover vil stilles høyere krav til detaljert kartlegging av veg for å gjøre Norge klart for selvkjørende biler.

Det er allerede gjort en rekke prosjekter som ser på muligheter for å utnytte sensorer på bil for rask kartlegging. I Statens vegvesen har man allerede sett på om data fra bilbåren laserskanner kan utnyttes til oppdatering av NVDB, og lignende prosjekter er gjort for Trafikverket i Sverige. I korte trekk er det kommet frem til at det er gode muligheter for å nyttegjøre seg av slike data, men at dette må jobbes videre med.

Høsten 2019 gjorde vi oss klare til å finne et tema vi kunne jobbe med i bacheloroppgaven, og kom over en henvendelse fra Kartverket v/ Tore Abelvik som ønsket at noen så på muligheten for å oppdatere dagens FKB-Veg og vegnett ved bruk av punktsky fra bilbåren laserskanning. Abelvik presiserte videre at dette skulle være et forprosjekt i arbeidet mot en digital infrastruktur klar for bruk av ITS.

1.2 Problemstilling

Siden SVV allerede samler punktdata fra BLS ønsker vi å se på hvordan denne dataen kan utnyttes bedre enn det den blir i dag. Punktskyene åpner for en mengde muligheter, men blir foreløpig brukt til spor- og jevnhetsanalyser. Det er også ønskelig å undersøke hvilke tiltak som kan utføres for å forbedre utbyttet av den innsamlede punktskyen.

Problemstillingen formuleres derfor følgende:

Hvordan kan man øke utbyttet av data generert fra bilbåren laserskanning til forbedring og oppdatering av veg-data?

På bakgrunn av denne problemstillingen ønsker vi å se hvorvidt vi kan hente ut kantlinjer på veg, samt vegbane og vektorisere dette på en effektiv måte. Vi ønsker også å undersøke hvilken kvalitet man kan forvente av en slik vektorisering og hvilke utfordringer man kan forvente å støte på. Vi forsøker med andre ord ikke å finne en endelig løsning på automatisk vektorisering, men undersøker i større grad hvilke hindre man må ta høyde for under en eventuell videre utvikling av en slik løsning.

I dette prosjektet har vi fokusert på data fra bilbåren laserskanning gjort på landlige veger. Vi har derfor ikke sett på eventuelle utfordringer som oppstår i mer tettbygde strøk. Det er også valgt å se på og kontrollere resultater i grunnriss, og ikke i høyde. Det finnes derimot enkle metoder for å legge høydeverdier fra punktsky på vektordata, uten at vi går videre inn på dette i denne oppgaven.

1.3 Oppgavens oppbygning

I kapittel 2 redegjør vi for teori som er relevant for oppgaven. Deretter, i kapittel 3, presenteres to ulike metoder som gjør det mulig å produsere vektordata halvautomatisk, med punktsky som utgangspunkt. Metode 1 vektoriserer kantlinjer, mens metode 2 vektoriserer vegbanen. I tillegg vises metode for å kontrollere resultatet. I kapittel 4 presenterer vi resultat og kontroll, før vi avslutningsvis, i kapittel 5, drøfter resultatene, samt diskuterer ulike utfordringer som har oppstått i prosessen.

2 Teori

I denne oppgaven er det spørsmål om hvordan man kan forbedre og oppdatere vegkartet ved utvidet bruk av en laserskannet punktsky. Innledningsvis gjør vi derfor rede for offentlige kartgrunnlag og setter det i sammenheng med fremtidens bruk av såkalte HD-kart. Deretter forklares laserskanning, og punktskyene som blir produsert.

En viktig del av oppgaven blir å undersøke om datagenereringen i våre metoder får god nok kvalitet til å forbedre vegkartet. Det redegjøres derfor for nøyaktighet og kvalitet der vi i tillegg til å avklare nøyaktighetsbegrepet og presisjon, presenterer relevante statistiske tester. I sammenheng med nøyaktighet, belyses også en undersøkelse på GNSS i fart som allerede er gjort av Kartverket.

Avslutningsvis gjøres det rede for relevant informasjon om vegoppmerking da dette er et viktig grunnlag i en av våre metoder.

2.1 Offentlige kartgrunnlag

Felles kartdatabase (FKB) er en samling geografiske datasett. Samlingen skal utgjøre det geografiske grunnlaget som trengs for å utøve lov- og forskriftsbelagte saker, og er de mest detaljerte offentlige geodataene tilgjengelig. FKB er en videreføring og digitalisering av Økonomisk Kartverk, en historisk kartbladserie for detaljerte kart over områder av økonomisk interesse.

Geovekst-samarbeidet har ansvar for utarbeidelse av FKB-produktspesifikasjonene, og etablering av data basert på disse. Geovekst består av følgende etater:

- SVV, Statens vegvesen
- Energi Norge
- KS, kommunesektorens organisasjon
- Kartverket
- Telenor
- Landbruksdepartementet med underliggende etater
- NVE, Norges vassdrags- og energidirektorat

Geovekst-forum, ledet av Kartverket, har ansvar for koordinering av samarbeidet og revidering av spesifikasjonene (Kartverket, 2020c).

NVDB er en database som inneholder geometri og topologi av alt fra statlig til privateid veg. I tillegg finnes data om objekter og utstyr langs veg, samt trafikk- og ulykkedata (Statens Vegvesen, 2020). NVDB ajourholdes i hovedsak gjennom plan- og ferdigvegsdata av SVV og Kartverket. Kommunal-, privat- og skogsveg ajourføres gjennom Norge Digitalt og FDV-avtaler.

2.1.1 Kvalitetskrav og datafangst

Produktspesifikasjonen for FKB spesifiserer ulike nøyaktighetskrav basert på bebyggelsestetthet. Nøyaktighetskravene deles inn i FKB-standard A/B/C/D og klasse 1-4, der A og 1 er de mest krevende. I by og bynære strøk benyttes den mest detaljerte standarden FKB-A, som for klasse 1 krever en nøyaktighet på 0,10 meter for alle veldefinerte objekter i høyde og grunnriss, og 0,15 meter for klasse 2. For de minst definerte objektene kan nøyaktighet reduseres til 1,5 meter. For andre standarder og klasser se produktspesifikasjonen (Kartverket, 2020d, s. 26). Det samme gjelder i stor grad for NVDB da disse dataene fremstilles likt. Lav synlighet ved registrering av enkelte veldefinerte objekter vil i noen tilfeller senke kravet til nøyaktighet, dette gjelder typisk hvis objektene dekkes av vegetasjon (Kartverket, 2020a, s. 67-68).

Selv om FKB definerer forskjellige nøyaktighetskrav, har fullstendighet høyeste prioritet, slik at alle datasett vil bestå av varierende kvalitet (Kartverket, 2020d, s. 20). FKB-A klasse 1 krever maksimalt 0,5% manglende objekter, og for klasse 2 gjelder maksimalt 2% manglende objekter (Kartverket, 2020a, s.68).

Mesteparten av registreringen til FKB og NVDB er fotogrammetrisk fremstilt. Det foreligger en registreringsinstruks for hvordan dette skal gjøres til hvert enkelt FKB-datasett (Kartverket, 2020d).

2.1.2 Produktspesifikasjoner og geodata-produkter.

Produktspesifikasjonene definerer hvordan geodata skal samles og forvaltes, i hovedsak skjer dette hos kommuner. Produktspesifikasjonene har et stort spenn av tematikk, alt fra arealbruk og ledningsnett, til bygninger og høydekurver. Spesifikasjonene består blant annet av detaljert beskrivelse av objekttyper og krav som stilles til objektene. Den enorme mengden data som samles inn åpner for eksport og produksjon av en rekke geodata-produkter. Eksempel på disse produktene er N5- og N20-Kartdata eksportert fra SFKB, eller Elveg 2.0 eksportert fra NVDB.

For metoden som presenteres i denne oppgaven benyttes datasettet FKB-veg og NVDB-produktet Elveg 2.0.

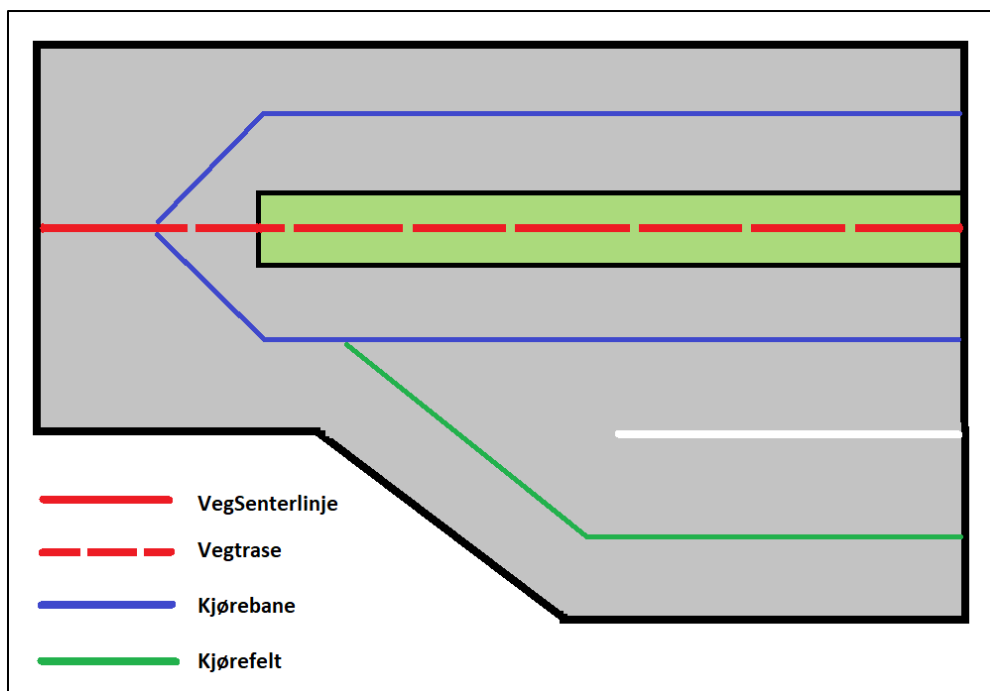
FKB-veg

FKB-Veg omfatter vegelementene som beskriver vegens geometri. I tillegg til vegens geometri inngår en del objekter som normalt hører til en vegsituasjon, eksempelvis vegbom, rekkverk og langsgående vegoppmerking. FKB-Veg beskriver i hovedsak flategeometri. Ønsker man kurvegeometrien/vegnettet forvaltes dette under produktspesifikasjonen FKB-vegnett. Fra FKB-Veg benyttes objekttypen *kjørebane*, som beskriver overgang mellom kjørebane og vegskulder, men i mange tilfeller sammenfaller den med langsgående vegoppmerking. Kjørebaneobjektet skal registreres over hvit heltrukken eller stiplet kantlinje, men er ikke registrert for alle veger siden objekttypen er opsjonell. I tillegg benyttes objekttypen *vegdekke* som beskriver vegdekkets avgrensning med kurvegeometri. Vegdekkeobjektets avgrensning suppleres med ytterligere fire objekttyper, *AnnetVegarealAvgrensning*, *VegkantAnnetVegareal*, *VegkantAvkjørsel* og *VegkantFiktiv*. Dette for å tette hull i geometrien og holde den logiske konsistensen vedlike der det er bussholdeplasser, møteplasser, avkjørsler og lignende. *VegkantFiktiv* benyttes som en lukkelinje for å opprette flategeometri og representerer en kunstig vegdekke (Kartverket, 2018a).

Produktet Elveg 2.0 og det nasjonale vegnettet

Elveg 2.0 er et produkt eksportert fra NVDB og består av objekttypene som omfattes i produktene Vbase, Elveg 1.0 og FKB-vegnett. Kort fortalt består produktet av veglenkegeometri over alle veger som er lengre enn 50 meter, eller del av et nettverk. Produktet leveres i tillegg med adresseinformasjon. Elveg er blant annet egnet til bruk i navigasjon, ruteoptimalisering og kartproduksjon. (Kartverket, 2019c).

Veglenkegeometrien, eller vegnettet, som forvaltes gjennom SFKB, fordeles inn i 3 ulike detaljnivå: vegtrasenivå, kjørebane og kjørefelt. For vegtrasenivå ligger senterlinjen midt mellom vegkantene, eller i midtrabatten om det er en kanalisert veg. I kjørebane ligger senterlinjen i midten av kjørebane. Kjørefeltet beskriver senterlinjen midt mellom kjørefeltoppmerkingen. Figur 1 illustrerer hvordan senterlinjen ligger i de ulike nivåene.



Figur 1: Detaljeringsnivå i veglenkegeometrien

Vegtrasenivå og kjørebanelnivå er tilfredsstillt på mesteparten av vegnettet, men kjørefeltnivå er derimot kun registrert der det er eksplisitt ønske om ytterligere detaljering (Kartverket, 2018b, s. 13). Elveg 2.0 inneholder data av veldig varierende kvalitet slik som beskrevet i kapittel 2.1.1, tidvis også bare i 2D. Vegnettets fullstendighet prioriteres høyest og man kan derfor oppleve at senterlinja ikke nødvendigvis ligger i midten av vegen slik den optimalt burde (Kartverket, 2019c).

Vegnettet krever logisk konsistens for at det skal kunne utføres nettverksanalyse, derfor forlenges alle senterlinjer ut på kryssende veg slik at senterlinjene blir sammenhengende. Disse forlengelseslenkene er, i likhet med *VegkantFiktiv*, kunstige lenker, men kalles konnekteringslenker (Kartverket, 2018b, s. 17).

2.1.3 HD-kart

Selv om Elveg består av gode nok kart for enkel bilnavigasjon utvikles teknologi og kunnskap som kan forbedre dagens kart. Spesielt utviklingen av avanserte førerassistansesystem (ADAS) har avslørt at mer kreves av kartene om utviklingen skal fortsette. High Definition-kart, eller høyoppløsningskart, er et begrep som beskriver kartene som tilpasses disse kommende autonome fartøylene. SAE International, en global forening med 128 000 medlemmer, og et standardiseringsorgan for ingeniører innen luftfart og motoriserte fartøy. SAE har i sammenheng med fokuset på ITS og autonome fartøy definert seks ulike nivåer av autonom

kjøring. For å tillate kjøring på 6. og øverste nivå, som ikke krever menneskelig handling, stilles det selvfølgelig strenge krav til kartene som fartøyene skal forholde seg til. Kartene må bestå av en rekke ulike data som forskjellige sensorer på kjøretøyet skal kunne detektere og benytte seg av. (SAE International, 2018). Dette gjelder spesielt hvis sensorer svikter eller ikke oppnår nødvendig kvalitet.

Et par av de første kommersielle HD-kartene ble levert i 2015 og 2016 av henholdsvis TomTom og HERE, og er sammen med Lyft noen av dagens ledende bidragsytere. Det som kjennetegner de ulike partene sine HD-kart er grunnkartet, med et mål om svært høy detaljering og centimeter-nøyaktighet på alle viktige vegelementer som kjørefelt-geometri og -topologi (TomTom International BV., 2020). Utover grunnkartet bygges HD-kartene opp forskjellig.

For at autonome kjøretøy skal ferdes trygt kreves kontinuerlig ajourhold av HD-kartene, dette inkluderer for eksempel at midlertidige omkjøringer eller fartsgrenser ligger i kartet straks de settes opp. Ajourholdet kan løses ved å utnytte publikumsbasert datafangst fra fartøyenes allerede avanserte sensorer. HERE kaller dette for «self-healing maps» og er et system der fartøyene som oppdager avvik fra grunnkartet sender inn data til en sentral enhet som vurderer om grunnkartet må oppdateres. (ABI Research, 2018). Økt fokus rundt bruk av publikumsbasert datafangst er foreslått i nasjonal geodatastrategi, tiltak 16 (Kartverket, 2020b) og man kan nok på lang sikt vurdere et slikt system som sjekker mot for eksempel NVDB eller SFKB.

Elveg 2.0 og NVDB består pr. i dag av en absolutt stedfestingsnøyaktighet på alt fra 0,10m til 2,0m i grunnriss (Kartverket, 2019c, s. 78). Ifølge European GNSS Service Centre (EGSC) burde det kreves absolutt stedfestingsnøyaktighet i grunnriss på under 0,2m på alle viktige vegelementer i kartet hvis autonome kjøretøy skal ferdes trygt med selvtillit (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2019, s. 10).

2.2 Laserskanning

Laserskanning (LiDAR) er en etablert, og mye brukt fangstmetode innen kartlegging og analyse (Kartverket, 2019a).

Metoden kan deles inn i tre hovedgrupper:

- Bilbåren laserskanning (BLS)
- Flybåren laserskanning (FLS)
- Terrestrisk laserskanning (TLS)

Alle metodene baserer seg i hovedsak på samme teknologi: en laser sender ut laserpulser, og en sensor registrerer returpulser som reflekteres fra omgivelsene. Ved å måle tiden det tar fra pulsen sendes ut til den blir registrert av sensoren, kan det beregnes en avstand til objektet som reflekterte laserpulsen (Pradhan and Sameen, 2020). Denne returpulsen kan i tillegg registreres med noen viktige egenskaper som vi skal beskrive nærmere under kapittel 2.3.1.

Ved bruk av systemer som baserer seg på skanning fra en bevegelig farkost (BLS, FLS) må den overordnede metoden implementeres med et INS/GNSS-system. Treghetsnavigasjonssystemet (INS) registrerer skannerens bevegelse, og posisjoneringssystemet (GNSS) registrerer skannerens eksterne orientering. Ved å kombinere disse systemene kan det beregnes nøyaktige retninger i forhold til systemets relative posisjon, og produktet kan georefereres (Kartverket, 2019d).

2.2.1 Laserskanning i SOSI-standard

Flybåren laserskanning har vært en del av FKB siden 2010, da et utkast for produktspesifikasjonen «Nasjonal modell for høydedata fra laser (FKB-Laser)» ble publisert for første gang. Denne produktspesifikasjonen foreligger i dag som versjon 3 – sist oppdatert den 01.01.2019. Formålet med produktspesifikasjonen er å etablere tydelige krav og kravdefinisjoner for laserdata som skal brukes som høydegrunnlag i offentlige prosjekter. Produktspesifikasjonen er i utgangspunktet fokusert mot FLS, men det er presisert at den også kan gjelde for andre typer laserskanning (Kartverket, 2019b, s. 2).

2.2.2 Bilbåren laserskanning

Bilbåren laserskanning som fangstmetode ble først utviklet av "Center of Mapping" ved Ohio State University, tidlig på 1990-tallet (Pradhan and Sameen, 2020, kap. 1.2.2), og kan dermed ansees som relativt ny.

BLS eger seg svært godt innen detaljregistrering og kartlegging langs veier i forhold til alternative metoder. Punkttettheten og den relative nøyaktigheten i resultatet er langt høyere enn hva som kan oppnås ved bruk av FLS. I forhold til statisk TLS, ved bruk av totalstasjon eller dedikert skanner, vil metoden være både sikrere og tidsbesparende (Pradhan and Sameen, 2020, kap. 1.2.2).

2.3 Punktskyer og LAS-formatet

En punktsky kan beskrives som en samling av punkter i 3D. Altså har hvert punkt i en punktsky bestemte koordinater i X, Y og Z-retning. Punktskyen kan videre georefereres for riktig plassering i kartet (Esri, 2019b).

En punktsky bygges enten i et ASCII- eller et binært format. I en *ASCII-basert punktsky* lagres dataene som tekst, og er lett leselig for mennesker. Ulempen ved bruk av en slik punktsky er at punktene må leses inn hver for seg, som igjen gjør prosessering og bearbeiding krevende for større punktskyer. Et typisk eksempel på et ASCII-basert punktsky-format er XYZ (Esri, 2019a). Lagres punktsky-dataene i et *binært format* er punktskyen lettere å lese for en datamaskin, samtidig som det åpnes for mer egenskapsdata per punkt. Disse dataene er derimot ikke leselige for mennesker, og krever bestemt programvare for å tolke og bearbeide dem. Det mest kjente binære punktskyformatet er bransjestandarden LAS (Esri, 2019c). LAS har den fordel at punktene prosesseres som én stor entitet, og ikke enkeltvis som i en ASCII-basert punktsky. På den måten kan det etableres overordnede regler som vil gjelde for hele punktskyen, mens hvert punkt kan lagres med minst mulig informasjon (OGC, 2018).

2.3.1 Klassifisering av punktsky i LAS

En LAS-fil inneholder flere ulike egenskapsdata. Hver for seg sier disse blant annet noe om punktets plassering i X, Y og Z, tiden det er målt, samt hvilken intensitet og returpuls det er målt med. Hvert punkt tildeles også en klassifiseringskode som representerer en gruppe punktet kan plasseres i. Å dele punkter inn i slike grupper, eller klasser er nødvendig blant annet for å etablere en terrengmodell. På den måten kan man skille punkter på terrenget fra punkter over terrenget, som vegetasjon og bygninger (Kartverket, 2019b).

Klassifisering skjer som regel ved å se på returpulsens geometriske posisjon i forhold til nabopunkter. Dersom det er flere enn én returpuls kan man anta at siste retur er på terrenget (Esri, 2019b). LAS v. 1.14 gjør det mulig å dele punktene inn i 255 forskjellige klasser der 18 er forhåndsdefinerte (OGC, 2018). Ifølge FKB-Laser v.3 er det for eksempel krav om å dele alle punkter i en punktskyleveranse i fire forskjellige klasser, se Tabell 1 (Kartverket, 2019b).

Tabell 1: Klasser som påkreves ved en punktskyleveranse.

Klasse	Beskrivelse
1	Uklassifisert
2	Punkter på terrengoverflate
7	Støypunkter
17	Punkter på bru

Informasjon om et målt punkts refleksjon lagres med en verdi som angir refleksjonens intensitet. Intensitet kan defineres som forholdet mellom reflektert- og sendt lys (Esri, 2019a), og ved å se på punktenes intensitetsverdi kan man skille mellom objekter man vet gir lav refleksjon fra de med høy refleksjon (Esri, 2019a). For eksempel gir lyse flater en høyere refleksjon enn mørke flater, og intensitetsdataene kan derfor brukes for å gjenkjenne og hente ut objekter. Man kan derimot ikke forvente samme intensitetsverdi i to forskjellige datasett da dette blant annet er relativt i forhold til avstand mellom skanner og objekt (Esri, 2019a).

2.4 Nøyaktighet og kvalitet

I dette kapitlet forklares de viktigste begrepene innen statistikk og nøyaktighet som benyttes i oppgaven.

2.4.1 Nøyaktighetsbegrepet og målefeil

Nøyaktighet er et mål for en verdi sin nærhet til en sann eller antatt sann verdi. Innenfor dette fagfeltet, geomatikk, er det svært sjelden den sanne verdien er kjent, og det opereres derfor ofte med en antatt sann verdi. En antatt sann verdi bestemmes gjerne ved å observere grenseverdien, som middeltallet av mange likeverdige observasjoner går mot, ved bruk av best mulig utstyr og prosedyre. Standardavvik er en vanlig måte å beskrive begrepet *nøyaktighet*. (Kartverket, 2009)

Det skilles mellom absolutt nøyaktighet og nabonøyaktighet. Absolutt nøyaktighet beskriver nøyaktigheten i forhold til en forhåndsdefinert geodetisk referanseramme. Nabonøyaktigheten, også kalt relativ nøyaktighet, beskriver nøyaktigheten til et objekt i forhold til nærliggende objekter. Kvalitet er et mål som beskriver hvor godt et datasett oppfyller et bestemt krav. Kravet, eller det maksimalt tillatte avviket kalles toleranse.

Ved datafangst kan det oppstå ulike målefeil, det skilles mellom tre ulike typer: Grove feil, systematiske feil og tilfeldige feil. Grove feil er et ikke-tilfeldige avvik som skyldes en tabbe, instrumentsvikt eller prosedyresvikt. Også definert som verdier over 3σ . Systematisk feil er

ensidig avvik som går igjen i observasjonene etter en datafangst. Mesteparten av de systematiske feilene kan unngås ved å planlegge godt, og ved å følge anbefalte prosedyrer ved datafangst. Tilfeldige feil er avvik der man ikke kan forutsi fortegn, størrelse eller når de oppstår. (Skogseth and Norberg, 2014, s. 314).

2.4.2 Presisjon

Standardavvik er en statistisk størrelse som fordeler spredningen av et datasett rundt en sann verdi eller antatt sann verdi. Størrelsen baserer seg på at datasettet fordeles normalt. Standardavviket er en en-dimensjonal størrelse og beskriver presisjon (Skogseth and Norberg, 2014, s. 317 - 319). Standardavviket σ beregnes som følger,

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i)^2} = \sqrt{\frac{SSE}{n}} = \sqrt{Varians},$$

n er antall observasjoner i datasettet og x_i er avviket fra antatt sann verdi. I denne oppgaven opererer vi med direkte avvik, derfor må også standardavviket beregnes fra et direkte avvik. På grunn av at det ikke brukes et utvalg av observasjoner blir ingen middelvei beregnet, noe som også fører til at det ikke trekkes fra en frihetsgrad i formelens divisor.

På grunn av oppgavens natur, der man benytter usikre datasett for å generere nye datasett, må man være varsom når man benytter seg av nøyaktighetsbegrepet. Feil forplanter seg gjennom inngrep som gjøres på alle objekter med ulik nøyaktighet og kalles feilforplantningsloven. Feilforplantningen beregnes ved å ta roten av summen av kvadratene til all nøyaktighet som påvirker observasjonen (Sæterdal, 2005):

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2}$$

2.4.3 Statistiske analyser og tester

Statistiske analyser og tester baserer seg på at alle observasjoner er uavhengige slik at de ikke påvirkes av andre observasjoner i datasettet, dette gjelder også for feilforplantningen beskrevet over. For statistiske analyser av romlige fenomen skaper uavhengigheten veldig raskt problemer på grunn av den romlige avhengigheten som naturlig oppstår. Denne effekten ble beskrevet i 1970 av Waldo Tobler: «everything is related to everything else, but near things are more related than distant things» (Wikipedia, 2019). Dette fører til at blant annet signifikans-tester blir problematiske å utføre (Lloyd, 2010, kap. 3.5).

Den romlige avhengigheten, kan måles på en rekke måter, men en av de mest brukte kalles Moran's Indeks, eller Moran's I, og måler det som vi kaller romlig autokorrelasjon. Moran's I defineres slik:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2) (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij})}$$

y_i er verdiene til observasjonene i datasettet, som det er et antall n av, \bar{y} er gjennomsnittet av y_i og w_{ij} er den geografiske vekten (Lloyd, 2010, kap. 4.8).

Romlig autokorrelasjon kan enten være positiv (samling av like verdier) opp til verdien 1, negativ (samling av ulike verdier) ned til verdien -1 eller ukorrelet (tilfeldighet og uavhengighet). Verdien som indikerer at man forventer et ukorrelet datasett ligger veldig tett på 0, men defineres som:

$$E[I] = \frac{-1}{n-1}, \text{ der } n \text{ er antall observasjoner.}$$

Hvis Moran's I beregnes til en verdi som skiller seg i større grad fra forventet verdi, regnes datasettet som romlig autokorrelet (Wikipedia, 2020).

2.5 GNSS i fart

For å kunne georeferere produktet, benytter BLS seg i dag av metodene beskrevet under kapittelet 2.2, for å bestemme bilens absolutte posisjon i terrenget.

Som en del av arbeidet med slik datafangst er det derfor viktig å ha kjennskap til hvilke geodesi-systemer som er tilgjengelige, samt hvilke systemkombinasjoner som vil gi de mest pålitelige resultatene (Bahr, 2019).

Tabell 2 gir en oversikt over noen av de tilgjengelige systemene, og Tabell 3 viser noen av de aktuelle korreksjonssystemene man kan benytte seg av.

Tabell 2: Tilgjengelige satellittsystemer.

Satellittsystem	Antall satellitter	Nasjonalitet	Ukorrigert nøyaktighet
GPS	24	USA	<9 meter
GLONASS	24	Russland	<10 meter
Galileo	24+6	EU	<15 meter
BeiDou	35	Kina	<10 meter

Tabell 3: Aktuelle korreksjonssystemer til GNSS.

Korreksjonssystem	Kort beskrivelse	Korreksjonskapasitet	"Time to fix"
CPOS	Landsdekkende nettverk av bakkebaserte, statiske korreksjonsstasjoner.	Centimeter	Sekunder
PPP	Global posisjoneringstjeneste som benytter seg av nøyaktig satellittbane og klokkeverdier til å korrigere for ionofærisk støy.	Centimeter	Minutter (Sekunder)
DPOS	Landsdekkende nettverk av bakkebaserte, statiske korreksjonsstasjoner.	Desimeter	Sekunder
SBAS (foreløpig kun støtte for GPS)	Globalt dekkende nettverk av bakkebaserte, statiske korreksjonsstasjoner. Korrigerer GNSS målinger ved bruk av eksterne, geostasjonære satellitter	Desimeter	Sekunder

For å evaluere ytelsen i en slik navigasjonsløsning er det etablert noen grunnleggende kvalitetsparametere beskrevet i Tabell 4, som benyttes for å skape et helhetlig bilde til metodens pålitelighet (Bahr, 2019).

Tabell 4: Kvalitetsparametere ved GNSS-navigasjon

Kvalitetsparameter	Beskrivelse
Nøyaktighet	Hvor godt stemmer den beregnede posisjon i forhold til den sanne posisjon?
Integritet	Hvor pålitelig er det at beregningene er korrekte?
Kontinuitet	Hvilken evne har systemet til å fungere uten avbrudd i tjenesten?
Dekning	I hvilket område kan systemet levere nødvendig nøyaktighet?
Kapasitet	Hvor mange kan benytte systemet samtidig?
Tilgjengelighet	Hvor stor del av tiden kan navigasjonsløsningen gi deg nødvendig nøyaktighet, integritet og/eller kontinuitet?

Ved å teste ulike systemkombinasjoner opp mot disse kvalitetsparameterne er det foreløpig konkludert med at et satellittgrunnlag bestående av alle tilgjengelige plattformer i kombinasjon med CPOS korleksjon vil yte de beste resultatene, men det foreligger stadig utfordringer som det jobbes kontinuerlig med å løse, slik som kjøring i by-juv (urban canyons) eller i tunnel. I lengre tunneler mister man kanskje kontakten helt, og i by-juv kan nøyaktigheten falle til tosifrede meter. I tillegg kan systemet bruke noe tid på å hente seg inn igjen etter at kontakten er mistet, eller ved referansestasjonsbytte (Bahr, 2019).

2.6 Vegoppmerking

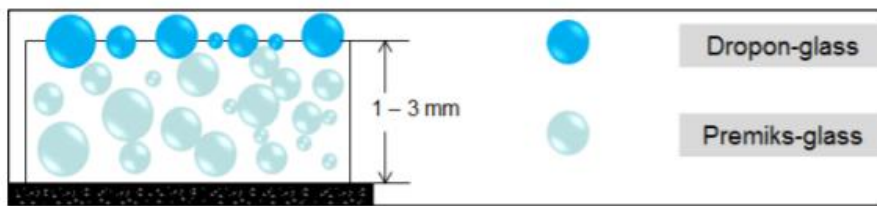
Vegoppmerking skal ifølge skiltforskriften § 21 brukes for å «lede, varsle eller regulere trafikken» (Skiltforskriften, 2005). Vegoppmerking kan også brukes som et supplement for å tydeliggjøre andre bestemmelser, for eksempel de gitt ved trafikkskilt (Skiltforskriften, 2005, § 21).

Videre ifølge skiltforskriften § 22 A, skal «langsgående oppmerking nyttes for å dele kjørebanelen i kjørefelt eller for å angi kjørebanelens ytterkant» (Skiltforskriften, 2005, § 22 A). Alle hovedveier skal ha langsgående vegoppmerking i form av kantlinjer. Unntaket er for veier med fartsgrense under 50 km/t dersom kjørebanelen er tydelig avgrenset (Vegdirektoratet, 2015, s. 12). Linjebredden på langsgående linjer bestemmes ut fra fartsgrense og kjørefeltsbredde. For eksempel skal linjebredden være 0,10 meter på veier med fartsgrense til 60 km/t eller under. På stiplet kantlinje skal linjeåpning, eller mellomrommet som separerer linjestykkene, samt linjelengde være 3 meter på veier som har fartsgrense opp til og med 90 km/t (Vegdirektoratet, 2015, s. 21-22).

