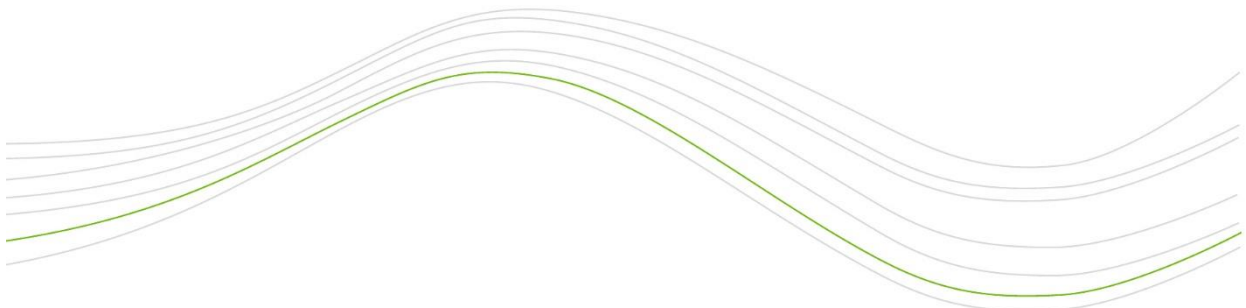
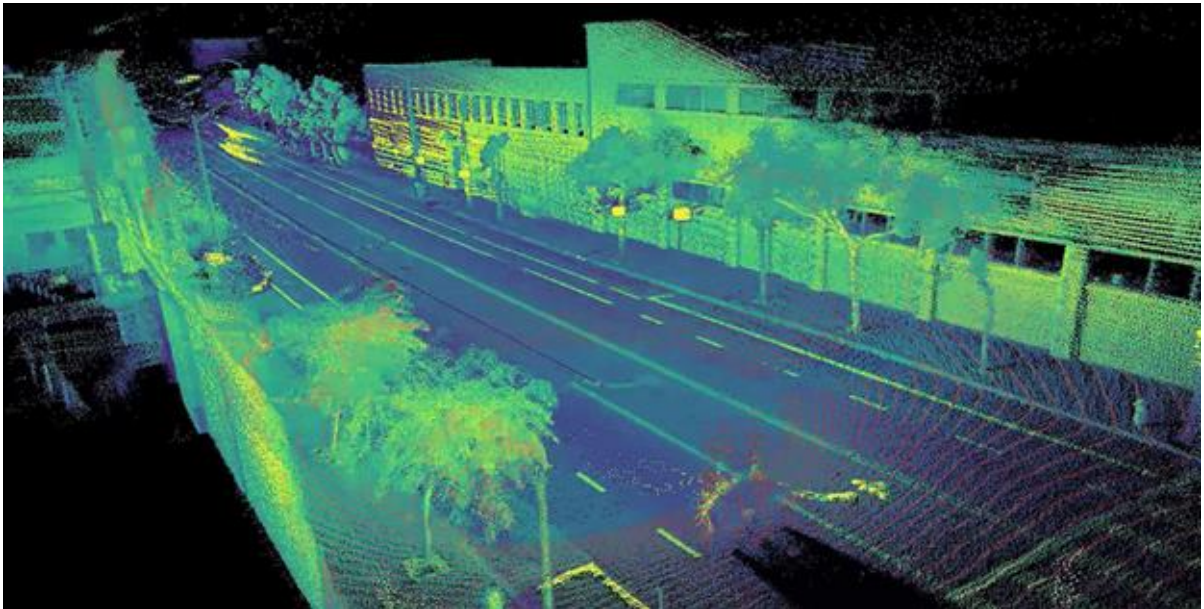




Kartverket

Punktsky i sanntid - PISI

Rapport 19-04811-15



Informasjon om rapporten:

Tittel: Punktsky i sanntid - PISI

Dato: 16.08.2022

ISBN-nr.: 978-82-7945-475-5

Rapport nr.: 19-04811-15

Forfatter: Tore Abelvik, Morten Taraldsten Brunes, Jon Moe, Magne Bugten, Ingrid Fausk, Robin Kleiven, Arnlaug Høgås Skjæveland, Mathieu Tachon, Ole Johan Ekeli Klingan, Thomas Ellet, Carsten Mielke, Erlend Klokkervold, Christian Malmquist, Zeljka Jakir

Klassifisering: Fri

Oppsummering: Rapporten beskriver hvordan punktskyer langs vei, både fra offentlige og private aktører, kan forvaltes og deles i fremtiden. Det beskrives også hvordan punktskyer kan oppdateres i sanntid ved at et kjøretøy med sensorer samler, verifiserer og endrer data.

Nøkkelord: Dataforvaltning, datadeling, samarbeid, punktskyer, klassifisering, endringsdeteksjon, sanntid

Godkjent av: Zeljka Jakir

Vennligst siter denne rapporten som følger:

Abelvik, T., Taraldsten Brunes, M., Moe, J., Bugten, M., Fausk, I., Kleiven, R., Høgås Skjæveland, A., Tachon, M., Ekeli Klinga, O. J., Ellet, T., Klokkervold, E., Mielke, C., Malmquist, C., Jakir, Z., 2022. Punktsky i sanntid - PISI, Fagrapport fra Statens kartverk 19-04811-15, ISBN 978-82-7945-475-5.

Innhold

Abstrakt.....	1
1 Bakgrunn.....	2
2 Prosjektorganisering	3
3 Arbeidspakke 1	4
3.1 Videreutvikle felles punktskyforvaltningsløsning, uavhengig av punktskydatakilde (droner, fly og mobil laser).....	4
3.1.1 Omfang.....	5
3.1.2 Tilrettelegging av data.....	6
3.2 Ferdigstillelse av NDR prosjektets visningsklient ut mot eksterne brukere av punktskydata.....	7
3.3 Plan for skalering av forvaltningsmodell og samarbeidskonstellasjoner.....	9
4 Arbeidspakke 2	11
4.1 Overordnet teknisk løsning	12
4.2 Detaljert teknisk løsning	13
4.2.1 Målebil.....	13
4.2.2 Mellomløsning	19
4.2.3 Klassifisering	20
4.2.4 Endringsdeteksjon	24
4.2.5 Forvaltning av en levende punktsky	27
4.2.6 Teknisk dokumentasjon	27
4.3 Gjenstående arbeid og eventuelle endringer for å demonstrere oppdatering av punktsky i sanntid	28
4.3.1 Sanntid	29
4.3.2 Forvaltning	29
4.3.3 Endringsdeteksjon	29
5 Brukerundersøkelser.....	30
6 Kommunikasjon eksternt.....	30
7 Eksternt samarbeid	31
7.1.1 Applied Autonomy.....	31
Vedlegg	33
Vedlegg 1	33
Dataflyt georeferering av punktsky.....	33
Vedlegg 2	34
Tilrettelegging av punktsky	34

Abstrakt

I arbeidspakke 1 i prosjektet har vi fokusert på den datafangsten som årlig gjøres av Statens vegvesen og fylkeskommunene langs veinettet. Dette er data som i dag blir lite brukt utover å vurdere vegdekketilstanden. Vi har samlet eksempeldata og vurdert hva som må til for at data skal være av en kvalitet som gjør at de vil være nyttige for flere brukere med andre bruksformål.

Det har blitt identifisert to hovedutfordringer:

1. Målebilene kjører med CPOS og IMU, men posisjon blir ikke etterprosessert for å kvalitetsheve posisjonen slik det er vanlig ved tradisjonell mobil skanning.
2. Det er arbeidskrevende å ta en rå punktsky fra målebilene til og gjøre denne tilgjengelig på høydedata.no.

Disse utfordringene har vi adressert i arbeidspakken.

Vi har også jobbet med å bevisstgjøre organisasjonene om den potensielle nytteverdien for denne typen data og motivere for forvaltning og tilgjengeliggjøring gjennom høydedata.no.

Prosjektet har hatt som mål å formidle prosjektets konsept og utfordre potensielle brukere av punktskyer i sanntid. Det er gjort ved å gjennomføre brukerundersøkelser mot aktører innen ITS (Intelligente Transport Systemer) der sikkerhetskritiske anvendelser som autonom kjøring hører til. Prosjektet er også presentert i fagforum og konferanser.

Resultatet fra brukerundersøkelsen er benyttet videre som grunnlag til forbedringer av forvaltningsløsning for punktsky, og tettere samarbeid med aktører som samler inn mobil punktsky. Samarbeid eksternt er etablert med Applied Autonomy og Adastec som er deres leverandør av autonome kjøretøy. De har benyttet en 3. parts punktsky, altså har de ikke kartlagt selv, for å kunne utnytte seg av eksisterende geografiske data. Dette er vesentlig for å kunne skalere opp autonom kjøring og raskere driftssetting av nye prosjekter. Kartverket er sammen med Applied Autonomy og flere andre sammen om en prosjektsøknad til Forskningsrådet under programmet "Grønn Plattform".

I arbeidspakke 2 er det demonstrert muligheten for å samle, prosessere og strøme laserdata inn til en sentral forvaltningsplattform i nær sanntid. Prosjektet har ikke ferdigstilt en sammenhengende løype med alle modulene som skal til for å oppdatere en punktsky i sanntid, men for alle modulene er det funnet en teknisk løsning som beviser at dette er mulig. Følgende moduler er definert for å kunne oppdatere en punktsky i sanntid:

1. Datafangst med egenutviklet programvare.
2. Georeferering av punktsky sanntid.
3. Automatisk klassifisering av punktsky ved bruk av maskinlæring.
4. Endringsdeteksjon med hjelp av statistiske metoder.

5. Opplasting av georeferert punktsky fra målebil til forvaltningsdatabase med mobilt bredbånd.
6. Innlasting av punktsky til forvaltningsdatabase.
7. Oppdatering av punktsky i forvaltningsdatabase
8. Visualisering av innsamlede data fra forvaltningsbasen via 3d tiles.

Modulene som er satt sammen til en løype i prosjektet er [1,2,5,6,8], [2,3] og [4]. Det er dermed vist at det er mulig å georeferere en punktsky i sanntid i målebil og strøme dataene til Kartverkets forvaltningsdatabase. På grunn av manglende datakraft (GPU) til å kjøre maskinlæringen modellen i målebil ble det simulert georeferering i sanntid og automatisk klassifisert en punktsky på Kartverkets maskinlæringsserver. Endringsdeteksjon er utført ved at det manuelt er klassifisert punktsky som er beregnet fra sensorene på målebil, altså to versjoner av en punktsky langs en veistrekning der det er ulikheter. Objekter som er fjernet eller kommet til langs veien avsløres, og den originale punktskyen oppdateres.

Punkt 7 om oppdatering av punktskyen i forvaltningsdatabasen er ikke utført fullt ut. I prosjektet er forvaltningsdatabasen implementert og det leses punktsky derfra. Å skrive data til forvaltningsdatabasen er en triviell utfordring, det må derimot undersøkes hvordan punktskyen oppdateres på en mest hensiktsmessig måte. For eksempel om man skal oppdatere enkeltobjekter eller stykkevis langs en vei der det er endringer. Prosjektet har en metode for å lage et omriss rundt et objekt som er endret, og dermed er det mulig å fjerne eller legge til enkeltobjekter fra punktskyen selv om dette ikke er testet i praksis.

Prosjektet anser det som bevist at oppdatering av georeferert punktsky i sanntid er mulig å få til. Ikke alle tekniske utfordringer er løst på en optimal måte, men prosjektmålet var å vise at dette er mulig og ikke bruke ressurser på å finpusse alle detaljer.

1 Bakgrunn

Prosjektet er et innovasjonsprosjekt som har som ambisjon å videreutvikle forvaltningsløsningen for punktskydata (høydedata.no), for innsamling, beriking og deling til offentlige og private aktører. Prosjektet anser det som svært nyttig å legge til rette for at innbyggere, private og offentlige aktører kan dele punktskydata og motta kvalitetssikret punktskydata tilbake. Prosjektets andre innovasjonsambisjon er å utvikle proof of concept (PoC) som gjør det enkelt for private og offentlige aktører innenfor ITS verdikjeden å dele og motta en sanntidsoppdatert versjon av punktskydatagrunnlaget for presis, riktig og sikker navigasjon for autonome kjøretøy og fartøy.

Prosjektet er avgrenset til å være et innovasjonsprosjekt med relativ høy risiko, spesielt omkring utviklingen av et PoC for datastrømming av oppdatert punktskydata til kjøretøy i fart.

En fullstendig utredning av de juridiske, finansielle, økonomiske, driftsmessige og regulatoriske sidene omkring rollen som offentlig punktskydataforvalter og

massemarkeds datastrømmingen av punktskydata er ikke en del av prosjektets mål eller innovasjon.

