



SINTEF



Rapport

GeoFlow

Pilot for vegprising

Forfattere:

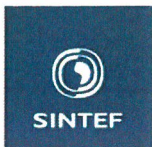
Petter Arnesen, Claudia Moscoso, Hanne Seter, Erlend Dahl, Gunhild Berget, Nina Møllerstuen Bjørge

Rapportnummer:

2022:01022 - Åpen

Samarbeidspartnere:

Forskningsrådet; Statens vegvesen; Q-Free



SINTEF Community
Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 40005100
info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 919 303 808 MVA

Rapport

GeoFlow

Pilot for vegprising

EMNEORD

Vegprising
ITS
Geofencing
Pilotering

VERSJON

1.0

DATO

2023-02-08

FORFATTER(E)

Petter Arnesen, Claudia Moscoso, Hanne Seter, Erlend Dahl, Gunhild Berget, Nina Møllerstuen Bjørge

SAMARBEIDSPARTNERE

Forskningsrådet; Statens vegvesen; Q-Free

REFERANSE FORSKNINGSRÅDET

309311

PROSJEKTNUMMER

102023615

ANTALL SIDER OG VEDLEGG

67

SAMMENDRAG

Rapporten presenterer resultatene av piloten gjennomført i GeoFlow prosjektet, hvor 126 sjåførere ble rekruttert til å teste vegprisingsteknologi i en definert geofence-soner over en 3 måneders periode. Det ble logget data fra enhetene i kjøretøyet, brukerne ble bedt om å svare på en før-undersøkelse i en periode før vegprisingssystemet ble slått på, og en etterundersøkelse i en periode etter å ha hatt tid til å teste systemet. Loggdataene og responsen på disse undersøkelsene er hoved-datakildene til de analysene som presenteres i denne rapporten.

UTARBEIDET AV

Petter Arnesen

SIGNATUR

KONTROLLERT AV

Terje Reitaas

SIGNATUR

GODKJENT AV

Erlend Aakre

SIGNATUR

COMPANY WITH
MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
ISO 9001 • ISO 14001
ISO 45001

RAPPORT NR.

2022:01022

ISBN

978-82-14-07915-9

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

| VERSJON | DATO | VERSJONSBEKRIVELSE |
|---------|------------|--------------------|
| 1.0 | 2023-02-08 | Endelig versjon |

Innholdsfortegnelse

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introduksjon | 5 |
| 2 | Forsøksdesign | 6 |
| 2.1 | Utstyr og datainnsamling..... | 6 |
| 2.2 | Soner, betaling og beregning av priser..... | 7 |
| 2.3 | Rekruttering..... | 11 |
| 3 | Spørreundersøkelsene | 12 |
| 3.1 | Oppsett..... | 12 |
| 3.2 | Analysér før- og etterundersøkelser..... | 12 |
| 3.2.1 | Utvalg..... | 12 |
| 3.2.2 | Brukernes interesse for ny teknologi..... | 16 |
| 3.2.3 | Holdninger til eksisterende bomssystem..... | 17 |
| 3.2.4 | Forventninger til vegprising..... | 19 |
| 3.2.5 | Erfaringsbasert holdninger til vegprising..... | 21 |
| 3.2.6 | Erfaringer under uttestingen..... | 25 |
| 3.2.7 | Endring av reisevaner i piloten..... | 27 |
| 3.2.8 | Holdning til behandling av persondata..... | 28 |
| 3.2.9 | Løsninger og andre bruksområder for vegprisingssystem..... | 31 |
| 4 | Loggedata | 33 |
| 4.1 | Algoritme for map-matching..... | 33 |
| 4.1.1 | Koble GNSS-punkter mot vegnett..... | 33 |
| 4.1.2 | Identifiser ankerlenker..... | 33 |
| 4.1.3 | Bygg opp kjørerute fra start til slutt..... | 34 |
| 4.1.4 | Tilpass første og siste lenke..... | 35 |
| 4.1.5 | Resultat av map-matching..... | 36 |
| 4.2 | Sammenligning av lengder med og uten map-matching..... | 37 |
| 4.2.1 | Kvalitetssikret delsett av turene..... | 38 |
| 4.2.2 | Hele datasettet..... | 41 |
| 4.3 | Eksempler på utfordringer..... | 42 |
| 4.3.1 | GNSS-drift..... | 42 |
| 4.3.2 | Stillestående GNSS-støy..... | 44 |
| 4.3.3 | Oppstartsproblematikk..... | 45 |
| 4.3.4 | Utfordringer med map-matching..... | 46 |
| 4.3.5 | Utliggere..... | 48 |
| 4.3.6 | Ujevnheter..... | 49 |
| 4.3.7 | Ferger..... | 50 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.3.8 | Oppsummering - utfordringer | 50 |
| 4.4 | Sjekk mot bompasseringer..... | 51 |
| 4.5 | Endring av reisevaner..... | 52 |
| 4.5.1 | Alle kjøretøy..... | 52 |
| 4.5.2 | Kjører mindre enn før | 53 |
| 4.5.3 | Endret kjøremønster | 54 |
| 4.6 | Sammenligning av kostnad i bomring og vegpris | 54 |
| 5 | Dynamisk vegprising..... | 55 |
| 5.1 | Data fra vegprisingspiloten | 56 |
| 5.2 | Sammenligning med data fra trafikkregistreringsstasjoner | 60 |
| 6 | Oppsummering og konklusjoner..... | 65 |
| 7 | Referanser..... | 67 |

1 Introduksjon

Vegprisingspiloten GeoFlow er en del av Forskningsrådsprosjektet "309311 – Next generation ITS station" gjennom programmet Pilot-T, der Q-Free er prosjekteiere, Statens vegvesen leder pilotgjennomføringen, og SINTEF er forskningspartner. Denne rapporten dokumenterer piloten med fokus på forskningsresultatene fra denne. GeoFlow-piloten er en videreføring av en av pilotene som ble gjennomført i GeoSUM-prosjektet (Arnesen m.fl. 2020; Arnesen m.fl. 2021), der differensiert vegbruksavgift ble pilotert for plug-in hybridbiler i Trondheim og Oslo.

Totalt ble 126 sjåførere, heretter omtalt som brukerne, i Trondheim rekruttert for å teste vegprisingsteknologi i en definert geofence-soner over en 3 måneders periode. Alle typer biler ble inkludert i forsøket, men alle typer biler ble tilegnet de samme takstene. Brukerne fikk informasjon om deres egen kostnad underveis i perioden, og denne ble sammenlignet med det brukerne faktisk betalte i bomringen i Trondheim. Utstyrssettet, eller enheten, som ble benyttet i piloten besto av en antenne, prosesseringsenhet og strømtilkobling. Installasjonen ble for de fleste brukerne gjennomført av Bilradiospesialisten i Trondheim.

Det ble logget data fra enhetene i kjøretøyet, brukerne ble bedt om å svare på en før-undersøkelse i en periode før vegprisingsystemet ble slått på, og en etter-undersøkelse i en periode etter å ha hatt tid til å teste systemet. Loggdataene og responsen på disse undersøkelsene er hoved-datakildene til de analysene som presenteres i denne rapporten.

Enhetene beregner utkjørt distanse basert på GNSS (Global Navigation Satellite System). Som alternativ kan map-matching benyttes for å sikre konsistens mellom like kjøreturer, men er på sin side mer beregningskrevende og kan potensielt innføre feilkilder. For å undersøke mulighetsrommet og utfordringene ved bruk av map-matching for distansebasert vegprising ble det implementert en slik algoritme for post-prosessering av lokasjonsdataene og foretatt en sammenligning mot beregningene fra enhetene.

I GeoFlow er det også gjort en proof-of-concept på system for sjekk av enhetene mot utstyr i vegkant, Enforcement. Mer presist ble intelligente kamera og kommunikasjon via 5.9 GHz plassert i vegkanten på 1 lokasjon i Trondheim, for å sjekke at enheter i bilene fungerer, eller ikke blir jukset med.

GeoFlow er et av prosjektene som har blitt brukt som teknologisk kunnskapsunderlag til Konseptvalgutredningen (KVU) gjennomført i samarbeid mellom Statens vegvesen og Skatteetaten på oppdrag fra Finansdepartementet og Samferdselsdepartementet (KVU, 2022).

I denne rapporten gis det en oppsummering av piloten gjennomført i GeoFlow, med søkelys på oppsett av piloten, resultater og analyser. Tekniske detaljer rundt enheten (ITS-stasjonen utviklet i prosjektet) finnes i Lykkja (2021).

2 Forsøksdesign

2.1 Utstyr og datainnsamling

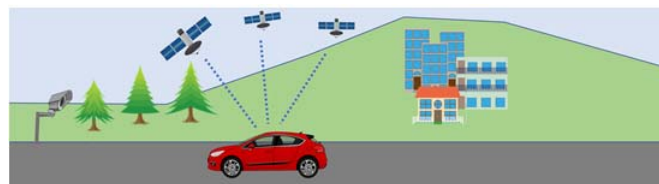
I hovedsak består utstyrsettet i GeoFlow av tre moduler installert i kjøretøyet og en nettside der brukerne kan logge seg på for å hente ut fakturahistorikk og så videre. De tre modulene i bilen består av en prosesseringsenhet (se venstre bilde i Figur 1), en antenne installert i frontrute (midtre bilde i samme figur) med kabel til prosesseringsenhet, og en egen applikasjon kjørende på en smarttelefon (høyre bilde i samme figur) med Wi-Fi kommunikasjon til prosesseringsenheten. Den siste modulen (smarttelefon med applikasjon) er frivillig å bruke, og benyttes kun for visning av soner, priser, fakturahistorikk, ruteplanlegging med beregnet vegpris og så videre. Prosesseringsenheten og antennen vil altså gjøre registreringer og beregner kostnader uavhengig om en smarttelefon er koblet til eller ikke.



Figur 1: Enhet installert i bilen. Venstre: ITS-stasjon her plassert i hanskerommet, men for de fleste brukerne gjemt bak bilens dashboard. Midten: Antenne montert i frontrute for god sikt mot himmel. Høyre: Valgfri smarttelefon med GeoFlow-app for visning av priser, soner, ruter, oppkobling mot hvelv etc.

Prosesseringsenheten henter soner med priser fra et baksystem og det sjekkes for endringer i sonestruktur og priser hver gang kjøretøyet startes opp. Deretter beregnes vegpris i selve enheten for hver tur. Disse kostnadene aggregeres opp til en samlet pris for en bestemt tidsperiode (f.eks. hver uke eller hver måned), som sendes kryptert som et fakturagrunnlag ut av bilen til baksystemet. På denne måten vil ingen lokasjonsdata forlate kjøretøyet. Dette prinsippet kalles en tykk klient, i motsetning til en tynn klient, der alle lokasjonsdata sendes ut av kjøretøyet for behandling og prising i selve baksystemet. Prosjektet har også satt opp en tynnklientløsning som gjør at SINTEF får alle lokasjonsdata tilgjengelig på sin server for analyse, men denne delen tenkes koblet fra i en faktisk implementering. Alle lokasjonsdata lagres og låses også i selve prosesseringsenheten i tilfellet det er behov for å ettergå fakturagrunnlaget. Mobilapplikasjonen kan benyttes for å se og eksportere ut egne lokasjonsdata. I prosjektet opprettes det en personlig PIN kode som må benyttes for å låse ut disse dataene. Tanken er at disse blant annet kan benyttes i klagesaker mot mottatt faktura.