For at vegoppmerking skal fungere som nevnt innledningsvis, er det viktig at den holder en tilfredsstillende synbarhet både i dagslys og i mørke (Vegdirektoratet, 2014). Dette gjøres blant annet ved bruk av farge. I hovedsak brukes hvit farge, men for å skille kjøreretninger brukes det gul farge på vegoppmerkingen (Skiltforskriften, 2005, §21 3). Ellers er synbarheten avhengig av to koeffisienter. Oppmerkingens luminanskoeffisient, eller evnen til å reflektere i overskyet dagslys eller vegbelysning, og retrorefleksjonskoeffisient som er evnen til å reflektere lys fra billykt til fører. Sistnevnte er aktuell for synbarhet i mørke (Vegdirektoratet, 2014).

For å tilfredsstille krav om synbarhet i mørke, og for å oppnå rett retrorefleksjonskoeffisient, brukes små glassperler som i hovedsak legges til ved vegmerking. Disse perlene blir liggende øverst og kalles gjerne «drop-on-perler». I termoplast, som er et mye anvendt materiale ved vegmerking, finnes det også glassperler, eller «premix-perler» som er blandet inn før

utlegging, se Figur 2. Dette fører til at retrorefleksjonen også er til stede selv om «drop-on-perlene» er slitt vekk (Skaar and Giæver, 2019, s. 55-56).



Figur 2: Viser glassperlers plassering i vegmerkingen (Skaar and Giæver, 2019, s. 63).

3 Metode

Laserdata inneholder som nevnt i teori-kapittelet en rekke egenskaper man kan utnytte for å filtrere ut relevant informasjon. Man vet at vegoppmerking generelt reflekteres sterkere enn omgivelsene, og dette gir utslag på målte intensitetsverdier i punktskyen. Samtidig er det rimelig å anta at vegen er flat, og at variasjoner i høydeverdiene derfor vil være små på vegbanen. Om det skjer plutselige byks i høyderetning vil dette tyde på at det er et skille mellom asfalt og tilstøtende vegetasjon eller kantstein. På bakgrunn av dette presenteres to metoder som søker å utnytte laserdata for oppdatering av veg-data. Metode 1 forsøker å filtrere ut all vegoppmerking på bakgrunn av de høyeste intensitetsverdier på punktene i punktskyen, for deretter å vektorisere kantlinjene. I metode 2 ønskes punktene som representerer skillet mellom asfalt og vegetasjon eller kantstein filtrert, for å produsere en vektorisering på bakgrunn av dette. Videre beskrives også en metode for å kontrollere kvaliteten på resultatet.

Innledningsvis presenteres datagrunnlaget i Tabell 5 og 6, samt hvilke programvarer som benyttes i metodene.

3.1 Datasett

Punktsky av fv. 1950 Kroksrudvegen, Sør-Odal

Tabell 5: Metadata om punktsky av fv. 1950.

Fangsttype	Bilbåren laserskanning
Utført av	Statens Vegvesen
Dato	04.06.2018
Koordinatsystem	Euref 89 UTM32, NN2000
Nøyaktighet	0,15m +/- 0,05m
Posisjonering	ETPOS
Antall punkter	50 137 756
Punkttetthet	368 pkt/m ²
Klassifisering	01, 02

Punktsky av fv. 175 Sandervegen, Sør-Odal

Tabell 6: Metadata om punktsky av fv. 175.

Fangsttype	Bilbåren laserskanning
Utført av	Terratec AS
Dato	17.09.2018
Koordinatsystem	Euref 89 UTM32, NN2000
Nøyaktighet	<= 0,05m
Posisjonering	ETPOS
Antall punkter	11 457 557
Punkttetthet	260 pkt/m ²
Klassifisering	01, 02

3.1.3 Øvrige datasett

- Elveg 2.0 for Sør-Odal Kommune
- FKB-veg for Sør-Odal Kommune

3.2 Programvare

I dette kapittelet beskrives de sentrale programvarene som benyttes for å utføre metoden.

3.2.1 FME - Feature Manipulation Engine

FME er en programvareplattform utviklet av Safe Software, og er et dataintegrasjons- og datakonverterings-verktøy for behandling og manipulasjon av data. FME-plattformen støtter mer enn 450 forskjellige formater samt applikasjoner, og brukes i hovedsak for å øke data- og arbeidsflyten – spesielt innenfor romlig data.

Hovedapplikasjonen FME Workbench fungerer etter prinsippene til ETL (Extract, Transform and Load), og tilbyr manipulasjon, modifisering, behandling samt validering av data i et grafisk grensenitt som benyttes ved en enkel og intuitiv dra- og slipp-funksjonalitet (Safe Software Inc, 2020).

3.2.2 ArcGIS Pro

ArcGIS Pro er en GIS-programvare utviklet av Esri. Med ArcGIS Pro kan man visualisere, analysere, utforske og skape geografisk data i 2D så vel som 3D (Esri, 2020).

3.2.3 LAStools

LAStools er en delvis proprietær programvarekatalog, som inneholder et rikt og allsidig bibliotek for behandling av punktskyer i forskjellige formater (Rapidlasso GmbH, 2020b).

Utviklet og etablert av Martin Isenburg (Diversified Communications, 2020), ligger hele katalogen gratis på nett, men da med forbehold om at de proprietære programmene ikke skal benyttes kommersielt (Rapidlasso GmbH, 2020c). For å sørge for at dette opprettholdes er gratisversjonen av disse programmene lagt inn med en funksjon som legger til en liten grad av hvit støy i resultatet dersom datasettet overskrider enn gitt størrelse (Rapidlasso GmbH, 2020c).

3.2.4 Lasnoise.exe

Lasnoise.exe er en del av tilbudet fra programvarepakken LAStools. Dette programmet baserer seg på brukerparametere som definerer kriterier for punkter i punktskyen som kan ansees som isolerte. Isolerte punkter kan reklassifiseres eller fjernes fra datasettet.

For å analysere datagrunnlaget etablerer lasnoise.exe et nettverk av 3x3x3 (27 celler totalt) cellemoduler som fordeles over hele arbeidsområdet. De individuelle cellenes lengde, bredde og høyde som cellemodulene skal bestå av, defineres av brukerparametere i programvaren. I

tillegg settes en verdi for hvor mange konforme nabopunkter ethvert punkt må ha for ikke å flagges som isolert (Rapidlasso GmbH, 2020a).

3.3 Metode 1 – Halvautomatisert vektorisering av kantlinjer

For å behandle punktsky benyttes programvaren FME Workbench 2019. Metoden baserer seg på å gjenskape kantlinjene langs veg ved å utnytte vegoppmerkingens refleksjonsevne, og vil derfor forsøke å filtrere ut alt annet i punktskyen enn punkter med høy intensitet.

Denne metoden består av to deler. I første del følges fremgangsmåten fra punktsky til vektoriserte kantlinjer. Dette utføres ved å filtrere punktene på intensitet, og vektorisere de gjenværende punktene til konkave former. De konkave formene erstattes med en best mulig senterlinje som skal tilsvare vegoppmerkingens posisjon og utstrekning.

I andre del behandles senterlinjene videre til man får en heltrukken linje som representerer kantlinjene. Kort gjøres dette ved å trekke en linje mellom endepunktene i de resulterende linjene fra del 1. Linjer trekkes mellom punkter etter hvilken rekkefølge de har i egenskapstabellen. Dersom punktene ligger tilfeldig plassert i tabellen, vil linjen også få et tilfeldig uttrykk. Utfordringen blir derfor at punktene sorteres slik at de er på rett side av vegen samtidig som at de har en riktig geografisk plassering relativt til hverandre.

3.3.1 Del 1 – Fra georeferert punktsky til vektoriserte kantlinjer

Georeferert punktsky lastes inn i gjeldende koordinatsystem og filtreres for alt annet enn bakkepunkt-klassifisering. Dette gjøres ved å teste etter punkter på terrengoverflaten:

classification = 2

Etter filtreringen er utført og punktskyen bare består av punkter på terrengoverflaten, kan man prøve å hente ut punktene som ligger på vegens kantlinjer ved å se på intensitet.

Filtreringsmetode – prosentandel av høyeste intensitetsverdier

Ved å hente en mengde av de høyeste intensitetsverdiene slipper man å ta hensyn til konkrete verdier når man filtrerer, dette er en fordel fordi ulike datasett over samme område kan ha varierende intensitetsverdier på samme objekt på grunn av avstand fra skanneren eller intensitetssegenskapens bit-størrelse. Først sorteres punktene i synkende rekkefølge basert på intensitetssegenskapen. For å kunne hente ut en prosentandel av punktene må det totale antallet punkter i punktskyen, samt ønsket prosentandel, være kjent. Alle de sorterte punktene telles

opp og det totale antallet punkter lagres i egenskapen *_num_points*. Størrelsen på prosentandelen som skal hentes ut vil variere ettersom hvor tett punktskyen er. Definerer man en høy prosent, får man med mye av den aktuelle dataen, men står i fare for å dra med seg mye støy i tillegg. Definerer man en lav verdi får man med mindre støy, men kan ende opp med å filtrere vekk verdifulle punkter. Prosentandelen defineres som desimaltall og utnyttes når verdien til komponenten *_MaxPunkter* beregnes. *_MaxPunkter* beskriver antallet punkter som skal slippe igjennom filtreringen og beregnes som følger:

$$\textit{_MaxPunkter} = \textit{_num_points} * \textit{prosentverdi}$$

For at filtreringen skal ha kontroll på antall punkter som slipper igjennom, utnyttes den interne indekseringen av punktene i punktskyen. Indekseringen avdekkes og legges til som komponenten *_index*. Punktskyen er fra tidligere i prosessen sortert synkende etter intensitet, noe som resulterer i at punktene med høyest intensitetsverdi blir angitt den laveste indekseringen. Filtreringen kalkulerer for hvert punkt *p* som følger:

$$p_{\textit{index}} \leq \textit{_MaksPunkter}$$

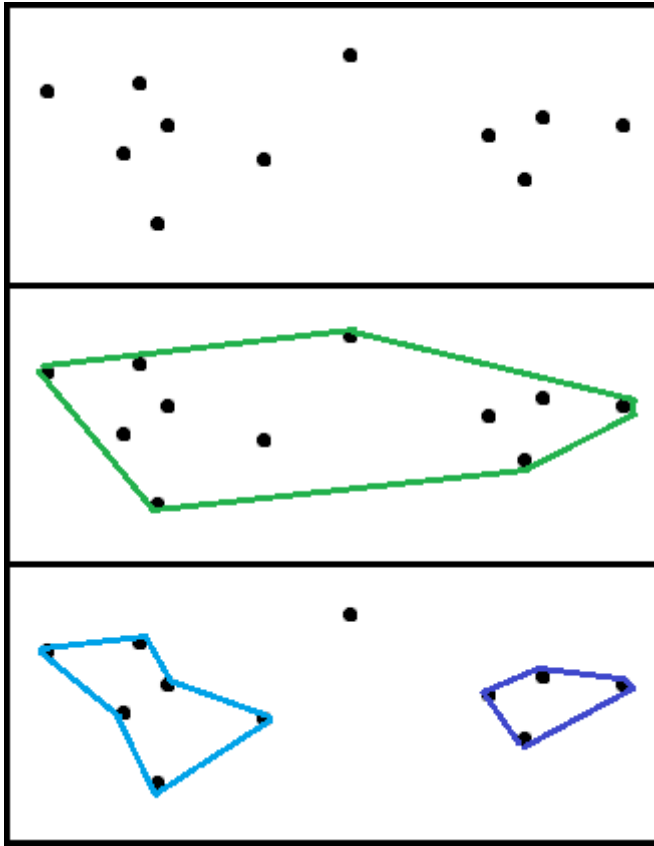
Den resulterende punktskyen består av et antall punkter lik verdien til *_MaksPunkter*, med de aller høyeste intensitetsverdiene. Optimalt består den bare av punkter på vegoppmerking, men støy vil forekomme, særlig hvis prosentverdien er definert for høyt.

Vektorisering, konkave omhyll og senterlinjer

I tilfelle det ligger objekter med høy intensitet langs vegen kan de gjenværende punktene sendes inn i støyfilteret LASnoise, for å fjerne så mye støypunkter som mulig før vektorisering. Alle resultater blir utført både med og uten støyfilteret.

Punktskyen i sin helhet oppfører seg som én enhet, og en omhylling i dette stadiet ville resultert i en polygon tilsvarende punktskyens utstrekning. For å hindre dette kreves en vektorisering av hvert enkelt punkt. På de vektoriserte punktene gjøres en konkav omhylling med brukerstyrt alfa-verdi. Omhyllingen trekker linjer rundt datasettets punkter. Alfa-verdien snevrer inn søkedistansen til punkter i transformasjonen, se Figur 3. Punkter som ligger en bestemt lengde unna andre punkter anses som ensomme og kuttet fra polygonen. Alfa-verdien kan fritt

defineres, men på grunn av varierende kvalitet på vegoppmerkingen er det viktig å ikke definere den for lavt. Dette er for å hindre at punkter på utslitte hvitstriper kuttes helt bort.

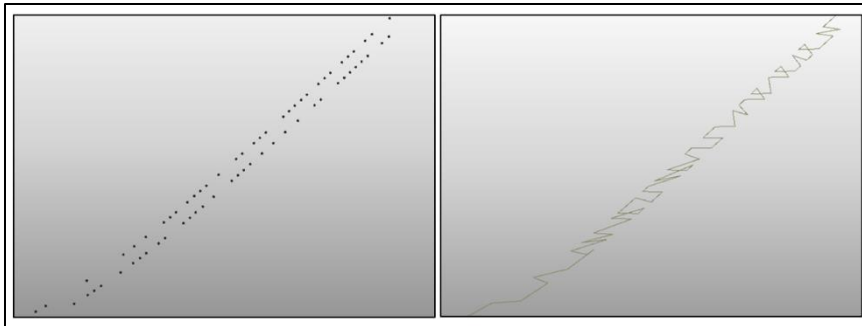


Figur 3: Over: Punktsky. Midten: Konveks omhyll av punktsky. Under: Konveks omhyll med alfa-verdi. Alfa-verdien er definert for lavt til at mengden kobles sammen til en polygon, i tillegg går man glipp av ett punkt.

Resultatet av omhyllingen er polygoner som omkranser alle samlinger av punkter i datasettet. Disse vil optimalt sett tilsvare omtrent formen og posisjonen til den langsgående vegoppmerkingen. Polygonene transformeres videre ved å erstatte hele formen med en omtrentlig senterlinje. De definerte linjene tilsvareer vegoppmerkingen i dette stadiet, og er nå klargjort til videre behandling slik at kontinuerlige kantlinjer kan opprettes.

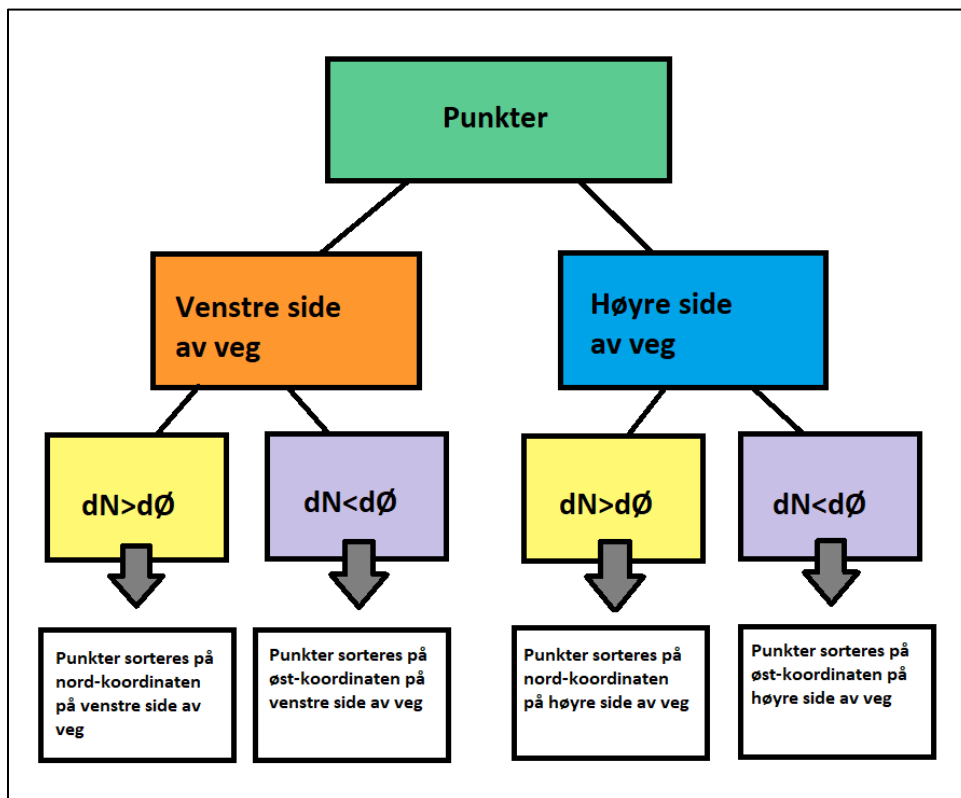
3.3.2 Del 2 – Etablering av sammenhengende kantlinjer

I denne delen presenteres en metode for å koble sammen de resulterende kantlinjene fra del 1. Figur 4 viser hvordan FME trekker en linje mellom endepunkter basert på punktenes plassering i egenskapstabellen. I bildet til venstre gir punktene en klar indikasjon på hvor kantlinjene skal gå, og en manuell oppretting av disse linjene ville ikke vært et problem. I bildet til høyre ser man utfordringen når dette skal skje automatisk. Punktene er tilsynelatende tilfeldig plassert i egenskapstabellen og det etableres linjer som ikke representerer kantlinjene.



Figur 4: Illustrasjonene over viser hvordan linje trekkes automatisk mellom punkter slik de dukker opp i egenskapstabellen.

Videre beskrives en måte som sorterer punktene i egenskapstabellen slik at en automatisk trukket linje blir slik som ønsket. I tillegg til de vektoriserte kantlinjene fra del 1, trengs også en godt stedfestet senterlinje.



Figur 5: Flytdiagrammet viser hvordan det bestemmes om punktene sorteres i nord- eller østretning

Metoden starter med å klargjøre grunnlagsdataene. Endepunkter fra kantlinjene i del 1 deles i enten høyre eller venstre side av senterlinjen, og klippes mot delstrekninger basert på senterlinje for angitt veg. Når endepunktene tilhører en delstrekning på gitt side, er det lettere å anslå om punktene skal sorteres i nord- eller østretning. Figur 5 viser denne prosessen. Etter riktig sortering kan linjer trekkes mellom punktene. Følgende gis en detaljert beskrivelse av denne prosessen.

Klargjøring av grunnlagsdata

Ved veger der kantlinjene er heltrukne vil endepunktene ligge langt fra hverandre. For å sikre en tilfredsstillende sortering ønskes endepunkter som ligger maks 3 meter fra hverandre. Kantlinjene deles derfor opp i linjer på maks 3 meter.

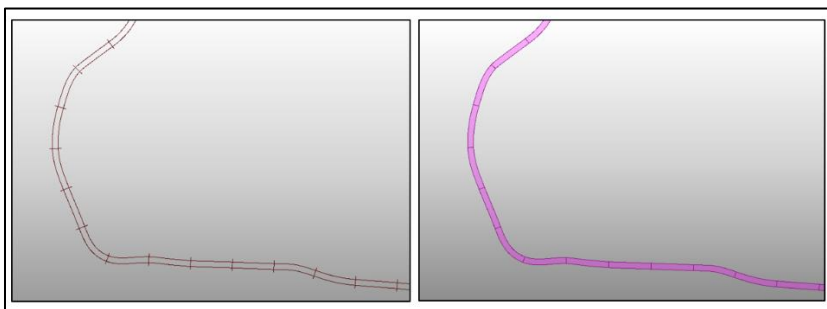
Etablering av delstrekninger

Delstrekningene spiller en viktig rolle i hvordan punktene skal sorteres. Punktene skal få tildelt en delstrekning der man videre ser på den generelle retningen – enten øst-vest eller nord-sør. På den måten kan man sortere punktene enten på nord- eller øst-koordinaten. Følgende presenteres hvordan delstrekningene etableres.

Senterlinjen deles opp i like lange deler. En veg med store endringer i generell retning krever mindre delstrekninger for en sikrere sortering.

Vegbredden benyttes for å etablere en generell bufferdistanse. Bufferdistansen er rundet opp til nærmeste hele meter fra den estimerte vegbredden. Videre gjøres en buffer på senterlinjen på gitt bufferdistanse. Dermed etableres en buffer dobbelt så bred som vegen for å sørge for at all data som skal med kommer innenfor buffersonen.

Det opprettes normaler på høyre og venstre side av senterlinjen. Disse går ut fra der senterlinjen ble delt tidligere. Normalenes lengde blir satt til 2 x angitt bufferdistanse. Disse skjæres med bufferen for å opprette delstrekninger. Arealer etableres på bakgrunn av denne oppdelingen (se Figur 6).



Figur 6: Illustrasjonen viser hvordan delstrekninger etableres basert på normaler og buffer fra senterlinje.

Avslutningsvis hentes det ut koordinater for grenseverdiene for hver delstrekning, også kalt *bounding box*. Disse brukes til å beregne den dominerende utstrekningens retningen i nord og øst. På et senere steg skal dette avgjøre hvilken sortering punktene får.

Punkter basert på genererte kantlinjer

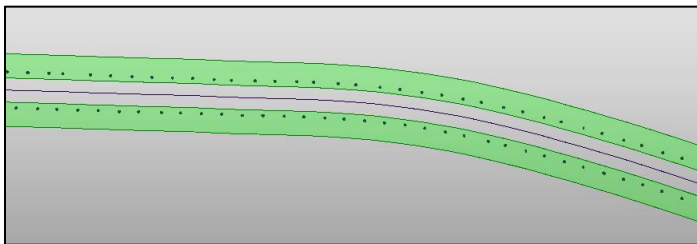
I dette steget skal kantlinjene erstattes med punkter som senere blir knekkpunkter i den heltrukne ferdige linjen.

Koordinater for endepunkter hentes ut for alle linjer fra del 1, og lagres i egenskapstabellen. Disse brukes til å gjøre om linjene til enkeltpunkter. Linjestykker under 1 meter filtreres ut og erstattes av et enkeltpunkt basert på koordinatene i ett av endepunktene.

Sortering av data

I dette steget sorteres alle punktene i ønsket rekkefølge slik at det kan trekkes en linje mellom punktene som representerer kantlinjen.

Prosedyren starter med å lage to nye linjer på hver side av senterlinjen som representerer vegkanten. De to nye linjene på venstre og høyre side av senterlinjene, gis en buffer (Figur 7). De genererte kantlinjene er forventet å ligge innenfor enten høyre eller venstre buffersone.



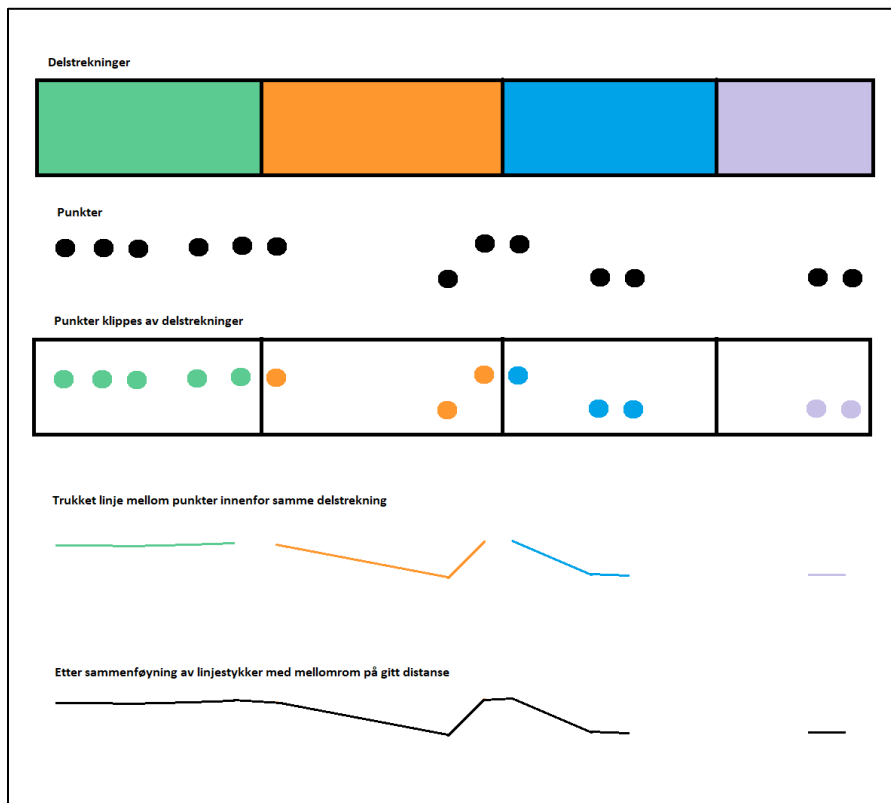
Figur 7: Illustrasjonen viser hvordan punktene sorteres i hver sin side av veg. Buffersone i grønn farge.

Alle punktene klippes mot buffersonene slik at punktene blir sortert inn i riktig side. Deretter klippes punktene mot delstrekningene.

Det hentes ut og lagres endelige grunnriss-koordinater for hvert punkt som skal brukes i den geografiske sorteringen. Før sortering kan gjennomføres er det viktig å vite om punktene skal sorteres på nord- eller øst-koordinaten. Dette gjøres ved å teste hvilken utstrekning som er størst. Er utstrekningen størst i nord-retning er det rimelig å anta at det er trygt å sortere punktene i denne delstrekningen etter nord-koordinaten. Det motsatte gjelder dersom utstrekningen i øst-retningen er størst.

Nye linjer trekkes

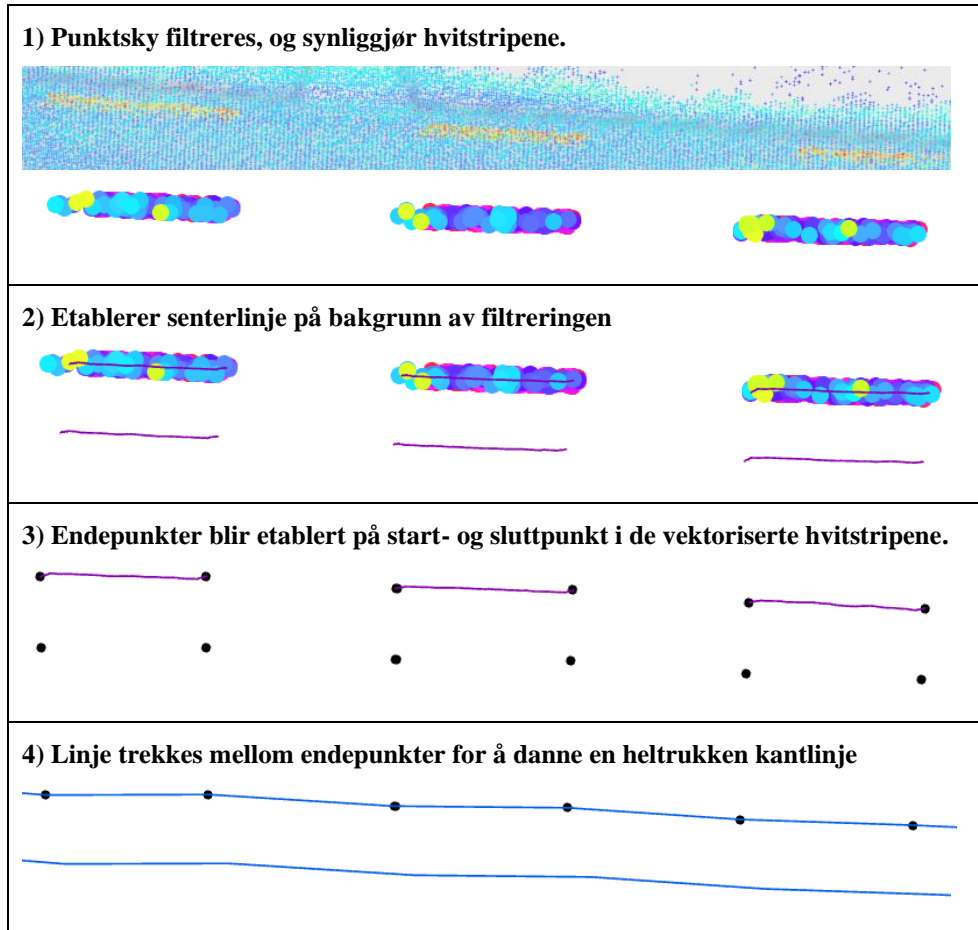
På bakgrunn av sorteringen, trekkes en linje mellom nabopunkter innad i delstrekningene. Dette gjør imidlertid at det ikke blir trukket linje mellom punkter med ulik delstrekning. For å løse dette sammenføres linjestykker som er innenfor en gitt distanse fra hverandre. Figur 8 illustrerer dette.



Figur 8: Sammendrag av hvordan punkter klippes etter delstrekninger, og nye linjer trekkes på bakgrunn av sortering.

3.3.3 Sammendrag metode 1

I dette kapitlet ble det utvikle en metode som automatisk henter ut og vektoriserer kantlinjer fra punktsky. Figur 9 viser hovedtrekk i denne prosessen.



Figur 9: Forenklet visualisering av metode 1.

3.4 Metode 2 – Ekstraksjon av vegdekkekant basert på senterlinje

En vesentlig del av vegkroppens oppbygning baserer seg på den asfalterte overflaten som avgrenses ved den tekniske beskrivelsen vegdekkekant. Å etablere en metode som tar utgangspunkt i en punktsky, for å automatisk generere et vektorisert grunnlag som beskriver dette vegobjektet kan derfor være av stor nytteverdi. Dette presiseres i den interne rapporten «Økt nytte av spor-og jevnhetsdata» (Statens Vegvesen, 2017)

Denne prosessen kan deles inn i to hoveddeler:

1. Behandle punktskyen slik at punkter som varierer for mye i høyde til å kunne kategoriseres som asfaltert veg siles ut, og på den måten etablere et datasett hvor punktene beskriver asfaltkantens endepunkter.
2. Bruke resulterende datasett fra den første fasen til å generere vektorisert geometri som i utgangspunktet skal beskrive asfaltkanten- eller vegdekkekant/vegskulderkant.

3.4.1 Del 1: Behandling av punktsky i LAStools/lasnoise.exe

Den første delen av prosessen er todelt, og gjennomføres ved å bearbeide en klassifisert punktsky i programmet lasnoise.exe.

Første utsilingsfase

Under første utsilingsfase behandles datasettet på en måte som sørger for å sile ut mesteparten av punktene som avviker fra en konform overflatestruktur i høyde. De utsilte punktene klassifiseres som 3 - "lav vegetasjon" i resultatfilen.

Andre utsilingsfase

Andre utsilingsfase går ut på å behandle resultatet fra første utsilingsfase. Hensikten med prosedyren er å sile ut punkter som ligger på vegen.

I første utsilingsfase gjennomgår punktskya en ganske aggressiv sileprosess. Dette fører til at noen av punktene som markeres som lav vegetasjon egentlig ligger i vegen. Disse punktene vil i hovedsak ligge med en høyere spredning i grunnriss, enn punktene som er interessante for resultatet. Ved å isolere punkter som skiller seg ut fra resten av strukturen i grunnrisset kan dermed noen av disse punktene siles ut, og klassifiseres som 7 - "støy".