Prosjektet er delt i to mål og arbeidspakker med delmål:

- **Videreutvikle forvaltningsløsningen for punktskydata (høydedata.no) for innsamling, beriking og deling til og fra offentlige og private aktører.**
 - Videreutvikle felles punktskyforvaltningsløsning, uavhengig av punktskydatakilde (droner, fly og mobil laser)
 - Ferdigstillelse av NDR prosjektets visningsklient ut mot eksterne brukere av punktskydata. Hensikten er å ha en PoC klient som er avgrenset til å vise en oversikt over tilgjengelige punktskydata, og selve punktskyen. PoCen skal flyttes til kartverkets infrastruktur.
 - Plan for skalering av forvaltningsmodell og samarbeidskonstellasjoner.
- **Utvikling og uttesting av proof of concept for sanntidsdatastrømming av punktskydata for ITS anvendelser.**
 - Brukerundersøkelser
 - Mellomløsning for punktskystrømming
 - Intern datainnsamling for etablering av datastrømming
 - Endringsdeteksjon av og med punktsky
 - Kvalitetssikring av data
 - Eksternt samarbeid for strømming av punktsky

2 Prosjektorganisering

Prosjektet er sammensatt av medlemmer fra geodesi, land og IT for å sikre nødvendig kompetanse.

Prosjekteier: Astrid Marie Flattum Muggerud

Prosjektleder Zeljka Jakir

Arbeidspakkeleder 1: Tore Abelvik, landdivisjonen

Arbeidspakkeleder 2: Morten Taraldsten Brunes, geodesidivisjonen

IT – Magne Bugten, Thomas Ellet, Carsten Mielke, Erlend Klockervold, Mathieu Tachon (fra april 2022)

Land – Jon Moe

Geodesi – Ole Johan Ekeli Klingan, Arnlaug Høgås Skjæveland, Ingrid Fausk, Robin Kleiven, Samuel Schiess

3 Arbeidspakke 1

Videreutvikle forvaltningsløsningen for punktskydata (høydedata.no) for innsamling, beriking og deling til offentlige og private aktører.

A1.1 Videreutvikle felles punktskyforvaltningsløsning, uavhengig av punktskydatakilde (droner, fly og mobil laser)

- Kartlegging av ressursbehov for tilrettelegging og lagring av punktskydata i høydedata.no.
- Data tilgjengeliggjort for eksterne aktører for å hente punktsky (samle, forvalte og distribuere til brukere)
- Tilrettelegging for mellomløsning for strømming av punktskydata spesifikt mot ITS anvendelsen i prosjektet (ref. arbeidspakke A2.2)

A1.2 Ferdigstillelse av NDR prosjektets visningsklient ut mot eksterne brukere av punktskydata.

- Hensikten er å ha en PoC klient som er avgrenset til å vise en oversikt over tilgjengelige punktskydata, og selve
- punktskyen. PoCen skal flyttes til kartverkets infrastruktur
- Ivareta kobling mot annen data tilgjengeliggjort via Geonorge. Tilgjengeliggjøring av data.

A1.3 Plan for skalering av forvaltningsmodell og samarbeidskonstellasjoner.

- Etablere midlertidige avtaler for dataleveranser fra utvalgte aktører og brukere (pilotperiode)
- Utrede anbefaling om forretningsmodell, finansieringsplan for etablering, oppskalering og fullskala drift basert på utredningsinstruks kortform, herunder avklare juridiske forhold om datadeling- og bruk

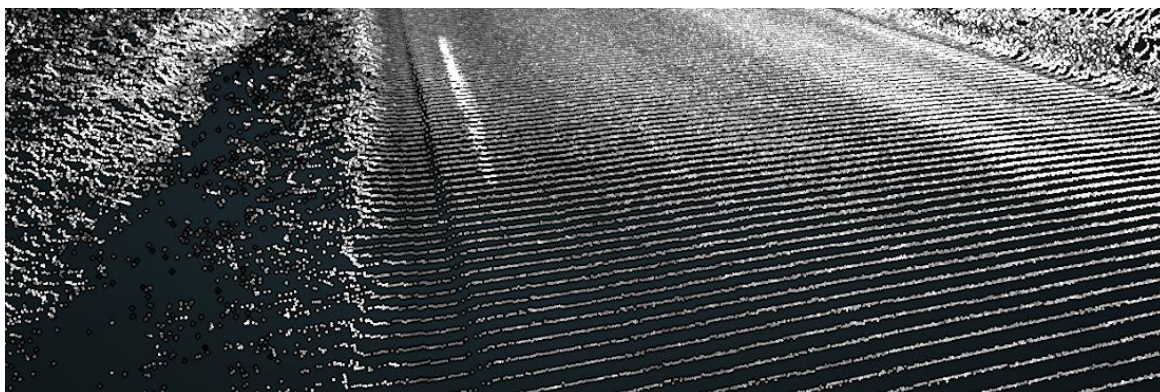
3.1 Videreutvikle felles punktskyforvaltningsløsning, uavhengig av punktskydatakilde (droner, fly og mobil laser)

Høydedata.no er utviklet med tanke på behovene i nasjonal høydemodell prosjektet (NDH). Løsningen er likevel tilrettelagt for å håndtere andre typer punktskydata, slik som skanning fra bil. Dagens krav til kvalitet og korrekte metadata gjør at det er utfordrende for andre enn tradisjonelle kartleggingsfirma å levere data som er klar til å lastes opp på høydedata.no. (dette gjelder for så vidt også for ortofoto til norgebilder.no, selv om dette er utenfor omfanget til dette prosjektet.)

Vi har i dette prosjektet hatt møter med og hentet inn eksempeldata fra Statens Veivesen og ulike fylkeskommuner som årlig samler inn punktskydata langs sine veier for å analysere veidekketilstand. I prosjektet har vi sett på hva som må til for å kvalitetsheve disse datasettene slik at de har nytte utover dagens bruksområde og gjøre de nyttige for flere bruksformål.

3.1.1 Omfang

Statens vegvesen og fylkeskommunene skanner alle sine veier årlig. De har i dag en bilpark på til sammen omtrent 17 biler som skanner veiene. Disse er alle levert av samme leverandør, men har noe ulikt utstyr. Alle bilene har CPOS, IMU og en skanner som måler vinkelrett ned på kjørebane. Ved normal skanning blir det skannet et profil hver åttende cm som vist i Figur 1.



Figur 1. Profiler vinkelrett på veibanen.

Den vertikalstilte skanneren skanner 360grader på de fleste bilene, men enkelte er begrenset til å kun skanne 180 grader. Fylkeskommunen i Troms og Finnmark og i Møre og Romsdal har i tillegg til denne skanneren montert på to skråstilte skannere for å kunne samle en tettere punktsky med bedre objekt deteksjon og et 360-kamera for å fargelegge denne.

Det blir årlig gjort datafangst på alle Europa-, riks- og fylkesveier. Totalt utgjør dette ca. 63 000km med veier.

Basert på eksempeldata ser vi at det ca. blir 275MB/km for rå punktskydata (tall er for skanning begge veier.)

Totalt vil dette utgjøre 17.24TB/år i rådata.

Kostnad for sikker lagring er ca. 5700-7500kr per TB/år. Pris på disk til lagring har de siste årene gått ned mer enn prisene på CPU og minne. Vi forventer derfor at prisen på lagring vil gå noe ned over tid.

$$17.24\text{TB} * 7000\text{kr/TB}$$

=> ca 120 700 kr/år i lagringskostnader av rådata

For NDH prosjektet regner vi at lagringsmengden er ca. tre ganger så stor som mengden rådata. NDH prosjektet, Nasjonal Detaljert Høydemodell, har samlet inn luftbårne punktskyer over hele Norge og dataene via en forvaltningsplattform (www.hoydedata.no).

Total lagringskostnad per år for forvaltning og tilrettelegging i høydedata.no blir da ca 362 000 kr/år.

Tynning av data og klipping av data over en viss avstand fra kjørebane vil kunne redusere total datamengde betraktelig. Eksempelvis vil tynning til maks 100pkt/m² redusere datamengden til 12% i våre tester. Kostnaden for lagring kan dermed reduseres til 40 000 - 50 000kr årlig uten at data blir merkbart dårligere.

Ekstra skråstilte sensorer vil øke rådatamengden betraktelig, men en tynning vil føre til at datamengden kan holdes relativt konstant uavhengig av oppløsning på rådata.

3.1.2 Tilrettelegging av data

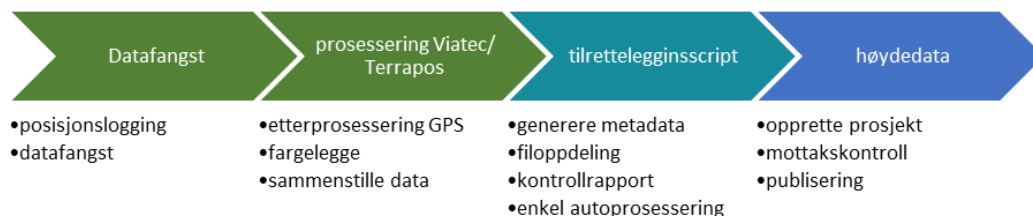
Punktskyene som samles inn for veidekkeanalyser har ikke strenge krav til absolutt nøyaktighet. Bilene kjører med CPOS og IMU for å få en brukbar posisjonering, men det blir ikke gjort noen etterprosessering av GPS-data med tanke på å forbedre absolutt posisjonering. I områder med høy skog, bratte fjell og høye bygg vil GPS-posisjonen kunne avvike. Tuneller er ekstremtilfellet av dette og vil stort sett føre til avvik på flere meter.

Statens Veivesenet (SVV) har utfordret utstyrsleverandøren sin Viatec på å komme opp med en løsning på dette og programvaren blir nå utviklet for å kunne kjøre etterprosessering av Navigasjonsløsningen (Viatec i kombinasjon med TerraPos). Sesongen 2022 er det planlagt at all vegdekkeskanning vil foregå med full logging av GPS slik at data kan etterprosesseres. SVV har også prosjekt på gang for å undersøke om det er mulig å sette ut referansemerker i tuneller for å bedre posisjoneringen i disse.

Det er ventet at dette vil få absolutt posisjonsnøyaktigheten ned til 5 cm. Om vi faktisk oppnår dette gjenstår å verifisere når vi mottar datasett fra 2022 sesongen.

Dagens høydedata.no stiller strenge krav til kartbladinndeling og metadata, dette kan være utfordrende å tilrettelegge, selv for proffe aktører, dersom de ikke har erfaring med slike leveranser.

Vi planlegger å lage en løsning som kan ta inn en punktsky, generere nødvendige metadata, avgrensingsfiler og tilrettelegge disse for opplasting i høydedata.no. I tillegg vil enkle analyser blir gjort av punktskyen for å kontrollere overensstemmelse med eksisterende data. Løsningen er skissert og klar til utvikling. Også se *Vedlegg 2 - Tilrettelegging av punktsky.docx* for beskrivelse.



Figur 2. Skisse over dataflyt for vegdekkeskanning

I Figur 2 over er grønne felter prosesser som foregår hos SVV/FK, mens blå felter foregår hos Kartverket. Operasjoner innenfor hvert felt vil være automatiserte i stor grad, men dataflyt mellom feltene vil være manuelle.

Det er lagt opp til at brukere i FK og SVV selv kan laste opp sine data på hoydedata.no. Brukere på høydedata-teamet må i forkant opprette aktuelle prosjekt og gjøre en enkel kvalitetskontroll i etterkant. Hvilket krav en stiller til dataleveransen må en finne ut av når vi får etterprosesserte data fra 2022-sesongen.

Eksempeldata er tilgjengeliggjort på test.hoydedata.no.

3.2 Ferdigstilling av NDR prosjektets visningsklient ut mot eksterne brukere av punktskydata.

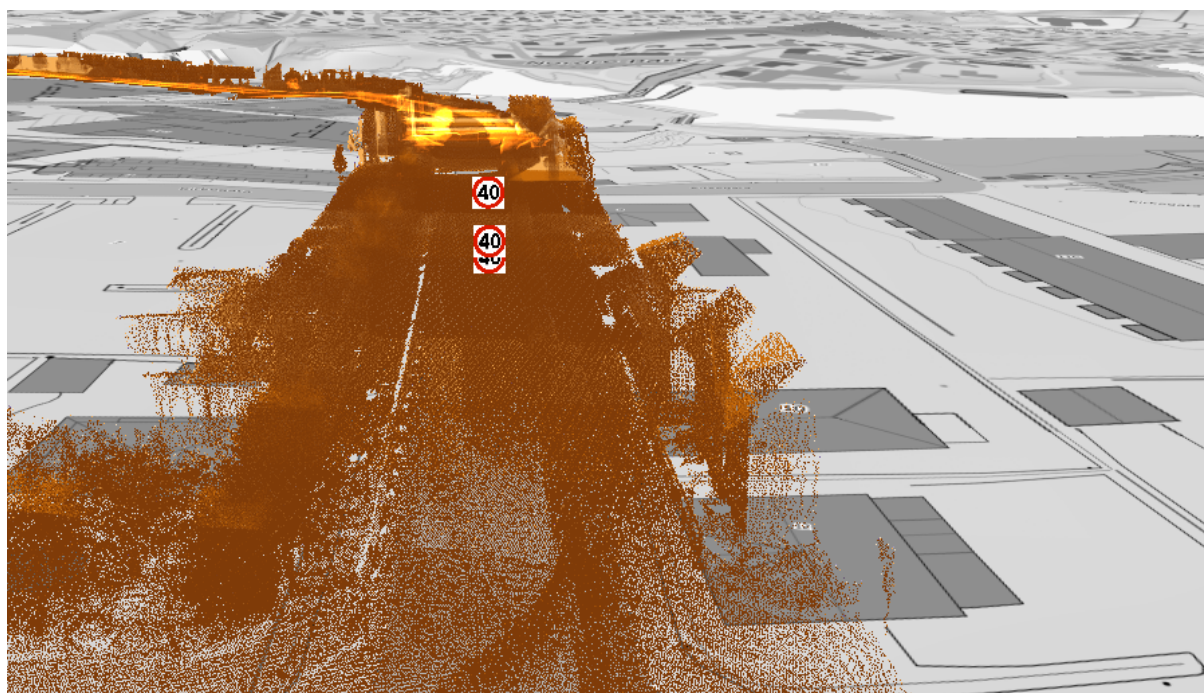
I prosjektet Nordic Dynamic Roadcloud (NDR) ble det av Geodata AS utviklet en PoC basert på åpen kildekode programvare. Cesium ble brukt som teknologi for visningsklienten sammen med Entwine som ble brukt som motor for punktskyen. Etter NDR-prosjektet endte vi opp med en halvferdig PoC og en klikkbar demo når prosjektet var ferdig. I dette prosjektet har vi tatt koden fra den halvferdige klienten og satt opp en visningsklient i kartverkets infrastruktur.