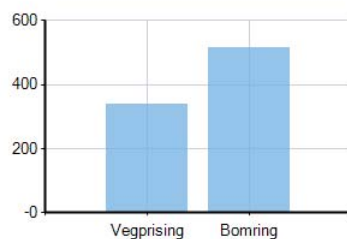
I tillegg til data som logges i enheten, henter vi ut bompasseringsdata fra baksystemet til Autopass. Dette gjøres for å kunne sammenligne kostnaden ved å kjøre i bom med prosjektets utregnede vegpris for hver deltager. Hver måned gjennom forsøket mottok deltagerne en personlig epost med status for deres kjøring i piloten. Se Figur 2 for eksempel på epost som ble sendt ut til deltagerne.



Hei, Ola Normann!

Dette er en status på hvordan det går med ditt kjøretøy i vegprisingpiloten i forskningsprosjektet GeoFlow.

Etter at betaling i GeoFlow-sonen ble aktivert for deg den 20. april, har vi per 31. juli beregnet en belastning på **340 kr med vegprising**. Til sammenligning har vi beregnet en belastning på **516 kr i bomringen***.



(Dette er kun til informasjon. Flere detaljer finnes i app-løsningen i bilen.)

Er det spørsmål til dette er det bare å ta kontakt med tidligere oppgitte kontaktpersoner eller svare på denne eposten.

Med vennlig hilsen
GeoFlow – pilotteam

**I disse beregningene benyttes ikke avtalepriser eller reduserte takster for elbil og lignende. Dette gjøres for at beregnet belastning i bomringen og beregnet belastning med vegprisingen skal være mest mulig sammenlignbart.*



Figur 2: Eksempel på epost sendt til pilotdeltager med status

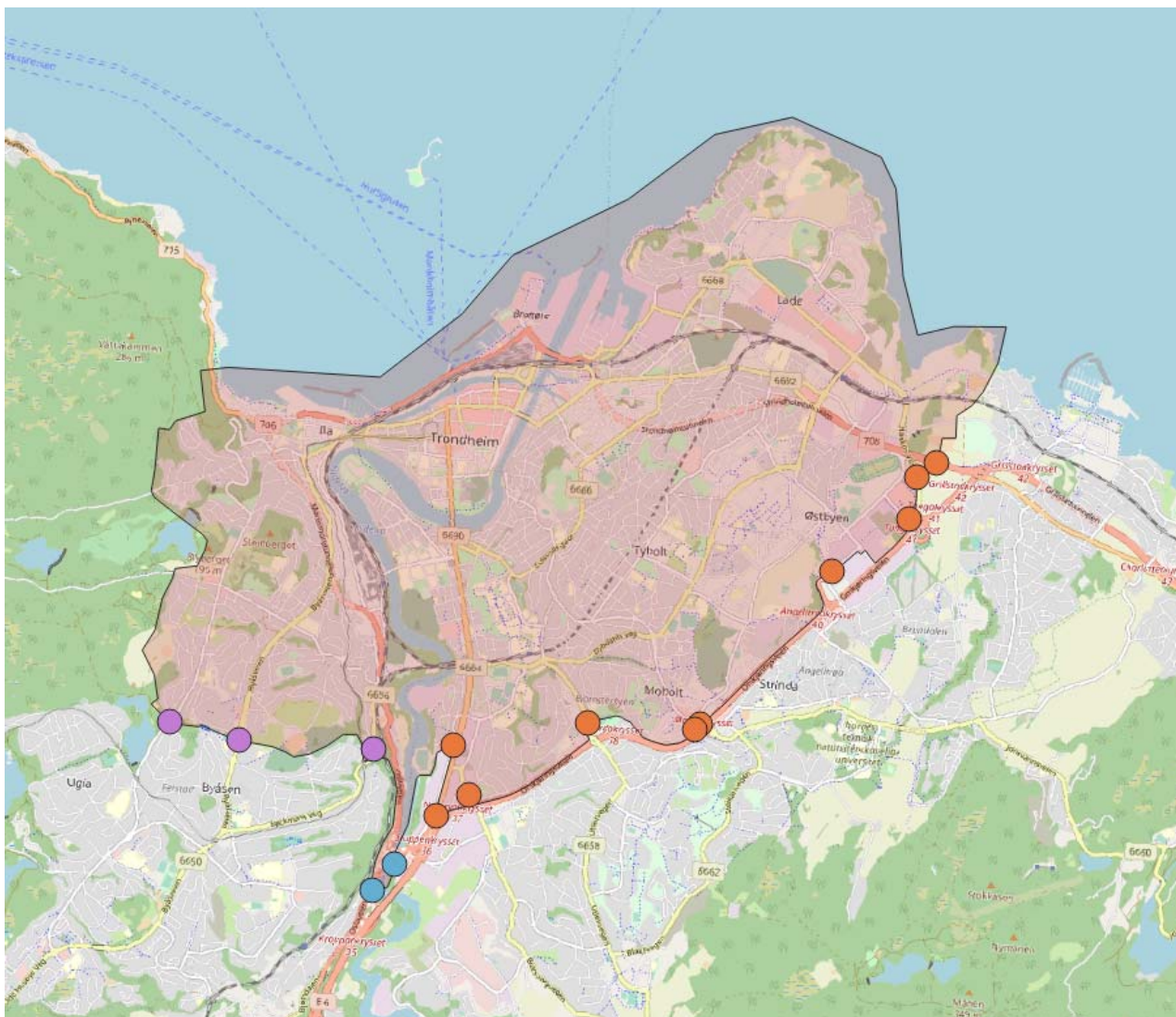
Den første tiden etter installasjon, 1-2 uker, ble kjørt i såkalt black mode. I dette tilfellet betyr det at ingen soner ble tilegnet noen takst. Denne perioden ble gjennomført for å dokumentere normal kjøreadferd hos deltageren for å sette forsøket i stand til å identifisere eventuelle adferdsendringer. Deretter ble systemet slått på, og deltageren begynte å få informasjon om påløpte kostnader i mobilapplikasjonen dersom denne var slått på. Om ikke, ble priser allikevel beregnet og sendt til baksystem.

Den siste datakilden hentet inn i forsøket ble gjort gjennom en før- og etterundersøkelse. Førundersøkelsen ble sendt ut etter installasjonstidspunkt og deltagerne fikk frem til endt black mode periode med å svare. Etterundersøkelsen ble sendt til deltagerne etter ca. 3 måneder med kjøring.

2.2 Soner, betaling og beregning av priser

For å gi brukerne et sammenligningsgrunnlag og en prising man kunne forholde seg til, ble det av prosjektgruppen valgt å fokusere på et prisregime der bomkostnadene til deltagerne i gjennomsnitt skulle være like store som det piloterte vegprisingssystemet. Effekten man så etter i valg av prising var derfor en forflytting av bomkostnadene til strekningsbasert betaling, og ikke forsøke å legge inn andre eksterne kostnader som miljø, støy og vegbruksavgift. Dette gav også piloten en mulighet til å gi brukerne et insentiv til å endre adferd. Mer presist fortalte vi brukerne at vi ville sammenligne deres utgifter i bomplasseringer rundt Trondheim med vår vegprising og dersom de brukte mindre på vegprising ville de få utbetalt differansen opp til 1000 kr. Dersom de brukte mer med vegprising enn bompenger kunne ikke prosjektet kreve penger fra brukerne, men de fikk denne informasjonen presentert gjennom epost i Figur 2.

For å beregne en vegpris som i sum over flere brukere sannsynligvis ville gi samme total kostnad som de samme brukerne har i bomringen ble det tatt utgangspunkt i beregninger gjennomført i GeoSUM-prosjektet (Arnesen m. fl., 2020), og som er dokumentert her. En betalingszone for piloten ble definert som i Figur 3, der sonegrensene ble lagt ved eksisterende bomstasjoner der dette fantes.



Figur 3: Geoflow betalingszone med sonegrenser tilpasset dagens bomstasjoner rundt Trondheim Sentrum. Fargen på bomstasjonene tilsvarer bomstasjoner med timersregel¹².

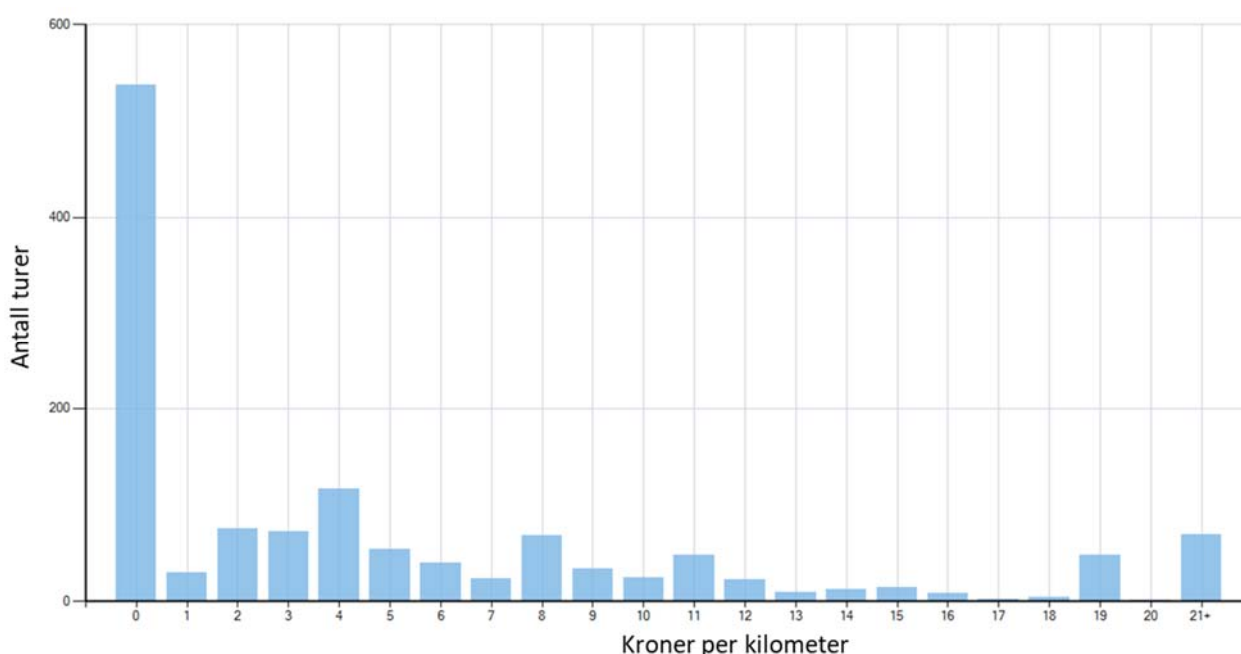
Datasettet i GeoSUM består av 9 552 km kjøring fordelt på 2060 turer fra 40 deltagere, hvorav 5300 km er kjørt i sonen definert for GeoFlow. Totalt har 1323 av turene minst én registrering inne i sonen og det er dette datasettet vi tar utgangspunkt i. Totalt kan vi i dette datasettet finne 1139 bompasseringer i bomstasjonene vist i Figur 3, hvorav 505 av disse var i rush-timene i Trondheim. Det vil si mellom klokken 07.00-09.00 og 15.00-17.00. Deretter ble følgende beregning gjort for alle turer i GeoSUM-datasettet som

¹ www.vegart.no/

² www.vegamot.no/

er innom eller i sin helhet kjøres i sonene: kroner per kilometer beregnes for hver tur ved å ta totalkost for bomplasseringer og dele på totalt antall kilometer inne i sonen. Dette representerer altså vegprisen man måtte ha hatt på turen dersom man skulle betalt nøyaktig det samme som i bom. Det er her viktig å påpeke at vi ser bort i fra rabatter i bomringen, som timersregel eller om man kjører eldrift eller fossilt drivstoff. I våre beregninger, både i datagrunnlaget fra GeoSUM og i betalings-simuleringen i GeoFlow-forsøket, ble alle priser beregnet som om alle biler kjørte på fossilt drivstoff uten noen rabatter.