3.4.2 Del 2: Vektorisering

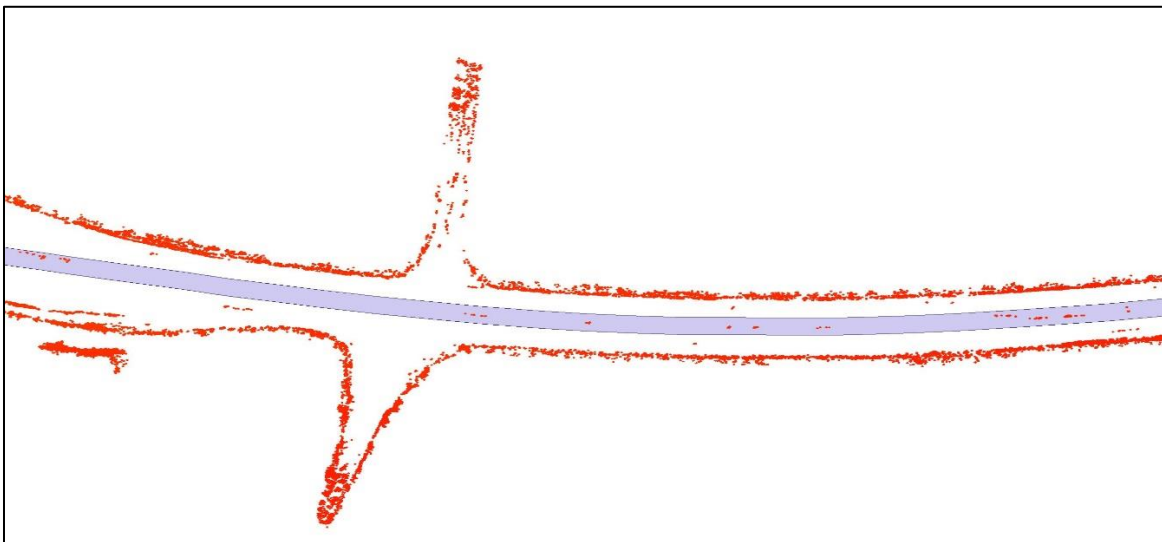
Vektoriseringen av datagrunnlagene, produsert fra første del i denne prosessen, gjennomføres i programmet FME Workbench 2019. Denne metoden deler den prosesserte punktskyen i to langs vegens senterlinje, for så å generere polygoner rundt begge delene. Denne formen skal beskrive den asfalterte overflaten i prosjektområdet, basert på egenskapene i den benyttede punktskyen.

Herunder beskrives metoden i detaljert, trinnvist format:

Forberedende bearbeiding av punktsky

For å klargjøre punktskyen til videre behandling, går den igjennom fire behandlingsfaser:

1. Punktskyen som skal behandles i prosessen består av punkter i to klassifikasjoner. 3 - "Lav vegetasjon", og 7 - "Støy". For denne prosedyren er kun punktene med klassifikasjon 3 interessante. Punktskyen separeres derfor basert på klassifikasjon, slik at støypunktene fjernes, før videre prosessering.
2. Det legges en buffer på senterlinjen med avstand 1 meter i hver retning, og punktene som ligger på innsiden av denne formen klippes bort. Se Figur 10.



Figur 10: Figur viser en buffer i blått rundt senterlinjen med hensikt å fjerne punkter midt i vegen. Punkter i rødt illustrerer punktene med klassifisering 3.

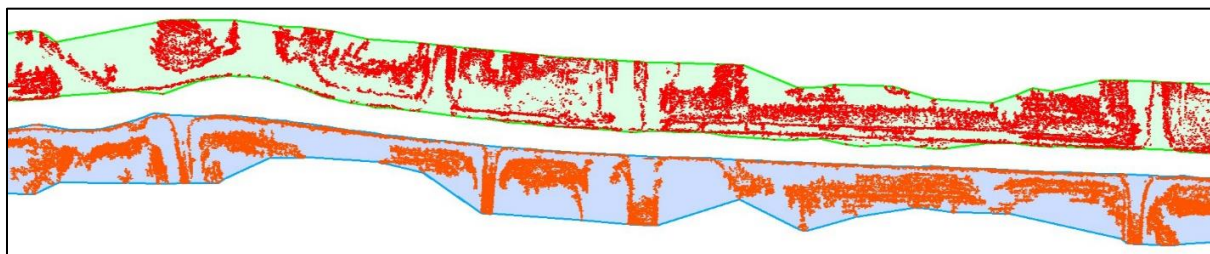
3. For at FME skal kunne beregne en polygon rundt en kompleks form, må denne formen forholde seg til et vektorbasert format. Punktskyen konverteres derfor til et format som definerer punktene i skystrukturen som vektorenheter.

4. Som siste del av forberedende bearbeiding, deles punkttskyen i to deler. Til denne prosedyren benyttes senterlinjen til å etablere utklippsoner på hver side av vegen. I FME krever prosessen fire steg:

- 1) Senterlinjen parallellforskyves i begge retninger. 20 meter settes i dette tilfellet som en generisk verdi for å sørge for at hele vegkroppen blir med i beregningene.
- 2) Det opprettes topologiske former for hver side av vegen ved å koble linjene sammen med senterlinjen ved linjelenkenes endepunkter.
- 3) For å kunne benytte disse formene videre i prosessen må de behandles som separate geometriske enheter. Dette oppnås ved å kalkulere arealet for hver av formene, og på den måten opprette en topologisk korrekt polygon for hver side.
- 4) Punkttskyen deles i to, basert på disse polygonene.

Vektorproduksjon

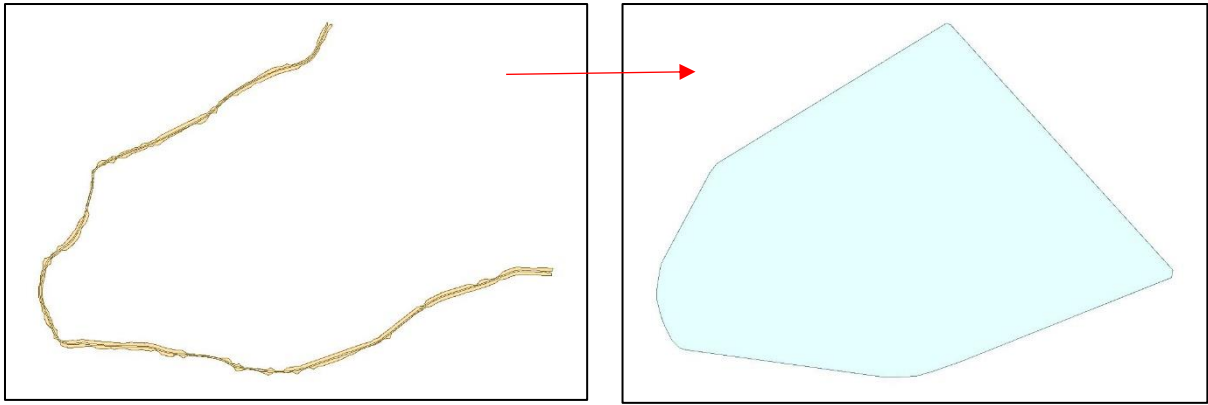
Vektoriseringen av punkttskyen starter med å opprette et omhyll rundt skystrukturene. Under denne prosessen er det viktig at det opprettes en fullstendig, og lukket polygon rundt begge sider av vegen. Figur 11 viser et utsnitt av prosessen så langt.



Figur 11: Områdene rundt vegkroppen er delt i to polygoner. Vegen skal tilsvare det tomme rommet mellom polygonene.

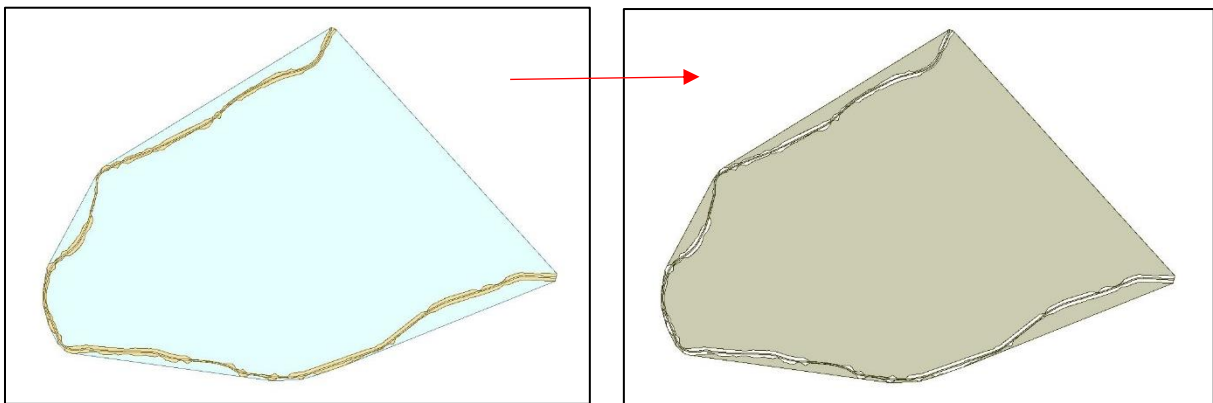
De resulterende polygonene benyttes videre i en todelt prosess:

1. Det beregnes et konvekst omriss basert på polygonenes sammenslåtte geometriske utstrekning. Figur 12 illustrerer denne prosessen.



Figur 12: Konvekst omriss av utstrekning

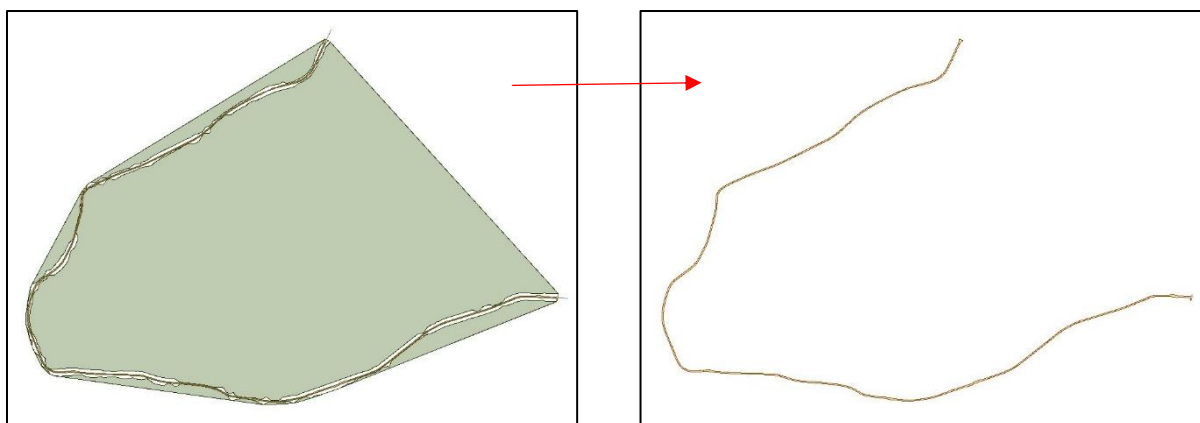
2. Polygonene brukes så som en stensil mot dette omrisset, slik at det skapes en ny polygon som beskriver området mellom disse formene. Figur 13 illustrerer denne prosessen.



Figur 13: Polygoner klippes ut av omrisset

Fra denne prosessen opprettes polygonen som beskriver vegkroppen, men ettersom prosessen baserer seg på å klippe ut to mindre polygoner fra et stort, vil det også følge med annen geometri som må fjernes fra det endelige produktet. Det foreløpige resultatet løses opp til individuelle enheter for å kunne skille ut vegkroppen som et selvstendig objekt.

Polygonen som beskriver vegkroppen separeres fra resten av strukturen ved hjelp av en topologisk spørring, som filtrerer ut all geometri som ikke deler et krysningspunkt med senterlinjen. Se Figur 14 for en illustrasjon.



Figur 14: Med en topologisk spørring filtreres vekk all geometri som ikke deler skjæringspunkt med senterlinje. Geometritypen endres fra polygon til linjestructur, og kan skrives ut i ønsket vektor-format.

3.5 Kvalitetskontroll

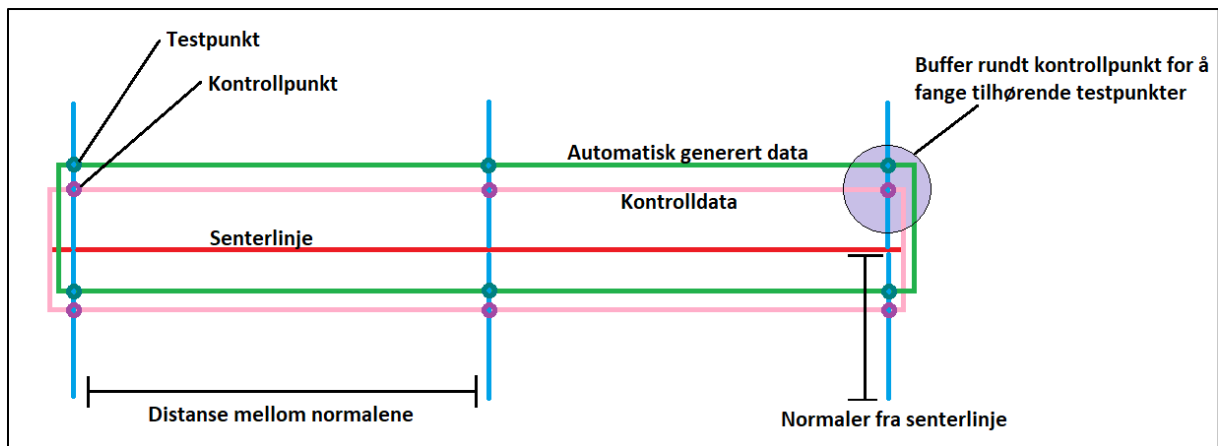
For å se på hvilken kvalitet som kan oppnås ved bruk av metodene er det utviklet en egen metode for dette. Kvalitetskontrollen definerer et antall punkter med gitt mellomrom i de genererte dataene, og sammenligner disse med tilhørende nabopunkter i en «fasit». Med andre ord er det ønskelig å se på den eventuelle distansen mellom test- og kontrollpunkt som er ment å ha samme geografiske plassering.

Deretter bruker vi Microsoft Excel til å finne ut hvor mange av de genererte punktene som ligger innenfor en gitt toleranseverdi. For å gjennomføre kvalitetskontrollen benyttes en senterlinje, generert data og et referansegrunnlag som brukes som fasit.

Her følger en detaljert beskrivelse av metoden:

Senterlinjen brukes til å lage normaler på hver side av vegen. Mellomrommet mellom normalene bestemmes av hvor tett man ønsker å kontrollere resultatet. For eksempel dersom man angir 10 meter mellom hver normal, ønsker man å se på hvordan de automatisk genererte dataene forholder seg til referansegrunnlaget for hver tiende meter.

Data splittes, og koordinater hentes ut i skjæringspunktene mellom normalene, de genererte dataene og referansegrunnlaget. Skjæringspunktene på referansegrunnlaget defineres som «kontrollpunkter», og skjæringspunktene på de genererte dataene defineres som «testpunkter». Kontrollpunktene gis en identifikasjon, bufres og legges over testpunktene. På den måten «fanger» kontrollpunktet tilhørende testpunkt som arver identifikasjonen til kontrollpunktet. Figur 15 illustrerer dette.



Figur 15: Kontrollmetodens elementer

Etter endt prosess opprettes et sett kontrollpunkter med tilhørende testpunkter og deres koordinater. Datasettet fra kontrollmetoden brukes videre til produksjon av nøkkelverdier som kan si noe om kvaliteten i de genererte dataene.

4 Resultat

I metodekapittelet ble to ulike metoder for bruk av punktsky beskrevet. Den første metoden vektoriserte vegens kantlinjer. Ved å se på punkter med høy intensitet ble omhyll av kantlinjene gjenskapt og deretter erstattet med endepunkter som man kunne trekke linjer mellom. I den andre metoden ble vegkroppens vegdekkekant vektorisert ved å filtrere punktskyen på en måte som eksponerte små endringer i høydestrukturen.

Dette kapittelet presenterer resultater fra metode 1 og 2 i hovedsak i form av tabeller og figurer. Diskusjonen av resultatene for begge metoder avvantes til kapittel 5.

4.1 Resultat av metode 1 - Halvautomatisert vektorisering av kantlinjer

I metode 1 er det undersøkt om det finnes en generell løsning for å hente ut punkter med intensitet som bare representerer kantlinjene. Resultatene baserer seg på tre forskjellige verdier for å filtrere punktskyen. Effekten av å benytte et støyfilter som del av metoden blir også belyst. Fordeler og ulemper med bruk av de ulike filtreringsverdiene diskuteres i kapittel 5.1.

De aktuelle filtreringsverdiene som presenteres er 0,5%, 0,375% og 0,25%. Det antas på den ene siden at 0,5% vil resultere i best dekning av vegoppmerkingen, men at en slik filtrering også vil gi mye støy utenom vegoppmerking. På den andre side vil 0,25% trolig sile ut mesteparten av støyen, men dette vil gå på bekostning av at en del vegoppmerking som deler intensitetsverdi med noe av omgivelsene går tapt.

I dette kapittelet vektlegges resultatet fra 0,5%, da denne filtreringsgraden tydeligst visualiserer en del problematikk som oppstår. Resultat for 0,375% og 0,25% ligger i Vedlegg I A og B.

Metoden er gjennomført på to ulike punktskyer: fylkesveg 1950 (Figur 16-19 og Tabell 9) og fylkesveg 175 (Figur 20-23 og Tabell 10). Utenom prosesseringstiden i Tabell 7 presenteres resultatene fra begge datasettene individuelt. Prosesseringstiden er tatt fra prosessen uten støyfilter.

Tabell 7: Prosesseringstid for metode 1, gitt i sekunder.

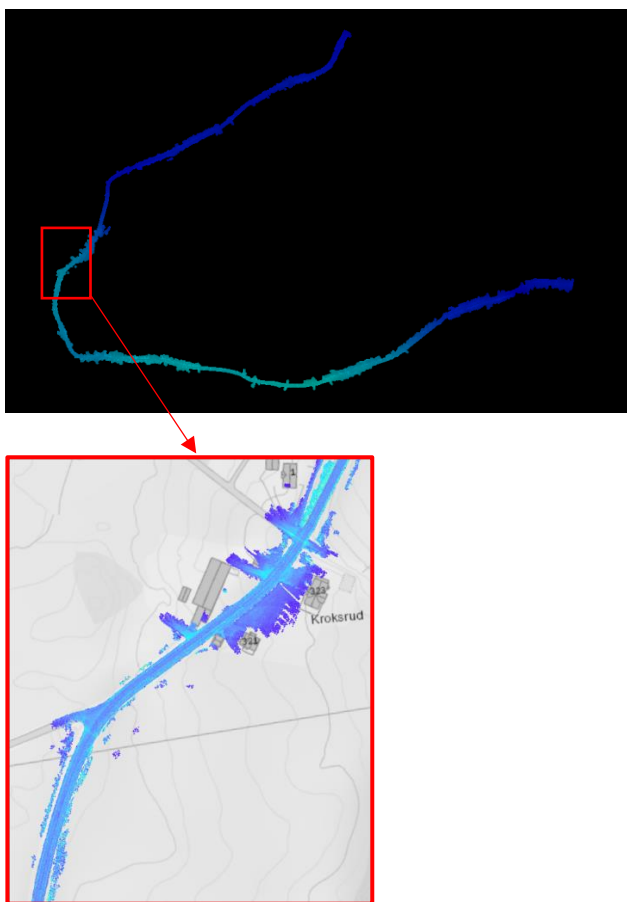
Datasett	Prosesseringstid [s]		
	Del 1 - Kantlinjer	Del 2 - Heltrukken linje	Total tid
Kroksrudvegen 0,5	560	26	586
Sandervegen 0,5	323	5	328

For alle figurer fra presentasjonsområdet i kapittel 4.1.1 og 4.1.2 gjelder følgende:

Tabell 8: Oversikt over metadata for visualisering av resultat metode 1.

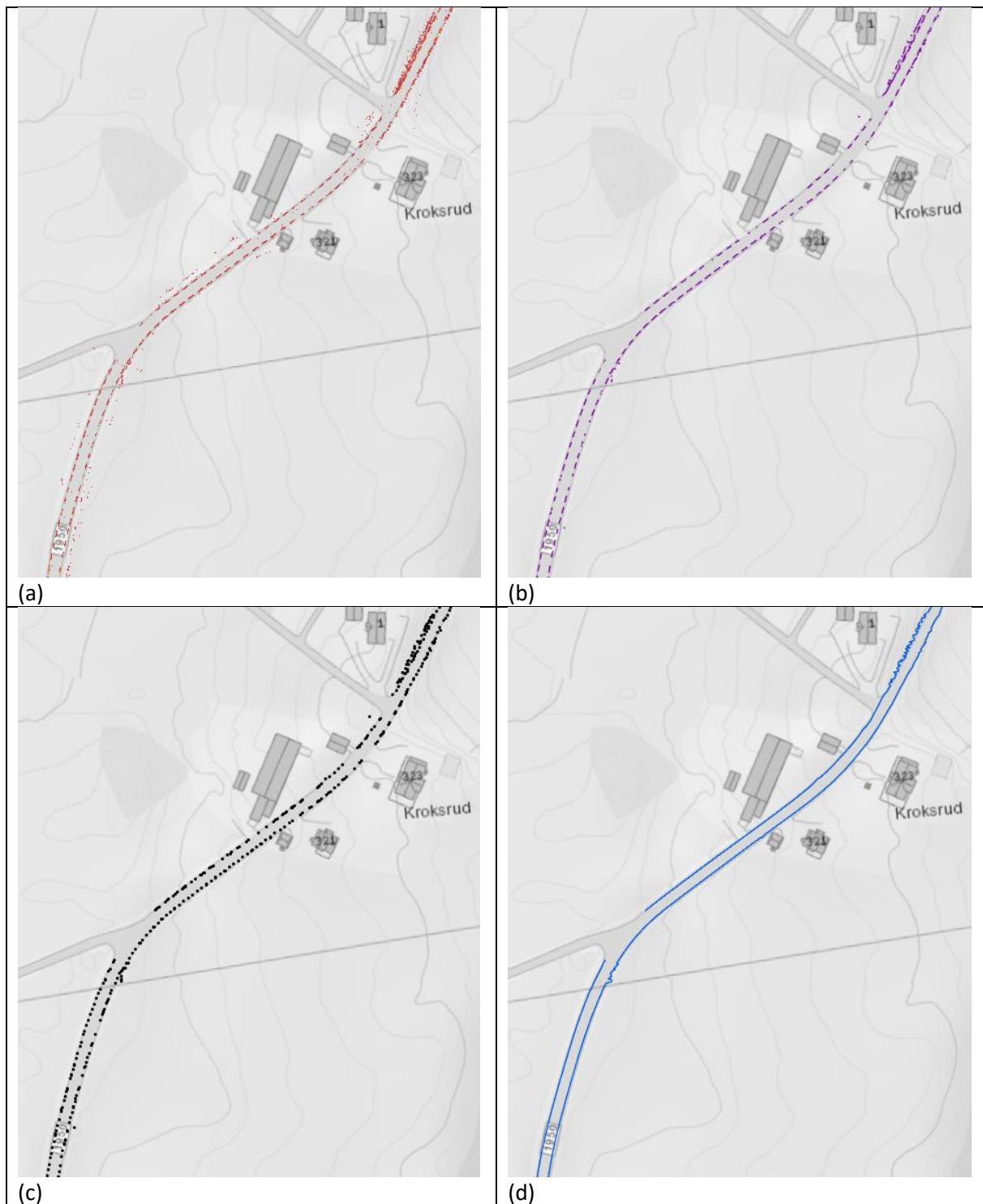
Nord-retning	Opp
Målestokk	1:2000
Koordinatsystem	Euref89 UTM32

4.1.1 Fylkesveg 1950 – «Kroksrudvegen»



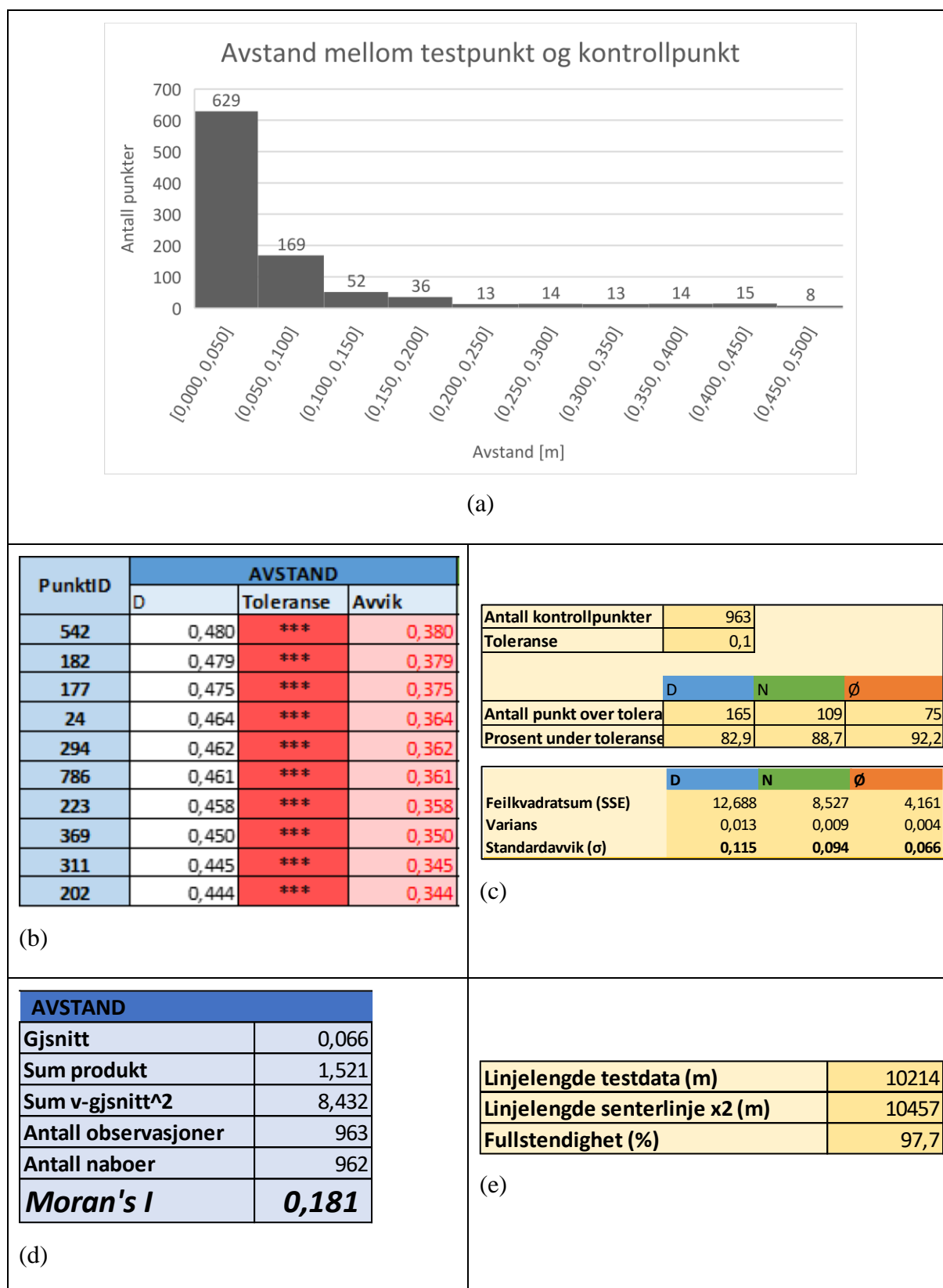
Figur 16: Over: punktskyen av fv. 1950 i sin helhet med markør som lokaliserer presentasjonsområde. Under: presentasjonsområde som brukes for figurer fra denne vegen.

Resultat av vektorisering



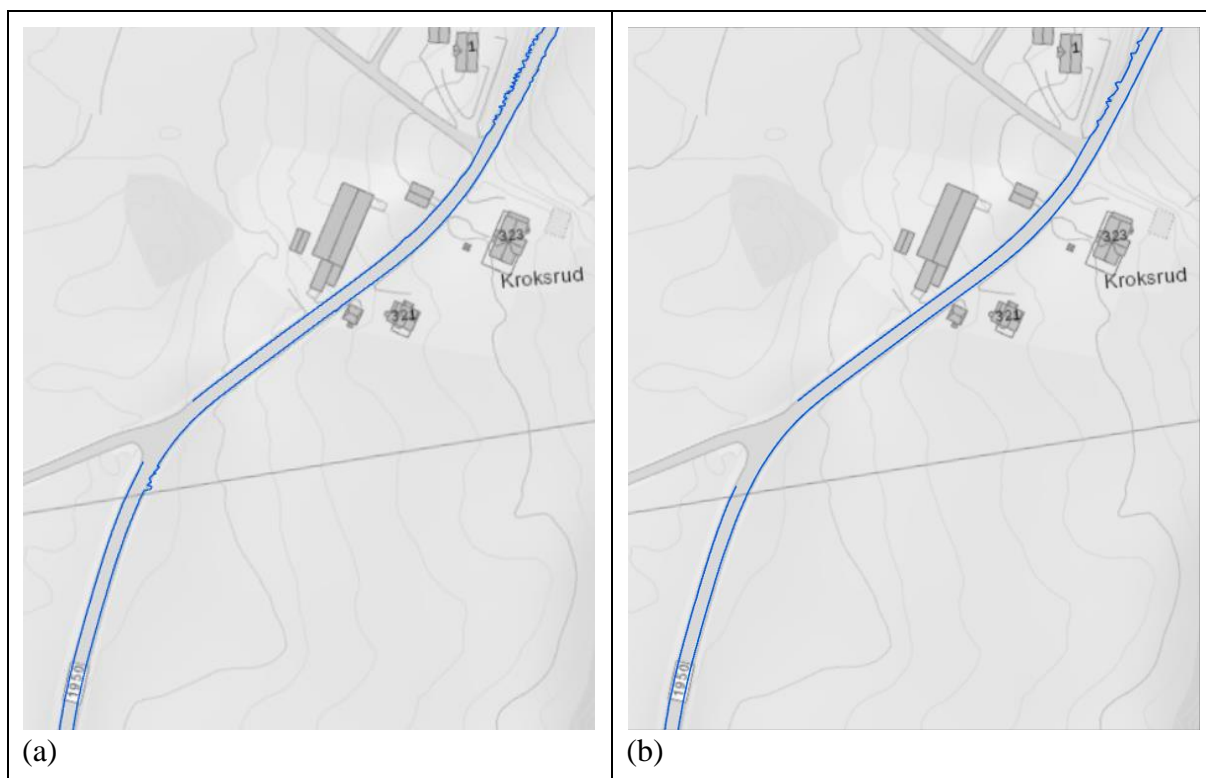
Figur 17: Resultatmatrise som viser gangen i metoden. (a) punktsky etter den er filtrert for 0,5% høyeste intensitetsverdier. (b) vektoriserte kantlinjer. (c) opprettede endepunkter basert på resultatet i (b). (d) resultatet av å trekke linjer mellom endepunktene.

Resultat av kontroll



Figur 18: Resultatmatrise fra kontroll av fv. 1950 0,5%. (a) Histogram over avstanden mellom test- og kontrollpunkter. (b) 10 dårligste testpunkter basert på avstand til kontrollpunkt sortert synkende. (c) Sammendrag for toleransekontroll og standardavviket som er beregnet. D gjelder for distanse, N for nord-retning og Ø for øst-retning. (d) Autokorrelasjonen i testpunktene. (e) Resultatets fullstendighet.

Resultat ved bruk av støyfilter



Figur 19: (a) 0,5%-filtrering uten bruk av støyfilter. (b) resultat etter bruk av støyfilter.