Klienten ble satt opp for å sikre kompetanseoverføring til Kartverket og for å ha en fungerende visningsklient basert på aktuell teknologi.

Cesium er en mye brukt visningsklient som støtter kart i 3D-data i ulike format. <https://cesium.com/>

Entwine er et dataorganiseringsbibliotek rettet mot store punktskyer. Biblioteket muliggjør effektiv strømming av punktskyer både til visning, men også som direkte input i ulike klienter. <https://entwine.io/>

Løsning er satt opp slik at den henter punktsky fra databasen satt opp i arbeidspakke 2. I tillegg til punktskydata og bakgrunnskart blir det hentet fartsgrenseskilt fra Nasjonal VegDataBank (NVDB), som vist i Figur 3.



Figur 3. Punktsky med fartsgrenser fra NVDB

Løsningen fungerer, men det er ikke gjort arbeid for å optimalisere brukergrensesnitt og ytelse. Det finnes flere kommersielle aktører som tilbyr tilsvarende løsninger.

I prosjektet har vi tilegnet oss nok kunnskap om bakenforliggende teknologi til å gå i dialog med slike tilbydere rundt teknologivalg og muligheter.

3.3 Plan for skalering av forvaltningsmodell og samarbeidskonstellasjoner.

Gjennom dette prosjektet har det i hovedsak blitt jobbet mot Statens vegvesen og fylkeskommunene for å se på forvaltningsmodell og samarbeidskonstellasjoner. De samler mobil punktskydata for henholdsvis riksveinettet og fylkesveiene i dag, men har ingen løsning for felles forvaltning og lagring. Figur 4 og 5 viser eksempler på en fargelagt punktsky langs vei.



Figur 4. Fargelagt punktsky



Figur 5. Fargelagt punktsky

Statens vegvesen

I løpet av prosjektperioden er det avholdt toppledermøte mellom Statens vegvesen og Kartverket der punktskyforvaltning var tema. Her ble det vedtatt å opprette ei samarbeidsgruppe som skal jobbe frem avtale for lagring og forvaltning av mobil punktsky. Denne gruppa er nå satt sammen og har oppstartsmøte rett etter sommeren for å legge en felles plan for det videre arbeidet.

Fylkeskommunene

Her er det avholdt flere møter med flere fylkeskommuner. Det er i dag 10 fylkeskommuner (FK), men FK i Trøndelag har tatt en rolle for en viss samhandling rundt forvaltning av punktsky. FK har i dag ingen felles forvaltning av mobil punktsky

som de samler inn. Alle FK vi har snakket med er positiv til at det legges opp til at Høydedata også benyttes til lagring, forvaltning og distribusjon av mobil punktsky. Det vil være naturlig at fylkeskommunene også blir involvert i det samme arbeidet som skjer mot Statens vegvesen.

Gjennom brukerundersøkelsen som ble foretatt i arbeidspakke 2 ble det også tatt med spørsmål knyttet til forvaltning- og forretningsmodeller. Brukerundersøkelsen er beskrevet i kapittel 5.

Mye av det som kom frem her er noe vi tar med oss i det videre arbeidet i utarbeidelse av avtaler og modeller.

Tar med noen punkter her fra brukerundersøkelsen.

Forretningsmodell:

- Det ble nevnt av flere at Kartverket bør ha en god forretningsmodell rundt deling av offentlige data. Hva kan Kartverket gjøre for å lette byrden for aktørene og øke verdiskapning
- Samtidig ble det også uttrykt at Kartverket har et samfunnsansvar å ikke legge til rette for monopol blant store globale aktører.
- Forretningsmodellen må være god. Offentlige data betyr at det offentlige tar kostnaden, for å generere en større verdi for samfunnet.
- Det offentlige sitter på mye data, som de ikke engang selv får utnyttet siden det offentlige er organisert i siloer. Det er viktigere og viktigere at data deles i den digitaliserte verden, og det offentlige har et ansvar for at data deles.
- Det påpekes at det er viktig med insentiver fra det offentlige for å støtte oppunder utviklingen av autonom transport
- Husk at mye ikke er teknologiske problemer.
- Alle vi intervjuet var positive til samarbeid med det offentlige og Kartverket.

Forvaltningsmodell:

- Utfordring å ha ferske og gode data.
- Selvkjøring krever en detaljert digital representasjon av omgivelsene, og lidardata er essensielt. Men likevel kan selvkjøring oppnås uten Lidar. Noen aktører samler inn data selv, men kan gjerne benytte offentlige data om de er av god nok kvalitet.
- Forvaltningsplattform – mulighet for samarbeid med store aktører, finn en løsning der private kan gi ut datasett.
- Det ligger mye data hos private og offentlige aktører som ikke benyttes. Tilgang på punktskyer som en tjeneste vil være kostnadsbesparende for da slipper man å hente inn lik data flere ganger.
- Helt naturlig med et samarbeid med Kartverket. Kan være med å dekke kostnader for prosjekter med spleiselag osv.

Det vil i det videre arbeidet med Statens vegvesen og fylkeskommunene bli jobbet med avtaler mellom partene. Her vil finansiering knyttet til lagring og forvaltning være en sentral del. Også de juridiske forholdene vil bli beskrevet gjennom avtaler.

Data fra det offentlige skal i utgangspunktet kunne deles fritt, men i det videre samarbeidet med private aktører må det også ses på ulike betalingsløsninger, og da også rettigheter til data.

4 Arbeidspakke 2

Utvikling og uttesting av proof of concept, PoC, løsning for sanntidsdatastrømming av punktskydata for ITS anvendelser.

Overordnet konsept er at Kartverket forvalter punktskyer langs vei samlet inn av både offentlige og private aktører, og disse dataene deles med interessenter på samme vis som Nasjonal Detaljert Høydemodell - NDH (www.hoydedata.no). En av interessentene for disse dataene er autonome kjøretøy som navigerer på grunnlag av punktskyer, og navigasjon er en sikkerhetskritisk anvendelse som utføres i sanntid. Dermed er det svært viktig at referansepunktskyen er oppdatert til enhver tid for sikker og presis navigasjon. Sensorene et autonomt kjøretøy benytter er av samme type som de som benyttes til å lage referansepunktskyen, og det skaper en mulighet for at de autonome kjøretøyene kan produsere punktskyer og oppdatere Kartverkets referansepunktsky i tilfelle noen objekter har kommet til eller forsvunnet langs veien.

Prosjektet skiller på referanse- og sanntidspunktsky. En referansepunktsky er de eksisterende dataene langs veien som er lagret på Kartverkets servere, mens en sanntidspunktsky er dataene som samles og av kjøretøyet/målebilen når den er ute og kjører. Begge punktskyene er georeferert, dvs. at de har globale koordinater i projeksjon og et høydesystem. Det er nødvendig for å kunne gjøre en endringsdeteksjon mellom punktskyene som kan avsløre om f.eks. en bygning er revet eller bygd.

I prosjektforslaget var det beskrevet en mellomløsning som skulle fungere som et bindeledd mellom en målebil og laserdataforvaltningsløsningen høydedata.no. Det er to mulige tilnærminger for mellomløsningen.

Den første muligheten fordrer et opplegg hvor målebilen strømmet fullstendige georefererte punktskyer direkte til en mellomløsning og data lastes opp data som vanlig til høydedata.no, og deretter gjøres endringsdeteksjonen der. I et slikt opplegg vil målebilen strømme store datamengder kontinuerlig, og alternativet er ikke skalerbart til mange kjøretøy.

Den andre muligheten sikter seg mot å kun sende endringene i punktskyen sett mot referansepunktskyen. Endringsdeteksjonen skjer i målebilen, endringer rapporteres og sendes til Kartverkets servere der referansepunktskyen oppdateres. Datasettet vil kunne fungere som et levende produkt med automatisk forvaltning. Dette er konseptet vi valgte å gå videre med. For å muliggjøre en demonstrasjon, var det nødvendig å gi datasettet sin egen forvaltningsløsning, og samtidig utvikle de nødvendige rutinene for datafangst og behandling i målebilen. Man kan se for seg at ved etablering av punktskyer langs vei der det ikke eksisterer data fra før, vil man benytte etter-prosessering av data.

4.1 Overordnet teknisk løsning

I PISI prosjektet er det valgt å bruke PostGIS, som er en fri programvare som støtter geografiske objekter i en PostgreSQL database, til å lagre og forvalte referansepunktskyen.

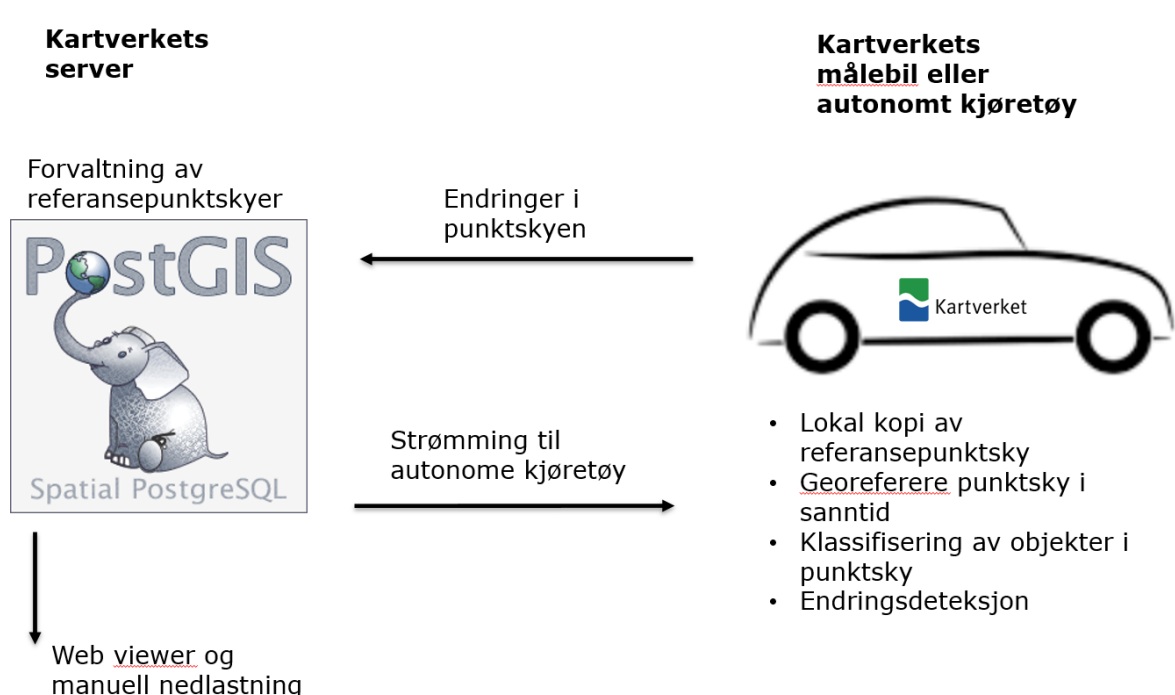
I kjøretøyet vil objekter klassifiseres i punktskyen, dvs. at alle punkter som beskriver en bygning gis en tallkode og alle punkter som beskriver skilt gis en annen tallkode, osv.

Georeferering av punktsky betyr at man tar rådata fra Lidar, som er en punktsky i et lokalt koordinatsystem, og kobler dette sammen med posisjoner fra GNSS slik at punktskyen får koordinater i en kartprojeksjon og et høydesystem.

Endringsdeteksjon betyr å sammenligne referansepunktskyen med punktskyen som blir beregnet i sanntid. Utgangspunktet for analysen er at begge punktskyene er klassifisert og georeferert med god nøyaktighet. Ved statistisk analyse kan man skille om et objekt finnes i en eller begge punktskyene.

Eventuelle endringer strømmes tilbake til Kartverkets PostGIS server der referansepunktskyen oppdateres slik at andre brukere kan hente en oppdatert punktsky.

Data- flyt og forvaltning er i PISI prosjektet omtalt som mellomløsningen. Figur 6 viser overordnet konsept og forenklet dataflyt i PISI prosjektet.