Fordeling over beregnet vegpris per tur er vist i Figur 4, med oppsummerende statistikk i Tabell 1. Legg merke til at en stor del av turene får beregnet vegpris lik 0. Dette er turer som i sin helhet gjennomføres internt i sonen, eller går ut av eller inn i sonen på steder der det ikke er plassert en bomstasjon, for eksempel mot Byneset, og vil således ikke belastes i bomringen. En tur blir definert som rush dersom den har vært innom sonen mellom kl. 07.00-09.00 eller 15.00-17.00.



Figur 4: Fordeling over beregnet vegpris per tur som gir lik kostnad som i bomringen.

Tabell 1: Statistikk på turene vist i Figur 4, der "Uten gratisturer" beregnes ut ifra de turene der beregnet vegpris er større enn 0 kr.

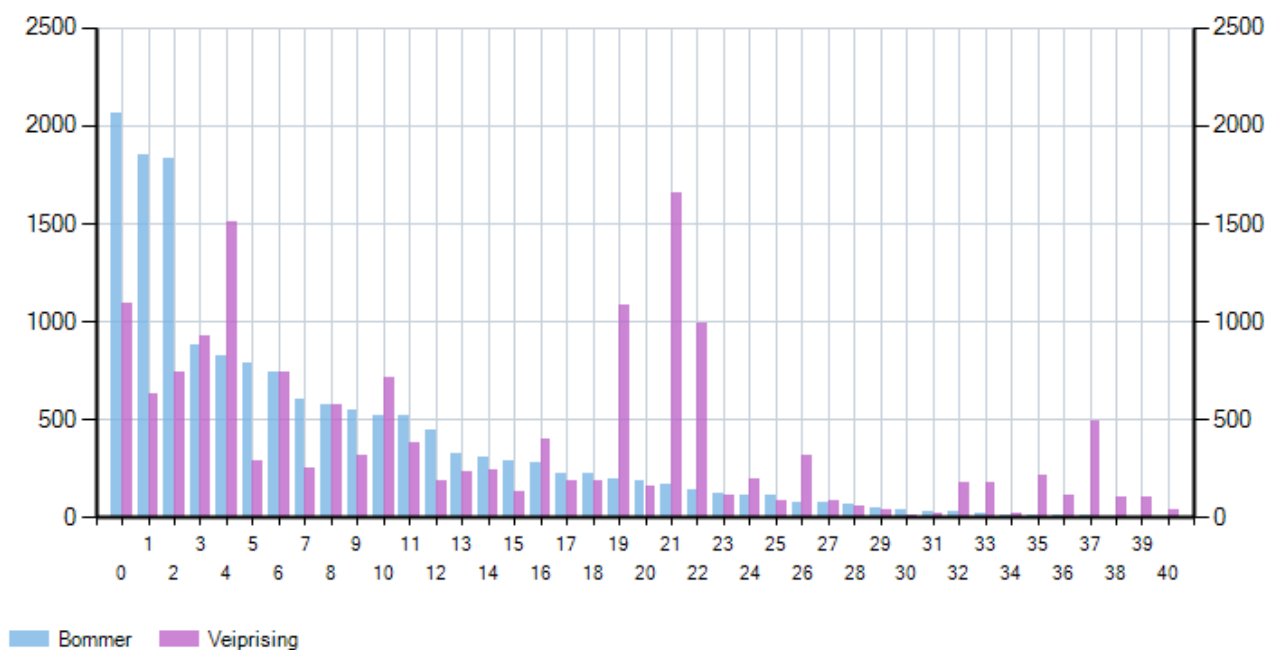
| | Alle turer | Uten gratisturer |
|---------------|------------|------------------|
| Gjennomsnitt | 6,64 | 11,26 |
| Median | 2,60 | 6,50 |
| Standardavvik | 13,44 | 15,94 |
| Antall | 1309 | 772 |

Statistikk der vi skiller mellom turer som går i rush og ikke-rush er vist i Tabell 2.

Tabell 2: Statistikk på turene vist i Figur 4, skilt på turer som går i rush og ikke-rush, og der "Uten gratisturer" beregnes ut ifra de turene der beregnet vegpris er større enn 0 kr.

| | Rush (kr/km) | | Ikke-rush (kr/km) | |
|---------------|--------------|------------------|-------------------|------------------|
| | Alle turer | Uten gratisturer | Alle turer | Uten gratisturer |
| Gjennomsnitt | 5,02 | 7,60 | 3,45 | 6,85 |
| Median | 3,47 | 5,08 | 1,21 | 6,08 |
| Standardavvik | 5,94 | 5,81 | 4,44 | 3,98 |
| Antall | 501 | 331 | 738 | 371 |

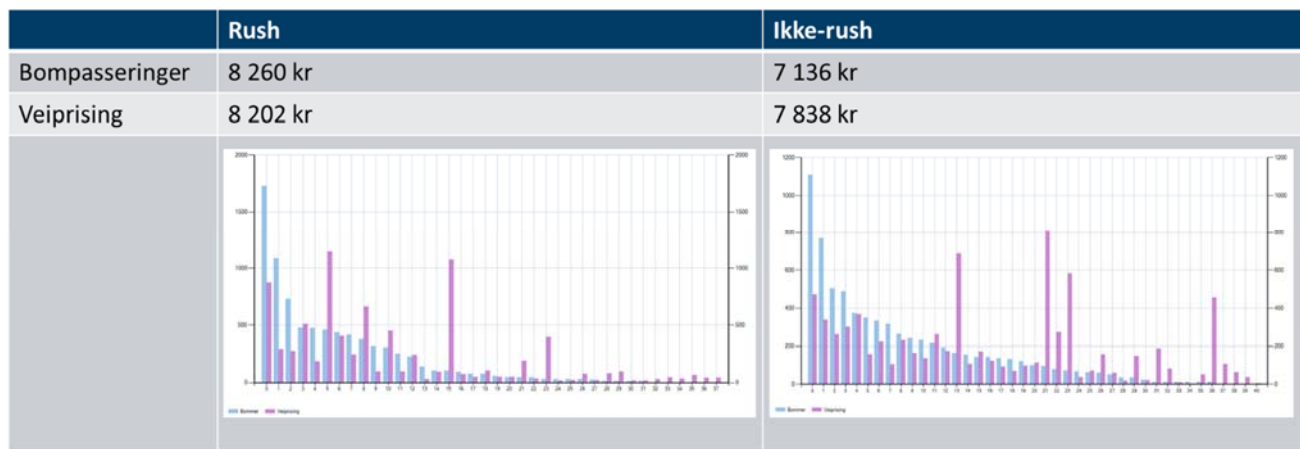
For og nå sette en felles vegpris, én for rush og én for ikke rush, som balanseres mot kostnadene det forventes at deltagerne vil ha i bomringen, legges følgende logikk til grunn. Vi tar utgangspunkt i størrelsesordenen på prisene funnet i tabell Tabell 1 og Tabell 2. Vi ønsker å beholde en relativt liten forskjell mellom rush og ikke-rush – som i bomringen i dag. Deretter prøver vi en rekke kombinasjoner av rush/ikke-rush vegpriser, beregner totalkostnad for alle deltagerne i GeoSUM-databasen med denne prisen og sammenligner mot totalkostnad i bom. Deretter velger vi en priskombinasjon (rush/ikke-rush) som tilfredsstillende ønskene over. Det viser seg at en vegpris på 4 kr/km i rush og 3 kr/km i ikke-rush resulterer i en totalkostnad på 16 041 kroner for våre 40 deltagere, til sammenligning med 15 396 kroner i totalkostnad for bom. Fordelingen per deltager i GeoSUM-databasen vises i Figur 5, der blå søyler viser utgift per deltager i GeoSUM-databasen og rosa tilstøtende søyle viser totalkostnad ved vegprising for samme deltager.



Figur 5: Beregnet bomkostnad (rosa) og kostnad ved vegprising (blå) ved 4 kr/km i rush og 3 kr/km i ikke-rush for hver deltager i GeoSUM databasen.

Det er verdt å merke seg at de med høyere blå søyler enn rosa er de som relativt ofte passerer en bom, men som kjører lite i selve sonen, mens de med høyere rosa søyler enn blå er de som kjører mye internt i sonene, men sjeldnere krysser en bom.

Figur 6 viser hvordan kostnadene fordeler seg dersom man deler turene opp i rush/ikke-rush, og at totalkostnadene ved bom og vegprising fremdeles er relativt lik i de to tilfellene.



Figur 6: Beregnet bomkostnad (rosa) og kostnad ved vegprising (blå) fordelt mellom turer i rush (venstre) og turer i ikke-rush (høyre) for hver deltager i GeoSUM databasen.

I GeoFlow-piloten ble derfor kostnaden ved vegprisingen satt til 4 kr/km i rushtid og 3 kr/km utenfor rushtid.

2.3 Rekruttering

Flere tiltak ble gjennomført for å rekruttere deltagere til piloten. I første omgang ble det laget mediaopplag både gjennom TV og i aviser for å vekke interesse rundt prosjektet. I flere av de skriftlige sakene ble det lagt ved påmeldingsinformasjon slik at folk kunne melde seg via e-pos. I tillegg ble det utarbeidet en promoteringsvideo for rekruttering som ble distribuert i på websider, nyhetsbrev og ellers i nettverkene til Statens vegvesen, SINTEF og Q-Free (SVV, 2022). Man ønsker å rekruttere et så representativt utvalg i befolkningen som mulig, derfor ble følgende spørsmål stilt ved påmelding:

- Alder
- Kjønn
- Årsmodell på bil
- Biltype
- Antall faste brukere av bilen
- Firmabil eller ikke
- Utdanningsnivå
- Om man er opptatt av å teste ny teknologi
- Om man synes det er viktig å kjøre en bil med den nyeste teknologien
- Om man kjører ofte til jobb i rush-tiden
- Samlet inntektsnivå på husholdningen

Etter å ha rekruttert gjennom media og nettverk ble det gjort en første analyse av dataene samlet over. Da kom man frem til at utvalget var noe skjevt med hensyn på spesielt alder og kjønn, der man hhv. manglet yngre og kvinner. Opinionsen derfor bedt om å rekruttere en del yngre kvinner, ved telefonintervjuer, men kun et titalls brukere endte opp med å bli rekruttert herfra.

Generelt er det vanskelig å rekruttere et representativt utvalg til slike uttestinger, spesielt når det innebærer å forplikte seg til å møte opp fysisk for installasjon.

3 Spørreundersøkelsene

3.1 Oppsett

To undersøkelser ble sendt brukerne i piloten gjennom forsøksperioden. Den første, før-undersøkelsen, fikk brukerne tilsendt rett etter installasjon og fikk frist til endt black-mode periode med å svare på. Denne undersøkelsen inneholdt primært spørsmål rundt brukernes daglige vaner, samt forventninger og holdninger til teknologi, datalagring, vegprising og bomringen.

Etterundersøkelsen ble tilsendt brukerne ca. 2-3 måneder etter installasjon, det vil si mot slutten av pilotperioden. Disse spørsmålene ble utviklet for å avdekke brukernes erfaringer og holdninger til konseptet og teknologien de nå hadde testet ut. Etter-undersøkelsen ble sendt til alle de registrerte brukere som fikk utstyret installert i bilen sin og hadde kjørt utstyret i en periode. Etter-undersøkelsen besto av 14 spørsmål, hvorav 11 var skala-spørsmål, 1 var et enkeltvalgsspørsmål, og 2 var åpne spørsmål. Både før- og etter-undersøkelsen var nettbasert og ble delt via en e-post med en invitasjon til å svare undersøkelse via en lenke.