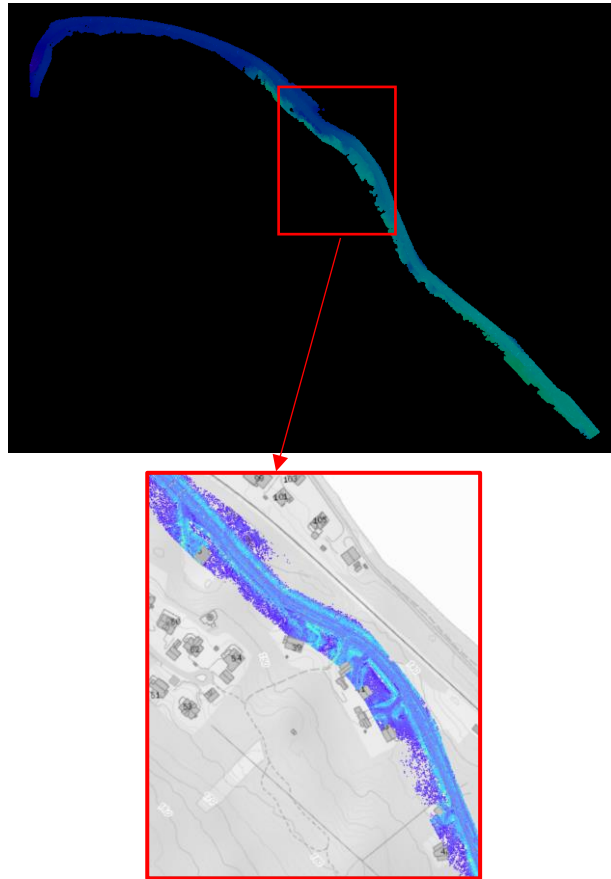
Sammendrag av kontrollresultat

Tabell 9 viser et sammendrag av kontrollresultatet. Resultatene for 0,375% og 0,25% er også presentert for disse nøkkeltallene.

Tabell 9: Sammendrag av kontrollresultatet fra fv. 1950 for tre ulike filtreringsverdier, med og uten støyfilter. DIFF er differansen mellom det støyfiltrerte og ikke-støyfiltrerte resultatet.

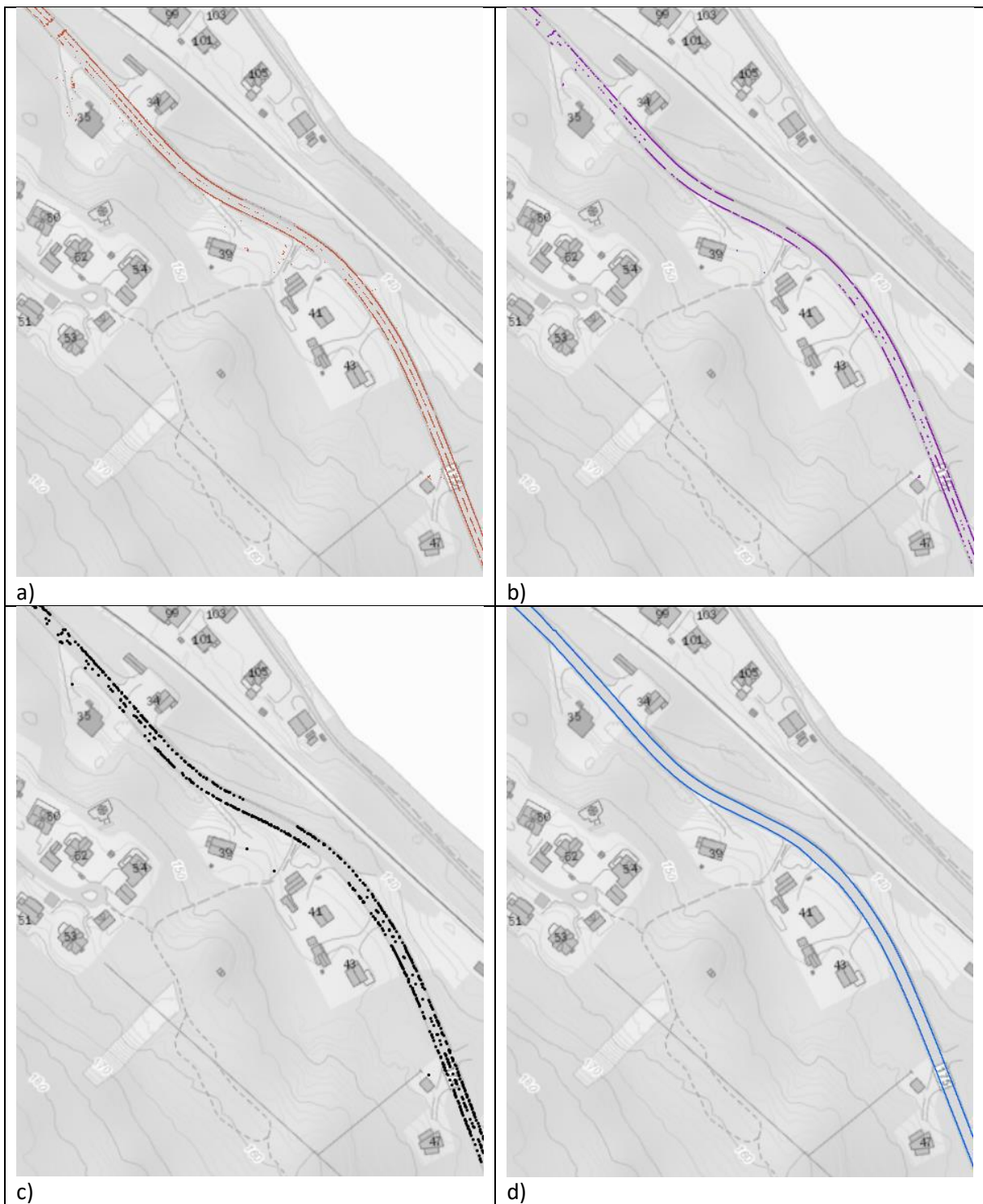
Fylkesveg 1950 - "Kroksrudvegen"		Kontrollpunkt	Antall over toleranse	% under toleranse	Fullstendighet (%)	Standardavvik
0,500 %	UTEN	963	165	82,90 %	97,70 %	0,115
	MED	950	106	88,80 %	92,40 %	0,086
	DIFF	13	59	-5,90 %	5,30 %	0,029
0,375 %	UTEN	927	116	87,50 %	91,80 %	0,091
	MED	872	97	88,90 %	84,20 %	0,084
	DIFF	55	19	-1,40 %	7,60 %	0,007
0,250 %	UTEN	731	107	85,40 %	73,90 %	0,094
	MED	607	90	85,20 %	59,60 %	0,103
	DIFF	124	17	0,20 %	14,30 %	-0,009

4.1.2 Fylkesveg 175 – «Sandervegen»



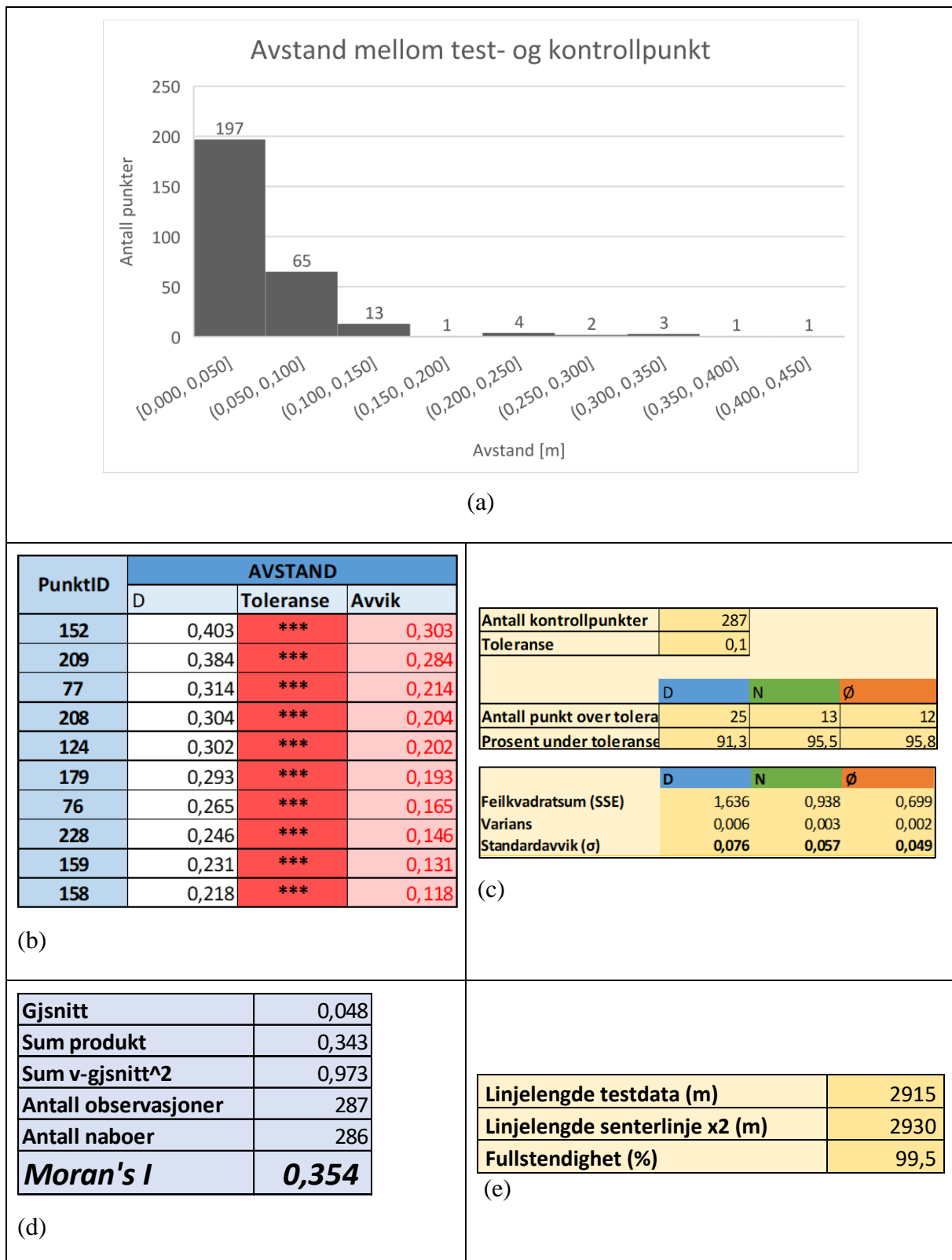
Figur 20: Over: punktskyen av fv. 175 i sin helhet med markør som lokaliserer presentasjonsområde. Under: presentasjonsområde som brukes for figurer fra denne vegen.

Resultat av vektorisering



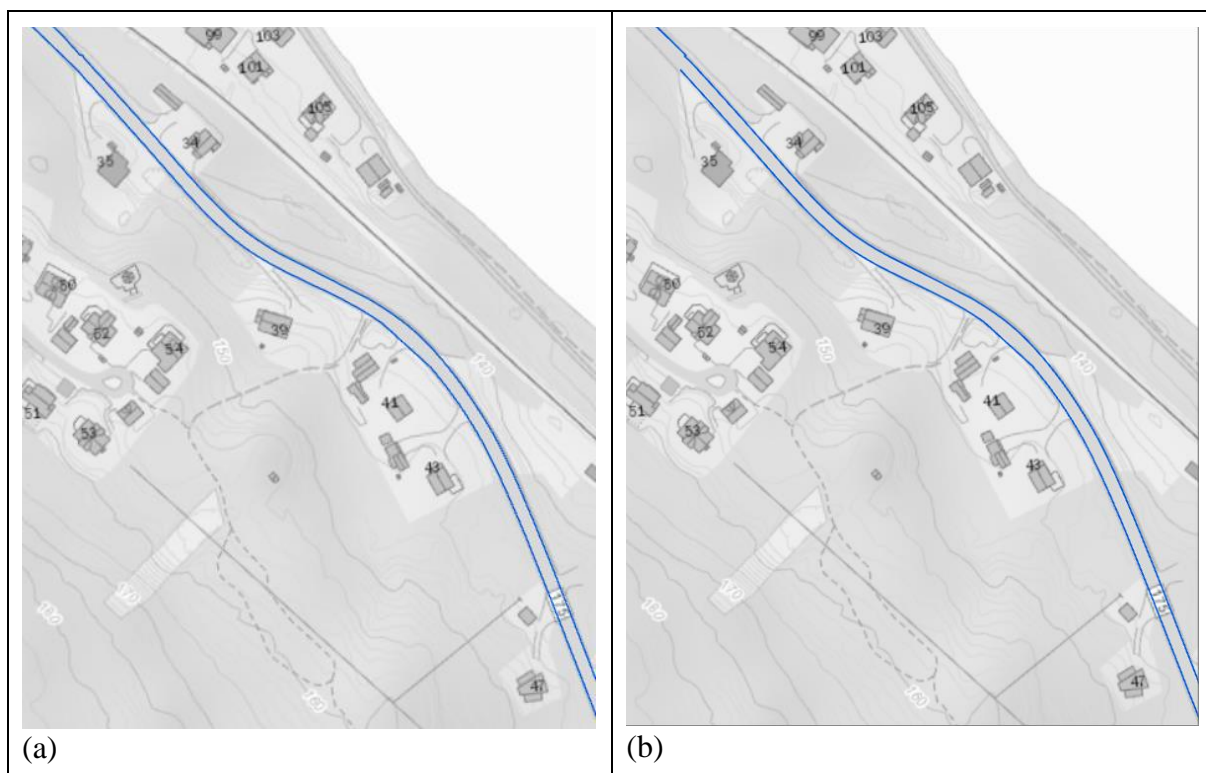
Figur 21: Resultatmatrise som viser steg i metoden. (a) punktsky etter den er filtrert for 0,5% høyeste intensitetsverdier. Legg merke til tverrgående vegoppmerking i nord-vestre hjørne. (b) vektorisert vegoppmerking. (c) viser opprettede endepunkter basert på resultatet i (b). (d) resultatet av å trekke linjer mellom endepunktene.

Resultat av kontroll



Figur 22: Resultatmatrise fra kontroll av fv. 175 0,5%. (a) Histogram over avstanden mellom test- og kontrollpunkter. (b) 10 dårligste testpunkter basert på avstand til kontrollpunkt sortert synkende. (c) Sammendrag over toleransen og standardavviket som er beregnet. D gjelder for distanse, N for nord-retning og Ø for øst-retning. (d) Autokorrelasjonen i testpunktene. (e) Resultatets fullstendighet.

Resultat av sammenligning uten og med bruk av støyfilter



Figur 23: (a) 0,5%-filtrering uten bruk av støyfilter. (b) resultat etter bruk av støyfilter.

Sammendrag av kontrollresultat

Tabell 10 viser et sammendrag av kontrollresultatet. Resultatene for 0,375% og 0,25% er også presentert for disse nøkkeltallene.

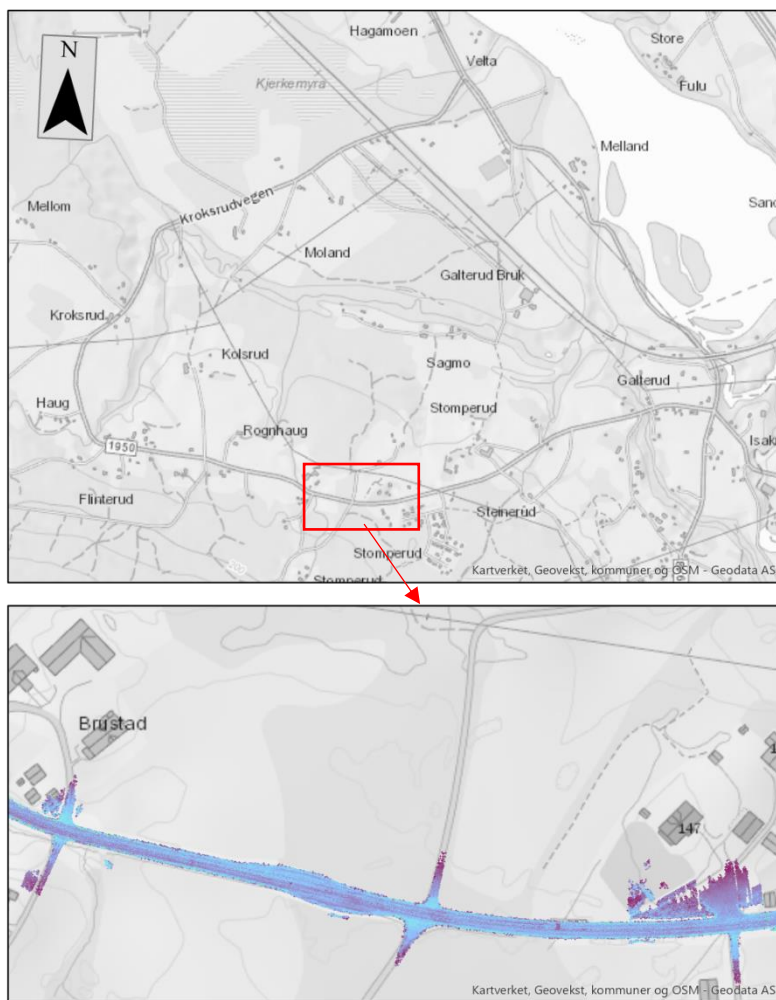
Tabell 10: Sammendrag av kontrollresultatet fra fv. 175 for tre ulike filtreringsverdier, med og uten støyfilter. DIFF er differansen mellom det støyfiltrerte og ikke-støyfiltrerte resultatet.

Fylkesveg 175 - "Sandervegen"		Kontrollpunkt	Antall over toleranse	% under toleranse	Fullstendighet (%)	Standardavvik
0,500 %	UTEN	287	25	91,30 %	99,50 %	0,076
	MED	267	15	94,40 %	98,70 %	0,065
	DIFF	20	10	-3,10 %	0,80 %	0,011
0,375 %	UTEN	287	23	92,00 %	99,80 %	0,078
	MED	269	17	93,70 %	99,00 %	0,071
	DIFF	18	6	-1,70 %	0,80 %	0,007
0,250 %	UTEN	289	26	91,00 %	100,10 %	0,090
	MED	267	25	90,60 %	98,60 %	0,077
	DIFF	22	1	0,40 %	1,50 %	0,013

4.2 Resultat av metode 2 – Ekstraksjon av Vegdekkekant basert på senterlinje

I denne delen presenteres resultatene fra begge prosessdelene i metode 2 samt resultatverdiene etter kvalitetskontroll.

Figur 24 viser et utsnitt av planområdet som er mye brukt i presentasjonen.



Figur 24: Over: fv. 1950 – «Kroksrudvegen» med markør som lokaliserer presentasjonsområdet. Under: Punktsky i presentasjonsområdet som brukes i dette kapitlet.

4.2.1 Del 1: Behandling av punktsky i LAStools/lasnoise.exe

Det presenteres resultater på grunnlag av behandling i første prosessdel, kapittel 3.4.1, med parameterkombinasjonene beskrevet i Tabell 11.

Tabell 11: 4 parameterkombinasjoner brukt i første utsilning.

Parameterkombinasjoner #1		
Lengde/bredde (step_xy)	Høyde (Step_z)	Isolasjonskriterie (Isolated)
0.5	0.001	5
0.5	0.001	10
0.5	0.003	10
0.5	0.003	15

Under følger en presentasjon av resultatene fra første utsilingsfase.

Kombinasjonene i Figur 25 og 26 leverer resultater med noe høy grad av støy, men vurderes som akseptable med tanke på videre prosessering.



Figur 25: Delresultat med parameterkombinasjon 1: 0.5, 0.001, 5.



Figur 26: Delresultat med parameterkombinasjon 2: 0.5, 0.001, 10.

Kombinasjonen i Figur 27 leverer et noe glissent resultat, men vurderes som akseptabel med tanke på videre prosessering.



Figur 27: Delresultat med parameterkombinasjon 3: 0.5, 0.003, 10.

Kombinasjonen i Figur 28 har foreløpig gitt gode resultater, og tas med til videre prosessering.



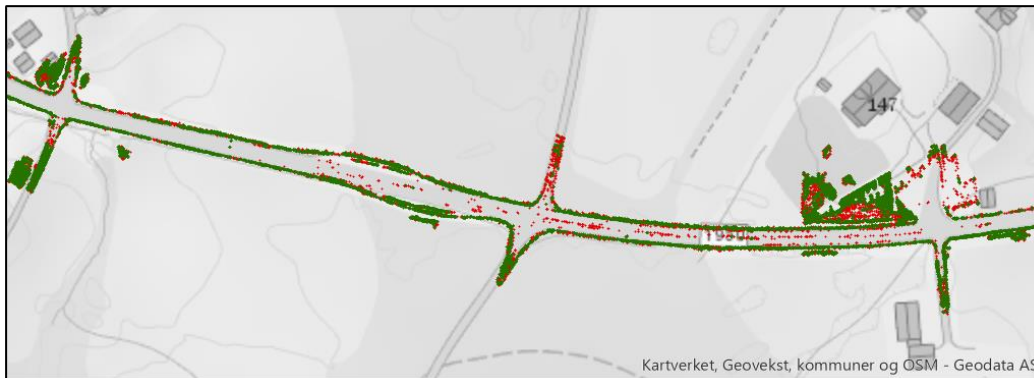
Figur 28: Delresultat med parameterkombinasjon 4: 0.5, 0.003, 15.

Tabell 12 viser parameterkombinasjonene som skal testes mot hver av resultatgrunnlagene fra første utsilingsfase, i utsilingsfase to:

Tabell 12: Parameterkombinasjoner for andre utsilingsfase.

Parameterkombinasjoner #2		
Lengde/bredde (step_xy)	Høyde (Step_z)	Isolasjonskriterie (Isolated)
0.25	1	3
0.25	1	6
0.25	1	10
0.5	1	3
0.5	1	6
0.5	1	10
0.75	1	3
0.75	1	6
0.75	1	10

Under presenteres et utvalg av resultatene produsert fra andre utsilingsfase. Kombinasjonsgrunnlaget i Figur 29 har sørget for den beste dekingen av datasettet.



Figur 29: Resultat ved å sile 0.5, 0.001, 5 med parameterkombinasjonen 0.25, 1, 6. Grønne punkter visualiserer lav vegetasjon, og røde punkter viser støy.

Kombinasjonsgrunnlaget i Figur 30 har sørget for det laveste standardavviket.

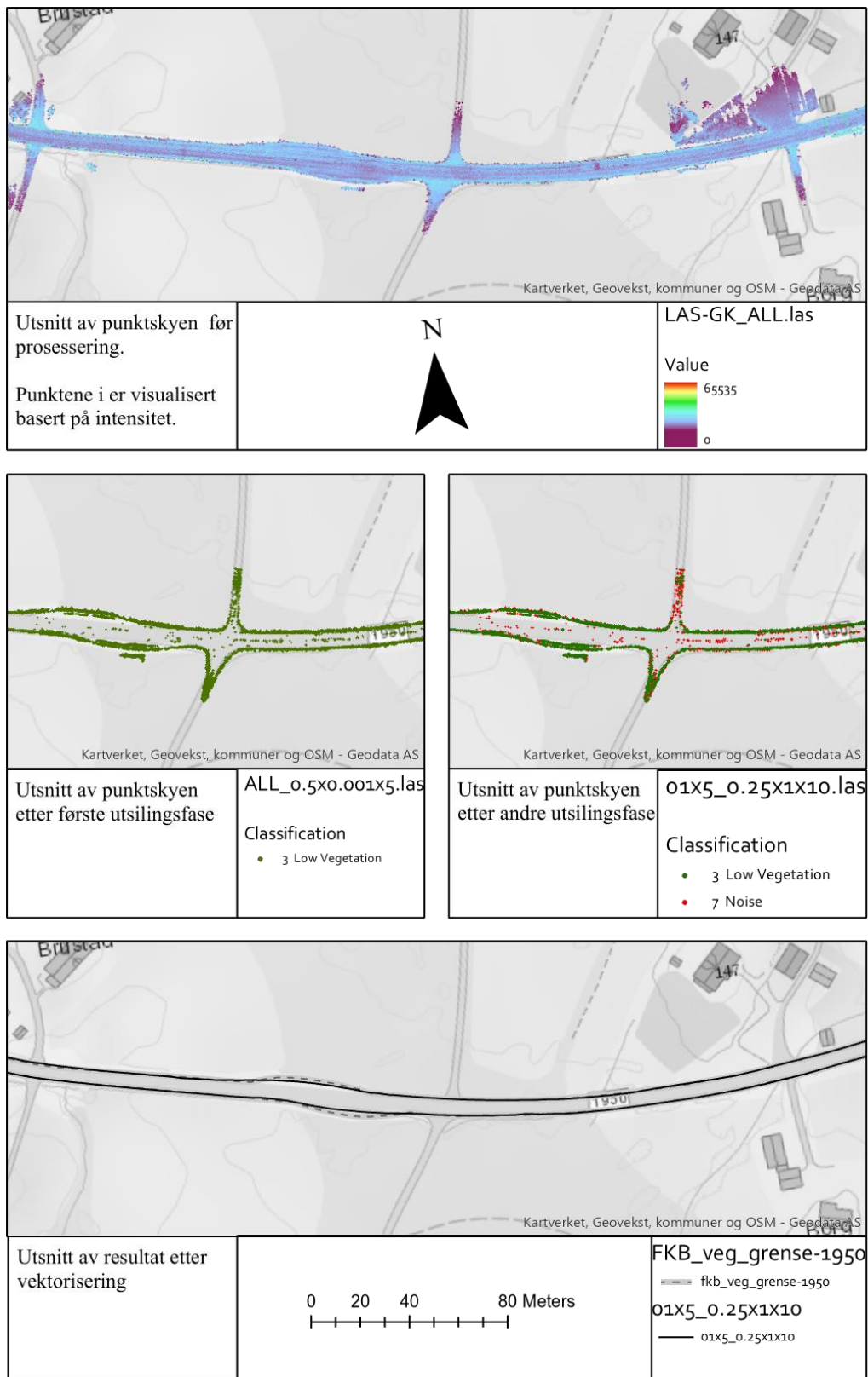


Figur 30: Resultat ved å sile 0.5, 0.001, 10 med parameterkombinasjonen 0.25, 1, 6. Grønne punkter visualiserer lav vegetasjon, og røde punkter viser støy.

Egenskapene beskrevet i figurteksten utdypes senere i kapitlet og diskuteres i kapittel 5. Videre i den visuelle delen av resultatpresentasjonen vil det fokuseres på resultatene produsert fra disse kombinasjonsgrunnlagene, heretter kalt «01x5_0.25x1x6» og «01x10_0.25x1x10». Resultater fra andre kombinasjonsgrunnlag, i form av oversiktspresentasjoner finnes i Vedlegg II.

4.2.2 Del 2: Vektorisering av vegdekkekant

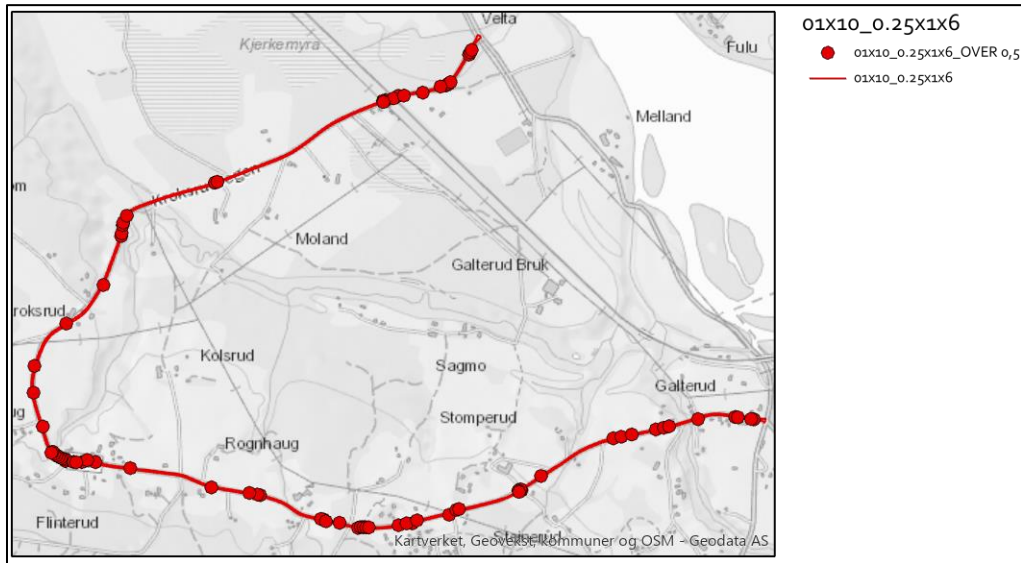
Figur 31 presenterer en generell oversikt over gangen i metoden.



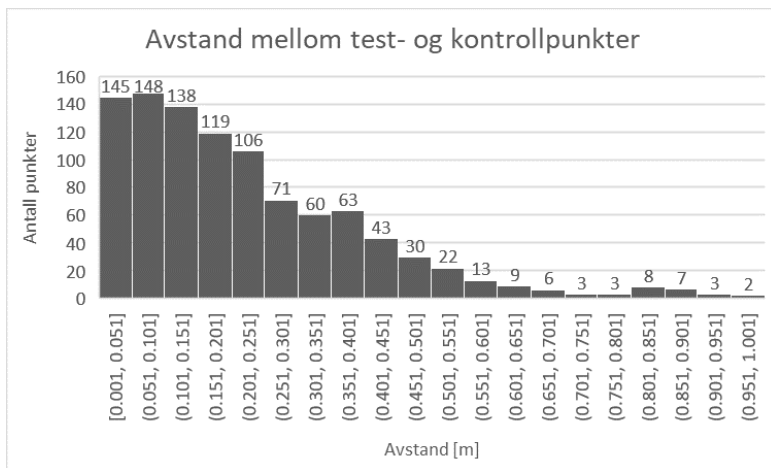
Figur 31: Forenklet sammendrag av metoden. Resultatene kommer fra 01x5_0.25x1x10-datasettet

Resultatoversikt

«01x5_0.25x1x6»

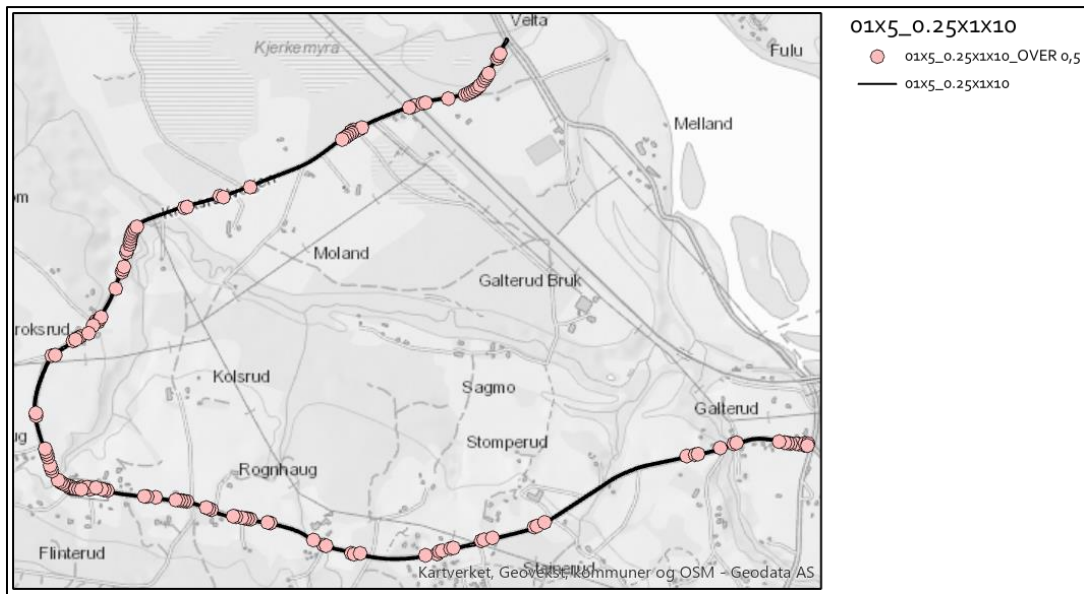


Figur 32: Oversiktsbildet viser områder hvor metoden ikke leverer tilfredsstillende kvalitet.