Figur 6. Konsept og forenklet skisse av dataflyt

4.2 Detaljert teknisk løsning

I dette kapitlet beskrives hvert steg i arbeidspakke 2 i mer detalj. Prosjektet kom ikke helt mål med dataflyten. Det er i stor grad samspillet mellom de ulike stegene i prosessen som ikke er helt ferdigstilt, men de ulike stegene er stående for seg selv vist at er teknisk mulig å få til. Det beskrives hva som gjenstår av arbeid eller hva annet som må til for å komme i mål under hvert steg.

Prosjektet viser dermed at konseptet med oppdatering av punktsky i sanntid er mulig å få til.

4.2.1 Målebil

Kartverkets målebil er benyttet tidligere i prosjekt for Norsk Romsenter - Ytelsestest av navigasjonsløsninger, og forskningsprosjektet TEAPOT sammen med SINTEF.

PISI prosjektet har kun gått til anskaffelse av 5G router for rask dataoverføring av store datamengder, og montert dette i målebilen. Målebilen er instrumentert med samme type Lidar som autonome kjøretøy benytter.

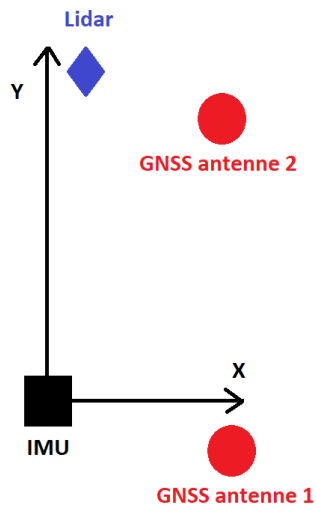
Målebilen er utstyrt med:

- Navigasjonsutstyr
 - IMU – Apogee D fra SBG Systems
 - GNSS mottager, Septentrio AsteRx4
 - GNSS antenner, Trimble Zephyr Geodetic Model 2
 - Odometer – Pegasem WSS2
- Lidar - Ouster OS1-128
- 5G router

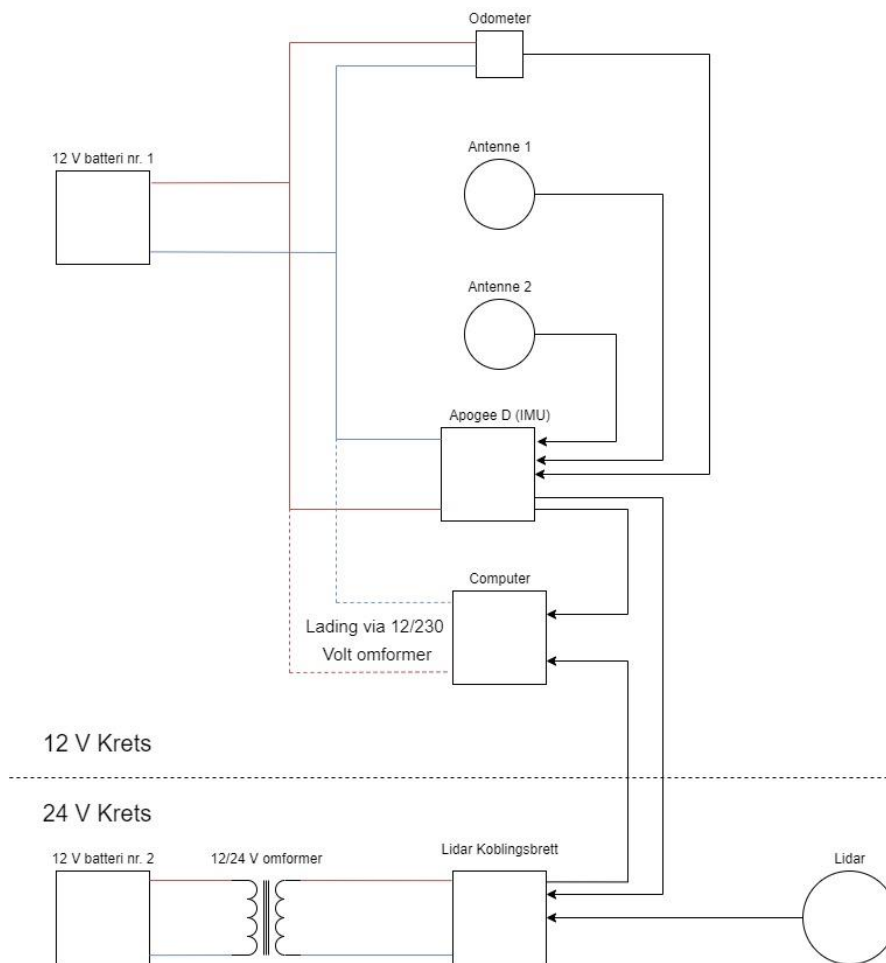
Alle GNSS målinger får et presist tidsstempel fra satellittene. GNSS mottageren kan sende tidsstempelet til andre sensorer, dermed kan målinger fra ulike sensorer kobles sammen på grunnlag av korresponderende tidsstempel. Dette gjøres ved å sende et Puls Per Second (PPS) signal fra GNSS mottageren til Lidaren.

Navigasjonen beregnes på grunnlag av flere sensorer og det er viktig at disse er montert i en fast avstand mellom hverandre. Et lokalt koordinatsystem er definert med origo i IMUen, og posisjonen til GNSS antenner og odometer målt i dette systemet for å beregne presis navigasjon (Figur 7).

I dette prosjektet er også posisjonen til Lidaren målt, siden det er den sensoren som er grunnlaget for å beregne en georeferert punktsky. Koblingsskjema for sensorer og strøm er vist i Figur 8.



Figur 7. Sensorer i et lokalt koordinatsystem

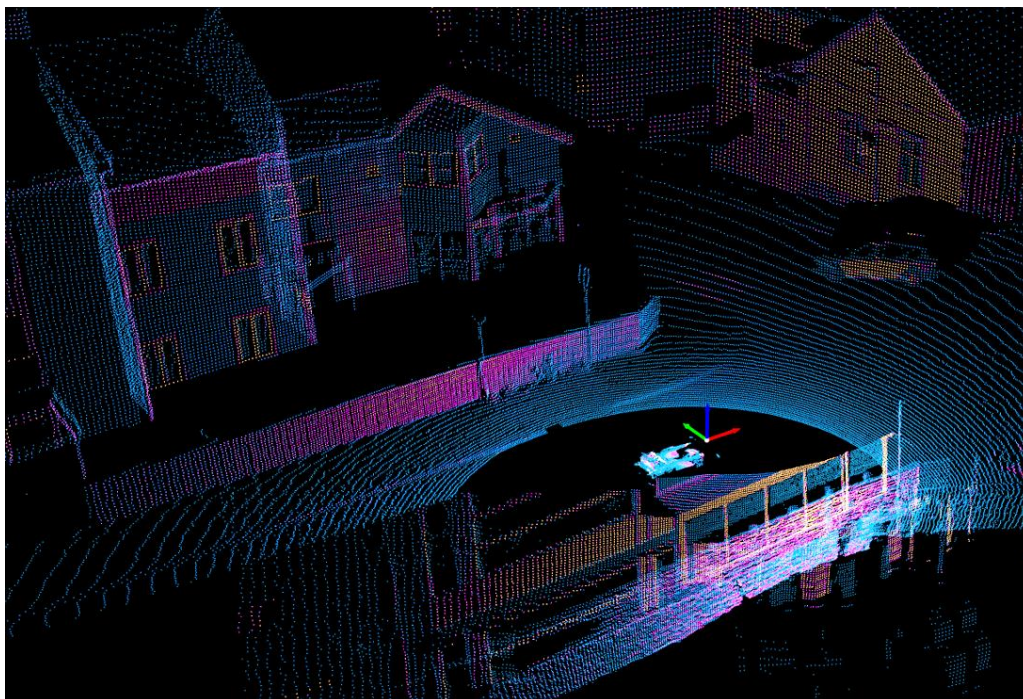


Figur 8. Koblingsskjema for oppsett i målebil.

4.2.1.1 Georeferering av punktsky

Lidaren måler en punktsky i sensorens lokale koordinatsystem, en enkeltmåling betegnes som en «Lidar frame» som vist i Figur 9.

Prosessen med å koble Lidar frame til navigasjonen slik at punktskyen får absolutte koordinater (koordinater i en kartprojeksjon og høydesystem) kalles georeferering av punktsky, se Figur 10.



Figur 9. Lidar frame, enkeltmåling som er en punktsky med lokale koordinater



Figur 10. Georeferert punktsky med absolutte koordinater

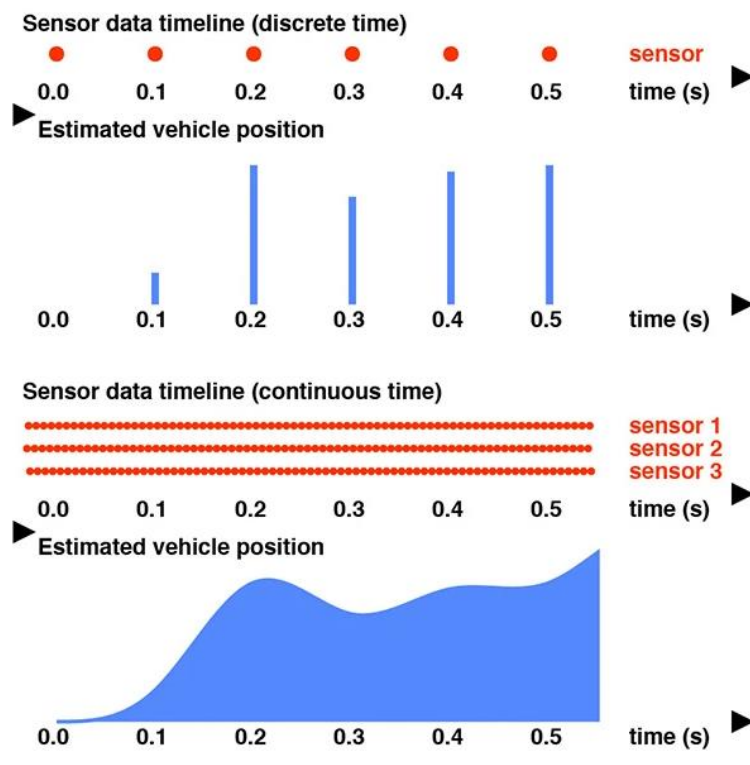
Videre beskrives kort stegene for å georeferere en punktsky. Denne prosessen skjer enten som etter-prosessering eller i sanntid, den eneste forskjellen er formatet til navigasjonsdataene.

Det kan være verdt å merke seg at etter-prosessering av navigasjon enten kan tilsvare sanntidsnavigasjon eller bli ytterligere forbedret. Med sistnevnte metode benyttes GNSS data fra Kartverkets PGS stasjoner, og loggede navigasjonsdata beregnes forlengs og deretter baklengs i tid og til slutt utjevnes dette til et endelig resultat. Denne metoden gir fordeler der GNSS målinger er dårlig som ved bujuv eller tunneler.

4.2.1.1.1 Navigasjon og interpolering

Navigasjonen beskriver kjøretøyets posisjon i lengde- og breddegrad, samt høyde i ellipsoidiske høyder. I tillegg beskrives kjøretøyets orienteringsvinkler (roll, pitch, heading), dvs. kjøretøyets kjøreretning, om det går opp eller ned og om det er fall på veien.

Navigasjonen måler i typisk i 10Hz i sanntid og 200Hz for etter-prosessering. Figur 11 beskriver at navigasjonssystemet måler med lavere oppløsning enn Lidaren, for å koble Lidar frames til navigasjonen må sistnevnte interpoleres.



Figur 11. Målefrekvens og interpolering av navigasjon.

<https://ouster.com/blog/lidar-mapping-with-ouster-3d-sensors/>

4.2.1.1.2 Klassifisering av Lidar frames

Klassifisering av data gjøres på hver Lidar frame, se kapittel 4.2.3 for nærmere detaljer om prosessen.

4.2.1.1.3 Lesing og filtrering av Lidar data

Rådataen fra Lidaren er en punktsky med koordinater i et lokalt koordinatsystem. Men dataene inneholder også datafelter der det ikke er registrert et objekt, dette lagres som koordinat 0,0,0. Nærme Lidaren er taket og måleriggen på bilen målt for hver Lidar frame, på lange avstander blir det få punkter og disse har liten verdi. For å redusere datamengden vesentlig og korte ned prosesseringstiden slettes alle koordinater med 0,0,0, og det er lagt inn filter som fjerner avstandsmålinger under og over en gitt verdi.

4.2.1.1.4 Samsvarende tidspunkter for navigasjon og Lidar

GNSS stempler navigasjonen med «Second of Week», det vil si antall sekunder fra midnatt mellom lørdag og søndag hver uke. Lidaren benytter UNIX time som er antall sekunder fra klokken 00:00:00 UTC den 1 januar 1970. UNIX time er konvertert til «Second of Week» for å koble data fra de ulike sensorene sammen.