Etterundersøkelsen ble sendt ut til brukerne i 3 bolker, avhengig av tidspunktet når de fikk utstyret installert i bilen sin. En lenke ble sendt til den første gruppen, som besto av 95 brukere som hadde fått installert utstyret i mars og april 2022. Den andre gruppen besto av 18 brukere som fikk utstyret installert i mai, og den tredje og siste gruppen besto av 13 brukere som fikk utstyret installert i juni. Etter-undersøkelsen ble dermed sendt ut til 126 brukere, og to purring e-poster ble sendt med én uke intervall. Totalt, ble etter-undersøkelsen svart på av 118 av brukere, noe som tilsvarer 94% svarprosent. De følgende kapitlene presenterer resultater fra både før- og etter-undersøkelsen delt i temaer.

De to undersøkelsene er gjennomført på to ulike tidspunkt og noen personer har kun svart på en av undersøkelsene, til tross for flere påminnelser om å svare. Dette er som forventet, men gjør at utvalget ikke er nøyaktig det samme for de to utvalgene. For å benytte all data vi har samlet inn har vi valgt å beholde alle respondenter, selv om dette gjør at utvalget ikke blir nøyaktig det samme. Leseren bes imidlertid å være observant på denne forskjellen.

3.2 Analyser før- og etterundersøkelser

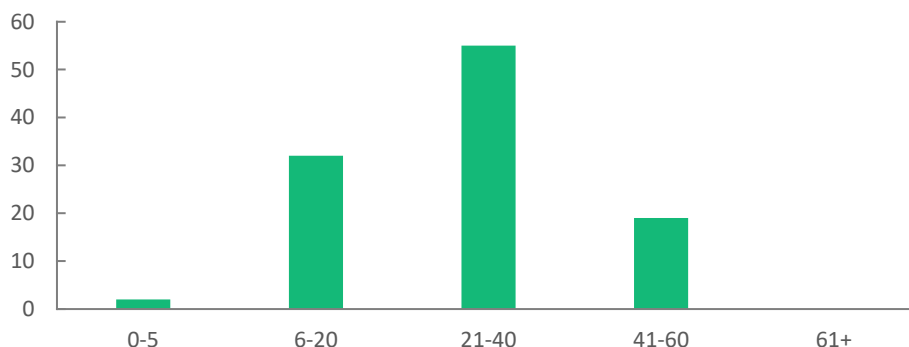
3.2.1 Utvalg

Utvalget fra før-undersøkelsen på 108 besto av personer mellom 21 og 77 år (Gj.snitt = 47; Std.avvik =13,5). Den mannlige gruppen i utvalget representerer over 60% av brukerne. Andelene mellom de ulike aldersgruppene indikerer en høyere representasjon av aldersgrupper fra 40 til 59 år (n = 54, 50%). Den minste aldersgruppen bestod av personer mellom 60 og 65 år (n = 9, 8%). Nesten halvparten av utvalget (49%) rapporterte å ha fullført 4-5 årig høyutdanning, mens flertallet av utvalget (80%) rapporterte å ha inntektsgivende arbeid. Tabell 3 viser fordelingen av utvalget etter kjønn, aldersgruppe, utdanningsnivå og hovedbeskjeftigelse.

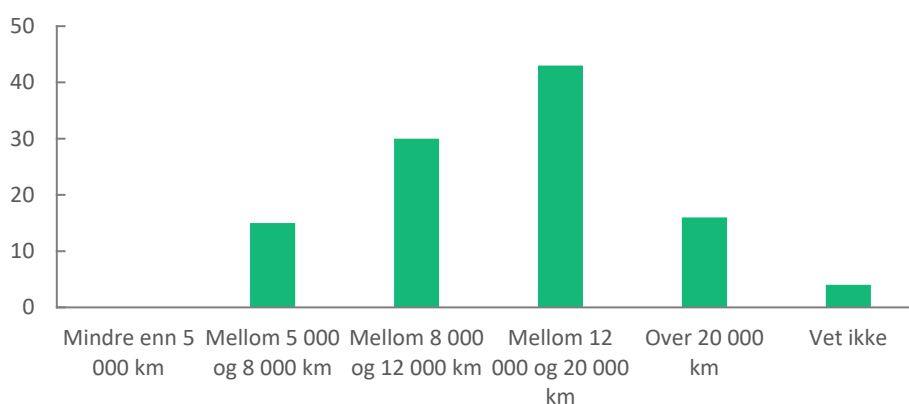
| Tabell 3: Demografisk data av utvalget i før-undersøkelse (N = 108) – N (%) | | |
|--|---|----------|
| Kjønn | Mann | 68 (63%) |
| | Kvinne | 40 (37%) |
| | Vil ikke svare | - |
| Alder | 18 – 25 | 15 (14%) |
| | 30 – 39 | 19 (18%) |
| | 40 – 49 | 28 (26%) |
| | 50 – 59 | 26 (24%) |
| | 60 – 65 | 9 (8%) |
| | 65+ | 11 (10%) |
| Utdanningsnivå | Barne- og ungdomsskole | - |
| | Videregående | 18 (17%) |
| | Høyskole/universitet, mindre enn 3 år | 27 (25%) |
| | Høyskole/universitet, fullført 4-5 årig utdanning | 53 (49%) |
| | Doktorgrad | 10 (9%) |
| Hovedbeskjeftigelse | Inntektsgivende arbeid | 86 (80%) |
| | Arbeidssøker | - |
| | Pensjonert | 10 (9%) |
| | Student | 7 (6%) |
| | Annet | 5 (5%) |
| | Vil ikke svare | - |

Angående kjøreefaring av brukerne, har de hatt førerkort i gjennomsnittet 28 år (Gj.snitt = 28; Std.avvik = 13,0). I tillegg, viser data at nesten halvparten av brukerne (40%) rapporterte å kjøre mellom 12 000 og 20 000 km i løpet av ett år. Fordelingen av utvalget etter antall år med førerkort og antall km kjørt i løpet av ett år vises i Figur 7.

[a] Hvor mange år har du hatt førerkort for personbil?



[b] Omtrent hvor mange km kjører du i løpet av ett år?



Figur 7: Antall år med førerkort [a], og antall km kjørt ilt ett år blant deltagerne [b].

Utvalget i Geoflow er ikke representativt for befolkningen som helhet, til tross for at det ble tilstrebet å få et utvalg som var så representativt som mulig. For eksempel ble det rekruttert flere kvinner på grunn av dette, se beskrivelse under 2.3.

Om vi sammenligner Geoflow-utvalget med for eksempel en undersøkelse gjort om Miljøpakken, og folks hverdagsreiser og deres holdninger til bompenger i Trøndelagsområdet (Bolsø og Østgaard, 2022), ser vi at det er i denne undersøkelsen mer jevn fordeling av kjønn og alder (f.eks. 51% og 49% for menn og kvinner, henholdsvis).

Det er derimot viktig å påpeke at selv om kvinner samt grupper av personer under 30 år og over 60 år er underrepresentert i Geoflow-utvalget, er ikke forskjellene så store. I tillegg, sammenlignes ikke resultatene mellom kjønn, alder eller utdanningsnivå, slik at vi ikke trekker konklusjoner fra ulikt representerte grupper. Resultatene bør likevel tas med forbehold.

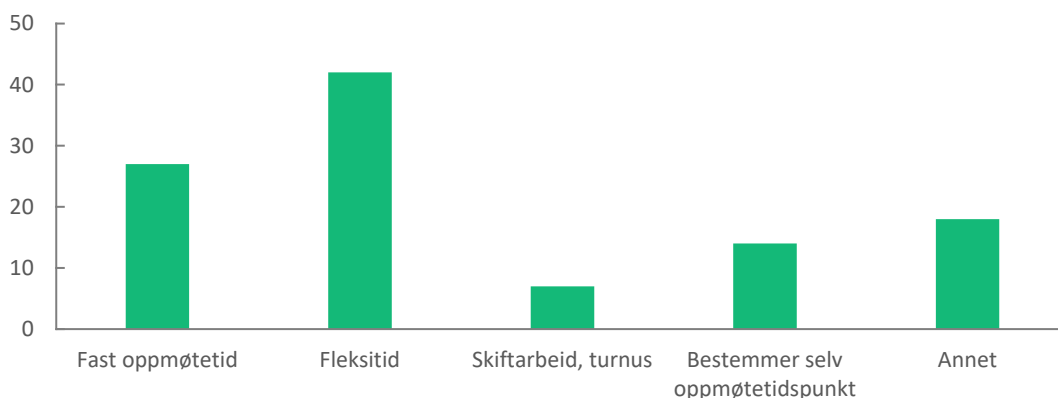
En interessant observasjon er at utvalget for Geoflow er svært likt utvalget av brukere som deltok på GeoSUM-studien som er en tidligere studie hvor man testet lavutslippssoner i Trondheim og Oslo (se Arnesen et al., 2021). Tabell 4 viser en sammenligning av gjennomsnittlig alder, andel kjønn, fordeling av utdanningsnivå og gj.snitt antall år med førerkort. Dette kan tyde på at det er en viss grad av

"selvrekuttering" til denne type undersøkelser. Dette er også bekreftet av funnene under knyttet til "teknologioptimisme" (se delkapittel 4.2.2).

| Tabell 4: Sammenligning av utvalget mellom GeoFlow og GeoSUM prosjekter | | GeoFlow | GeoSUM |
|--|----------------------|---------|--------|
| Gj.snitt alder | | 47 år | 48 år |
| Kjønn | Menn | 63% | 67% |
| | Kvinner | 37% | 33% |
| Utdanningsnivå | Grunnskole/vgs | 17% | 11% |
| | Høyskole/universitet | 74% | 80% |
| | Doktorgrad | 9% | 9% |
| Gj.snitt førerkort | | 28 år | 29 år |

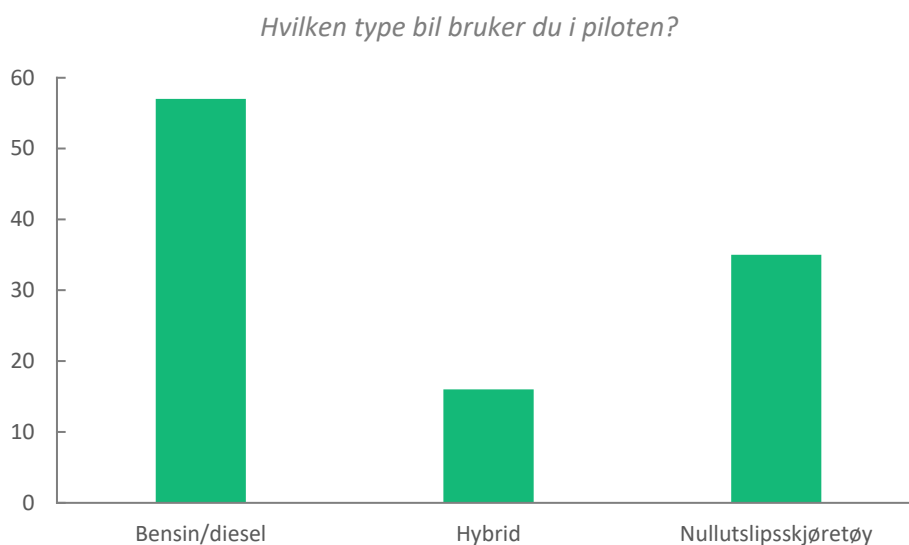
Angående reisevaner i forhold til arbeidstid/oppmøtetid til brukerne, viser resultatene at over en fjerdedel av brukerne har fast arbeidstid/oppmøtetid, mens 42% har fleksitid (se Figur 8). Dette betyr at nesten 50% av utvalget i utgangspunktet har en relativt fleksibel reisehverdag og har muligheten til å endre sine jobbrelevante bilreiser om de ønsker det. Det kan også være verdt å merke seg at dette også sannsynligvis vil inkludere de som har mulighet til å ha hjemmekontor.