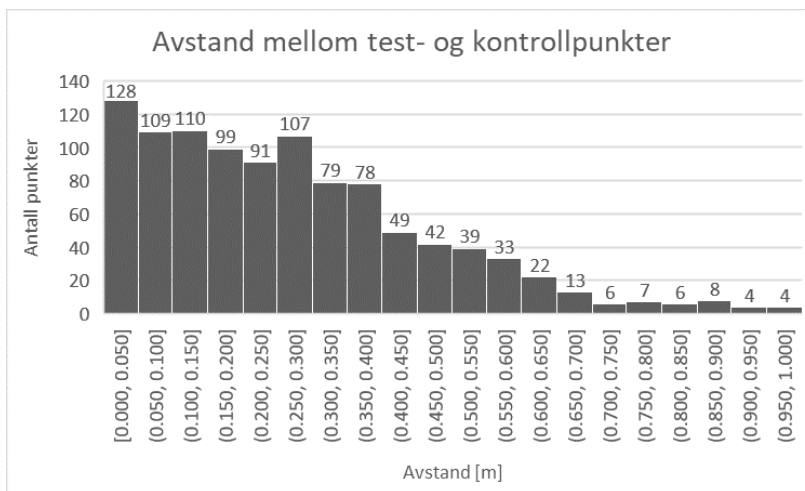


Figur 33: Histogram over avvik mellom test- og kontrollpunkt for 01x5_0.25x1x6.

«01x10_0.25x1x10»



Figur 34: Oversiktsbildet viser områder hvor metoden ikke leverer tilfredsstillende kvalitet.



Figur 35: Histogram viser avvik mellom test- og kontrollpunkter for 01x10_0.25x1x10.

Resultat av kontroll

Sammendrag av kontrollresultat – nøkkeltall. Tabellene 14-17 er rangert synkende basert på generelle tendenser i kvaliteten de forskjellige utgangspunktene har levert. Tabell 13 gir en overordnet forklaring av fargebruk i de påfølgende tabellene.

Tabell 13: Fargeforklaring for påfølgende resultater.

Toleranseverdi T	0,2 meter
Toleranseverdi T ₂	0,5 meter
Markører for tabellverdier	
Markør	Den beste overordnede verdien (denne markøren overskriver markøren beskrevet under)
Markør	Den beste verdien innad i tabellen
Markør	Den nest beste verdien innad i tabellen
Markør	Den tred beste verdien innad i tabellen
Markører for gjennomsnitt	
Markør	Det beste resultatet
Markør	Det nest beste resultatet
Markør	Det tred beste resultatet
Markør	Det dårligste resultatet

Tabell 14: Kontrollresultat for 05x01x10.

05x01x10									
Lengde/bredd e (step_xy)	Høyde (Step_z)	Isolasjonskriterie (Isolated)	Antall k-punkt	Antall under T		Antall under T ₂		Standardavvik	
				Antall	%	Antall	%		
0.25	1	3	987	530	53.70	889	90.07	0.31	
0.25	1	6	999	548	54.85	922	92.29	0.25	
0.25	1	10	1008	550	54.56	926	91.87	0.28	
0.5	1	3	969	510	52.63	856	88.34	0.32	
0.5	1	6	980	535	54.59	879	89.69	0.30	
0.5	1	10	989	546	55.21	904	91.41	0.29	
0.75	1	3	947	468	49.42	807	85.22	0.35	
0.75	1	6	957	475	49.63	821	85.79	0.35	
0.75	1	10	963	480	49.84	833	86.50	0.34	
GJENNOMSNIITT:			977.67	515.78	52.72	870.78	89.02	0.31	

Tabell 15: Kontrollresultat for 05x01x5.

05x01x5								
Lengde/bredd e (step_xy)	Høyde (Step_z)	Isolasjonskriterie (Isolated)	Antall k-punkt	Antall under T		Antall under T ₂		Standardavvik
				Antall	%	Antall	%	
0.25	1	3	1019	466	45.73	905	88.81	0.32
0.25	1	6	1025	464	45.27	899	87.71	0.32
0.25	1	10	1034	445	43.04	892	86.27	0.34
0.5	1	3	1014	494	48.72	902	88.95	0.32
0.5	1	6	1017	501	49.26	918	90.27	0.31
0.5	1	10	1026	503	49.03	919	89.57	0.31
0.75	1	3	993	468	47.13	869	87.51	0.33
0.75	1	6	1001	469	46.85	885	88.41	0.33
0.75	1	10	1009	472	46.78	886	87.81	0.33
GJENNOMSNIITT:			1015.33	475.78	46.87	897.22	88.37	0.32

Tabell 16: Kontrollresultat for 05x03x15.

05x03x15								
Lengde/bredd e (step_xy)	Høyde (Step_z)	Isolasjonskriterie (Isolated)	Antall k-punkt	Antall under T		Antall under T ₂		Standardavvik
				Antall	%	Antall	%	
0.25	1	3	1029	343	33.33	835	81.15	0.37
0.25	1	6	1026	320	31.19	811	79.04	0.39
0.25	1	10	1011	298	29.48	777	76.85	0.41
0.5	1	3	1027	371	36.12	853	83.06	0.36
0.5	1	6	1030	360	34.95	841	81.65	0.36
0.5	1	10	1031	347	33.66	828	80.31	0.37
0.75	1	3	1025	359	35.02	841	82.05	0.37
0.75	1	6	1028	365	35.51	850	82.68	0.36
0.75	1	10	1031	363	35.21	847	82.15	0.36
GJENNOMSNIITT:			1026.44	347.33	33.83	831.44	80.99	0.37

Tabell 17: Kontrollresultat for 05x03x10

05x03x10								
Lengde/bredd e (step_xy)	Høyde (Step_z)	Isolasjonskriterie (Isolated)	Antall k-punkt	Antall under T		Antall under T ₂		Standardavvik
				Antall	%	Antall	%	
0.25	1	3	1008	262	25.99	758	75.20	0.42
0.25	1	6	996	214	21.49	697	69.98	0.45
0.25	1	10	957	169	17.66	622	64.99	0.48
0.5	1	3	1018	295	28.98	783	76.92	0.41
0.5	1	6	1013	278	27.44	759	74.93	0.42
0.5	1	10	1001	256	25.57	739	73.83	0.42
0.75	1	3	1026	312	30.41	800	77.97	0.40
0.75	1	6	1017	303	29.79	788	77.48	0.41
0.75	1	10	1007	300	29.79	776	77.06	0.40
GJENNOMSNIITT:			1004.78	265.44	26.35	746.89	74.26	0.42

5 Diskusjon

Forrige kapittel tok for seg resultater i form av figurer og tabeller med kontroll-data. Dette kapitlet tar for seg diskusjon av metodene i kapittel 3, og resultatene som ble lagt frem i kapittel 4. Først diskuteres det som omhandler metode 1 – vektorisering av kantlinjer, deretter metode 2 – vektorisering av vegdekkekanter.

5.1 Drøfting av metode 1 – Halvautomatisert vektorisering av kantlinje

Under utførelsen av metode 1, har det oppstått ulike utfordringer som diskuteres innledningsvis. Deretter drøftes resultatene som stilles opp mot gjeldende krav for stedfestingsnøyaktighet og fullstendighet, samt effekten av å bruke støyfilter i metoden.

5.1.1 Diskusjon angående metoden

Standardisert intensitet

I denne oppgaven er et av de underliggende målene å vektorisere vegoppmerking, og da spesielt kantlinjer. Dette ble ansett som mulig på grunn av at vegoppmerkingens refleksjonsevne gir tydelig forhøyet intensitetsverdi i forhold til omgivelsene. I dette lå det særlig to utfordringer. For det første blir vegoppmerking slitt med tiden, og kantlinjer som ikke er nylig malt opp kan falle ut av filtreringen. Dette resulterer i at vektoriserte linjer blir trukket på uønskede steder, eller gir tomrom i resultatet. For det andre er ikke intensitetsverdien standardisert, som en følge kan man ikke filtrere ut bestemte intensitetsverdier over en gitt verdi og dermed vite at dette er vegoppmerking.

At vegoppmerking er fraværende er det lite som kan gjøres med etter endt datafangst, derfor er det viktig å skanne vegen når den er så lite slitt som mulig. For at metoden skal fungere optimalt, helst like etter oppmaling. Når det gjelder intensitetsverdiene ble det forsøkt å finne en generell løsning med å filtrere ut gitt prosent av punktene med høyest intensitet, men det viste seg, som tidligere nevnt, at man her enten må tåle en del støy for å være sikker på at all vegoppmerking blir med, eller miste vesentlig informasjon for å unngå støy.

Midtstripen forsvinner i prosessen

Fv. 175 har i motsetning til fv. 1950 en midtstripe, denne forsvinner i vektoriseringsprosessen når vegen deles i to for sortering av endepunkter i venstre/høyre, dette er tydelig i Figur 21 fra

(c) til (d). På grunn av fokuset på kantlinjer, ble det ikke gjort noe forsøk på å bevare midtstripen.

Fraværende testpunkter i kontrollmetoden

Kontrollmetoden benytter en buffer rundt kontrollpunktet for å «fange» riktig testpunkt, hvis denne bufferen defineres for kort står kontrollen i fare for å utelate mange grove feil, og defineres den for stor står man i fare for å kontrollere mot feil eller flere testpunkt. I metode 1 ble bufferen definert til 0,5 meter, derfor er det viktig å legge merke til at nøyaktigheten blir påvirket av dette. Vel å merke oppstår disse grove feilene erfaringsmessig ofte i områder med fraværende vegoppmerking eller kryss der manuelle inngrep vil være påkrevd.

Ulike sider ved at produkt og fasit er fra samme datasett

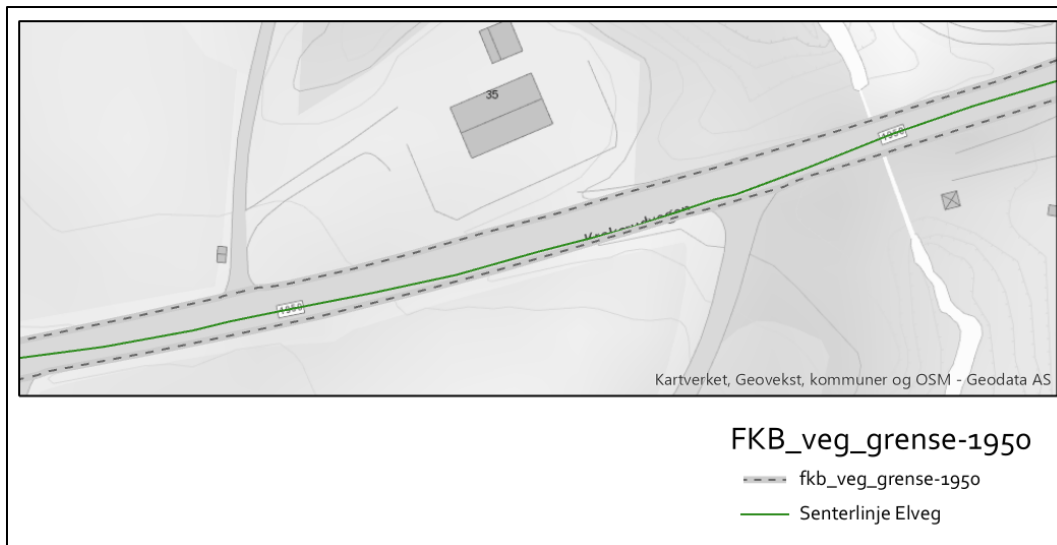
Den manuelle fasiten til fv.1950 er i utgangspunktet ganske upålitelig. Den er ikke utarbeidet basert på en bedre eller annen fangstmetode, slik den optimalt burde, men er basert på samme datasett som metoden. Fordelen med at fasit og metode bunner i samme datasett er at det kan vise kvaliteten på vektoriseringen til en halvautomatisk metode i forhold til det en manuell bruker kan produsere. Fra Tabell 7 er det tydelig at en halvautomatisert metode kan vektorisere betydelige strekninger på veldig kort tid. Begge veger ble prosessert på under 10 minutter. Prosessen ble utført uten støyfilter, og som nevnt i avgrensningen, bare i grunnriss. Derfor må man regne med litt økning i tid med støyfilter, og en noe større tidsøkning om drapering av høydeverdier fra punktsky er ønskelig i resultatet.

Bruk av eksisterende senterlinje

I begge våre metoder lener vi oss på en eksisterende senterlinje for å hente ut henholdsvis kantlinjer og vegdekkekant. I metode 1 som skal resultere i heltrukken kantlinje brukes senterlinjen for å sortere endepunkter på riktig side, og for å unngå at linjer trekkes på tvers av veg. For å hente ut vegdekkekant i metode 2 deles punktskyen i to langs senterlinjen. Senterlinjen brukes også til å filtrere ut støy midt i vegen.

Som nevnt i teori-kapittelet, kan senterlinjen i Elveg-produktet være ganske unøyaktighet. En svakhet i metodene er derfor at det kreves en mest mulig nøyaktig plassert senterlinje for å få de resultatene som er ønsket. En senterlinje med lav nøyaktighet vil i verste fall ført til at data mistes underveis, og fullstendigheten dermed blir svekket i resultatet.

Senterlinjen for fylkesveg 1950 viste seg å ha for dårlig stedfesting til våre metoder, se Figur 36. Vi ble derfor nødt til å bruke en senterlinje basert på de manuelt opptegnede kantlinjene.



Figur 36: Utsnittet viser et område der senterlinjen fra Elveg er stedfestet helt opp mot definert vegdekkekant i FKB.

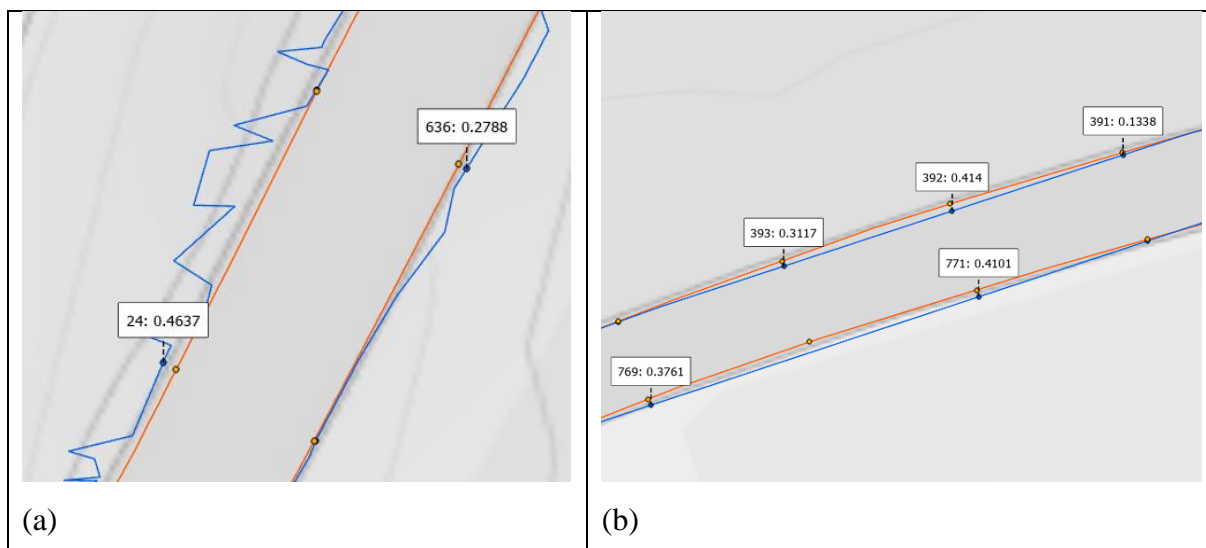
5.1.2 Drøfting av resultat: Fylkesveg 1950 – «Kroksrudvegen»

Starter med å undersøke resultatets direkte avvik fra fasit, deretter diskuteres fullstendigheten og standardavviket til resultatet, etterfulgt av støyfilterets effekt.

Toleranse

Sjekk av testpunkters posisjon mot vegens opprettede kontrollpunkter avdekker en del avvik. For den groveste intensitetsfiltreringen ligger 165 av de 963 testpunktene, altså 17,1%, lenger unna kontrollpunktene enn den angitte toleransen på 0,1 meter. Punkter som ligger innenfor toleransekravet i FKB-A klasse 1, visualiseres som de to første søylene i Figur 18a. 88,3% av punktene ligger innenfor toleransen til FKB-A klasse 2, og visualiseres som de tre første søylene i Figur 18a.

Med tanke på at stedfestingsnøyaktigheten til FKB gjelder standardavviket til objektene, og denne metodikken baserer seg på direkte avvik, sammenlignes dette mot toleransen i FKB. Standardavviket for alle de direkte avvikene beregnes etterpå og sammenlignes mot FKB-kravet. I resultatene forekommer det områder med støy langs vegen. Denne støyen forårsaker uønskede retningsendringer på linjestykkene. Her er det viktig å legge merke til at kontrollpunktene opprettes for hver 10. meter, og i områder hvor det har oppstått retningsendringer kan testpunktene potensielt treffe linjen med falsk optimisme, slik som vist i Figur 37a.



Figur 37: Utsnitt av typiske problemer som oppstår. Tekstboksene beskriver testpunktets ID og avvik til kontrollpunkt i meter. (a) viser effekten av støy langs veien. (b) effekten av skadet/nedslitt vegoppmerking hvor linjene kattes gjennom krumningen

Intensitetsfiltreres datasettet ned til 0,375% viser Tabell 9 at det fjernes en del støy, og mengden avvikende punkter reduseres til 116 punkter, slik at 87,5% er innenfor toleransen. 92,9% ligger innenfor klasse 2, så mengden grove avvik er betraktelig redusert. Vel å merke forsvinner 36 kontrollpunkter.

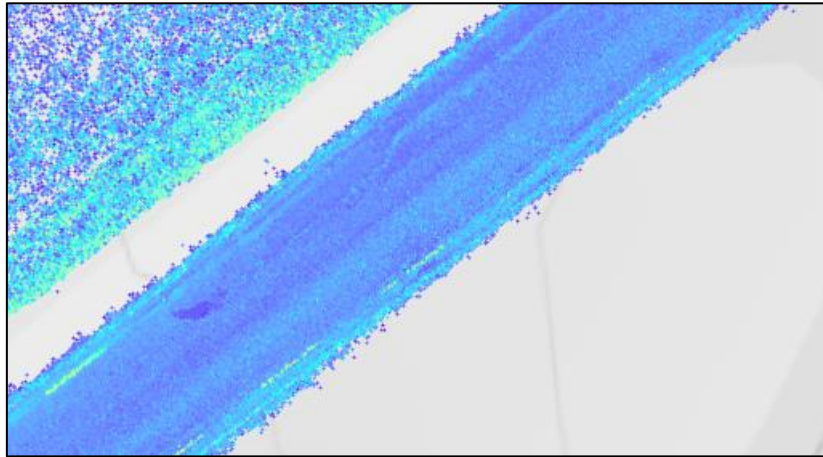
For 0,25% blir kontrollpunktene mengde betraktelig påvirket, her synker antallet ned til 731. Dette er et tegn på at vegens fullstendighet har blitt påvirket i stor grad. Vegens lengde på omtrent 5 km burde optimalt opprette ca. 1000 kontrollpunkter, når det er opprettet ett kontrollpunkt for hver 10. meter på begge sider av veien. Kontrollen oppdager 107 punkter som avviker fra toleransen, altså 85,4%, men siden antallet kontrollpunkter er såpass redusert er påliteligheten svekket i en sånn grad at resultatet blir uinteressant.

Fullstendighet

For Kroksrudvegen, som er en veg med store skader på vegoppmerking gjenspeiles dette også på fullstendigheten. Figur 38 viser eksempel på del av punktsky der vegoppmerking er fraværende. Fullstendigheten, fra Figur 18e beregnes til 97,7%; 91,8%; og 73,9% for henholdsvis 0,5%; 0,375%; og 0,25%. Datasettet viser et betydelig skille fra 0,375% til 0,25% som er et tegn på at filtrering på dette nivået skader resultatet. En punktsky av denne tettheten krever nok en grovere intensitetsfiltrering for å ikke fjerne vitale punkter. Fullstendigheten på veien med grovest filtrering nærmer seg 100%, men denne verdien er i realiteten vanskelig og oppnå automatisk med tanke på vegoppmerkingens tilstand. For finere filtrering synker fullstendigheten i takt med kontrollpunktene. Et resultat med høyest mulig fullstendighet og lavest mengde avvik ligger antageligvis over 0,375%, men dette måtte man undersøkt

ytterligere i kombinasjon med god kontroll over punkttettheten for å finne noe som kan minne om en standardverdi for generelle datasett.

Ingen av de tre filtreringsgradene består kravet for fullstendighet, 99,5%.



Figur 38: Viser område i vegen der vegoppmerkingen er fraværende. Nede til venstre kan man skimte en hvitstripe.

Standardavvik

Standardavviket for kontrollen beregnes ut fra en antatt sann verdi og beregnes derfor som feilkvadratsummen delt på antall punkter, der feilkvadratsummen er summen av kvadratet til det direkte avviket mellom hvert test- og kontrollpunkt. Tabellen i Figur 18c viser også variansen, men denne har en kvadrert benevning, nemlig areal, og er derfor ikke sammenlignbar med avviket.

Den groveste intensitetsfiltreringen oppnår et standardavvik på 0,115 meter. Nøyaktigheten er i overkant av den angitte toleransen. Dette tyder på filtreringen resulterer i for mye støy.

Fra Tabell 9 viser det at presisjonen øker til 0,091 meter for 0,375%, og man kan anta at en større andel test-punkter vil overholde toleransen. For den fineste filtreringen øker standardavviket, noe som gjenspeiles i reduksjonen av fullstendighet og antall kontrollpunkter.

Bruk av støyfilter

Bruken av støyfilter har størst effekt på vektoriseringen som baserer seg på den groveste filtreringen, dette kommer fram i DIFF-raden i Tabell 9. Støyfilteret gjorde at andelen punkter under toleransen steg med 5,9% og ga samtidig et standardavvik på under 0,1 meter. Støyfilteret reduserer fullstendigheten med omtrent 5,3%. Med andre ord kan man med støyfilter forbedre nøyaktigheten på vektoriseringen, på bekostning av at noe relevant informasjon går tapt.

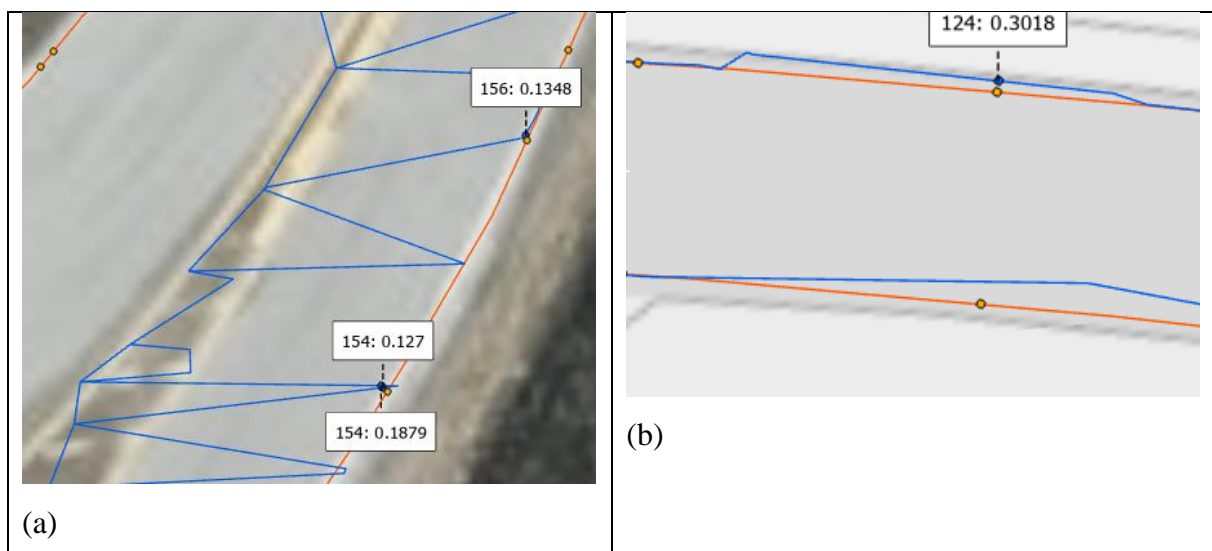
Støyfilteret mister effekt jo finere intensitets-filtrering som blir gjort. Den fineste filtreringen gir en marginal økning av andel punkter under toleransen, samtidig som fullstendigheten reduseres med 14,3%.

5.1.3 Drøfting av resultat: Fylkesveg 175 – «Sandervegen»

Toleranse

Datafangsten fra Sandervegen går over en kortere distanse enn Kroksrudvegen, derfor er det et betydelig mindre antall kontrollpunkter. Den aktuelle strekningen er omkring 1,5km lang, optimalt sett opprettes 300 kontrollpunkter. Toleransen beholdes på 0,1 meter.

Kontrollen fra resultatene til fylkesveg 175, Figur 22c, viser en betydelig reduisering av prosent avvikende punkter. 0,5%-filtreringen består av 8,7% avvikende punkter. Dette kan gjenspeiles av mindre slitt vegoppmerking, selv om det er områder med skader her også. Fra Figur 22a ser man at 275 av de 287 punktene overholder FKB-A klasse 2, dette tilsvarer 95,8%. Metoden støter på litt andre problemer ved denne vegen. Sandervegen er litt mindre landlig, og derfor er ytterligere oppmerking på vegen er tilstede. Blant annet støter man på tverrgående vegoppmerking før og etter fartshumper, og kanalisering slik som i Figur 39.



Figur 39: Utsnitt av problemer som oppstår. Tekstboksene beskriver testpunktets ID og avvik til kontrollpunkt i meter. (a) Uønsket effekt ved kanalisering av vegen inn mot rundkjøring. (b) viser effekten av tverrgående vegoppmerking.

For 0,375% i Tabell 10 kommer det fram at antall avvik reduseres med knappe 2 punkter, men kontrollpunktene opprettholdes. Her fjernes i for det meste støy. For FKB-A klasse 2 er det ingen endring. Med den fineste filtreringen øker mengden avvik, men ikke betydelig. Det samme gjelder FKB-A klasse 2, som faller til 94,1%. Denne svekkelsen av kvalitet er nok

forårsaket av at filtreringen akkurat er i startfasen av å fjerne viktige punkter på vegoppmerkingen.

Fullstendighet

Sandervegens fullstendighet ligger høyere enn for Kroksrudvegen, noe som gjenspeiles i kvaliteten på vegoppmerkingen. Tabell 10 viser at alle filtreringer uten støyfilter overholder fullstendighetskravet til FKB-A klasse 1, på 99,5%.

Standardavvik

I likhet med toleranseavvikene og fullstendigheten er presisjonen høyere for dette datasettet. Fra Tabell 10 har den groveste filtreringen et standardavvik på distansen lik 0,076 meter. Presisjonen svekkes ettersom hvor fin filtreringen er og ligger på 0,078 meter og 0,09 meter for henholdsvis 0,375% og 0,25%. Med tanke på vegoppmerkingens kvalitet skiller punkter langs vegen seg nok ut til at antall støypunkter er lavere, og uønskede retningsendringer i linjene holdes til et minimum. For 0,25% forsvinner punkter på vegoppmerkingen i noe større grad, og en slik filtrering vil være i overkant.

Bruk av støyfilter

Også her, Tabell 10, ses samme tendens som når støyfilteret ble brukt på Kroksrudvegen. Det er en viss effekt når man bruker støyfilter på 0,5%-filtreringen, mens effekten reduseres i takt med mengden støy tilstede etter filtrering. 0,25%-filtreringen har derfor lav effekt av å bruke støyfilter. Fra Figur 23 kommer det fram at denne filtreringen direkte skader resultatet ved å senke fullstendigheten.

5.1.4 Absolutt og relativ nøyaktighet

I dette kapittelet blir feilforplantning på nøyaktighet og romlig avhengighet i datasettet belyst.

Romlig autokorrelasjon

Som nevnt i teorikapittelet krever statistiske tester uavhengige observasjoner, deriblant feilforplantningen. Moran's I gir en indikasjon på datasettets romlige autokorrelasjon. For fv.1950, Figur 18d, er Moran's I beregnet til 0,181. Dette datasettet har 963 kontrollpunkter, og det kan forventes en indeks lik:

$$E[I] = \frac{-1}{N-1} = \frac{-1}{963-1} \approx -0,001$$

Den beregnede indeksen til datasettet ligger i overkant av forventet verdi, noe som tyder på at det foreligger en liten positiv autokorrelasjon.

For fv175, med 287 kontrollpunkter, vil et datasett uten autokorrelasjon ha indeks lik:

$$E[I] = \frac{-1}{N-1} = \frac{-1}{287-1} \approx -0,003$$

Fra Figur 22d ser man at indeksen er beregnet til 0,354. Det er derfor rimelig å anta at det forekommer en større grad av romlig avhengighet i forhold til fv. 1950.

Svake test-punkter har en tendens til å ligge i nærheten av andre svake test-punkter, dette er en effekt som oppstår på grunn av at dårlig vegoppmerking ofte tiltrer samlet. Eksempelvis der bilister kutter svingen eller i nærheten av avkjørsler. Denne tendensen kan muligens være en grunn til at Moran's I antyder positiv romlig autokorrelasjon. I tillegg vil områder med god vegoppmerking i stor grad resultere i lignende lave avvik, og øke den romlige autokorrelasjonen.

Datasettet over fv. 175 har ganske god vegoppmerking, men også noen områder som er tydelig svekket. En forventning om at avvikene korrelerer i høyere grad enn fv. 1950 er derfor rimelig å anta. Fv. 1950 har en vekslende kvalitet på vegoppmerking. Dette resulterer i tilsvarende vekslende observasjoner og dermed også lavere indeks, men på ingen måte uten romlig autokorrelasjon.

Bruk av kontrolldata

Punktskyen fra fylkesveg 175, Tabell 6, har en oppgitt nøyaktighet på 0,05 meter, dette gjør det mulig å kontrollere resultatet mot eksisterende FKB-data. Fordi det mangler FKB-data for kantlinjer på fylkesveg 1950, kontrolleres gjeldende resultat mot en egenprodusert fasit. Fasiten er basert på samme datasett som metoden blir utført på, slik belyst i kapittel 5.1.1.

Punktskyer produsert av den aktuelle bilen for datafangsten på fylkesveg 1950 skal ifølge en rapport av SVV kunne holde 0,15 meter +/- 0,05 meter absolutt nøyaktighet, ved normale forhold. (Statens Vegvesen, 2017)

Med tanke på at det ikke har vært mulig å gjennomføre praktisk kontroll, og at punktskyen ikke er matchet mot kontrollflater for korreksjon, må vi regne med at det ikke er noe bedre absolutt nøyaktighet enn 0,1 meter.

Produksjonen av fasiten ble utført i programvaren ArcGIS Pro ved å opprette linjestykker som «snapper» til punkter som man ser ligger i vegoppmerkingen langs vegen, og da helst midt i stripene. Vegoppmerkingen er 0,1 meter bred, men siden det tidvis var vanskelig å se hvor midten av de utslitte hvitstripene ligger, kan tverrposisjonen til lenkene ligge noe skjevt innad i stripene.

Nøyaktighet i egenprodusert fasit

Usikkerheten i den genererte fasiten kan feilforplantes. Hvis man baserer seg på skanningens antatte standardavvik $\sigma_{BLS} = 0,15$ meter +/- 0,05 meter (0,1 meter i beste fall og 0,2 meter i verste fall), og hvitstripenes bredde ved snapping av kantlinjer $\sigma_{SNAP} = 0,1$ meter, blir en feilforplantning i fasiten $\sigma_{Fasit1950}$ lik:

$$\sigma_{Fasit1950} = \sqrt{\sigma_{BLS}^2 + \sigma_{SNAP}^2}$$

Ved å anta best tenkelige utfall, 0,1 meter nøyaktighet på datafangsten, vil feilforplantningen påvirke nøyaktigheten slik:

$$\sigma_{Fasit1950} = \sqrt{0,10m^2 + 0,10m^2} \approx 0,14m$$

Ved å ta hensyn til dårligste utfall på datafangsten vil den feilforplantede nøyaktigheten påvirkes slik:

$$\sigma_{Fasit1950} = \sqrt{0,20m^2 + 0,10m^2} \approx 0,22m$$

Det vil derfor være rimelig å anta at fasitens nøyaktighet ligger i spennet 0,14 - 0,22 meter.