4.2.1.1.5 Rotere lokale koordinater fra lidaren

Lidarens koordinatsystem må roteres slik at den samsvarer med navigasjonen. For å korte ned prosesseringstiden konverteres navigasjonens orienteringsvinkler fra euler vinkler (roll, pitch, heading) til quaternion. Deretter roteres alle Lidar frames slik at man har lokale roterte koordinater for hver Lidar frame.

4.2.1.1.6 Absolutte koordinater for lidaren

Navigasjonen koordinater transformeres fra bredde-, lengdegrad og ellipsoidisk høyde til en kartprojeksjon med ortometriske høyder. Dette gjøres med Proj rammeverket der Kartverket har implementert alle aktuelle norske projeksjoner og høydesystemer. Punktskyen georefereres med absolutte koordinater i EUREF89 UTM32 med NN2000 høyder.

Deretter flytter man origo for hver lokale rotert Lidar frame (translasjon) til navigasjonens absolutte koordinater, resultater er absolutte koordinater for hver Lidar frame.

4.2.1.1.7 Redusering av datamengder

Lidaren måler en Lidar frame 10 ganger i sekundet, det vil si at når målebilen står stille vil det bli overlappende målinger på samme sted i en georeferert punktsky.

For å redusere datamengder for videre prosessering og datalagring benyttes et voxelfilter. En voxel er en tredimensjonal kube, der størrelsen på sidene i kubene er en gitt parameter. I PISI prosjektet er det benyttet voxel med 5cm sider. I et voxelfilter plasseres kuber over hele den georefererte punktskyen, og kun ett punkt lagres og resten slettes i hver voxel.

Voxelfiltrering benyttes også for å fjerne punkter i områder med lav punkttetthet, dvs. hvis det er færre enn x-antall punkter i en voxel med gitt størrelse slettes alle punkter.

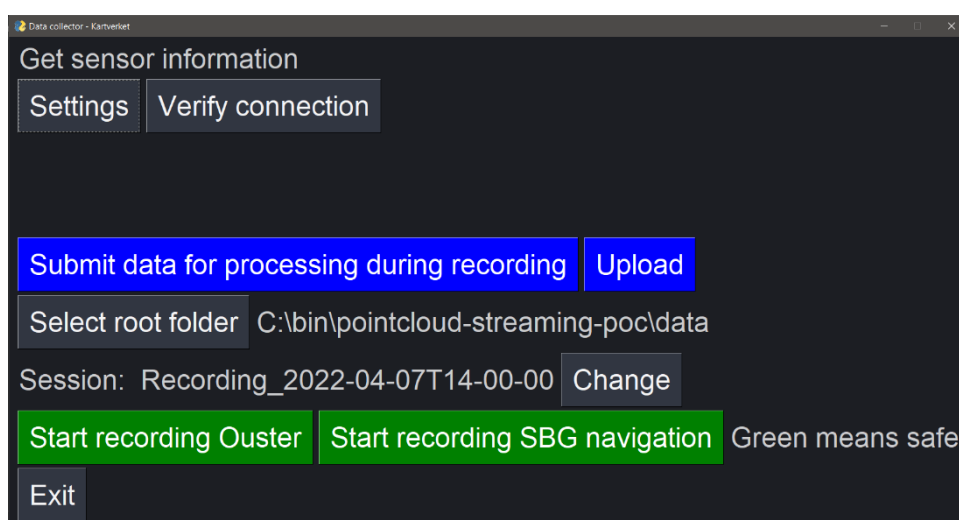
Se "Vedlegg 1 – Dataflyt georeferering av punktsky.pdf" for dataflyten ved georeferering av punktsky.

4.2.2 Mellomløsning

For å demonstrere muligheten til å samle inn, prosessere og strøme data fra måleriggen og inn til Kartverket ble det utviklet et datainnsamlingsprogram basert på Python (Figur 12).

Programmet som internt blir kalt *DataCollector* er en videreutvikling av to tidligere programmer/script som ble skrevet internt for å samle data med måleriggen til TEAPOT prosjektet, og gjøre etter-prosessering respektivt. DataCollector programpakken er nå utviklet slik at den viderefører funksjonalitet for innsamling og etter-prosessering samtidig som den håndterer georeferering og opplasting til

Kartverkets servere i sanntid.



Figur 12. Brukergrensesnittet til DataCollector som benyttes i målebilen

Når DataCollector er koblet opp og kjører som normalt vil brukeren ha mulighet til å velge hvilken sensor programmet skal samle data fra. Hvis data samles for både navigasjonsutstyr (SBG) og Lidar (Ouster), så vil bruker kunne velge å starte sanntidsprosessering og opplasting.

På grunn av tidsrestriksjonen i prosjektet og mangelen på mulighet for tilstrekkelig testing og integrasjon med sensorene (siden disse allerede var installert på bilen) var vi nødt til å benytte de samme metodene for datainnsamling som ble benyttet for etter-prosessering i TEAPOT prosjektet. Effektivt betyr dette at datastrømmen må skje i puljer på 20 sekunder av gangen (kan endres), hvor dataene først samles inn og lagres før de blir prosessert. Dette ble vurdert til å være et akseptabelt kompromiss siden det åpnet muligheten for å benytte de samme Lidar-dataene til etter-prosessering. Vi kan da direkte sammenligne metodene for georeferering for etter-prosessering og sanntidsprosessering.

Sensorinformasjonen i målebilen blir levert fra sensorene på taket til operatørens datamaskin. Informasjonen blir sendt over et lokalt nettverk (Ethernet) via User Datagram Protocol (UDP) og må tolkes av DataCollector programmet. Produsenten av laserskanneren har selv utviklet et verktøy i Python for å ta imot og dekode UDP

pakkene fra laseren. For navigasjonsdataene ble vi nødt til å utvikle vårt eget verktøy for å ta imot og dekode UDP pakkene i sanntid.

Dataprosesseringsløypa i DataCollector applikasjonen ble utviklet med muligheten for utvidelser. Det var originalt tiltenkt at den skulle håndtere klassifisering og endringsdeteksjon før den lastet opp aktuelle datapakker til kartverkets servere. Siden arbeidspakkene med automatisk klassifisering og endringsdeteksjon ble startet sent, var det ikke tid nok til å fullføre dem og/eller integrere dem i DataCollector. Derfor ble det besluttet at disse oppgavene skulle utføres internt på kartverkets servere, hvor prosesseringskraft og tid var mer tilgjengelig. Konsekvensen av dette diskuteres videre i kapittel 4.4.

DataCollector applikasjonen samler inn data og viser et brukergrensesnitt ved hjelp av multithreading, slik at disse oppgavene bare kjøres på én prosessor-kjerne. En "thread" går til brukergrensesnitt, en til opptak fra Lidar og en til opptak av navigasjonsdata. Dataprosesseringen blir derimot gjort med multiprocessing, som vil si at de gjenværende prosessor-kjernene (typisk 7 av 8) kan utnyttes til georeferering og andre prosesser som blir lagt inn i dataprosesseringsløypa. På denne måten blir flaskehalsen i systemet enten maskinvaren som DataCollector kjøres på (T570 bærbar datamaskin), eller nettverkstilkoblingen til Kartverkets servere.

4.2.3 Klassifisering

For å gjøre klassifisering på denne skalaen så måtte vi bruke noe som kunne håndtere store mengder av data så fort som mulig. Det beste alternativet her er dyp læring metoder. Vi har mye data, og mulighet til å få mer. De dataene vi har er råe punktskyer som ikke er klassifisert. Vi vurderte om vi skulle lage en form for uovervåket læring som kunne gruppere punktene til forskjellige klasser, eller manuelt klassifisere punktskyene slik vi kunne bruke overvåket lærings metodikken. Det er forskjellige uovervåket lærings algoritmer som kunne håndtert punktskyer i en mindre skala, men for så store datasett så ville det blitt veldig vanskelig. Vi gikk derfor for å finne en god overvåket dyp lærings algoritme for å klassifisere punktskyene.

Problemet med dette er at vi trenger data som er "markert." Det vil si, data der punktene har blitt markert med forskjellige klasser. Punkter som er en bil har blitt markert med "bil," punkter som er person er markert med "person" osv. Dette kan en gjøre manuelt med å gå inn i hver punktsky og bruke verktøy for å markere hver punktmasse med de tilhørende klassene. Dette er en tung prosess, spesielt om en skal gjøre det for flere tusen frames der hver frame har 130 000 punkter. Det eksisterte heldigvis et datasett som er veldig lik vår data som allerede er klassifisert; Semantic-Kitti. Dette datasettet har nesten 20 000 frames som er allerede klassifisert + data der vi kan teste om ting er riktig. Dette datasettet har brukt over 30 klasser, men vi kan velge å kaste bort klasser vi føler ikke er nødvendig for vår problemstilling.

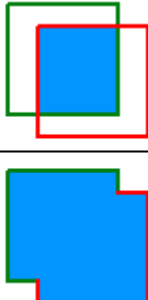
Med et datasett så var vi klar til å utvikle en algoritme som kunne lære av denne dataen slik vi kunne bruke det på vår egen data. Det var forsøkt å utvikle noe fra bunnen av, men det ble oppdaget fort at vi ikke hadde nok tid til å gjøre det slik. Vi søkte derfor etter noe som var tilgjengelig og åpent for alle å bruke. Etter mye frem og tilbake og masse eksperimentering så fant vi noe som het RandLaNet.

RandLaNet er en fungerende dyp nevral nettverk arkitektur som fokuserer på hurtighet. Dette passet oss fint siden vi hadde stort søkelys på hurtighet, og det ville få oss nærmere vårt mål som er sanntid. RandLaNet hadde også gode resultater og vi konkluderte med at dette var godt nok for vårt formål. Det var en del som måtte justeres i selve koden for å passe vårt formål, men selve arkitekturen er den samme.

Det som er kjernen til denne arkitekturen, er random sampling. De trekker tilfeldig ut punkter i punktskyen med k-nearest neighbour algoritmen der minst mulig informasjon går tapt. Dette øker hastigheten flere tusen ganger sammenlignet med andre samplings metoder som Heuristic Sampling, Inverse Density Importance Sampling (IDIS) og Generator Based Sampling. Med en million punkter så bruker random sampling 0.004 sekunder på å prosessere punktene, mens den nest raskeste, IDIS, bruker 200 sekunder på samme mengde med punkter. Random sampling er både rask og det holder på nok informasjon til å gi god nøyaktighet. Om man trener dette nettverket så vil en få en mean intersection over union (mIoU) som er på 53%, Figur 13.

Dette betyr at i gjennomsnitt så vil det være 53% overlapp mellom faktisk klasse og forutsett klasse. Dette er et veldig godt resultat med tanke på hvor hurtig og "lett" arkitekturen er.

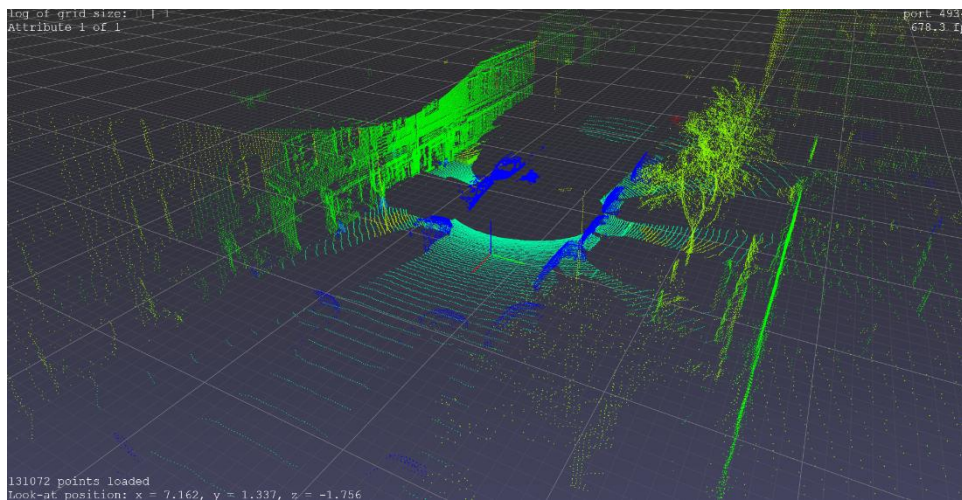
Vi forbedret dette med å fjerne noen av klassene. Det var noen av klassene som hadde mIoU som var veldig lav. For eksempel så var mIoU på en syklist 1%. Analyse av de forskjellige klassene førte til at 4 ble fjernet. Dette økte mIoU til 65%. Tid var begrenset og med litt mer tid så kunne mIoU blitt forbedret til 75-80%. Eksempel på intersection over union er under.

$$IOU = \frac{\text{area of overlap}}{\text{area of union}} = \frac{\text{area of overlap}}{\text{area of union}}$$


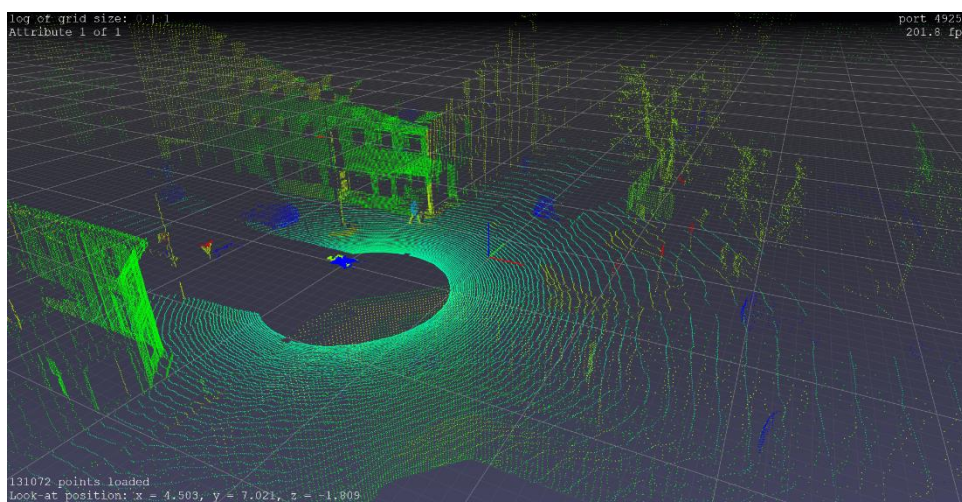
Figur 13. Intersection Over Union

Dette er en nevralt nettverk-struktur og treningen foregår deretter. Det er ikke hensiktsmessig og ta treningen steg for steg. I grove trekk så bruker du markerte data til å oppdatere estimatet til nettverket. Når det er ferdig trent så bruker du nettverket som en estimator som tar inn ramme for ramme og "gjetter" hva hvert enkelt punkt er. Det som returneres er en vektor av tall som representerer hvilke klasser det er. Denne vektoren blir slått sammen med den originale punktskyen og dette brukes til å segmentere hver ramme. Alle punkter som har tallet 1 for eksempel vil få blå farge. Alle de forskjellige tallene vil få hver sin unike farge.