Dersom du har arbeid eller skole/studier, hvordan vil du beskrive din arbeidstid/oppmøtetid?



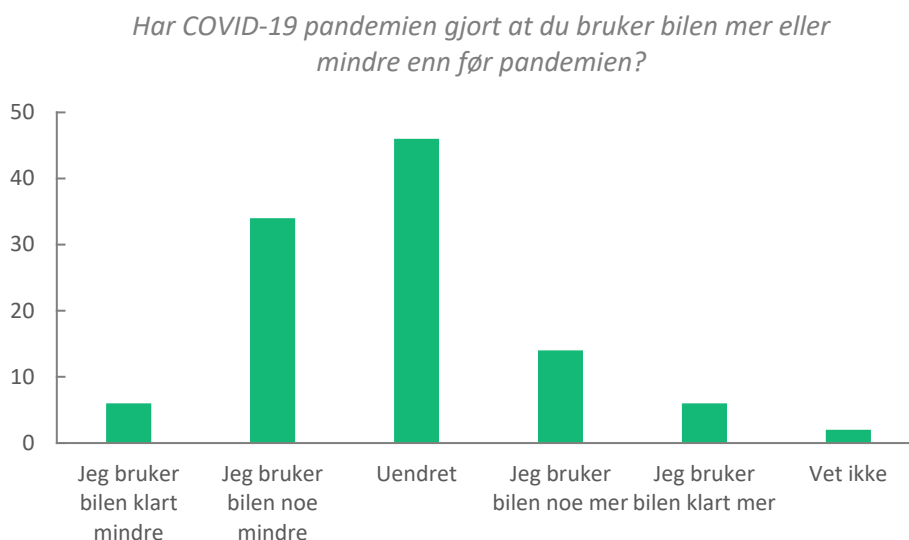
Figur 8: Fordeling av arbeidstid/oppmøtetid blant respondentene.

Hvilken type bil brukerne benyttet i piloten og hvordan de bruker den daglig ble også undersøkt. Resultatene viser at over halvparten av brukerne brukte en bensin/diesel bil til piloten (53%), den nest største gruppen bestod av de som brukte nullutslippskjøretøy (32%), se Figur 9.



Figur 9: Fordeling av type bil som ble brukt i piloten.

En stor andel av brukerne svarte at de ikke bruker bilen til næringsvirksomhet (93%), mens 8 personer rapporterte å bruke bil til næringsvirksomhet (7%). Av disse 8 personene, brukte 4 bilen som arbeidsbil (4%), 2 til taxi (2%), 1 til levering (1%), og 1 til annet (rapportert som møte med oppdragsgivere; 1%). Angående bruk av bil i forhold til COVID-19 pandemien, svarte 43% av brukerne at deres bilbruk ble uendret etter pandemien, mens 31% av brukerne svarte at de bruker bilen noe mindre etter pandemien oppsto. Resten av brukere rapporterte ulike forandringer i bruk av bilen, med noen med økt bilbruk og andre med mindre bilbruk, se Figur 10. Siden undersøkelsen er gjennomført flere måneder etter at de siste restriksjonene ble fjernet kan dette anses som å måle endring i bilbruken *etter* pandemien (ikke under).

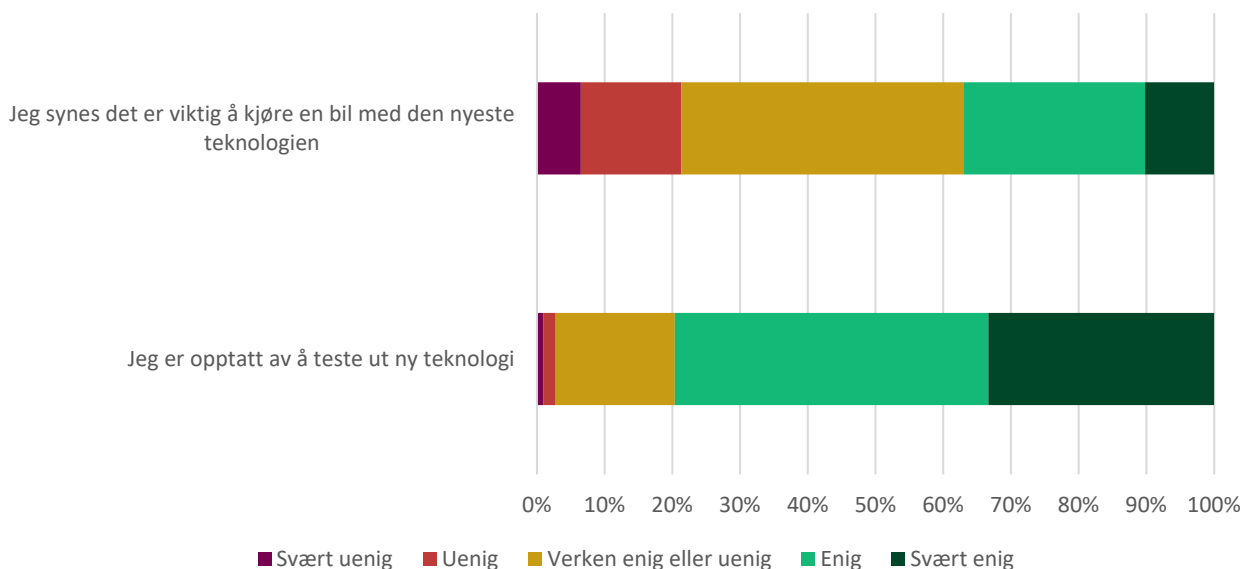


Figur 10: Fordeling av svarene ang. bruk av bil under og etter pandemien.

3.2.2 Brukernes interesse for ny teknologi

For å kunne avdekke brukernes holdning til vegprisingsteknologi, ble det først utforsket deres interesse for å teste ut ny teknologi og deres holdning for det nåværende bomsystemet i Trondheim. Angående brukernes

interesse for å teste og bruke ny teknologi i sine egne biler, viser resultatene i Figur 11 at mesteparten av brukerne er opptatt av å teste ut ny teknologi (79%). Dette indikerer at dette utvalget er såkalte "tidlige brukere" av ny teknologi, i litteraturen kjent som "early adopters" (Rogers, 2003). Tidlige brukere har noen karakteristikk som er overlappende med Geoflow-utvalget: de har høy utdanning, de har høy inntekt og er generelt interessert i ny teknologi.



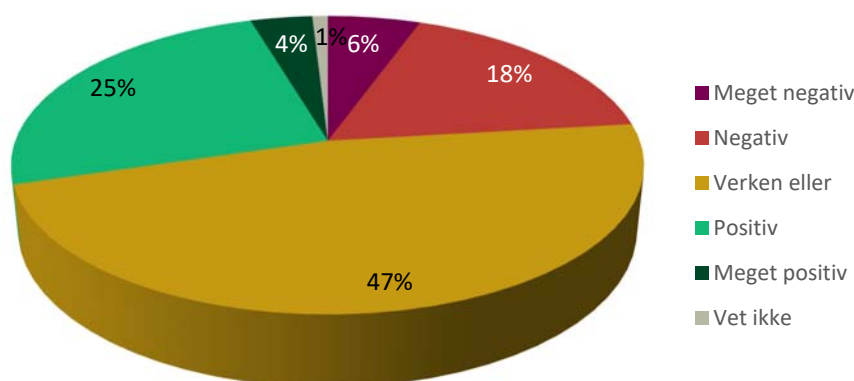
Figur 11: Fordeling av svarene ang. holdning til å teste ut og bruke ny teknologi.

Når vi sammenligner resultatene fra Geoflow med resultater fra Geosum (se Seter et al., 2021) på de samme formuleringene, ser vi at i Geosum indikerte 54% og 70% av brukere (for Q-free og Volvo piloter, henholdsvis) at de var opptatt av å teste ut ny teknologi. Dette viser at begge utvalgene har en forholdsvis stor generell interesse av ny teknologi. Når man sammenligner svarene på hvor viktig brukerne synes det er å kjøre bil med den nyeste teknologien ser vi større forskjeller mellom de to utvalgene. 70% av brukere i Volvo-piloten og 54% av brukere i Q-Free-piloten er enig eller svært enig i dette utsagnet, mens 37% svarte det samme i Geoflow-utvalget. Dette er interessant, til tross for at mesteparten rapporterte å være opptatt av ny teknologi, viser resultatene at kun 37% av brukerne synes at det er viktig å kjøre en bil med den nyeste teknologien, se Figur 11.

3.2.3 Holdninger til eksisterende bomssystem

Når det kommer til holdninger til bomsystemet og bomringen i Trondheim ser vi at nesten halvparten av brukerne (47%) rapporterte å ha en nøytral holdning til bomringen i Trondheim. Tjuefire prosent av brukerne hadde en negativ til meget negativ holdning, mens 29% hadde en positiv til meget positiv holdning til bomringen.

Hva er din holdning til bomringen i Trondheim?



Figur 12: Brukernes holdning til bomringen i Trondheim.

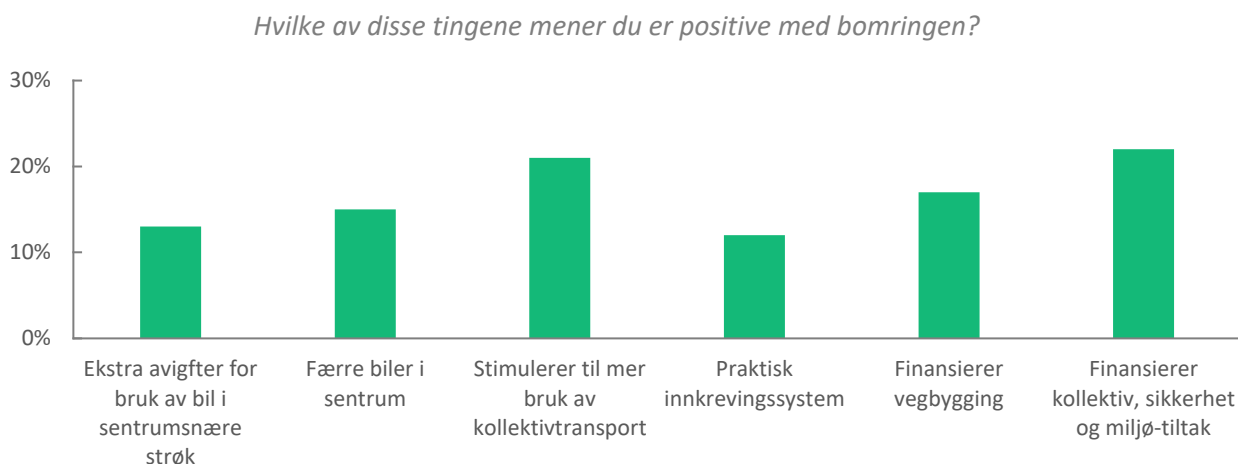
Disse funnene er sammenlignbare med andre gjennomførte undersøkelser om holdninger til eksisterende bomsystem. For eksempel, en evaluering av Miljøpakken i Trondheim viste at negative holdninger til bompenger som gikk fra 53% i 2014 til 37% i 2015 (SVV, 2015). Denne tendensen ser ut til å fortsette, da en ny undersøkelse om Miljøpakken i Trondheimsområdet publisert i år (2022) viser at 23% av respondentene var negative til svært negative til bompenger (Bolsø og Østgaard, 2022), noe som tilsvarer resultatene fra denne studien som viser at 24% er enten negative eller meget negative til bomringen i Trondheim.