Absolutt nøyaktighet for fv.1950

Fra resultatene, Tabell 9, kan man merke seg at 0,5%-filtrert fv. 1950 oppnådde en relativ nøyaktighet i forhold til fasiten lik $\sigma_{RN1950} = 0,115$ meter. Med fasitens nøyaktighet til grunn kan resultatets absolutte nøyaktighet beregnes slik:

$$\sigma_{1950} = \sqrt{\sigma_{Fasit1950}^2 + \sigma_{RN1950}^2}$$

For fv. 1950 vil da i beste fall nøyaktigheten svekkes følgelig:

$$\sigma_{1950} = \sqrt{0,14m^2 + 0,115m^2} \approx 0,18m$$

Med hensyn til dårligste utfall på fasiten vil nøyaktigheten svekkes ytterligere slik:

$$\sigma_{1950} = \sqrt{0,22m^2 + 0,115m^2} \approx 0,25m$$

Den absolutte nøyaktigheten antas å ligge mellom 0,18 og 0,25 meter for den aktuelle filtreringsgraden av fv. 1950. Dette er svakere enn FKB-A klasse 1, men er i størrelsesorden ganske lik EGSCs anbefaling til HD-kart, 0,2 meter.

Absolutt nøyaktighet for fv.175

For fv. 175 er fasitens nøyaktighet entydig definert i FKB-datasettet lik $\sigma_{FKB} = 0,19$ meter. Datafangstens nøyaktighet er oppgitt $\sigma_{BLS} = 0,05$ meter, og fra resultatet av 0,5%-filtrert fv. 175, Tabell 10, har relativ nøyaktighet lik $\sigma_{RN175} = 0,076$ meter. Beregnet standardavvik for metodens absolutte nøyaktighet over fv. 175 blir da:

$$\sigma_{175} = \sqrt{\sigma_{FKB}^2 + \sigma_{BLS}^2 + \sigma_{RN175}^2} = \sqrt{0,19m^2 + 0,05m^2 + 0,076m^2} \approx 0,21m$$

I likhet med fv. 1950 er nøyaktigheten svakere enn FKB-A klasse 1, men sammenlignbart med EGSCs anbefaling.

5.2 Drøfting av metode 2 – Ekstraksjon av Vegdekkekant basert på senterlinje

Under utviklingen av metoden er det eksperimentert med hvilke parameterkombinasjoner som best vil egne seg for å skille vegbanen fra omgivelsene. I dette kapitlet presenteres og diskuteres retningslinjene som er fulgt for å gjennomføre eksperimentene, samt parameterverdiene resultatet baserer seg på. Deretter diskuteres styrker og svakheter i resultatet.

5.2.1 Diskusjon angående metode

Følgelig diskuteres valgene som er gjort for å komme frem til grunnlaget denne metoden bygger på. Dette gjelder valg av parameterverdier som er benyttet i programvaren, samt metodene som er benyttet for å vurdere resultatene. Hvilke brukerparametere som vil egne seg best for å gjennomføre prosessen kan defineres ut fra et utvalg grunnleggende operasjonskriterier, se Tabell 18:

Tabell 18: Grunnleggende operasjonskriterier.

Operasjonskriterie	Påvirker parameterverdi	Beskrivelse
Generelle størrelsesforhold i datagrunnlaget	Celleskalering	Med de generelle størrelsesforholdene i datagrunnlaget menes de typiske dimensjonene som de interessante objektene i analysen vil forholde seg til.
Operasjonens hensikt	Celleskalering og isolasjonskriterie	Med en god grunnleggende forståelse for operasjonens hensikt vil det være mulig å etablere en generell formening om hvilke parametere som vil egne seg best til gjennomføringen av denne.
Punkttettheten i datagrunnlaget	Isolasjonskriterie	Punkttettheten i datagrunnlaget setter føringer for hvordan isolasjonsparameteren påvirker resultatet i forhold til valgt celledimensjon. Et datagrunnlag med høy punkttetthet kan tåle en høyere verdi for hvor mange konforme nabopunkter ethvert punkt må ha før det kan ansees som isolert.
Tilgjengelig maskinvare	Generelt styrende	Dersom lasnoise.exe kjøres på et stort datasett med overdrevent ekstreme parameterverdier vil dette utsette maskinvaren for en svært krevende datahåndteringsprosess. I noen tilfeller kan dette føre til at prosesseringstiden strekker seg over mange timer, og i verste fall at programvaren krasjer.

Første utsilingsfase

Målet til den første utsilingsfasen er å skille ut punkter i datagrunnlaget som ikke ligger på asfaltert veg. Med dette som utgangspunkt skal det defineres parametere for cellestørrelsene og isolasjonskriteriene som brukes i lasnoise.exe. For å etablere et empirisk grunnlag for videre databehandling er det tatt en avgjørelse om å teste et utvalg parameterkombinasjoner mot datagrunnlaget.

Parameterverdier for celleskalering i grunnriss

I grunnriss skal operasjonen forholde seg til vegflaten som objekt. Etter litt innledende testing, vurderes 0,5 meter celleskalering i grunnriss til god dekning av objektet.

Parameterverdier for celleskalering i høyde

Ettersom operasjonens hensikt går ut på å se etter små variasjoner i overflatestrukturen, vil det være hensiktsmessig å eksperimentere med et utvalg parameterverdier som forholder seg til et relativt smalt verdispenn, og lave verdier. Verdiene 0,001-, 0,003- og 0,005 meter settes som testverdier.

Parameterverdier for isolasjonskriterier

I dette tilfellet jobbes det med en gjennomsnittlig punkttetthet på ca. 300 punkter per kvadratmeter, og et forbehold om at punkter som avviker fra en strengt flat struktur skal anses som støy. Isolasjonsverdiene 5, 10 og 15 settes som testverdier.

Tabelloversikt:

Tabell 19 viser oversikten over parameterkombinasjonene som benyttes mot datasettet.

Tabell 19: Oversikt over parameterkombinasjoner.

Parameterkombinasjoner #1		
Lengde/bredde (step_xy)	Høyde (Step_z)	Isolasjonskriterie (Isolated)
0.5	0.001	5
0.5	0.001	10
0.5	0.001	15
0.5	0.003	5
0.5	0.003	10
0.5	0.003	15
0.5	0.005	5
0.5	0.005	10
0.5	0.005	15

Andre utsilingsfase

Prosessgrunnlaget er nå drastisk endret, så det er nødvendig å etablere nye parameterverdier tilpasset de nye omstendighetene.

Parameterverdier for celledskalering i grunnriss

Det er nå ønskelig å ta vare på så mye av vegkanten som mulig. En nedre skalering på under 0,25 meter vurderes derfor som en for aggressiv behandling. En øvre grense settes til 0,75 meter, da en høyere verdi vil fange inn en for stor overflate – og dermed også potensielt innlemme uønskede punkter. I tillegg til 0,25 og 0,75 meter settes middelverdien 0,5 meter som en parameterverdi.

Parameterverdier for celledskalering i høyde

I dette tilfellet er det uønsket å sile bort punkter basert på variasjoner i høyde. Denne parameterverdien settes derfor med en generisk verdi på 1 meter.

Parameterverdier for isolasjonskriterier

Datsettet denne prosessen skal kjøres mot vil bestå av en mer glissen struktur enn første utsilingsfase. Samtidig vil det være interessant å eksperimentere med en noe høy verdidistribusjon. For å vurdere muligheter når det kommer til å sile ut isolerte samlinger av punkter som kan ha oppstått under innledende prosessering, settes testverdiene til 3, 6 og 10.

Testing av parameterverdier

Tabell 20 består av for parameterkombinasjonene som skal testes mot hver av resultatgrunnlagene:

Tabell 20: Parameterkombinasjoner for andre utsilingsfase.

Parameterkombinasjoner #2		
Lengde/bredde (step_xy)	Høyde (Step_z)	Isolasjonskriterie (Isolated)
0.25	1	3
0.25	1	6
0.25	1	10
0.5	1	3
0.5	1	6
0.5	1	10
0.75	1	3
0.75	1	6
0.75	1	10

Alle parameterkombinasjonene testes mot datasettene produsert fra første utsilingsprosess. Fra andre utsilingsprosess produseres det 36 datasett basert på parameterkombinasjonene i Tabell 20. De resulterende punktskyene deler geometriske egenskaper i stor grad. Å skille disse fra hverandre ved en visuell fortolkning vil dermed bli en krevende prosess. Alle datasettene vurderes derfor som potensielle kandidater, og tas med til vektorisering av vegdekkekant, som beskrevet i kapittel 3.4.2.

5.2.2 Drøfting av resultat

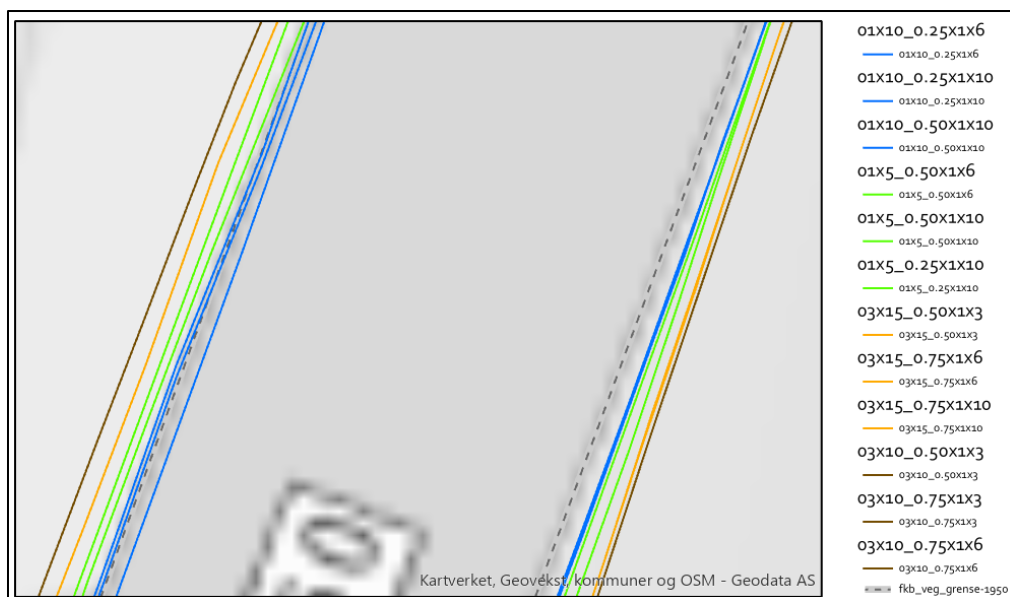
For å kontrollere denne metoden brukes eksisterende FKB-data som referansegrunnlag i kvalitetskontrollen. Dette grunnlaget er satt sammen av FKB-objekter som stort sett består av en godt synlig *Vegdekkekant*, og en oppgitt nøyaktighet på 0,22 meter. For å etablere sammenhengende linjer å teste datasettet mot er også objekttypene *AnnetVegarealAvgrennsning*, *VegkantAnnetVegareal*, *VegkantAvkjørsel* og *VegkantFiktiv* benyttet. Disse objektene står oppgitt med en nøyaktighet på 0,33 meter, med unntak av objektene i *VegkantFiktiv*, hvor nøyaktigheten er oppgitt til 0.

For å diskutere resultatene er det i stor grad lagt vekt på tabellene 14-17 som presenteres i kapittelet 4.2.2. Disse tabellene gir en god, helhetlig oversikt som beskriver oppnådd kvalitet for de forskjellige utgangspunktene. Som et sammendrag presenteres følgende Tabell 21:

Tabell 21: Sammendrag av de gjennomsnittlige nøkkelverdier fra tabell 14-17.

Datasett	Antall k-punkt	Antall under T		Antall under T ₂		Standardavvik
		Antall	%	Antall	%	
05x01x10	977.67	515.78	52.72	870.78	89.02	0.31
05x01x5	1015.33	475.78	46.87	897.22	88.37	0.32
05x03x15	1026.44	347.33	33.83	831.44	80.99	0.37
05x03x10	1004.78	265.44	26.35	746.89	74.26	0.42

Innledningsvis presenteres også et samplot av alle dataene. Ved å sette datasettene opp mot hverandre på denne måten, oppstår en tydelig visuell tendens i resultatene. Se utsnitt i Figur 40. En mildere innledende behandling fører til at den genererte linjen i større grad sklir ut mot grøft.



Figur 40: Figuren viser et utsnitt med datasettene sammen. Fasit visualiseres som stiptet linje. Blå linjer viser den strengeste behandlingen, og spenner gjennom grønt, oransje og til slutt brunt som er mildest behandlet.

Antall genererte punkter

Under kontrollen av denne metoden er det benyttet en buffersone på 1 meter rundt kontrollpunktene for å fange inn testpunkter.

Resultatene fra «05x03x15» leverer den beste gjennomsnittlige dekningen, men her ligger resultatene for de andre nøkkelverdiene noe lavt. Dette tyder på at denne behandlingen er noe mild, og at de genererte linjene derfor opprettes lenger unna referansegrunnlaget enn ved bruk av mer aggressiv behandling.

«05x01x5» innehar den høyeste enkeltverdien på 1034 opprettede testpunkter mot referansegrunnlaget. For dette datasettet er det også oppnådd gode resultater for de andre nøkkeltallene presentert i tabellen.

«05x03x10» leverer middelmådige resultater.

«05x01x10» leverer den laveste dekningen, med et gjennomsnitt på bare 978 opprettede testpunkter. Til gjengjeld er de andre nøkkelverdiene i tabellen gode. Dette tyder på at grunnlaget sliter med å håndtere skader i vegen på grunn av en aggressiv sileprosess. Denne effekten diskuteres videre i dette kapittelet under overskriften «Problemområder».

Toleranse

Resultatene i de produserte datasettene kontrolleres mot to toleransegrenser: 0,2 og 0,5 meter. En toleranseverdi på 0,2 meter benyttes for å sjekke hvor godt metoden forholder seg til

nøyaktigheten oppgitt i FKB-grunnlaget og EGSCs anbefaling for HD-kart. En testverdi på 0,5 meter settes basert på FKBs retningslinjer om registrering av objekter hvor bildegrunnlaget er av dårlig kvalitet, hvor objektet som skal registreres ligger i skygge, eller på annen måte blir obskurt av omgivelsene. Denne testverdien kan si noe om hvor godt metoden kan egne seg til bruk i slike situasjoner.

Toleransegrense 0,2 meter:

«05x01x10» leverer den høyeste gjennomsnittlige verdien, samt den høyeste enkeltverdien på henholdsvis 515 og 550 genererte punkter under toleransegrensen.

«05x01x5» leverer et nokså høyt gjennomsnittlig resultat på 457 punkter under toleransegrensen.

«05x03x15» leverer middelmådige resultater.

«05x03x10» leverer den laveste verdien med et gjennomsnitt på bare 265 punkter under toleransegrensen.

Toleransegrense 0,5 meter:

«05x01x5» leverer den høyeste gjennomsnittlige verdien for antall punkter under toleransegrensen.

«05x01x10» leverer en nokså høy gjennomsnittlig verdi på 870, og den beste gjennomsnittlige prosentandelen for antall punkter under toleransegrensen ved 89,2%. Her forekommer også den høyeste enkeltstående verdien, på 926 punkter.

«05x03x15» og «05x03x10» leverer igjen middelmådige og lave verdier på gjennomsnittlig 831 og 746 punkter under toleransegrensen.

Nøyaktighet i de genererte dataene

For å se litt på hvilken nøyaktighet som kan forventes fra de forskjellige utgangspunktene er det beregnet en absolutt nøyaktighetsverdi basert på det gjennomsnittlige standardavviket i resultatoversikten. Denne utregningen baserer seg på formelen beskrevet i kapittel 5.1.4.

$$\sigma_{1950} = \sqrt{\sigma_{BLS}^2 + \sigma_{FKB}^2 + \sigma_{RN1950}^2}$$

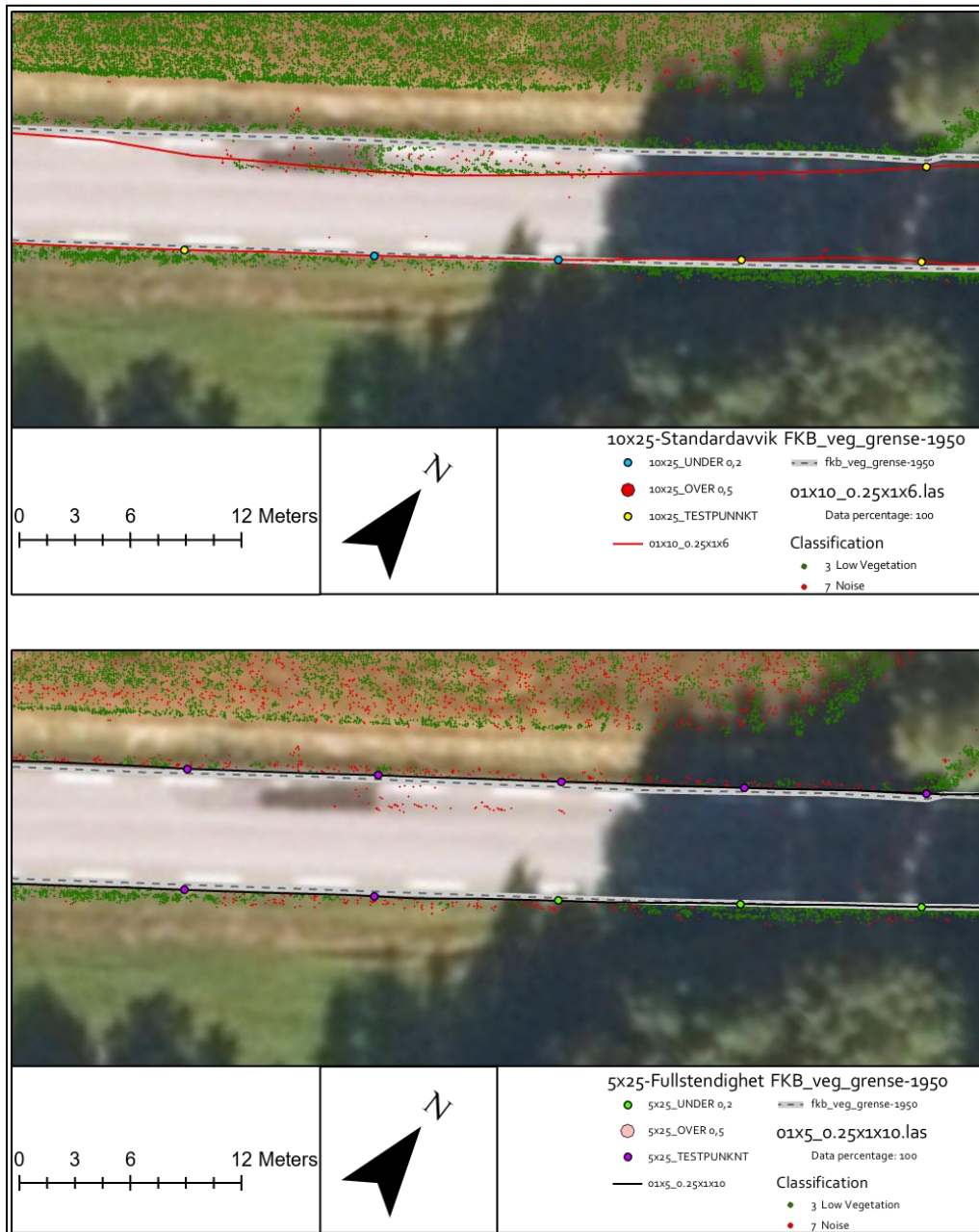
Tabell 22: Utregning av nøyaktighet med feilforplantning.

Datasekk	σ_{FKB}	σ_{RN1950}	σ_{BLS}		σ_{1950}
05x01x10	0,22	0,31	Best	0,10m	0,39m
			Verst	0,20m	0,43m
05x01x5	0,22	0,32	Best	0,10m	0,40m
			Verst	0,20m	0,44m
05x03x15	0,22	0,37	Best	0,10m	0,44m
			Verst	0,20m	0,47m
05x03x10	0,22	0,42	Best	0,10m	0,48m
			Verst	0,20m	0,51m

Tallene i Tabell 22 må leses i sammenheng med antall genererte punkter i resultatet. Eksempelvis kan vi se at det beste resultatet er produsert fra «05x01x10», hvor det forekommer færrest testpunkter. Dette kan settes i sammenheng med at datasettet gjennomgår den tøffeste innledende sileprosessen. Som en følge vil det siles ut flest brukbare punkter, men prosessen sliter med å håndtere slitasje i vegbanen. «05x03x15», som har oppnådd det høyeste antallet testpunkter, har et høyere standardavvik. Datasettet håndterer slitasje i vegbanen på en bedre måte, men dette går på bekostning av nøyaktigheten i resultatet.

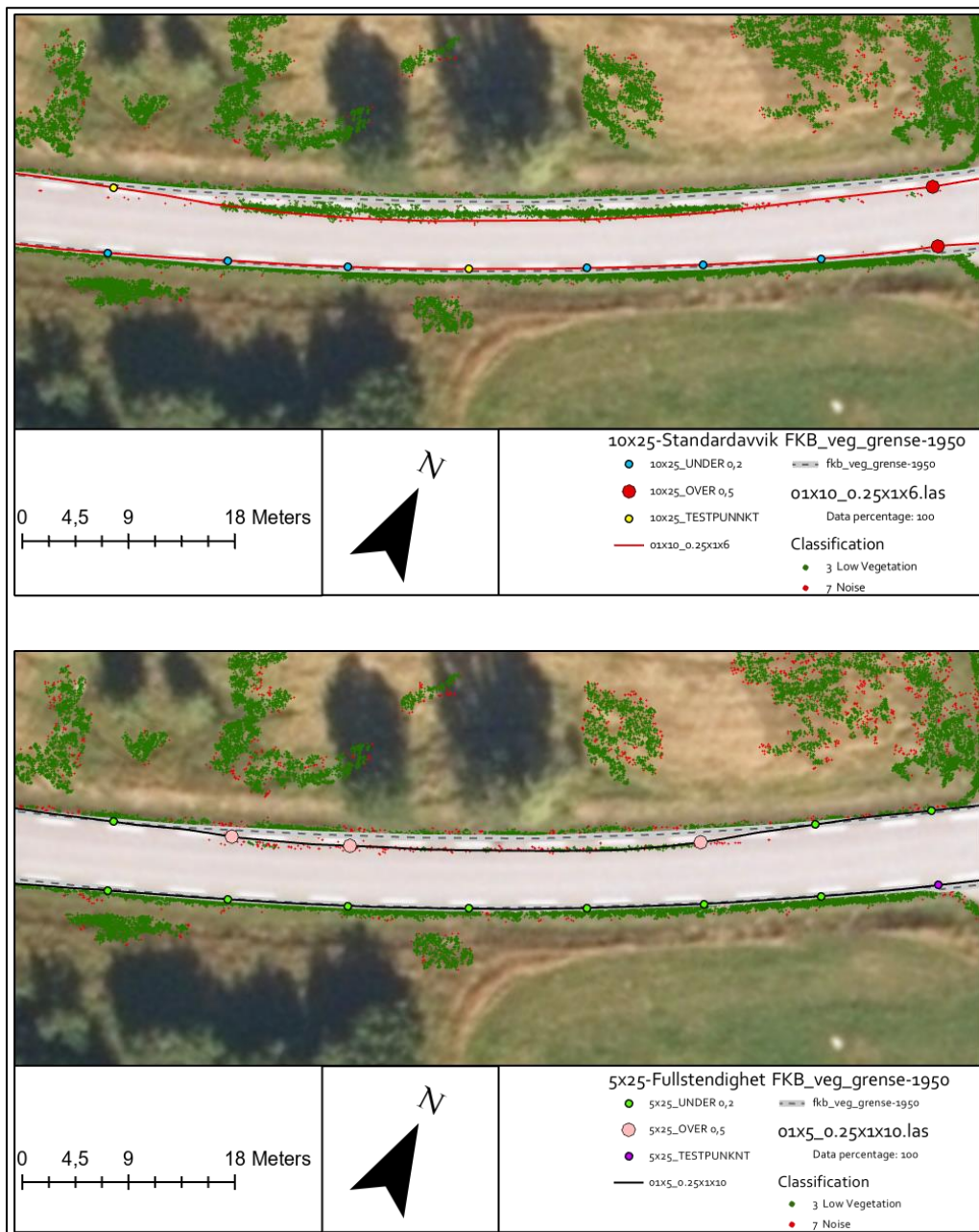
Problemområder

Følgelig presenteres det eksempler på opplagte problemområder som har oppstått i resultatene. I enkelte tilfeller ser vi en tendens til forbedring ved bruk av en mindre aggressiv sileprosess i innledende fase. Figur 41 viser et eksempel hvor en mildere sileprosess har sørget for bedre resultater.



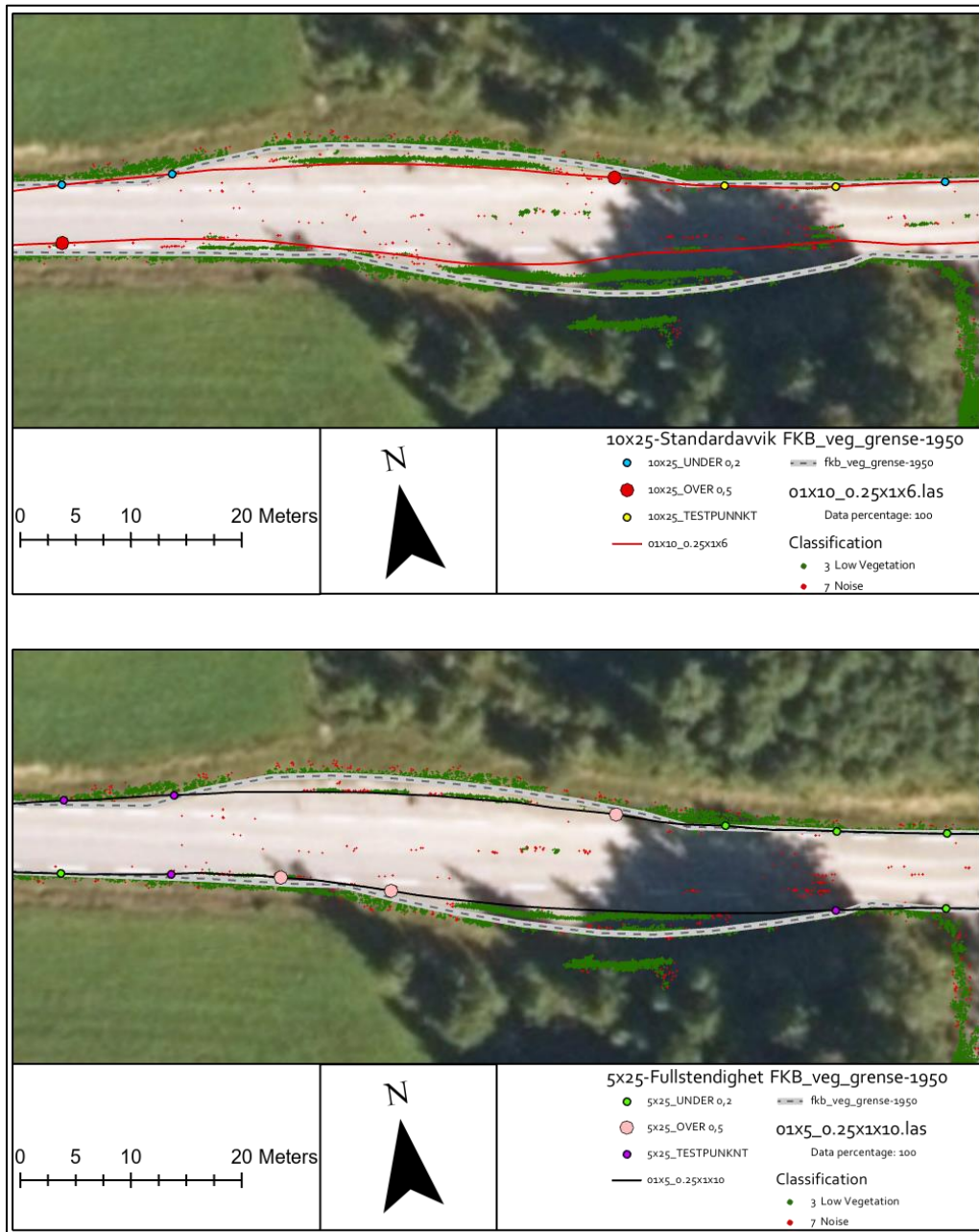
Figur 41: Problemområde 1. Figurene visualiserer kjøreslitasje i veien.

I noen situasjoner vil støyen, forårsaket av slitasje, være såpass pregende at en mildere behandling ikke alltid gir et bedre resultat. Figur 42 viser et eksempel på dette. Uten kontroll i felt må det spekuleres i hva som forårsaker disse problemene, men ved å se på hvor problemene oppstår kan det resoneres mot at vegslitasje sørger for den største utfordringen.



Figur 42: Problemområde 2. Figurene visualiserer kjøreslitasje i vegen.

I tillegg kommer det frem at metoden har problemer med å tolke drastiske endringer i vegkroppen, slik som en busslomme. En slik situasjon er vist i Figur 43.



Figur 43: Problemområde 3. Figurene visualiserer problemer som oppstår ved overgang til busslomme.

5.2.3 Hvor vil metoden fungere best?

Kantstein eller annen veldefinert skillekant

En veldefinert skillekant kan tenkes å sørge for et godt resultat. I slike situasjoner kan datagrunnlaget behandles med en mild innledende sileprosess, ettersom det da vil inntreffe mindre forekomster av støy i vegbanen samtidig som skillekanten vil plukkes opp av sileprosessen. I slike tilfeller anbefales «05x01x05» eller «05x03x15» som utgangspunkter.

Jevn asfaltstruktur

Det kan også tenkes at metoden kan fungere godt på veger med liten grad av slitasje i vegbanen. Dette gjelder spesielt for veger uten en veldefinert skillekant, da en aggressiv innledende sileprosess må benyttes for å separere asfaltkanten fra omgivelsene. I slike tilfeller anbefales «05x01x10» eller «05x01x05» som utgangspunkter.

Områder med vanskelig sikt fra flyfoto

Metoden kan fungere bra for å etablere vektorisert data i situasjoner der deler av vegen ikke er synlig i ortofoto. For eksempel kan dette komme av vegetasjon som skygger for veg, men resultatene bør etterkontrolleres ved innmåling eller annen registrering.

6 Konklusjon og anbefalinger

6.1 Konklusjon

Denne oppgaven har undersøkt potensiale i utvidet utnyttelse av laserdata fra bilbåren laserskanning til forbedring og oppdatering av vegdata.

Det ble funnet at ved å benytte intensitetsverdier i en punktsky er det mulig å automatisk vektorisere kantlinjer med nøyaktighet rett i overkant av 0,2 meter. Nøyaktigheten ligger i nærheten av EGSCs anbefaling til fremtidige HD-kart, men er litt svakere enn kravet for FKB-A klasse 1. Metoden viser at områder med tydelig vegoppmerking kan produsere jevne og representative kantlinjer, men at områder med nedslitt eller manglende vegoppmerking skaper problemer som krever manuelle inngrep. I tillegg ville en standardisering av intensitetsverdi forenklet prosessen.

Det ble også utviklet en metode som gjør det mulig å generere vektordata basert på små endringer i punktskyens høydestruktur. Resultatet er i utgangspunktet utviklet med en intensjon om å dekke vegdekkekant. Med tanke på metodens hensikt ble det etablert et utvalg parameterkombinasjoner som kan benyttes for å bearbeide punktskyen basert på hva slags veg som skal registreres.