Nedenfor, i Figur 14 og 15 så er noen rammer som er segmentert.



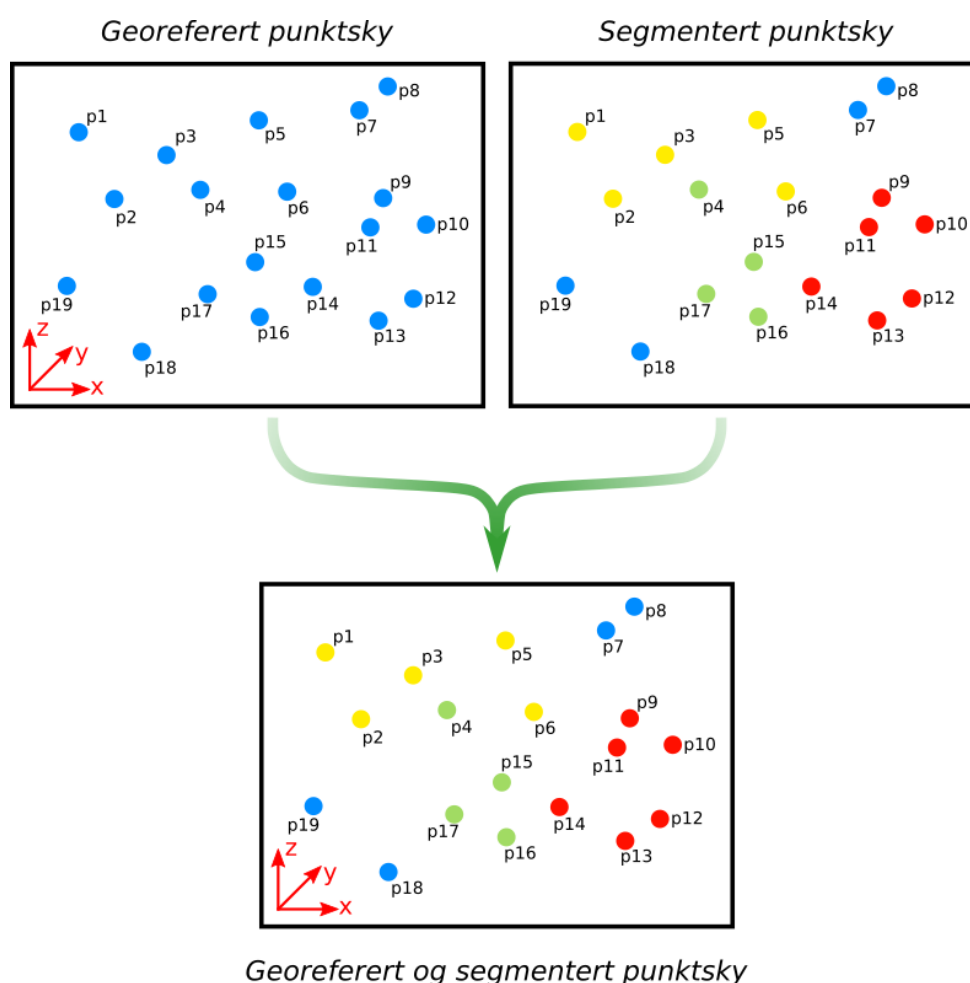
Figur 14. Segmentert/klassifisert punktsky



Figur 15. Segmentert/klassifisert punktsky

Ovenfor så kan man se at biler har en farge, vei har en annen, skilt en annen osv. Det er ikke alle klassene vi ser i hver ramme på grunn av at det er ikke alle klassene som er i hver ramme.

Punktskyen er segmentert og georeferert parallelt i to ulike prosesseringsløper, som resulterer i to ulike punktskyer. I begge prosesseringsløypene blir hvert punkt tildelt en unik ID som blir brukt til å identifisere de samme punktene i de to punktskyene. Disse punktskyene blir deretter slått sammen for å få den endelige georefererte og segmenterte punktskyen (Figur 16).



Figur 16. Bruk av unik ID for sammenslåing av georeferert og segmentert punktskyer

I Figur 17 vises en segmentert punktsky der lilla er trær, mørk grå er trestamme, mellomgrå er biler, lysegrå er bygninger, oransje skilt og stolpe, brun er fortau, mørkegrønn er kjørebane, blå er gress, lysegrønn er personer.



Figur 17. Georeferert punktsky med klassifiserte objekter

4.2.4 Endringsdeteksjon

Utgangspunktet for å kunne gjøre endringsdeteksjon er at vi får inn en klassifisert og georeferert punktsky i form av en las fil (sanntidspunktskyen).

Punkter i las filen må være tagget med et nummer som angir type objekt, f.eks. bil, hus, stolpe etc. Dette skal kunne sammenliknes med vår referansepunktsky i PostGIS databasen for å se objekter er lagt til eller fjernet. Output er en samling filer, en for hvert objekt som er endret, dvs. objekt som enten er lagt til eller fjernet.

I tillegg til scriptet som gjør selve endringsdeteksjonen har vi også et script som lager en polygon i 2D grunnriss rundt et objekt, og et script som gjør et uttrekk fra databasen basert på en polygon. Dette sikrer at vi sammenlikner mot riktig geografisk område, og at vi ikke legger til eller sletter mer fra databasen enn strengt tatt nødvendig når vi etter hvert skal legge til eller slette i databasen.

Vi har testet endringsdeteksjon på et datasett fra Røyse og et datasett fra Hønefoss. Datasettet er klassifisert manuelt, og objekter er lagt til og slettet manuelt for å teste at endringsdeteksjon fungerer i prinsippet. Det gjenstår å teste med datasett som

faktisk er klassifisert via maskinlæringsalgoritmer i vår egen pipeline, og det gjenstår å teste at endringsdeteksjon fungerer hvis vi gjør en ny kjøretur i samme område som vi har kjørt tidligere, hvor objekter faktisk er endret.

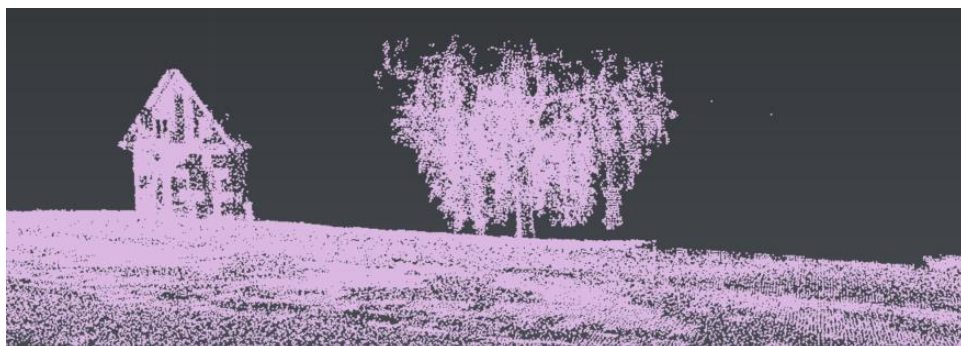
Vi har brukt Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN), for å gjøre clustering, dvs. gruppere punktene in en klasse i enkeltobjekter.

For å sjekke om et objekt faktisk er et reelt nytt objekt eller bare en del av et eksisterende objekt, ser vi på gjennomsnittsavstanden fra punktene i objektet til nærmeste eksisterende objekt. Her er det forskjellige grenseverdier vi kan sette og eksperimentere med for å få riktig følsomhet.

I tilfellet i Figur 18 og Figur 19 har endringsdeteksjonsscriptet oppdaget at stolpen og huset har blitt endret. Dette ser vi på som en god demonstrasjon av at metoden fungerer. Punktskyplottene er gjort med programmet Cyclone3DR.

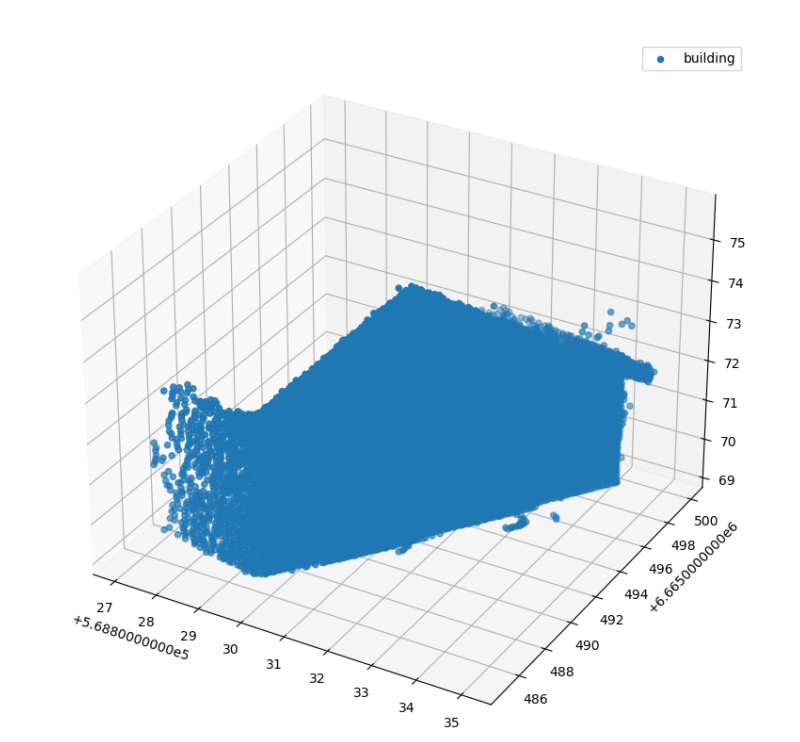


Figur 18. Punktsky før endring



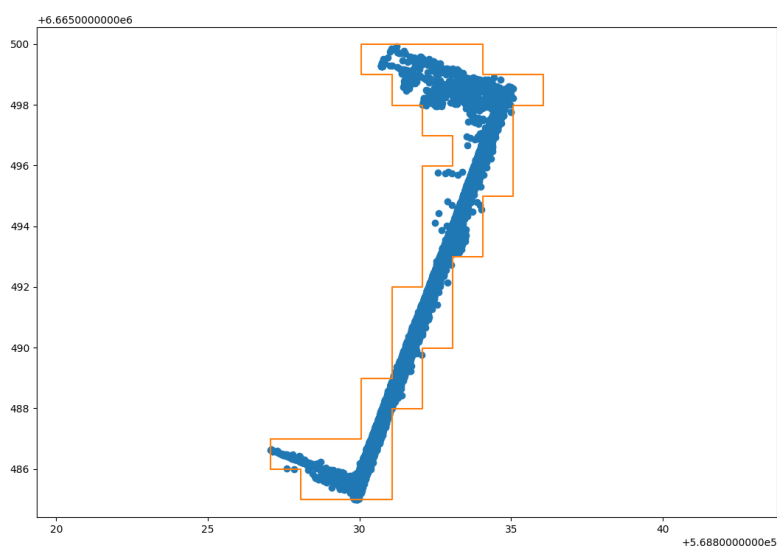
Figur 19. Punktsky etter endring

I noen tilfeller har vi hatt mer nytte av å plote ting i Python. I Figur 20 er et plott av et hus, eller i praksis en husfasade, siden det er det vi ser med Lidaren:



Figur 20. Husfasade sett fra siden plottet i Python

Figur 21 viser en polygon tegnet rundt huset i grunnriss for å kunne gjøre riktig uttrekk i databasen som inneholder referansepunktskyen:



Figur 21. Husfasade sett ovenfra plottet i Python

Datatrafikk fra målebilen eller andre kjøretøy vil reduseres til et minimum om man kun sender endrede objekter og deres omriss-polygoner til Kartverkets servere og deretter oppdatere referansepunktskyen på grunnlag av disse dataene.