Selv om andelen av brukere som er negative til bompenger ser ut til å tilsvare resultatene fra Bolsø og Østgaard (2022), er det derimot en stor forskjell mellom andel av folk som rapporterer å være positive til bompenger. Undersøkelsen av Bolsø og Østgaard (2022) viser at over halvparten av respondentene (51%) er positive eller svært positive, mens resultatene fra denne studien viser at kun 29% av brukere er enten positive eller meget positive. Antall nøytrale respondenter varierer mellom undersøkelsene. Mens 25% av respondentene svarte at de verken er positive eller negative til bompenger i undersøkelsen av Bolsø og Østgaard (2022), var nesten halvparten av brukere (47%) i denne studien nøytrale til bompenger. En hypotese om grunnen bak denne forskjellen kunne være måten spørsmålet ble stilt: mens denne studien stilte spørsmålet på en generell basis, ga den andre undersøkelsen en introduksjon ved å påpeke at mellom 30 og 40 prosent av inntektene i Miljøpakken kommer fra bompenger. Tilknytning mellom bompenger inntekter og Miljøpakken kunne ha påvirket måten av respondentene svarte.

I tillegg, om vi sammenligner holdninger mellom denne studien og studier fra befolkning i Oslo (Prosam, 2019), viser en undersøkelse at folk i Oslo ser ut til å være mer positive til bompenger (50% som synes ordningen er et ganske positivt eller meget positivt tiltak) enn brukere i Trondheim (29%).

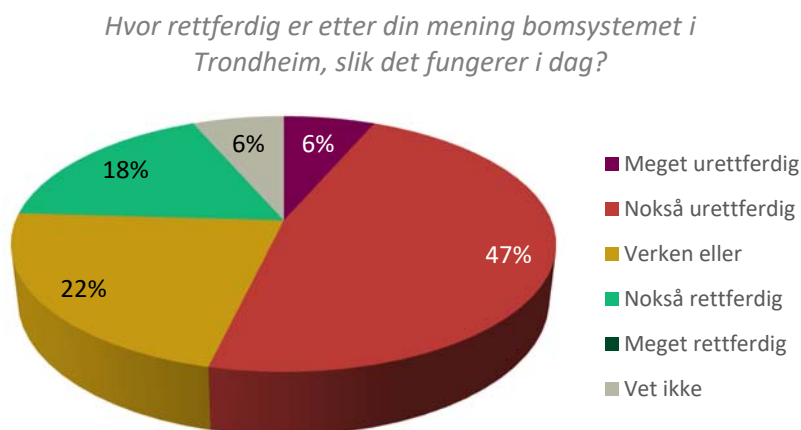
Blant de som svarte at de var negative til bomringen i Trondheim, mener de at disse faktorene er negative med bomringen: Urettferdig system (13%), Bilister betaler nok avgifter (10%), Dyrt/koster meg for mye (9%), Finansierer andre tiltak enn vegbygging (7%), Dyr innkrevingsform (5%), Skadelig for Midtbyen (5%), og Andre grunner (2%). Blant de som valgte andre grunner, skrev én bruker at "Bor selv innenfor ringen, og må derfor aldri betale for en tur innenfor ringen. Velger ofte Bymarka over Estenstadmarka grunnet bom". En annen bruker skrev at "Redusere trafikk gjennom f.eks Midtbyen er bra. Men slår ofte feil ut i kjøremønster i ringen rundt sentrum, at man faktisk kommer billigere ut å kjøre gjennom sentrum enn rundt".

På den andre siden, brukerne som er positive til bomringen, svarte at de følgende faktorene er positive med bomringen: Finansierer kollektiv, sikkerhet og miljø-tiltak (22%), Stimulerer til mer bruk av kollektivtransport (21%), Finansierer vegbygging (17%), Færre biler i sentrum (15%), Ekstra avgifter for bruk av bil i sentrumsnære strøk (13%), og Praktisk innkrevingsystem (12%), se Figur 13.



Figur 13: Brukernes meninger om de positive faktorene med bomringen.

I tillegg, ble brukerne spurt om de mener at bomsystemet i Trondheim er rettferdig slik det fungerer i dag (med tanke på pris, plassering av og antall innkrevingsstasjoner). Over halvparten (53%) svarte at bomsystemet i Trondheim er nokså til meget urettferdig, kun 18% mener at det er nokså rettferdig og ingen av brukerne svarte at bomsystemet er meget rettferdig, se Figur 14. Dette kan indikere at brukerne ikke er spesielt negative til bomsystemet i seg selv (se Figur 12), men at dagens system ikke oppleves som rettferdig.



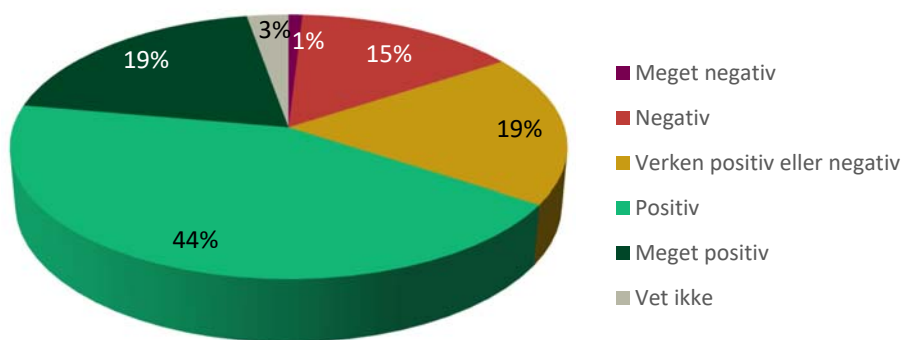
Figur 14: Brukernes mening om rettferdigheten av bomsystemet i Trondheim.

3.2.4 Forventninger til vegprising

Før brukerne fikk testet teknologien i prosjektet ble de spurt om deres holdning til vegprising. Konseptet ble presentert på følgende måte i før-undersøkelsen: "Vegprising fungerer slik at bilistene betaler ulik sum avhengig av kjørelengde etter HVOR og NÅR de kjører. Et eksempel på dette er høyere takster i tettbygde

strøk, i bysentrum og i typiske rush-tider for å redusere kø- og forurensingsproblemer." Spørsmålet utforsket brukernes umiddelbare holdning til vegprising som trafikkregulerende virkemiddel slik det var beskrevet før de hadde testet ut konseptet i piloten. Resultatene viser at et klart flertall av brukerne (63%) er positive til meget positive til vegprising, mens kun 16% var negative eller meget negative til det, se Figur 15.

Hva er din umiddelbare holdning til vegprising som trafikkregulerende virkemiddel?

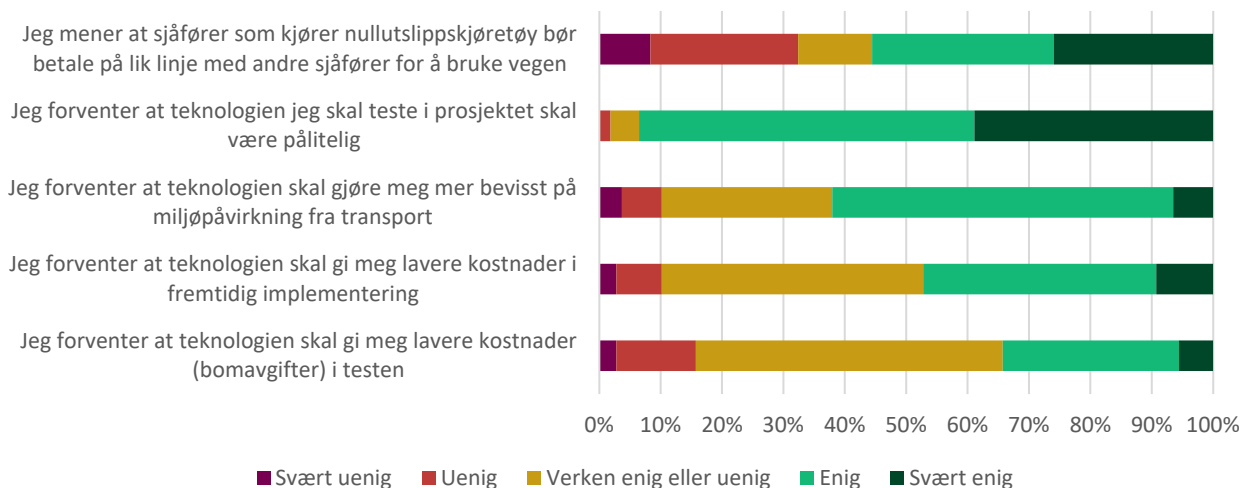


Figur 15: Brukernes umiddelbare holdning til vegprising systemet.

Disse resultatene er i tråd med resultatene fra en annen undersøkelse gjennomført av Teknologirådet (2022) blant folk i hele Norge som viser at 59% av respondentene var positive til vegprisingsteknologi, dette til tross for at nesten halvparten svarte at økt overvåking er den største bekymringen knyttet til vegprising.

Før-undersøkelsen presenterte også generelle spørsmål om brukernes forventninger til vegprising og til konseptet de skulle teste i piloten. Figur 16 viser at det er i varierende grad en forventning om at nullutslippsskjøretøy skal betale på lik linje som andre. Det er også en klar forventning om at teknologien som skal testes i prosjektet skal være nært et kommersielt produkt med tanke på pålitelighet, totalt 94% svarer at er enige eller svært enig i det.

Resultatene viser at en høy andel brukerne forventer at vegprising teknologien skal gjøre dem mer bevisst på miljøpåvirkning fra transport (62%). Det er større usikkerhet knyttet til deres forventninger til kostnader i piloten (35% er enig/svært enig) og i en fremtidig implementering (47% er enig/svært enig).

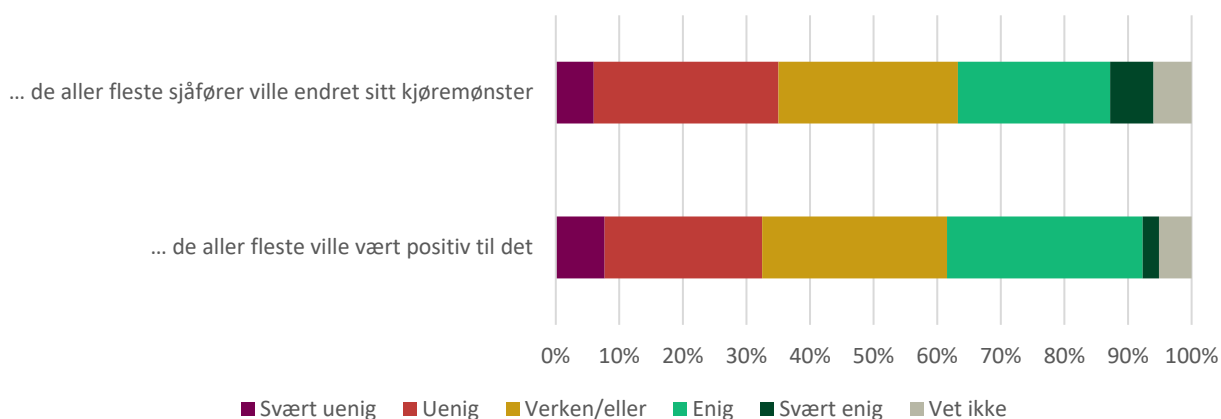


Figur 16: Forventninger blant brukerne ang. vegprising teknologi.