Samlet sett viser data generert fra bilbåren laserskanning gode forutsetninger til å utvide dagens bruk av punktskyer, både med tanke på effektivitet og produserte objekttyper.

6.2 Videre arbeid

- Som erfart i denne oppgaven ville en standardisering av intensitetsverdi være behjelpelig. Ved å standardisere intensitet ville kanskje noen støyproblemer utebli. I fremtiden kan det tenkes at vegoppmerking først og fremst eksisterer for å gi informasjon til en datamaskin fremfor mennesker. I et slikt scenario kunne vegoppmerking kanskje inneholdt en ingrediens som kun oppfattes i laserdataene, og at denne ingrediensen ikke finnes i noe annet rundt. Videre kunne ulike vegoppmerking inneholdt ulike ingredienser som ville forenklet vektorisering av vegoppmerkingens underkategorier. En lignende observasjon er beskrevet i Terratec's rapport «Grundläggande bearbetning av laserdata» for Trafikverket der det argumenteres for at en standardisering for intensitetsverdi bør utvikles, og at dette er et nødvendig steg for å kunne gjøre ytterligere automatiserte analyser basert på punktskyers intensitetsverdi (Terratec, 2018).
- Bruk av lignende metoder i et mer bynært område vil være interessant med tanke på mengden vegobjekter i punktskyen, for eksempel i rundkjøringer og store kryss. Men også på motorveg eller andre veger med flere kjørefelt i samme kjøreretning.
- Videre utvikling av metoder som ikke krever etablert senterlinje for å fungere.
- Fokuserer på hvordan høydedata påvirkes av lignende metoder, og hvilken nøyaktighet som kan forventes.

Litteraturliste

- ABI RESEARCH. 2018. *THE FUTURE OF MAPS: TECHNOLOGIES, PROCESSES, AND ECOSYSTEM* [Online]. Available: <https://www.here.com/sites/g/files/odxslz166/files/2019-01/THE%20FUTURE%20OF%20MAPS.pdf> [Accessed 05.03 2020].
- BAHR, K. 2019. Sluttrapport «GNSS-posisjonsbestemmelse av kjøretøy i fart». *Forprosjekt: C-ITS og automatisert transport*. Intern rapport: Kartverket.
- DIVERSIFIED COMMUNICATIONS. 2020. *Lidar in 2019 & Beyond: An Interview with Martin Isenburg* [Online]. Available: <https://www.lidarmap.org/lidar-in-2019-beyond-a-interview-with-martin-isenburg/> [Accessed 13.03 2020].
- ESRI. 2019a. *Fundamentals about lidar – What is intensity data?* [Online]. Available: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/lasdataset/what-is-intensity-data-.htm> [Accessed 13.03 2020].
- ESRI. 2019b. *Fundamentals about lidar – What is lidar data?* [Online]. Available: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/lasdataset/what-is-lidar-data-.htm> [Accessed 13.03 2020].
- ESRI. 2019c. *What is a LAS dataset?* [Online]. Available: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/lasdataset/what-is-a-las-dataset-.htm> [Accessed 13.03 2020].
- ESRI. 2020. *About ArcGIS Pro* [Online]. Available: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/get-started/get-started.htm> [Accessed 08.03 2020].
- EUROPEAN GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS AGENCY. 2019. *Report on Road User Needs and Requirements* [Online]. Available: [https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Report on User Needs and Requirements Road.pdf](https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Report%20on%20User%20Needs%20and%20Requirements%20Road.pdf) [Accessed 03.03 2020].
- KARTVERKET. 2009. *Grunnlagsnett* [Online]. Available: <https://kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/grunnlag.pdf> [Accessed 10.03 2020].
- KARTVERKET. 2018a. *Produktspesifikasjon FKB-Veg 4.61* [Online]. Available: https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner_FKB%20Veg_v4_produktspesifikasjon-fkb-veg-4_61.pdf [Accessed 05.05 2020].
- KARTVERKET. 2018b. *SOSI generell objektkatalog Vegnett* [Online]. Available: https://kartverket.no/globalassets/standard/horinger-standarder/vegnett-5.0-elveg-2.0/sosi-standard-vegnett-5_0-hoeringsutgave-oktober-2018.pdf [Accessed 04.03 2020].
- KARTVERKET. 2019a. *Om nasjonal detaljert høydemodell (NDH)* [Online]. Available: <https://www.kartverket.no/Prosjekter/Nasjonal-detaljert-hoydemodell/om-nasjonal-detaljert-hoydemodell/> [Accessed 26.02 2020].
- KARTVERKET. 2019b. *Produktspesifikasjon Nasjonal modell for høydedata fra laserskanning (FKB-Laser)* [Online]. Available: https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner_FKB-Laser_v9_produktspesifikasjon-fkb-laser-3_0.pdf [Accessed 03.03 2020].
- KARTVERKET. 2019c. *Produktspesifikasjon: Elveg 2.0* [Online]. Available: https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner_elveg-2-0_v2_sosi-standardisert-produktspesifikasjon-elveg-2_0_1.pdf [Accessed 04.03 2020].
- KARTVERKET. 2019d. *Standarder for geografisk informasjon* [Online]. Available: <https://www.kartverket.no/geodataarbeid/Standarder/Standarder-for-geografisk-informasjon/> [Accessed 26.02 2020].

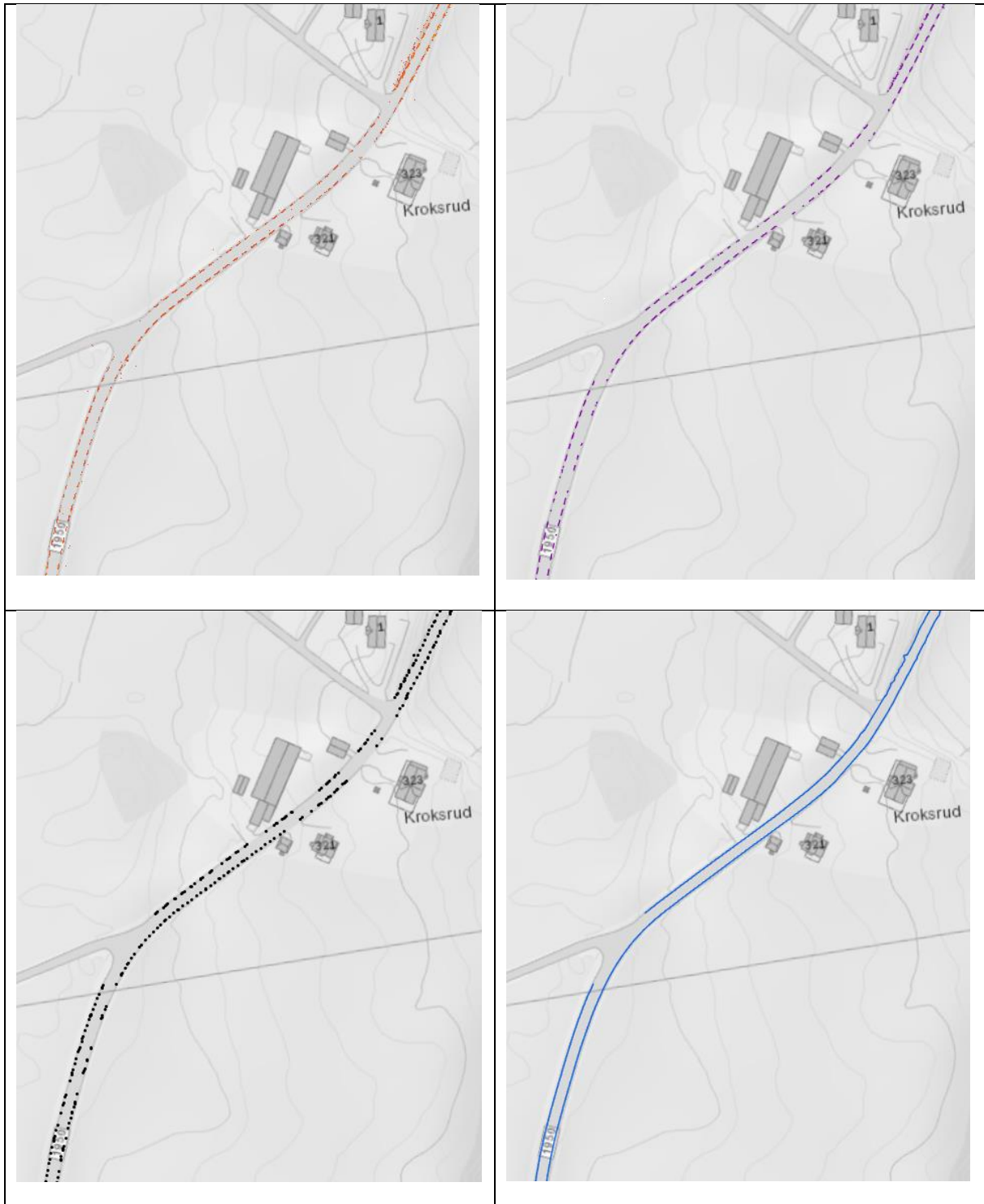
- KARTVERKET. 2020a. *Fotogrammetrisk_FKB-Veg* [Online]. Available: https://register.geonorge.no/data/documents/Kartleggingsinstrukser_fotogrammetrisk-registreringsinstruks-for-fkb-veg_v3_fotogrammetrisk-fkb-veg-v46-2020-01-01_.pdf [Accessed 04.05. 2020].
- KARTVERKET. 2020b. *Handlingsplan 2020 – tiltak Nasjonal geodatastrategi* [Online]. Available: https://www.geonorge.no/globalassets/geonorge2/ny-nasjonal-geodatastrategi/ngs_handlingsplan-2020_versjon-niva1.pdf [Accessed 05.03 2020].
- KARTVERKET. 2020c. *Om Geovekst-samarbeidet* [Online]. Available: <https://www.kartverket.no/geodataarbeid/Geovekst/Om-Geovekst-samarbeidet/> [Accessed 03.03 2020].
- KARTVERKET. 2020d. *SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for Felles KartdataBase (FKB) versjon 4.6* [Online]. Available: https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner_fkb-generell-del_v4_produktspesifikasjon-fkb-4_6-2020-01-01_.pdf [Accessed 03.03 2020].
- KMD 2018. Alt skjer et sted - Nasjonal geodatastrategi fram mot 2025. In: KOMMUNAL- OG MODERNISERINGSDEPARTEMENTET (ed.). Oslo: Regjeringen, .
- LLOYD, C. D. 2010. *Spatial data analysis : an introduction for GIS users*, Oxford ; New York, Oxford University Press.
- OGC. 2018. *LAS Specification 1.4 OGC Community Standard* [Online]. Available: <https://www.opengeospatial.org/standards/LAS> [Accessed 09.12 2019].
- PRADHAN, B. & SAMEEN, M. I. 2020. *Laser Scanning Systems in Highway and Safety Assessment - Analysis of Highway Geometry and Safety Using LiDAR*. Springer Nature Switzerland AG: Springer, Cham.
- RAPIDLASSO GMBH. 2020a. *lasnoise_README* [Online]. Available: http://lastools.org/download/lasnoise_README.txt [Accessed 11.05 2020].
- RAPIDLASSO GMBH. 2020b. *LAStools* [Online]. Available: <https://rapidlasso.com/lastools/> [Accessed 13.03 2020].
- RAPIDLASSO GMBH. 2020c. *LICENCE Agreement*: [Online]. Available: <https://lastools.github.io/LICENSE.txt> [Accessed 13.03 2020].
- SAE INTERNATIONAL. 2018. *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles* [Online]. Available: <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic> [Accessed 26.02 2020].
- SAFE SOFTWARE INC. 2020. *Safe Software | FME | Data Integration Platform* [Online]. Available: <https://www.safe.com> [Accessed 03.03 2020].
- SKAAR, B. & GIÆVER, T. 2019. *Lærebok vegoppmerking. Anbefalinger og råd om utførelse av vegoppmerking*. vegvesen.no: Publikasjonsekspedisjonen.
- SKILTFORSKRIFTEN. 2005. *Forskrift om offentlige trafikkskilt, vegoppmerking, trafikksignaler og anvisninger (skiltforskriften)* [Online]. Available: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2005-10-07-1219?fbclid=IwAR2-jWzpfL8GUAr0fdJSZ89L9Itb80Qe-BNNCuOtjsVQGtY_9och4l_DYk#KAPITTEL_12 [Accessed 10.03 2020].
- SKOGSETH, T. & NORBERG, D. 2014. *Grunnleggende landmåling*, Oslo, Gyldendal Norsk Forlag AS.
- STATENS VEGVESEN 2017. *Økt nytte av spor- og jevnhetsdata*. Intern rapport: Statens Vegvesen.
- STATENS VEGVESEN. 2020. *Nasjonal vegdatabank (NVDB)* [Online]. Available: <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/nasjonal+vegdatabank> [Accessed 04.03 2020].

- SÆTERDAL, P. N. 2005. *Kompendium i Landmåling* [Online]. Available: <http://www.psland.no/hib/landm/kompend2/komp.htm> [Accessed 28.04 2020].
- TERRATEC 2018. RAPPORT 7A, Grundläggande bearbetning av laserdata, En introduktion till informationsinnehåll och bearbetning av laserdata från bilburen laserskanning. Del av FoUprojektet ”Infrastruktur i 3D” i samarbete mellan Innovation Norge, Trafikverket och TerraTec. *Infrastruktur i 3D*. Trafikverket.
- TOMTOM INTERNATIONAL BV. 2020. *TomTom HD Map* [Online]. Available: <https://www.tomtom.com/products/hd-map/> [Accessed 26.02 2020].
- VEGDIREKTORATET 2014. Håndbok R310, Trafikksikkerhetsutstyr. www.vegvesen.no: Statens Vegvesen.
- VEGDIREKTORATET 2015. Håndbok N302, Vegoppmerking.
- WIKIPEDIA. 2019. *Tobler's first law of geography* [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Tobler%27s_first_law_of_geography [Accessed 28.04 2020].
- WIKIPEDIA. 2020. *Moran's I* [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Moran%27s_I [Accessed 28.04 2020].

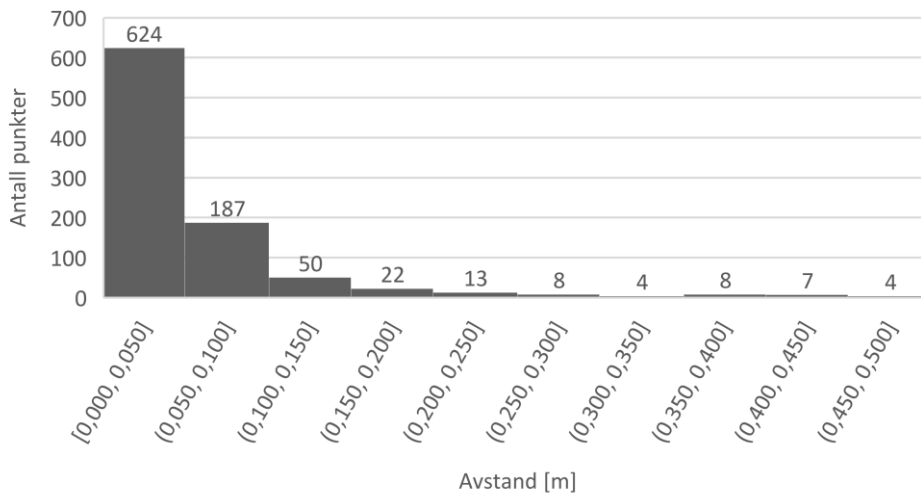
Vedlegg I – Resultater fra metode 1

A. Fylkesveg 1950 – «Kroksrudvegen»

0,375%-filtrert



Avstand mellom testpunkt og kontrollpunkt



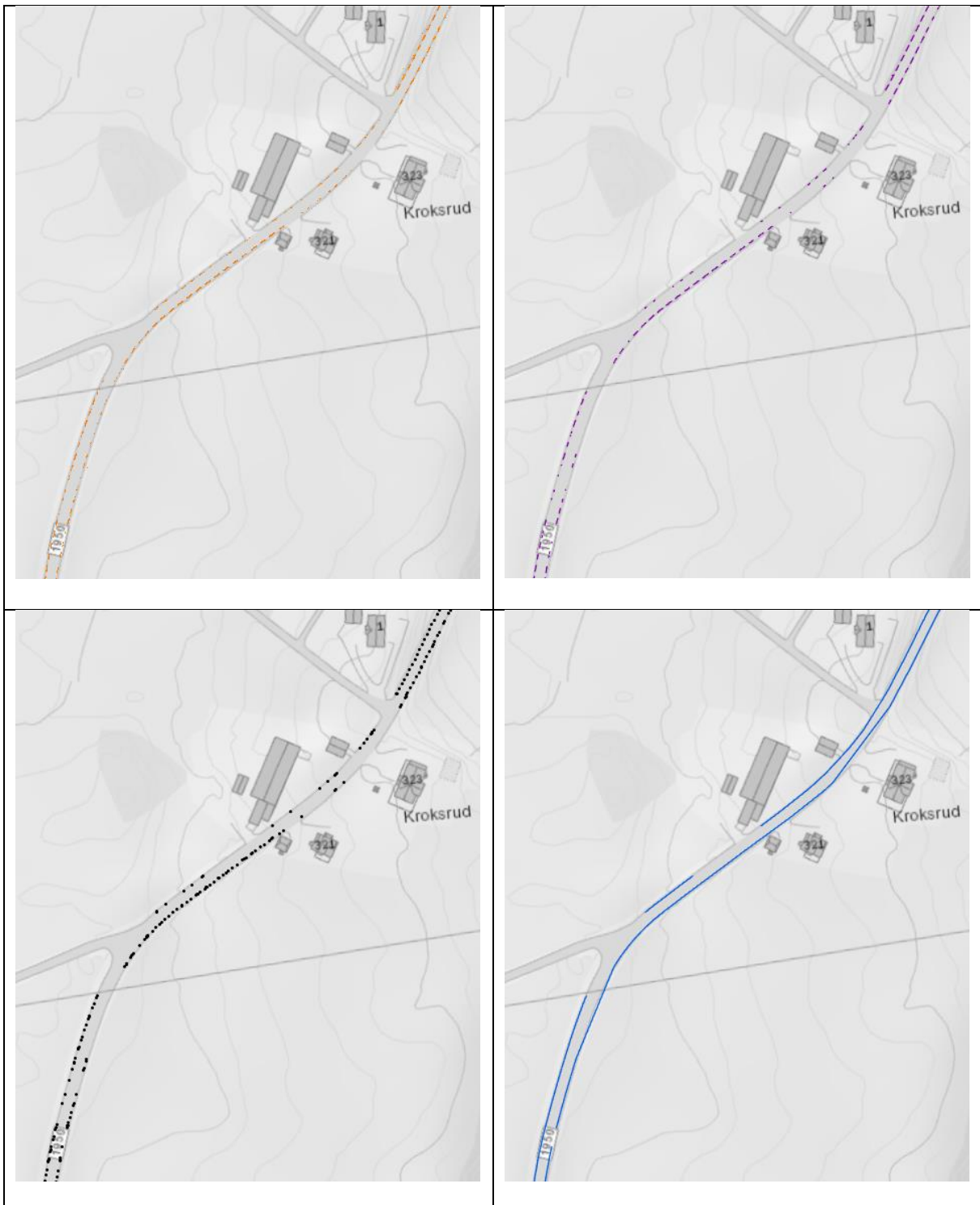
PunktID	AVSTAND		
	D	Toleranse	Avvik
694	0,476	***	0,376
620	0,472	***	0,372
89	0,469	***	0,369
282	0,457	***	0,357
185	0,436	***	0,336
351	0,427	***	0,327
629	0,419	***	0,319
103	0,418	***	0,318
392	0,414	***	0,314
771	0,410	***	0,310

Antall kontrollpunkter	927		
Toleranse	0,1		
	D	N	Ø
Antall punkt over toleranse	116	69	56
Prosent under toleranse	87,5	92,6	94,0
	D	N	Ø
Feilkvadratsum (SSE)	7,678	4,612	3,066
Varians	0,008	0,005	0,003
Standardavvik (σ)	0,091	0,071	0,058

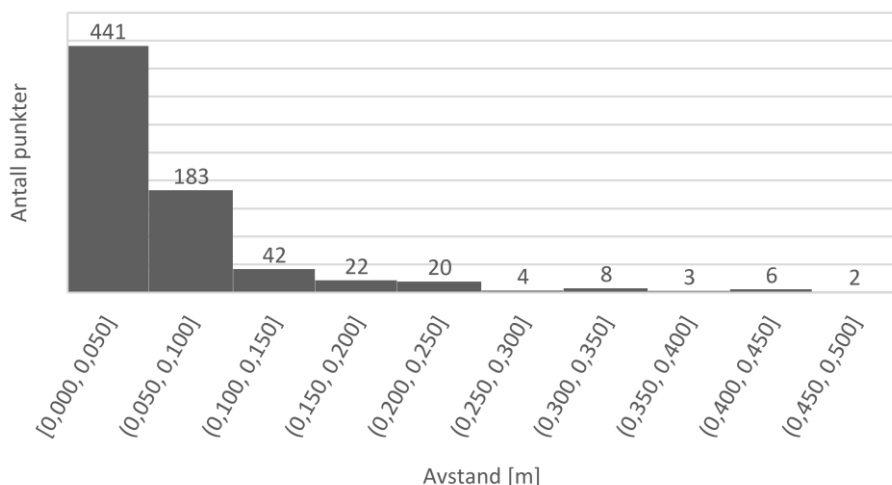
AVSTAND	
Gjennnitt	0,055
Sum produkt	1,275
Sum v-gjennnitt^2	4,911
Antall observasjoner	927
Antall naboer	926
Moran's I	0,26

Linjelengde testdata (m)	9426
Linjelengde senterlinje x2 (m)	10270
Fullstendighet (%)	91,8

0,25%-filtrert



Avstand mellom test- og kontrollpunkt



PunktID	AVSTAND		
	D	Toleranse	Avvik
391	0,485	***	0,385
770	0,453	***	0,353
954	0,439	***	0,339
776	0,427	***	0,327
837	0,415	***	0,315
526	0,412	***	0,312
390	0,408	***	0,308
26	0,405	***	0,305
772	0,375	***	0,275
597	0,370	***	0,270

Antall kontrollpunkter	731
Toleranse	0,1

	D	N	Ø
Antall punkt over toleranse	107	73	39
Prosent under toleranse	85,4	90,0	94,7

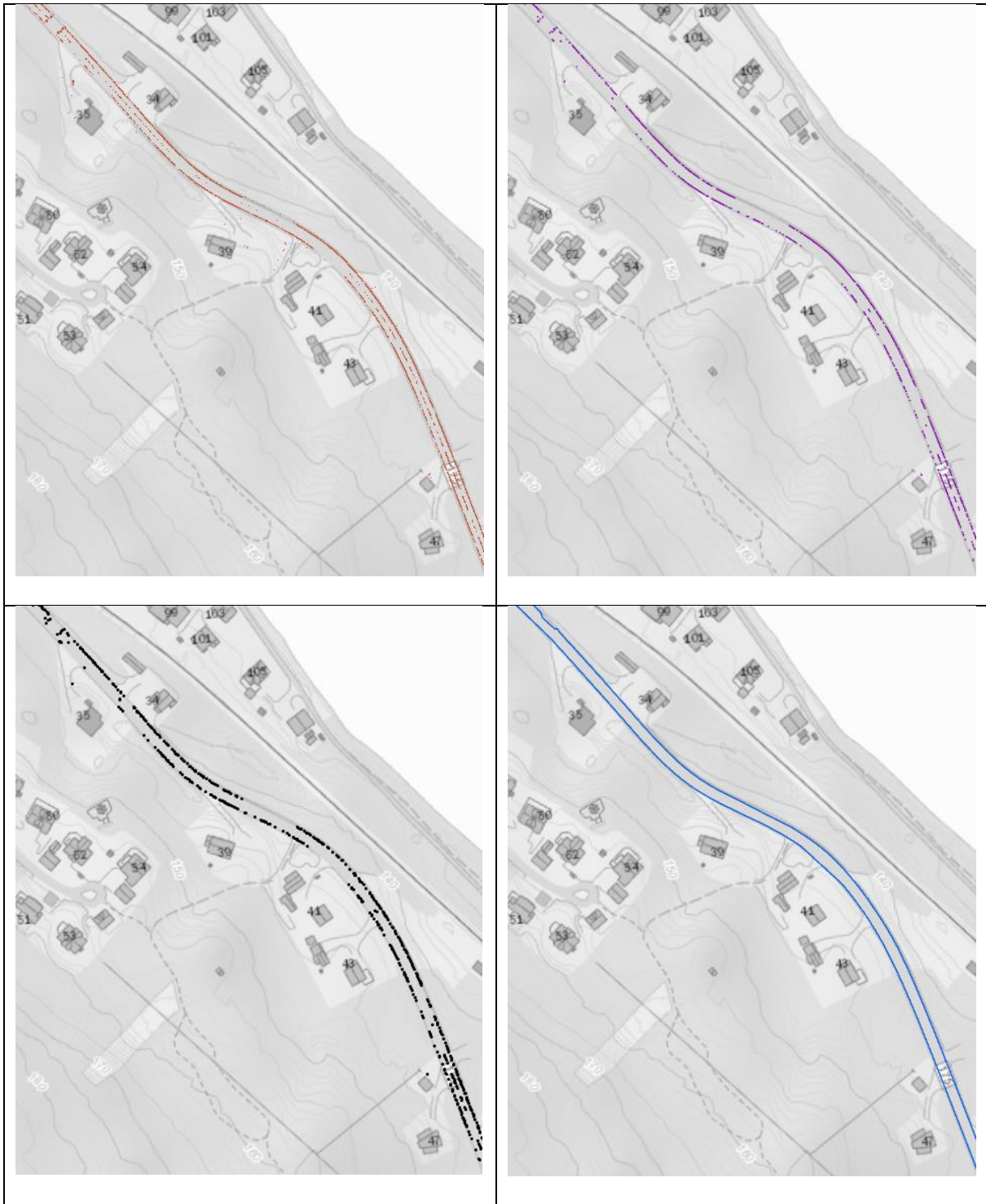
	D	N	Ø
Feilkvadratsum (SSE)	6,515	4,552	1,963
Varians	0,009	0,006	0,003
Standardavvik (σ)	0,094	0,079	0,052

AVSTAND	
Gjennnitt	0,060
Sum produkt	1,524
Sum v-gjennnitt ²	3,845
Antall observasjoner	731
Antall naboer	730
Moran's I	0,397

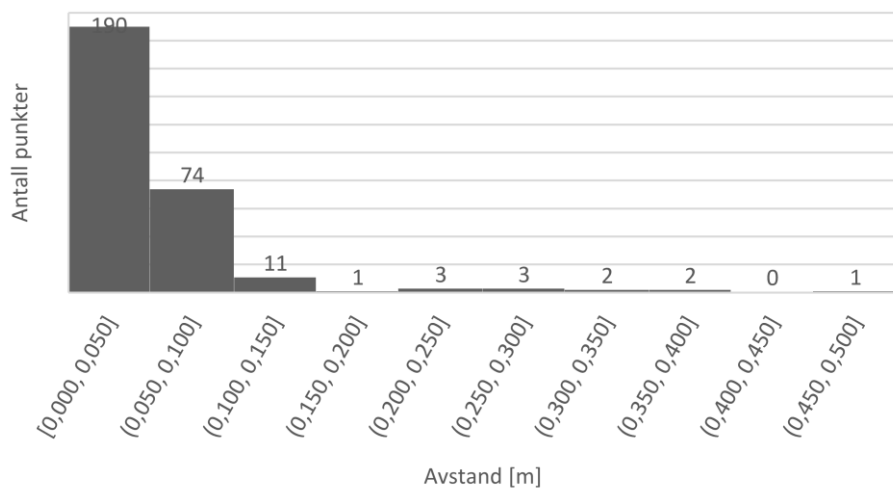
Linjelengde testdata (m)	7531
Linjelengde senterlinje x2 (m)	10192
Fullstendighet (%)	73,9

B. Fylkesveg 175 – «Sandervegen»

0,375%-filtrert



Avstand mellom test- og kontrollpunkt



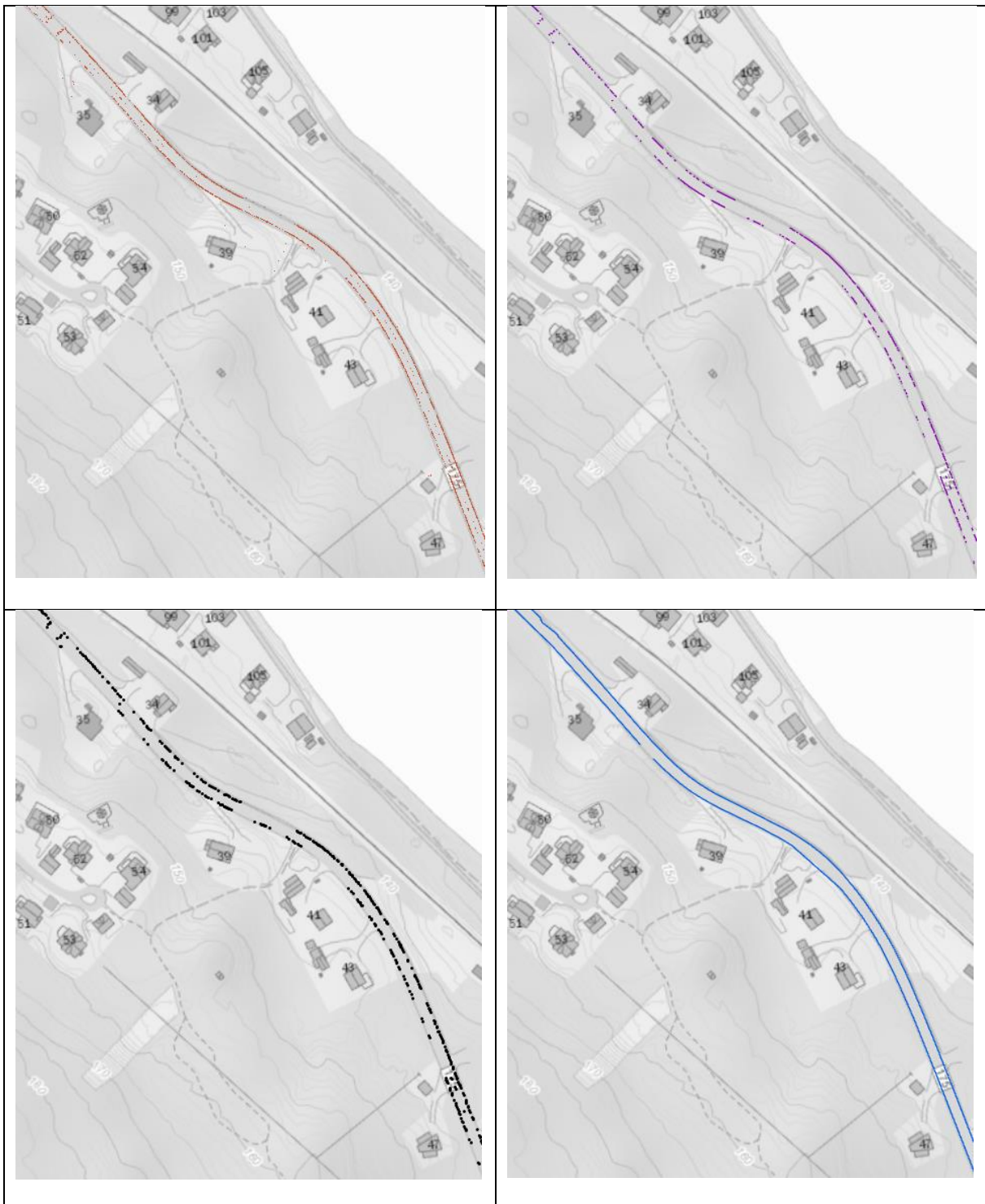
PunktID	AVSTAND		
	D	Toleranse	Avvik
301	0,452	***	0,352
209	0,385	***	0,285
156	0,372	***	0,272
77	0,323	***	0,223
208	0,305	***	0,205
178	0,283	***	0,183
76	0,281	***	0,181
152	0,263	***	0,163
159	0,225	***	0,125
228	0,222	***	0,122