4.2.5 Forvaltning av en levende punktsky

Det var lenge usikkerhet rundt hva mellomløsningen skulle bestå av. Og da prosjektet fant klarhet i dette var det ikke nok tid til å utvikle forretningsreglene i god nok detalj til at det kunne implementeres innenfor tidsrammene. Så vi fokuserte på innlasting av data og visualisering i visningsklient igjennom Entwine. Med relativt lite ressurser var IT i stand til å sette opp en enkel PostGIS database og generere 3D-tiles med Entwine. 3D-tiles data ble demonstrert i visningsklienten som ble utviklet i arbeidspakke 1 på prosjektavslutningen i juni 2022.

Til tross for en ufullstendig forretningsmodell for denne forvaltningsløsningen, fikk vi på plass noen komponenter.

Dataene som blir sendt inn til Kartverket fra målebilen tas imot av en FTP-server og blir lastet inn i en PostGIS database etter en timeplan og i henhold til en prosesserings-pipeline som vi har muligheten til å definere. Fleksibiliteten som dette har gitt oss, har gjort det mulig å teste flere varianter av data og formater som lastes opp. Og, det har gitt oss muligheten til å endre rekkefølgen på noen av prosesserings-stegene.

Extract-Transform-Load (ETL) skriptet som flytter data mellom FTP lageret og PostGIS databasen kan modifiseres for å etterkomme regler for forvaltning, gitt at reglene og dataene er godt definert.

Siden klassifisering og endringsdeteksjon ikke ble ferdig integrert i målebilen, så vil en enkel løsning være å integrere disse som en del av forvaltningsløypa. Deler av dette er gjort og testet, men ambisjonen om å ha en forvaltningsløype som oppdaterer et levende produkt i sanntid basert på endringer ble aldri testet i sin helhet.

Vi har derimot demonstrert at opplasting fra målebil på en mobil tilkobling til interne servere og innlasting til database er mulig å utføre innen en rimelig kort tid. Med hjelp av det vi har klart å implementere kan vi observere hvor langt tid det kan ta, fra datafangst til oppdatering: Siden datapakkene fra DataCollector blir lagret, må de stykkes opp i segmenter på 20 sekunder før de blir skrevet til fil. Prosesseringsløypa i bilen med georeferering kan ta ca. 50 sekunder, og opplastingen fyller ytterligere 10 sekunder. Til slutt tar ETL scriptet bare 5 sekunder å kjøre, gitt at det starter rett etter at data har blitt mottatt.

Vi står da igjen med en teoretisk tid-til-oppdatering på 85 sekunder etter datafangst forutenom endringsdeteksjon.

4.2.6 Teknisk dokumentasjon

Mer detaljert teknisk dokumentasjon finnes på Kartverkets- Confluence og GitHub sider.

4.2.6.1 Confluence

Teknisk dokumentasjon på confluence inneholder systemoversikt, diagrammer og konfigurasjonsdetaljer.

<https://confluence.statkart.no/display/PISI>

4.2.6.2 GitHub

PISI prosjektet har to GitHub repositorier for arbeidspakke 2. En for målebilen og dataflyt som relateres til realtime prosessering og opplasting, som heter pointcloud-streaming-poc og finnes her:

<https://github.com/kartverket/pointcloud-streaming-poc>

Og et repository for elementer som har med endringsdeteksjon:

https://github.com/kartverket/point_cloud_change_detection

4.3 Gjenstående arbeid og eventuelle endringer for å demonstrere oppdatering av punktsky i sanntid

I arbeidspakke 2 er det demonstrert muligheten for å samle, prosessere og strøomme laserdata inn til en sentral forvaltningsplattform i nær sanntid.

Prosjektet har ikke ferdigstilt en sammenhengende løype med alle deloppgaver som skal til for å oppdatere en punktsky i sanntid, men for alle deloppgaver er det funnet en teknisk løsning som beviser at dette er mulig.

Følgende deloppgaver er definert for å kunne oppdatere en punktsky i sanntid:

1. Datafangst med egenutviklet programvare.
2. Georeferering av punktsky sanntid.
3. Automatisk klassifisering av punktsky ved bruk av maskinlæring.
4. Endringsdeteksjon med hjelp av statistiske metoder.
5. Opplasting av georeferert punktsky fra målebil til forvaltningsdatabase med mobilt bredbånd.
6. Innlasting av punktsky til forvaltningsdatabase.
7. Oppdatering av punktsky i forvaltningsdatabase
8. Visualisering av innsamlede data fra forvaltningsbasen via 3d tiles.

Deloppgavene som er satt sammen til en løype i prosjektet er [1,2,5,6,8], [2,3] og [4].

Det er vist at alle deloppgavene er teknisk mulig å få til, det er kun å sette sammen alle deloppgavene i en løype som gjenstår. Det vil innebære større datakraft i målebilen og ferdigstille noe programmering.

Prosjektet anser det som bevist at oppdatering av georeferert punktsky i sanntid er mulig å få til. Ikke alle tekniske utfordringer er løst på en optimal måte, men

prosjekt målet var å vise at dette er mulig og ikke bruke ressurser på å finpusse alle detaljer.

4.3.1 Sanntid

Som diskutert i 4.2.5 ovenfor, blir det værende noe tid mellom selve datafangsten og oppdateringen i forvaltningssystemet. Denne er mulig å redusere ytterligere, men det er ikke brukt mye tid og ressurser på å optimalisere dette.

Om behov skulle foreligge er det primært sanntidsprosesseringsløypa som har det største potensialet for forbedring med tanke på tidsbruk. Innsamlingen med 20 sekunders intervall bør revideres, men det vil kreve noe omskriving av innsamlingsprosedyren og dataprosesseringen.

En tenkt fremtidig løsning vil kunne analysere og klassifisere data i arbeidsminne uten behov for mellomlagring på disk. Irrelevante data kan så filtreres bort og resultatet kan georefereres så snart en relativ god navigasjonsløsning er tilgjengelig. Posisjonen kan så ytterligere raffineres ved å sammenligne dataene med en referanse før dataene lastes opp til forvaltningsløsningen for evaluering.

4.3.2 Forvaltning

Forvaltningen av laserdata må defineres mer konkret. Det må bestemmes om forvaltningen av sanntidsdata skal forkaste gamle data, og bare ivareta nye objekter etter hvert som de blir registrert, eller om løsningen skal lagre alt av innkommende data og heller fokusere på å vise de siste tilgjengelige dataene slik som høydedata.no gjør i dag.

Uansett må en forvaltningsløsning (hvor flere aktører sender inn data), kunne differensiere mellom leverandører, utstyret som er benyttet og nøyaktigheten til dataene.

Det er en fordel om innsendte data er korrekt posisjonert i landskapet, og forvaltningsløsningen må selv kunne kvalifisere posisjoneringen automatisk. Endringer bør komme inn på et standardisert format som tydeliggjør nøyaktig hva endringen består av i form av en *endringsrapport*. Endringsrapporten må volumetrisk beskrive et romlig tillegg eller frafall i en eller flere forhåndsdefinerte klasser.

Det bør vurderes om forvaltningen skal være av en punktsky eller et annet produkt som representerer en romlig kartlegging.

Siden navigasjon ved hjelp av produktet er viktig for en potensiell bruker, og posisjoneringen av en endringsrapport i forhold til produktet er kritisk for at forvaltningen skal gå automatisk, kan det være hensiktsmessig å vurdere *HD-kart*, 3D-mesh og voxel-baserte kart.

4.3.3 Endringsdeteksjon

Det gjenstår å kunne sammenstille datafangst, klassifisering, georeferering og utføre endringsdeteksjon på dataene før opplasting (steg [1, 2, 3, 4, 5]).

Dette vil kunne muliggjøre testing hvor bare endringer blir tatt inn til datasettet, mens resten blir forkastet. I dette tilfellet kan man se for seg at flere ulike kjøretøy må oppdage en endring før denne aksepteres i forvaltningsløsningen, dette av hensyn til kvalitetskontroll.

5 Brukerundersøkelser

Det er i prosjektet gjennomført brukerundersøkelser mot aktører innen næringskjeden for autonom transport, ITS og utviklingen mot autonomi. Aktører fra både offentlig og privat sektor er intervjuet.

Alle aktører som er intervjuet, er positive til at det offentlige deler og gjør data mer tilgjengelig. Det påpekes at dataene må være oppdatert og ha tilstrekkelig kvalitet. En utfordring med en bransje i utvikling, som autonomi og ITS er, er manglende standardisering, proprietære løsninger og at aktører må behandle data til sin løsning og sitt behov. Punktskyer, HD-kart og presis posisjon er alle aktuelle elementer inn mot autonomi, men per i dag er det ulikt hvordan aktørene benytter dette. Det skyldes i hovedsak hva som er aktørens forretningsmodell, og i fremtiden vil det være avhengig av tilgang på oppdaterte data, kostnad på sensorer, og kvalitet med tanke på fordeler og ulemper for teknologien.

Hovedmålet med fremtidens transport er sikrere transport og færre ulykker, mer kollektiv og lavere kostnader. Autonomi i seg selv er ikke et hovedmål, men et verktøy for å oppnå hovedmålene.

Det påpekes at flere brukere har behov for punktskyer, geodata, HD-kart og presis posisjon en kun ITS sektoren. Kartverket og det offentlige må se hele bildet og dele data som flest mulig kan benytte. Dette kan f.eks. være planleggere innen samferdsel, kommunen eller lignende.

Forretningsmodeller for deling og bruk av data mellom det offentlige og private er krevende, der begge parter må kunne sitte igjen med en gevinst etter sine interesser. Ulike firmaer i det private har ulik forretningsmodell mtp. data- innsamling eller bearbeiding til et sluttprodukt. Det er viktig å påpeke at alle aktører var positive til et samarbeid med det offentlige og bruk av offentlige data.

Resultatene fra brukerundersøkelsene er grunnlag for videre arbeid i Kartverket.

6 Kommunikasjon eksternt

PISI prosjektets mål og ambisjoner er fra starten av prosjektet formidlet eksternt ifm. andre prosjekter og på ulike konferanser og fagdager, deriblant Geomatikkdagene, Svenske Kartdager og TrustME fagforum. Sistnevnte er et forskningsprosjekt som skal lage et «sikkerhetsbevis» for selvkjørende busser. Prosjektet startet tidlig med ekstern formidling for å få respons på konseptet fra potensielle brukere og interessenter i næringskjeden. En annen side var å få til et potensielt samarbeid med en ekstern for arbeidspakke «2.6 – Eksternt samarbeid» der vi ønsker å utprøve endringsdeteksjon og strømming av data i sanntid med en privat aktør.

Kommuniseringen av prosjektet underveis der mål og ambisjoner ble presentert, både for arbeidspakke 1 og 2, har ført til samarbeid og dialog med eksterne.

7 Eksternt samarbeid

Brukerundersøkelsene ble utført i arbeidspakke 2, men er skilt fra de tekniske oppgavene til et eget kapittel i rapporten.

Nåværende arbeidsmetode er at utviklere av det autonome systemet selv kartlegger kjøreruten de skal operere på. Nærmere forklart så benytter de bussen de skal operere til datainnsamling, prosesserer dataene, simulerer kjøreruten og deretter utfører praktiske testkjøringer før bussen kan settes i drift. Det betyr at de har bussen fysisk på plass først, deretter behandler data og simulerer på kontoret før de fysisk tester bussen. Dette er en tidskrevende og kostbar arbeidsmetodikk.

Prosjektet har startet samarbeid med en ekstern samarbeidspartner, Applied Autonomy. Det er en for stor oppgave og for PISI prosjektet å gjennomføre en praktisk test av endringsdeteksjon av punktsky med en privat aktør, blant annet fordi dette er en omfattende utviklingsoppgave på et system i drift for en slik aktør og dette vil ta lengre tid enn hva PISI prosjektet har til rådighet. Men prosjektet har utfordret utviklere av autonome systemer til å bruke en 3. parts punktsky, benytte georefererte punktskyer og startet et videre samarbeid mot nye prosjekter der vi kan ta konseptet i PISI videre.

7.1.1 Applied Autonomy

Applied Autonomy er et firma med base i Kongsberg som er med i flere forskningsprosjekter, starter opp og bidrar til pilotering av autonome kjøretøy, og utvikler programvare for kontrollsentre. Applied Autonomy tok kontakt med Kartverket siden de jobber med å starte opp en autonom bussrute i Stavanger, de ser at Kartverket kan bidra til å «øke effektiviteten, sikkerheten og redusere kostnader» ved oppstart av autonome bussruter.