3.2.5 Erfaringsbasert holdninger til vegprising

I etterundersøkelsen undersøkte vi hvordan brukerne ville reagere dersom vegprising skulle bli innført og det kom et krav om at alle bilsjåførere skulle ta i bruk vegprisingssystemet. Meningene var delte blant brukerne: 34% mente at de aller fleste ville vært positiv til det (enig og svært enig), mens 33% var uenig i at de fleste ville vært positive (svært uenig og uenig), se Figur 17. Disse resultatene viser en reduksjon i antall personer med en positiv holdning til systemet mellom før- og etter-undersøkelser (rundt 29 prosentpoeng), se kapittel 3.2.4. Dette betyr at generelt er brukere mindre positive til vegprisingssystemet etter å ha testet systemet. Dette kan skyldes flere mulige forklaringer.

Dersom det kom et krav om at alle bilsjåførere skulle ta i bruk vegprising, tror jeg at...



Figur 17: Holdninger til vegprising dersom alle bilsjåførere måtte ta det i bruk.

På én side, når vi analyserer data nærmere, ser vi at en større andel av brukere (43%) betalte mer for vegprising enn det de gjorde i dagens bomsystem. Dette kunne ha påvirket deres holdning til vegprisingssystem generelt når man ser at det vil bli dyrere med det nye systemet. Brukerne har fått regelmessige tilbakemeldinger på hvordan vegprising slår ut opp mot bomsystemet og de aller fleste

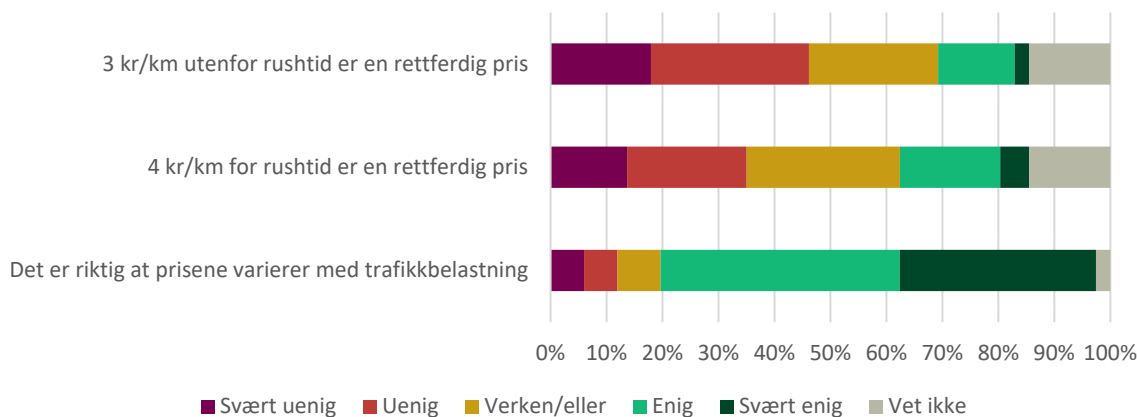
brukerne kan man derfor anta at er godt informert om hvordan det økonomiske slår ut for dem. Når vi sammenligner med brukernes forventninger i forkant ser vi kapittel 3.2.4 at ca. 50% oppgir at de var usikre på om teknologien ville gi dem lavere kostnader. Etter å ha testet konseptet og opplevd at det ble dyrere enn dagens system kan det være at flere fikk en negativ holdning.

På en annen side, kan resultatene ses som til dels motsigende funn fra Börjesson og Kristoffersson (2017) sin studie som indikerer at brukerstøtte har en tendens til å øke etter innføring av veibruksavgift (relatert til rushtidsavgifter), som påvist i ulike land (f.eks. England, Sverige, USA, Italia og Norge). Det er derimot viktig å påpeke at resultatene i Geoflow er basert på uttesting av teknologien i en pilottest og ikke etter en reell innførelse av teknologien med alle sjåførene. I tillegg så vi i delkapittel 3.2.4 at det var en sterk forventning hos brukerne om at teknologien de skulle teste skulle være nærmere kommersialisering, og det er mulig at brukerne ikke opplevde å få forventningene sine møtt med tanke på modenhet på teknologien. Börjesson og Kristoffersson (2017) indikerte at brukeraksept falt etter hvert som introduksjonen til rushtidsavgifter nærmet seg, og at den økte da endringene ble iverksatt. Reduksjonen i positive holdninger hos Geoflow-brukerne kan derfor muligens også være forårsaket av det som Börjesson og Kristoffersson (2017) omtaler som 'status quo bias' – der det er en viss motvilje mot å endre det som er kjente.

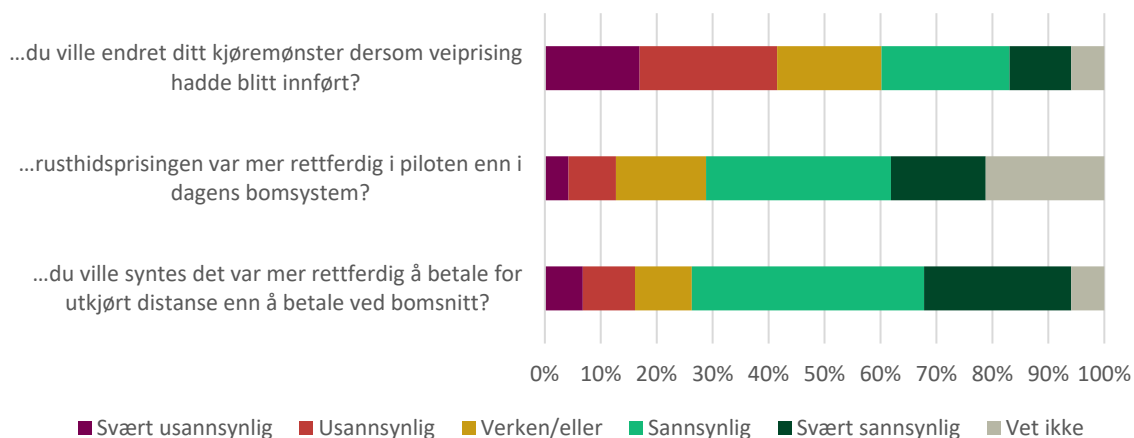
Etterundersøkelsen spurte også om brukernes holdning rundt pris, se Figur 18 [a]. Når det gjelder prisene per km som er testet i prosjektet viser resultatene stor spredning. Dette kan være et uttrykk for at det er krevende for brukerne å sette seg inn i hva eksakte timespriser egentlig betyr. Resultatene viser imidlertid at brukerne har høy aksept for at prisene varierer med trafikkbelastning (dvs. høyeste pris når trafikkbelastningen er svært høy, lavere pris eller ingen pris når belastninger er mindre). Dette viser at differensiering av pris etter trafikkbelastning oppleves som rettferdig av brukerne siden ca. 80% av brukerne er enig eller svært enig i at det er riktig at prisene varierer med trafikkbelastning. Dette kan da gi støtte til at de aller fleste brukerne opplever det som rettferdig at pris varierer både på tvers av ulike veilenker og på tvers av ulike tid på døgnet.

I tillegg, og basert på brukernes erfaringer fra testperioden, ble tre påfølgende spørsmål stilt til brukerne i etterundersøkelsen, Figur 18 [b]. Over halvparten av brukerne (68%) svarte at de sannsynligvis ville syntes at det er mer rettferdig å betale for utkjørt distanse (som i piloten) enn å betale ved bomsnitt (som i dag). Dette er spesielt interessant siden disse resultatene samsvarer med tidligere funn om at over halvparten av brukerne synes at dagens bomssystem er urettferdig (se Figur 12), og at vegprising vil være et mer rettferdig system enn dagens avgiftssystem (se Figur 18). Halvparten av brukere (50%) ser det som sannsynlig at rushtidsprising var mer rettferdig i piloten enn i dagens bomssystem, og 34% av brukere ser som sannsynlig at de ville endre sitt kjøremønster dersom vegprising hadde blitt innført.

[a] Hvis veipricing skulle innføres permanent, og med et prissystem som det vi har i GeoFlow, synes du at...



[b] Med bakgrunn i dine erfaringer fra testperioden, i hvilken grad vurderer du det som sannsynlig at...



Figur 18: Brukernes holdninger til prissystem for vegprising etter å ha prøvd teknologien i testperioden.

Med bakgrunn i et scenario hvor vegprising skulle vise seg å bli dyrere enn dagens løsning for brukere, ville prosjektet undersøke hvilke faktorer som er viktige for brukere for å fortsette å bruke deres privatbil. Resultatene viser at 'fleksibilitet og tilgjengelighet' og 'reisetid' var de to viktigste faktorene for brukere, se Figur 19. Nittien prosent (91%) av brukere oppga at fleksibilitet og tilgjengelighet er den viktigste faktoren for at de skal fortsette å bruke deres privatbil, mens 89% rapporterte også at reisetid er en viktig eller veldig viktig faktor for dem. Disse resultatene er i tråd med funnene fra Skatteetaten (2022), som indikerer at brukere prioriterer praktiske løsninger knyttet til f.eks. lettvinthet eller tidsbruk til deres reisebehov over andre aspekter.

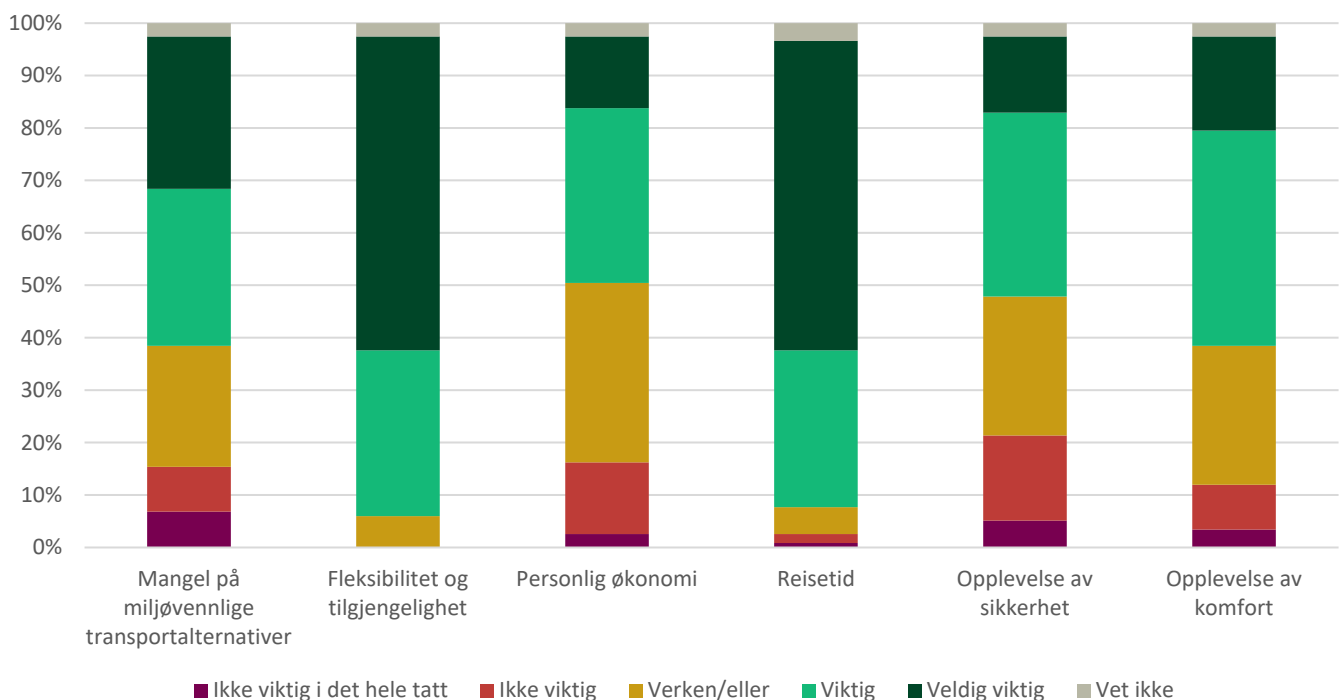
Et annet interessant funn fra etterundersøkelsen er at en litt høyere andel av brukerne ikke er spesielt opptatte av personlig økonomien om vegprising skulle bli dyrere (51% som er nøytrale eller synes at personlig økonomi ikke er viktig, mot 47% som synes det er viktig eller veldig viktig). Når dataene analyseres nærmere, ser man at disse prosentandelene samsvarer prosentandeler av personer som betalte mer med vegpris, omtrent det samme som bompris, eller mindre med vegpris, se Tabell 5.

| Tabell 5: Sammenligning av brukeres svar om personlig økonomi ift. deres endelig betalt vegpris. | | | |
|--|-----|---|-----|
| Endelig vegpris | | Holdning til vegpris ift. personlig økonomi | |
| Betalte mye vegpris | 43% | Viktig - Veldig viktig | 47% |
| Betalte omtrent det samme | 36% | Verken/eller | 34% |
| Betalte lite vegpris | 21% | Ikke viktig – Ikke viktig i det hele tatt | 17% |

Disse resultatene kan tyde på at holdningen til vegprising ble påvirket av hvor mye brukere betalte i vegprising i piloten. Dette ble bekreftet ved å sammenligne data om endelig betalt bomblant brukerne som svarte at personlig økonomi er viktig eller veldig viktig: 42 brukere (76%) av de som svarte at personlig økonomi er en viktig faktor betalte mer eller omtrent det samme som i dagens bomsystem.