Antall kontrollpunkter	287		
Toleranse	0,1		
	D	N	Ø
Antall punkt over tolera	23	14	11
Prosent under toleranse	92,0	95,1	96,2
	D	N	Ø
Feilkvadratsum (SSE)	1,740	1,069	0,671
Varians	0,006	0,004	0,002
Standardavvik (σ)	0,078	0,061	0,048

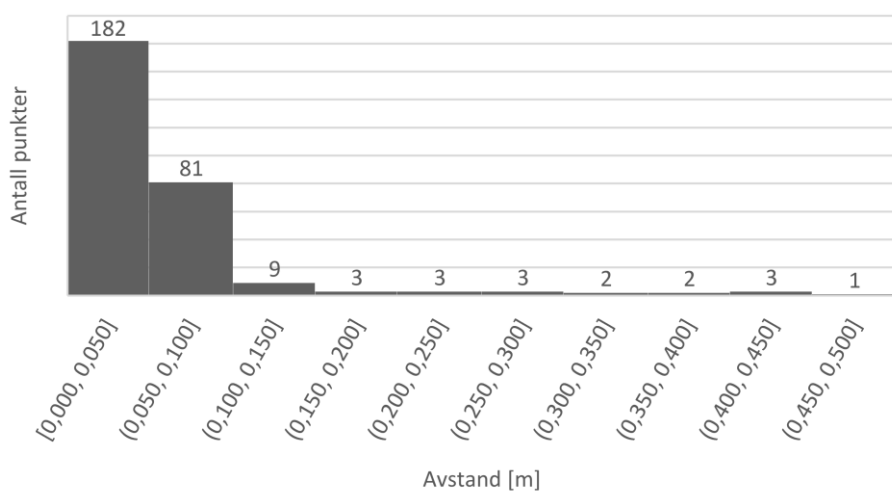
AVSTAND	
Gjennnitt	0,049
Sum produkt	0,441
Sum v-gjennnitt^2	1,056
Antall observasjoner	287
Antall naboer	286
Moran's I	0,419

Linjelengde testdata (m)	2922
Linjelengde senterlinje x2 (m)	2927
Fullstendighet (%)	99,8

0,25%-filtrert



Avstand mellom test- og kontrollpunkt



PunktID	AVSTAND		
	D	Toleranse	Avvik
155	0,453	***	0,353
209	0,446	***	0,346
169	0,442	***	0,342
158	0,416	***	0,316
179	0,368	***	0,268
208	0,365	***	0,265
178	0,321	***	0,221
77	0,314	***	0,214
152	0,288	***	0,188
124	0,276	***	0,176

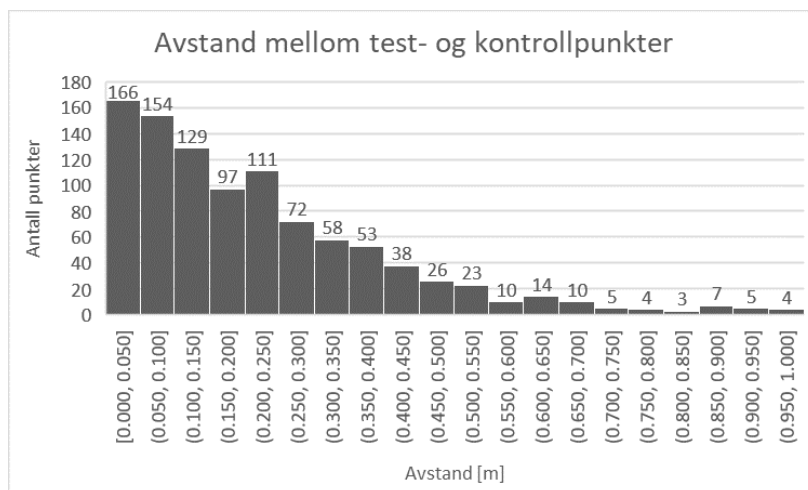
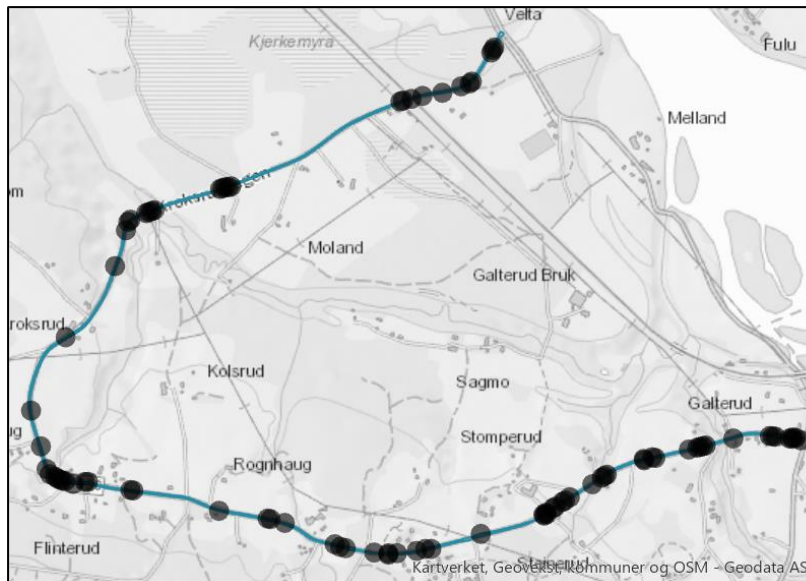
Antall kontrollpunkter	289		
Toleranse	0,1		
	D	N	Ø
Antall punkt over tolera	26	17	16
Prosent under toleranse	91,0	94,1	94,5
	D	N	Ø
Feilkvadratsum (SSE)	2,356	1,199	1,157
Varians	0,008	0,004	0,004
Standardavvik (σ)	0,090	0,064	0,063

AVSTAND	
Gjennnitt	0,055
Sum produkt	0,629
Sum v-gjennnitt^2	1,491
Antall observasjoner	289
Antall naboer	288
Moran's I	0,423

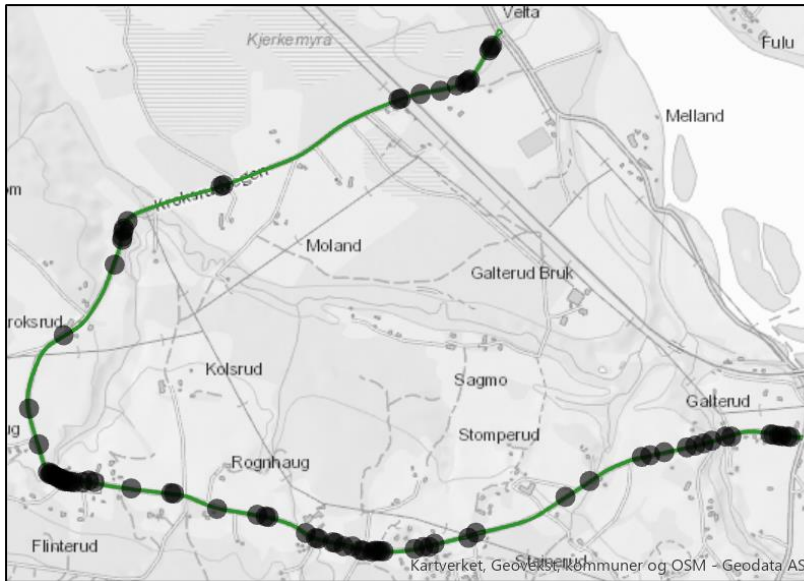
Linjelengde testdata (m)	2928
Linjelengde senterlinje x2 (m)	2926
Fullstendighet (%)	100,1

Vedlegg II – Resultater fra metode 2

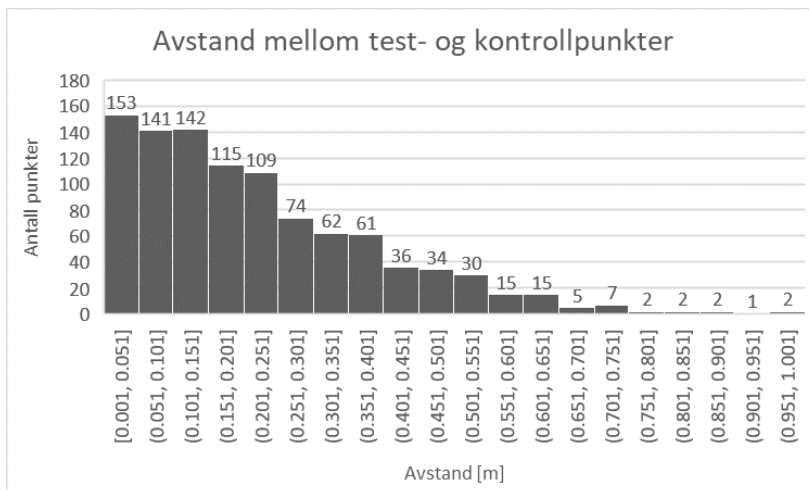
01x10_0.50x1x10



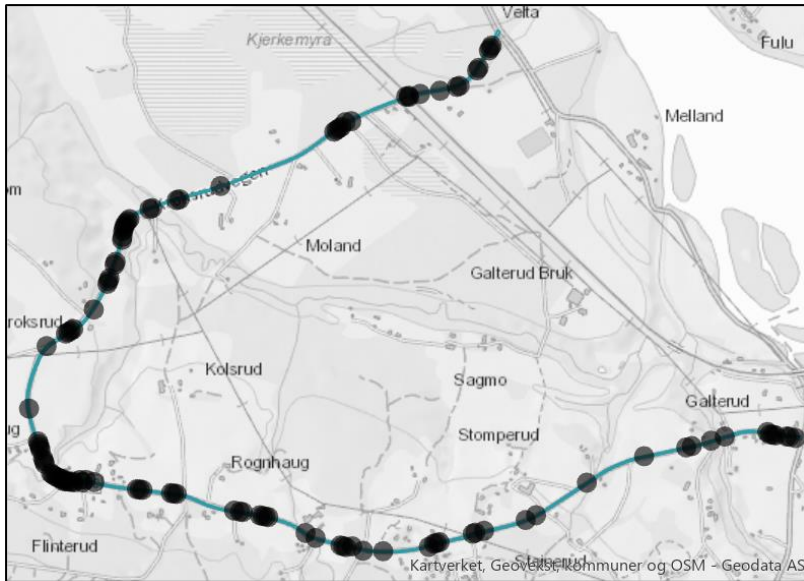
01x10_0.25x1x10



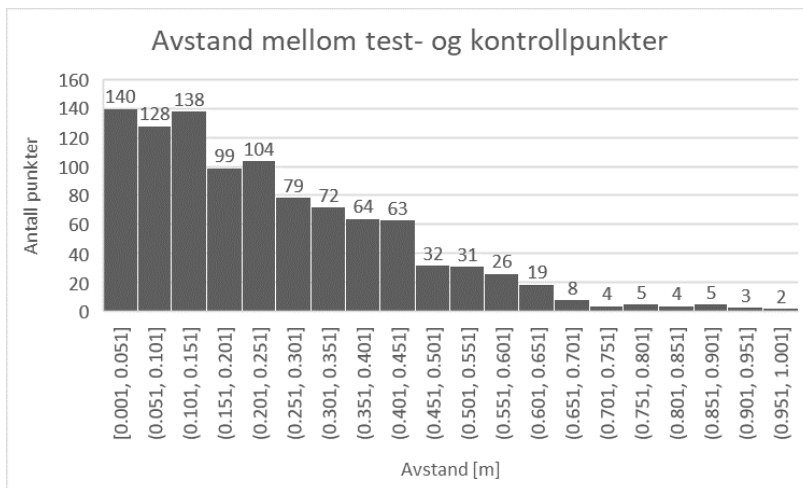
01X10_0.25X1X10
 — 01x10_0.25x1x10
 ● 01x10_0.25x1x10_OVER 0,5



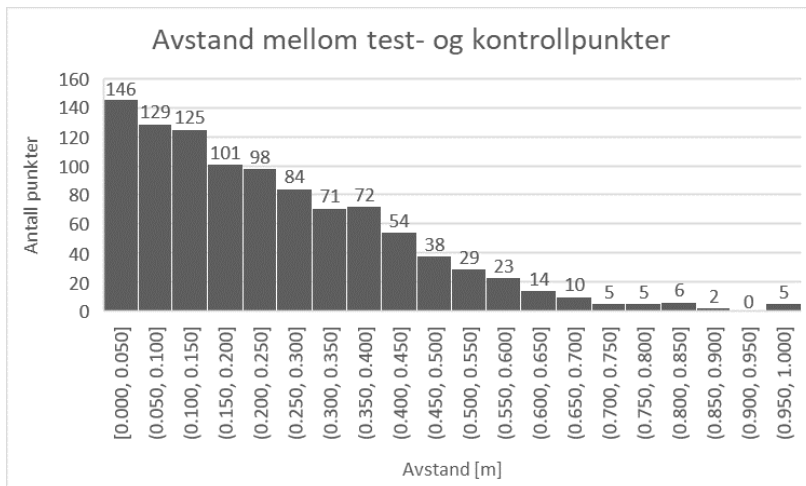
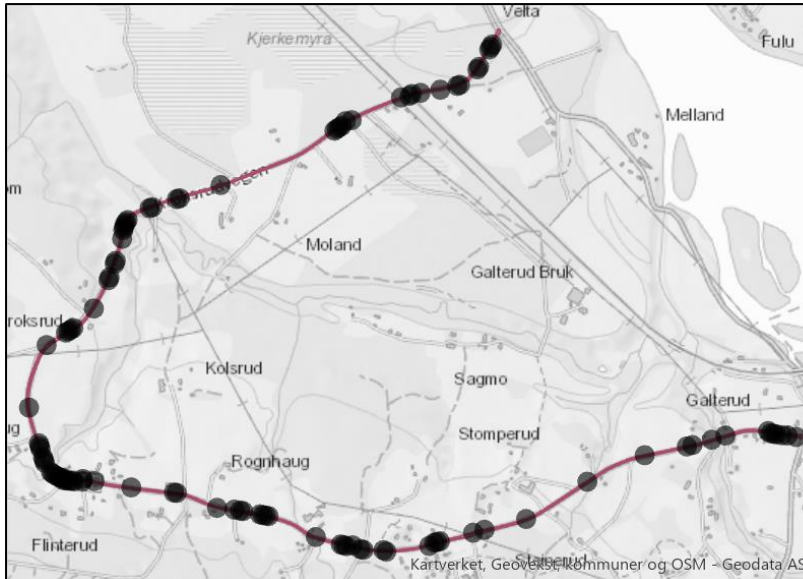
01x5_0.50x1x10



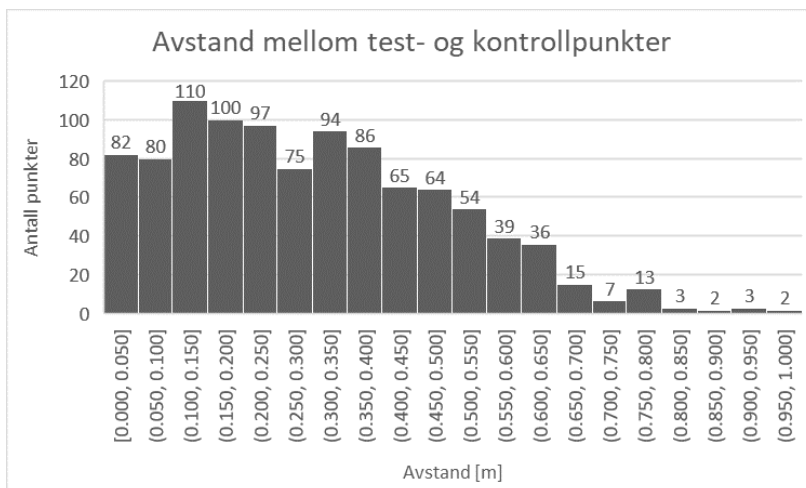
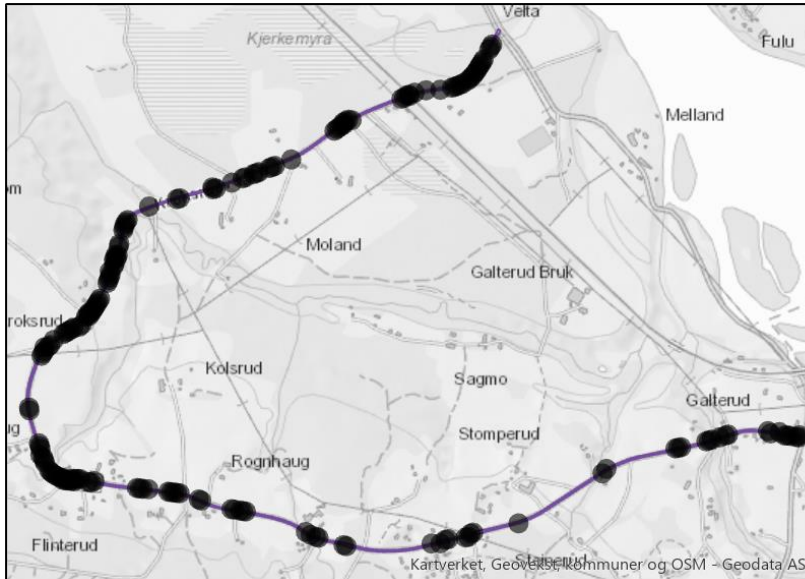
01x5_0.50x1x10
 01x5_0.50x1x10
 01x5_0.50x1x10_OVER 0,5



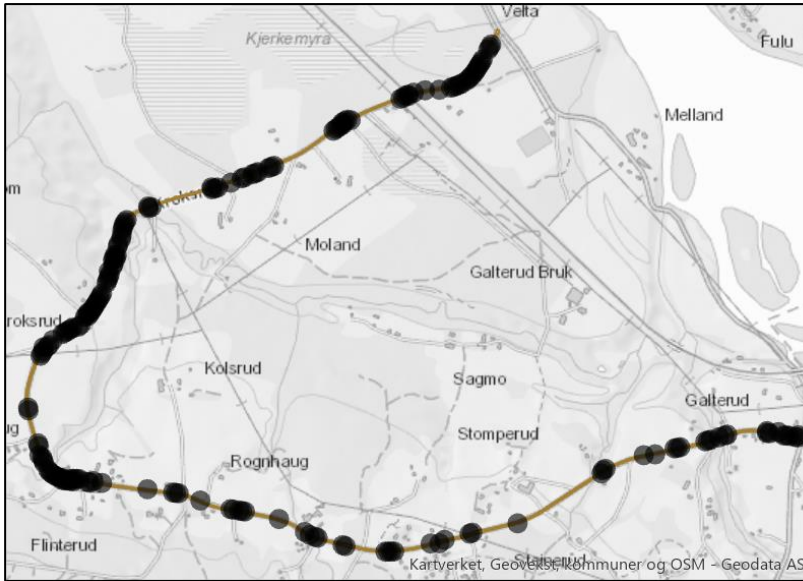
01x5_0.50x1x6



03x15_0.5x1x3



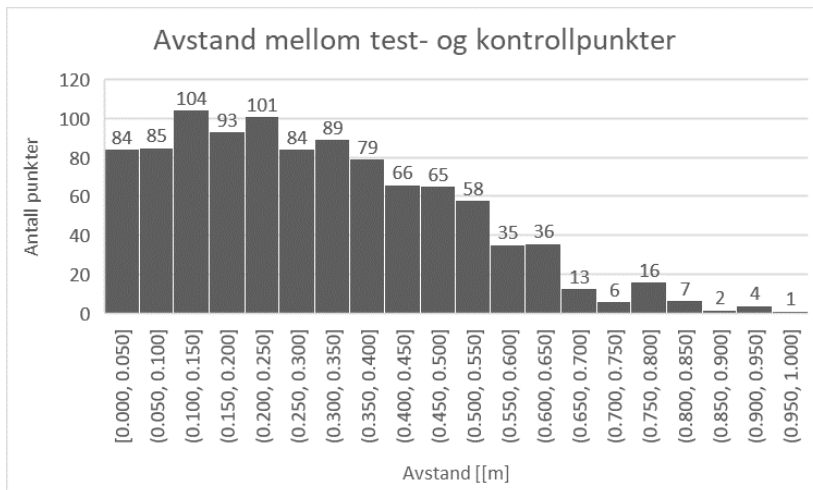
03x15_0.75x1x6



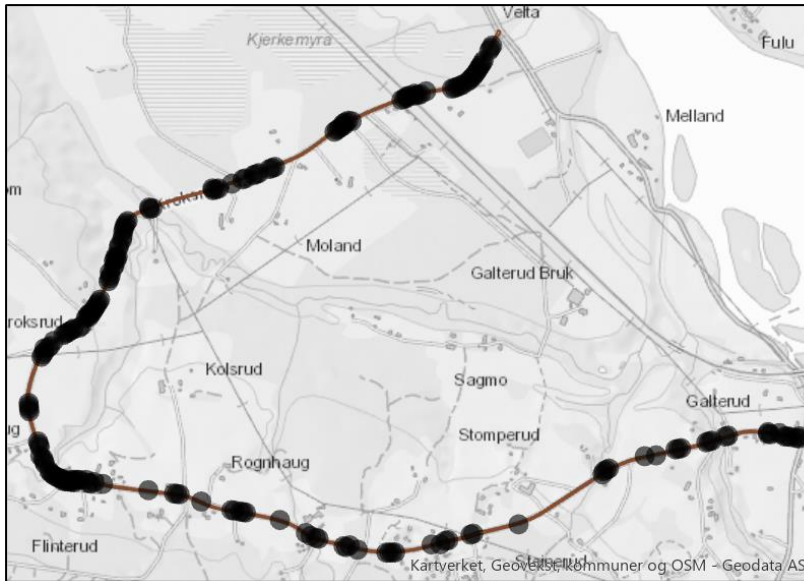
03x15_0.75x1x6

03x15_0.75x1x6

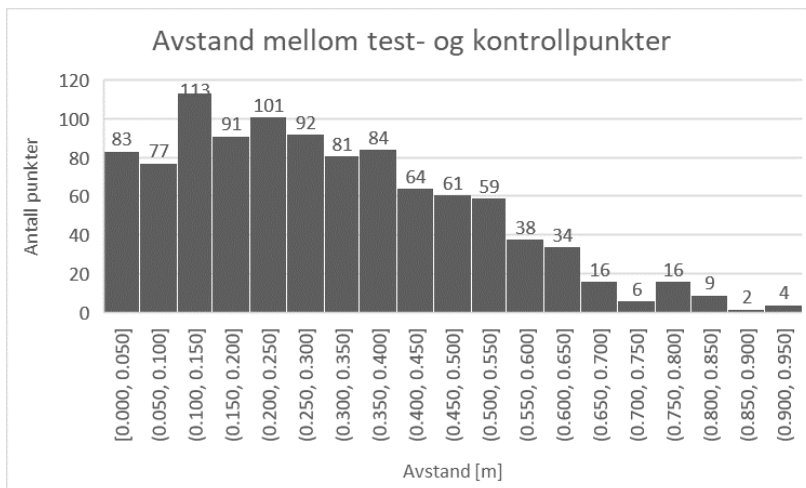
03x15_0.75x1x6_OVER 0,5



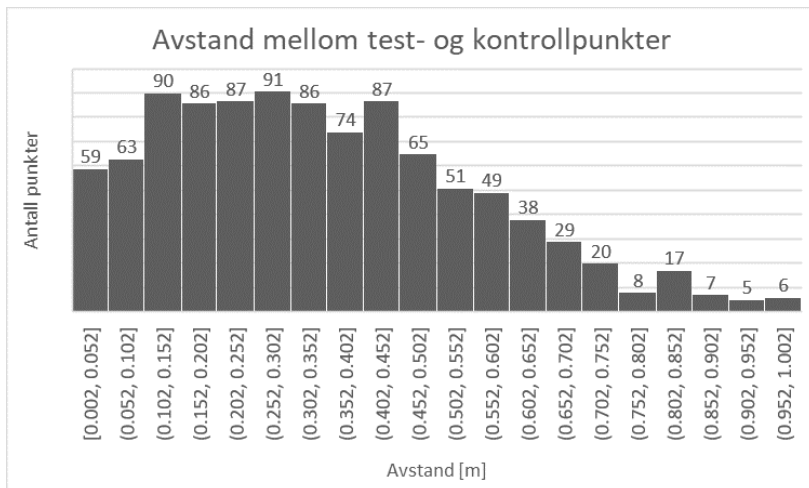
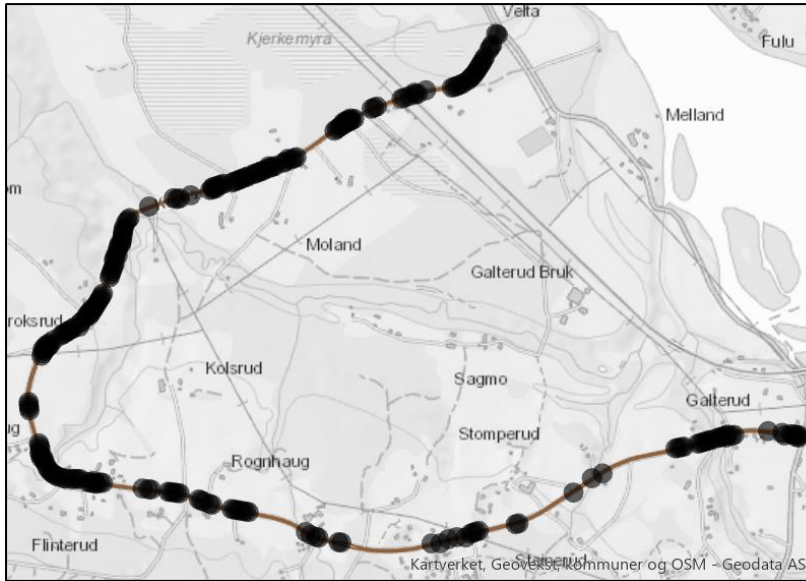
03x15_0.75x1x10



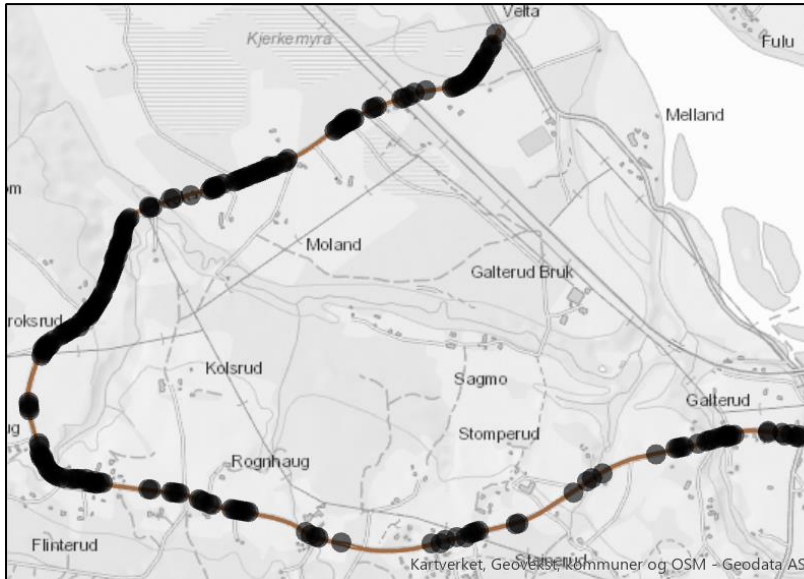
03x15_0.75x1x10
 — 03x15_0.75x1x10
 ● 03x15_0.75x1x10_OVER 0,5



03x10_0.50x1x3

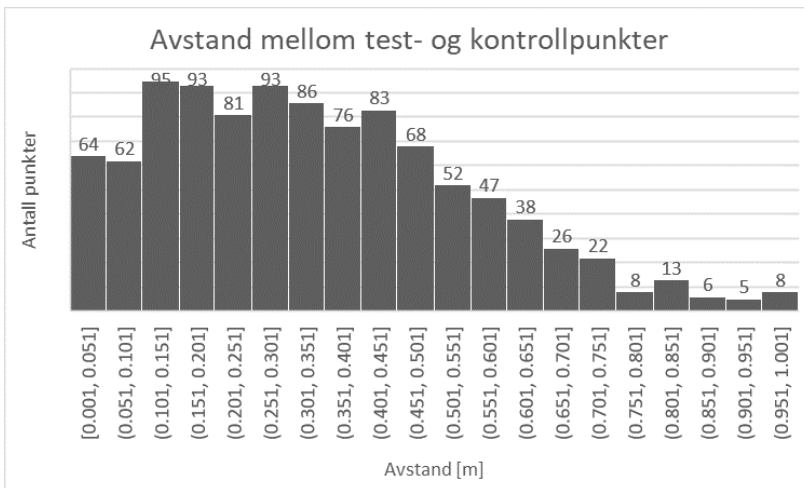


03x10_0.75x1x3

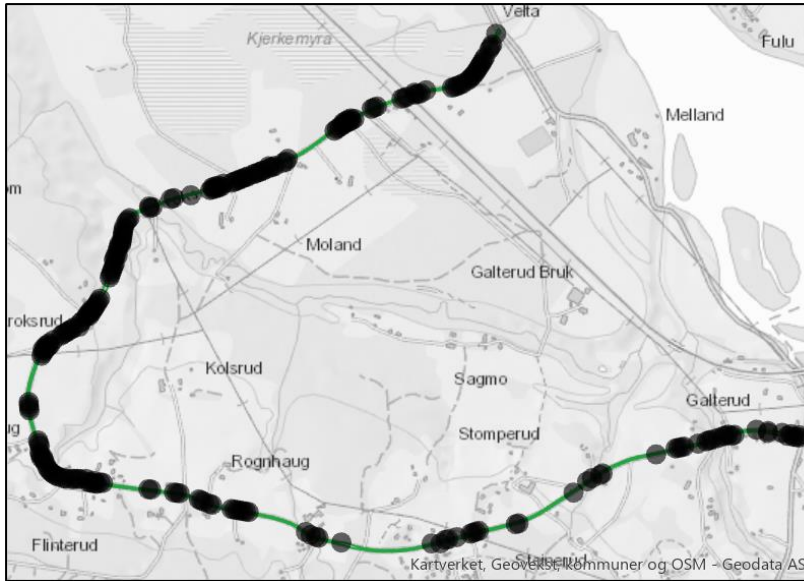


03x10_0.75x1x3

- 03x10_0.75x1x3
- 03x10_0.75x1x3_OVER 0,5

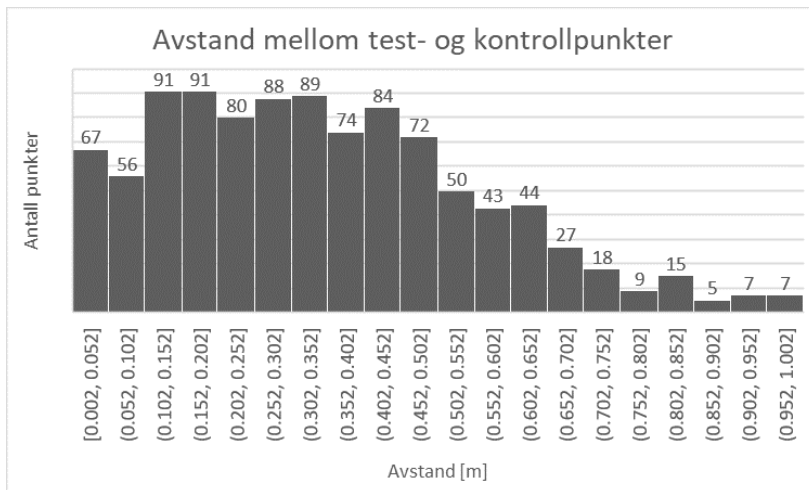


03x10_0.75x1x6



03x10_0.75x1x6

- 03x10_0.75x1x6
- 03x10_0.75x1x6_OVER 0,5



C. Metode 2