Kartverket leide inn et landmålingsfirma ScanSurvey AS til å kartlegge bussruten med et mobile mapping kjøretøy for å produsere en presis og georeferert punktsky, utviklerens krav for punktskyen var 5cm systematisk avvik og 3cm standardavvik i plan og høyde etter Kartverkets produktspesifikasjon «Punktsky 1.0 – Psky_1_TLS_E». Utvikleren har også mottatt data fra Nasjonal Vegdatabank (NVDB), og Unity modeller fra Stavanger kommune. Bussen benytter også presis GNSS posisjon med CPOS tjenesten fra Kartverket

Den autonome bussen er satt i drift og utvikleren har bekreftet at de benytter punktskyen fra Kartverket for å navigere. Underveis i dialogen med utvikleren kom

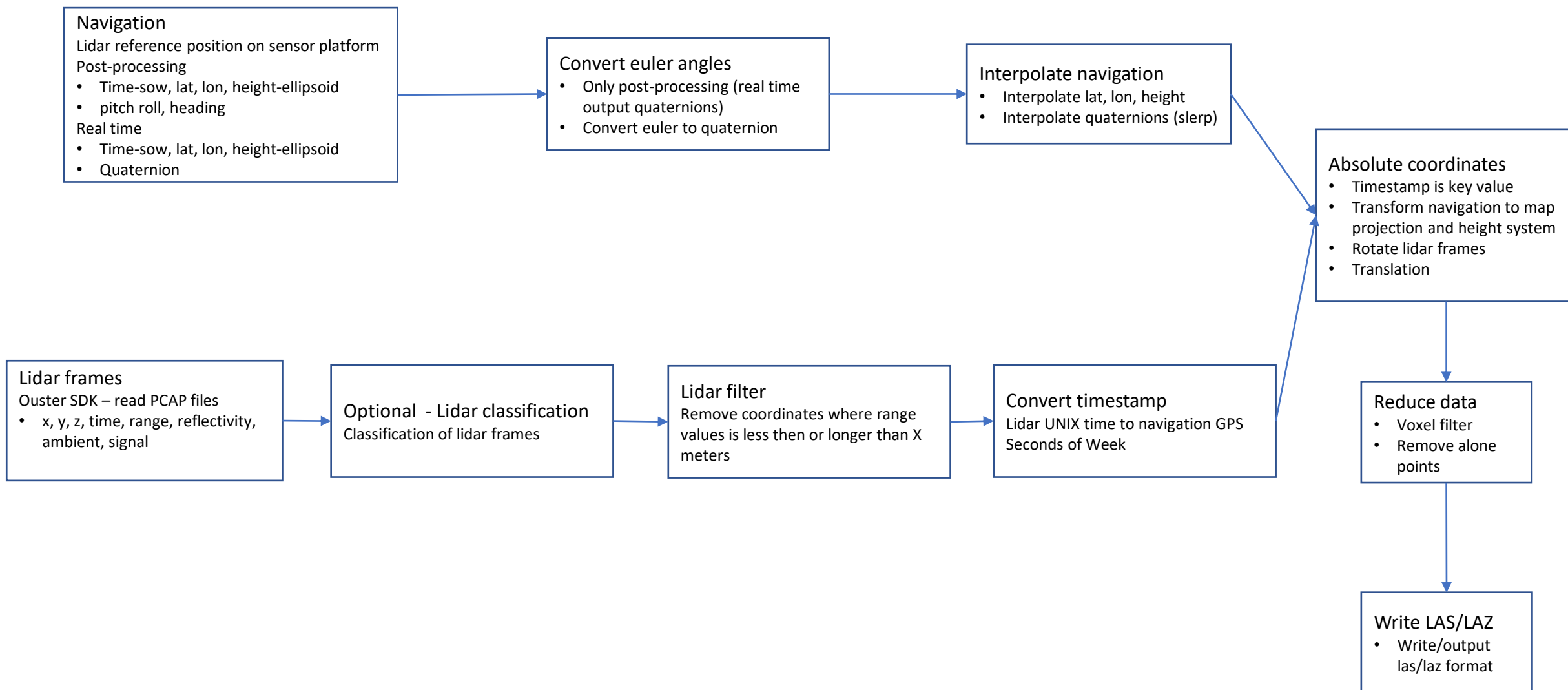
det frem at de transformerer punktskyen og GNSS posisjonen til et lokalt koordinatsystem før de begynner å navigere. Denne arbeidsflyten reduserer nøyaktigheten til GNSS posisjon, punktsky og andre geodata, samt at det kompliserer den tekniske dataflyten når ønsket er det offentlige og private skal samarbeids om å oppdatere punktskyer i sanntid. I Stavanger vil de benytte data i deres lokale koordinatsystem, men de har bekreftet at de undersøker hvordan de kan endres sine systemer for å bruke georefererte punktskyer. Men dette er utviklingsarbeid som vil pågå til etter at PISI prosjektet er avsluttet.

For videre samarbeid etter at PISI prosjektet er avsluttet ble Kartverket invitert av Applied Autonomy til en prosjektsøknad mot Grønn Plattform satsningen fra Norges Forskningsråd. Prosjektets arbeidstittel så langt er *PAVe-IT - Planning transition to Automated Vehicles for an Integrated green Transport system*. Det er levert inn en «prosjektskisse» som vurderes hos Forskningsrådet, i september vil utvalgt søknader få levere en endelig prosjektsøknad. Kartverkets rolle inn i prosjektet vil være eier og drifter av digital infrastruktur.

Vedlegg

Vedlegg 1

Dataflyt georeferering av punktsky



Vedlegg 2

Tilrettelegging av punktsky



AUTOMATISERT MOTTAK AV PUNKTSKY OG ORTOFOTO

Sammendrag:

Dokumentet introduserer en arbeidsflyt som effektiviserer tilrettelegging av datasett mot våre datamodeller. Målet er å forenkle tilgjengeliggjøring via forvaltningsløsninger.

Prosessering benytter eksisterende verktøy basert på åpen kildekode og bør kunne kjøres hos datatilbyder eller i en webløsning hos Kartverket.

Innholdsfortegnelse

Bakgrunn	2
Forslag	2
Brukereksempel	3
Dronekartlegging Masseuttak Konsulentbransje	3
Landmålerfirma	3
Kommune Ortofoto	3
Oppsummering	4
Appendix – Kopi Arbeidsflyt.....	5



Bakgrunn

Kartverket har via Geosats 23 - tiltaket «enkel to-veis oppdatering av nasjonal digital høydemodell», indikert at man ved å hente inn datasett som per i dag ikke faller inn under andre pågående kartleggingsoppdrag (NDH og Geovekst), kan *øke nytteverdien av den nasjonale høydemodellen med en nåverdi på NOK650 millioner kroner og redusere kostnader knyttet til ny-kartlegging med en anslått nåverdi på NOK580 millioner kroner*¹.

Vi bør forvente at mye av dette datagrunnlaget ikke er sanket inn eller levert over nasjonale standarder. For å effektivt tilrettelegge datasettene i våre forvaltningsløsninger trenger vi et rammeverk som automatiserer genereringen av metadata, utfører noen nøyaktighetstester og serverer et datasett som innfrir mottakskontrollene i hhv høydedata.no og norgebilder.no.

Selv om Geosats 23 søknaden gjelder høydedatasett (XYZ) vil det være like viktig å også automatisere datamottak og vask av ortofoto. Erfaringsmessig har det vist seg utfordrende for semiproff bransje å levere datasett som innfrir basiskravene.

Til info så er både høydedata.no og norgebilder.no bygget slik at de fasiliteterer både datamottak og distribusjon. Kartleggingsfirma og andre parter kan legge datasett direkte inn i løsningen uten bistand fra Kartverket og forvaltningsløsningene server alle datasett via OGC tjenester, REST API og ferdige byggede datapakker.

Utfordringene, sett fra vår tekniske side, er at semiproff bransje ofte ikke har mulighet, tid eller forståelse til å etablere rådatasett og metadatasett over ønsket datamodell.

Forslag

Et enkelt rammeverk er foreslått. Rammeverket bør være enkelt å sette opp både ute hos tilbyderorganisasjon og i Kartverket. Softwaren må lisensieres slik at den kan benyttes fritt. Det er foreslått bruk av verktøy vi kjenner godt fra våre eksisterende prosesseringsløp og følgende vil benyttes:

- [PDAL - Point Data Abstraction Library — pdal.io](https://pdal.io/)
- [GDAL — GDAL documentation](https://gdal.org/)
- [LAStools \(delkomponenter som er fritt lisensiert\)](#)

Softwaren bør vedlikeholdes av oss slik at man raskt kan tilrettelegge for nye datamodeller eller enkelt justere mottaksløsninger i forvaltningssystem. Konseptskisse for arbeidsflyten er gitt i Appendiks A og består av følgende steg:

Mottak

Løsningen skal kun ta imot industristandard rådatasett (ASPRS LAZ eller geoTIFF) og nødvendige metadata skal gis som parametre eller via GUI. I første omgang bør eksisterende metadata (områdeavgrensning, datafangstlinjer) holdes utenom da firma som kan levere disse i stor grad vil kunne benytte eksisterende løsninger for mottak i nib.no eller høydedata.no

Prosessering

Løsningen avleder de nødvendige metadatasett fra rådatasett. Rapport bygges fra metadata gitt av opplaster og fra verdier hentet ut i analysen. Løsningen bør teste overenskommelse mot eksisterende datasett. En slik rudimentær test vil være viktig for å indikere videre flyt i forvaltningsløsningene.

Eventuell enkel autoclass av bakke kan vurderes der det er hensiktsmessig.

¹ [Geosats 23: Øker utnyttelsen av stedsdata - Innsida](#)



Avlevering

I første omgang vil løsningen etablere en avleveringspakke som tilgjengeliggjøres for opplasting i lobby for respektive forvaltningsløsninger. Det kan på sikt være hensiktsmessig å skrive om forvaltningsløsningene til å ta imot opplastningspakken via en tjeneste. Basert på funn i analysen vil man ha en formening om hvorvidt datasettet skal legges til ned til kategori 3 (lager), 2 (har metadata, men oppdaterer ikke NDH) eller 1 (komplett pakke med metadata, oppdaterer NDH).

Brukereksempel

Under følger noen faktiske brukereksempel hvor et slikt verktøy vil effektivisere mottak.

Dronekartlegging Masseuttak Konsulentbransje

Input:

En DIM LAZ fil fra en DJI P4 RTK Drone, prosessert i AGISOFT til NN2000

Utfordring:

- Mangler metadata
- Uklassifisert (Klasse 0) gir kun overflatemodell
- Tileinndeling ikke til standard

Landmålerfirma

Input:

LiDAR LAZ fra en dronekartlegging, prosessert i Terrasolid AUV, autoklassifisering, meget høy tetthet og 50m kvadratisk tileinndeling

Utfordring:

- Autoklassifisert til Bakke vs Ikke Bakke
- Tileinndeling ikke til standard

Statens vegvesen vegdekkeskanning

Input:

LiDAR LAZ fra kjøretøy, etterprosessert posisjonsløsning i Terrapos. Meget høy tetthet langs veibanen, inndeling etter veireferanse.

Utfordring:

- Mangler metadata
- Uklassifisert punktsky
- Tileinndeling ikke standard
- Mye skygeområder bak objekter langs vei

Kommune Ortofoto

Input:

GeoTIFF av nytt boligområde fra en DJI P4 georeferert med 5 GCP'er innmålt med CPOS til EUREF89/Lokal UTM.

Utfordring:

- JPG komprimert GeoTIFF
- Tileinndeling ikke til standard
- Mangler metadata og rapport



Oppsummering

Foreslått struktur vil spare manuell bearbeiding, både ute hos tilbyder og hos mottaker. Verktøyet bør prosessere opp både ortofoto og punktskyer fra både LiDAR og bildematching.



Appendix – Kopi Arbeidsflyt

A. Mottak	Rådata	geoTIFF fil(er)	LAZ LiDAR fil(er)	LAZ DIM fil(er)
	Metadata	Dialog	Dialog	Dialog
B. Prosessering	0. Transformere ²	NTM -> UTM	NTM -> UTM	NTM -> UTM
	1. Analysere	GDAL.info: - GSD - Bitdepth - Etc	LAStools.lasinfo / PDAL.info - klasser - tetthet - max/min	
	2. Avlede metadata	GDAL.polygonize: - avlede omriss - generere metadata	PDAL.tindex -- avlede avgrensning	
	3. Teste	cv2.matchTemplate scipy.correlate2d = dX, dY	github.com/CNES/demcompare (testet på simulert shift) https://pdal.io/apps/chamfer.html (ikke testet) https://pdal.io/apps/hausdorff.html (ikke testet) = dX, dY, dZ	
	4. Generere	GDAL.translate	LAStools.las2las / PDAL	
	5. Klippe	GDAL.translate	LAStools.lastile / PDAL.tile	
C. Avlevering		norgebilder.no: - bilder.tiff - områdeavgrensning.sos - rapport.pdf	hoydedata.no / LiDAR: - tiles.laz - områdeavgrensning.sos - rapport.pdf	hoydedata.no / matching: - tiles.laz - områdeavgrensning.sos - rapport.pdf

² NTM vil være arbeidsdatum for grunnlagsdatasett hos SVV fra 2022. Løsning bør ha funksjonalitet for å transformere. For raster kan vi kun transformere ved liten tileinndeling.



Kartverket

www.kartverket.no

Postadresse: Postboks 600 Sentrum, 3507 Hønefoss

Telefon: 32 11 80 00

E-post: post@kartverket.no

Organisasjonsnummer: 971 040 238