Selv om over halvparten av brukere (51%) syntes at personlig økonomi ikke er viktig eller var nøytrale, er det fortsatt en betydelig andel brukere som synes at det er viktig eller veldig viktig. Disse resultatene tilsvarer også funnene fra Skatteetaten (2022), som indikerer at få brukere virker til å være spesielt opptatt av hva bompenger koster med mindre fakturaene blir høyere enn vanlig.

Hvis veipricing skulle vise seg å bli dyrere enn dagens løsning for deg, i hvilken grad er disse faktorene viktige for at du fortsetter å bruke din privatbil?



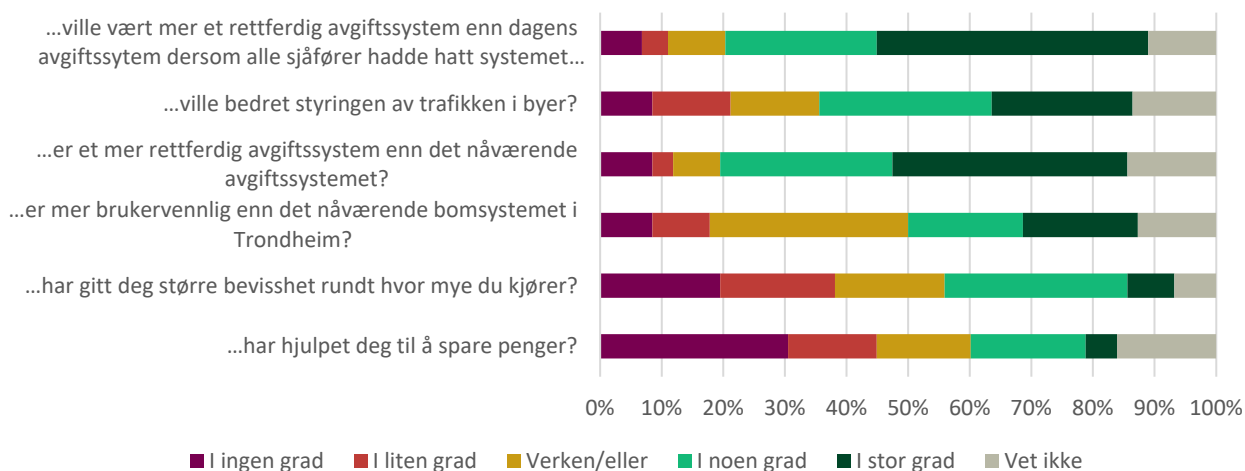
Figur 19: Faktorer for at brukere fortsetter å bruke deres privatbil om vegprising skulle bli dyrere enn dagens løsning.

Figur 19 viser også at en betydelig andel av brukerne sier at mangel på miljøvennlige transportalternativer er en viktig eller veldig viktig årsak til at de kommer til å fortsette å bruke privatbilen dersom vegprising skulle bli dyrere. Når man ser at det er fleksibilitet og tilgjengelighet og reisetid som er de to faktorene som brukerne vurderer som viktigst, så er dette argumenter som typisk taler for biltransport, ikke kollektivtransport. Disse faktorene vil da være viktige å ta hensyn til dersom man ønsker å få ned bilbruken.

I tillegg, ble 6 spørsmål stilt til brukere for å undersøke deres holdninger rundt nytte av vegprising etter å ha testet teknologien. Resultatene viser at økonomiske besparelser og bevissthet rundt hvor mye man kjører er to scenarier hvor en høy andel brukere (45% og 38%, henholdsvis) mener vegprising er nyttig i liten grad eller i ingen grad, se Figur 19.

På den andre siden, resultatene viser tre klare scenarier hvor brukerne mener vegprising skulle være nyttig fra noen grad til stor grad: vegprising ville bedre styringen av trafikker i byer (51%), vegprising er et mer rettferdig avgiftssystem enn det nåværende avgiftssystemet (66%), og at vegprising ville vært et mer rettferdig avgiftssystem enn dagens avgiftssystem dersom alle sjåførere hadde hatt systemet installert i sitt kjøretøy (69%). Resultatene knyttet til at vegprising ville bedre styringen av trafikker i byer er i tråd med funnene fra Skatteetaten (2022) som peker på at brukerne har et ønske om å begrense trafikken, og er dermed være mer åpne til veibruksavgift. Dessuten, resultatene om at vegprising ville vært et mer rettferdig avgiftssystem dersom alle sjåførere hadde hatt systemet installert er også i tråd med resultatene fra Skatteetaten (2022), hvor mange brukere peker på at eiere til el-biler burde også "være med på spleiselaget".

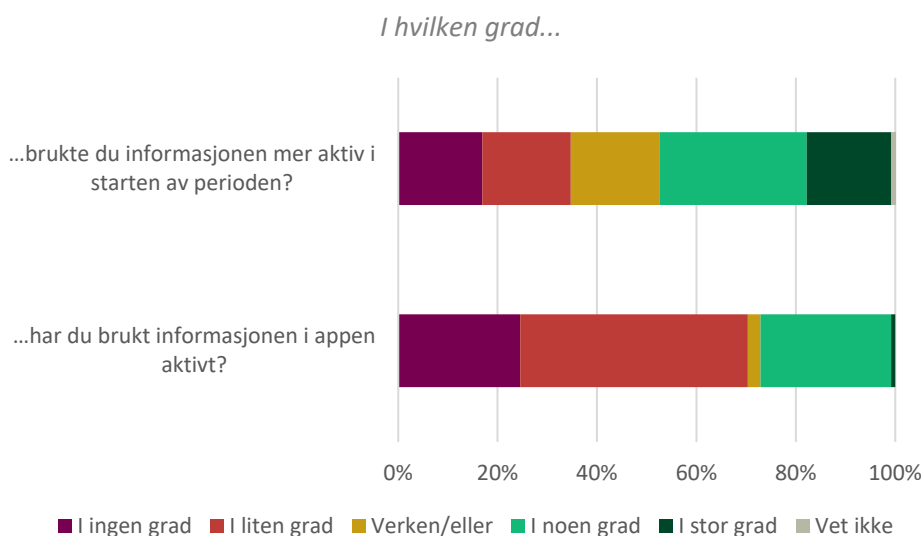
I hvilken grad vil du si at veiprising...



Figur 20: Brukernes holdninger til nytte av vegprising.

3.2.6 Erfaringer under uttestingen

De første spørsmålene i etterundersøkelsen spurte om hvor mye informasjonen i appen ble brukt, og om eventuelle tekniske problemer som kunne ha oppstått med utstyret i bilen og med selve appen. Resultatene viser at informasjonen i appen ble brukt mer aktivt i starten av testperioden av nesten halvparten av brukerne (47%). Den aktive bruken av informasjonen i appen gikk ned, da kun 27% av brukerne svarte at de brukte informasjon aktivt. En stor andel brukerne (71%) rapporterte at de brukte informasjonen i appen fra liten grad til ingen grad, se Figur 21.



Figur 21: Andel brukerne som brukte informasjonen i appen.

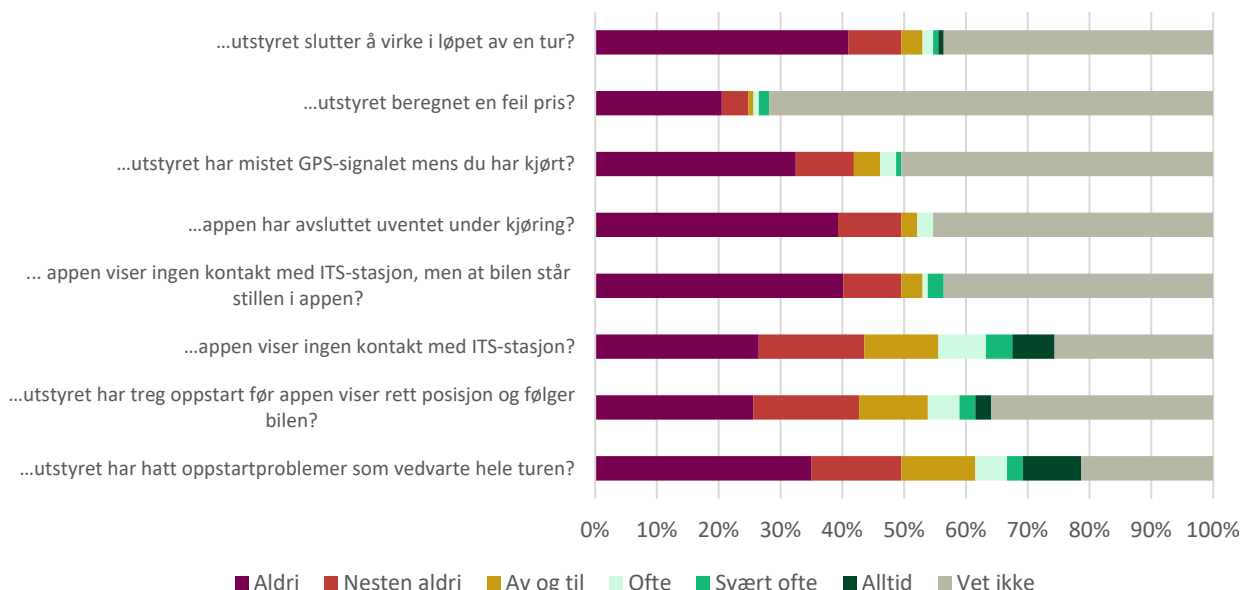
Som nevnt tidligere, ble de tekniske problemer som kunne ha oppstått i løpet av testperioden også undersøkt. Dette inkluderte en 6-punkt skala spørsmål samt et 'Vet ikke' alternativ for å avdekke hyppigheten av de evt. tekniske problemene. Åtte mulige tekniske problemer ble presentert. Disse var:

1. Utstyret har oppstartsproblemer som vedvarer hele turen (f.eks. appen på telefon starter ikke, ingen kontakt med ITS-stasjon – det vil si rød prikk i appen - og lignende).
2. Utstyret har treg oppstart før appen viser rett posisjon og følger bilen.
3. Appen viser ingen kontakt med ITS-stasjon (rød prikk i appen).
4. Appen har kontakt med ITS-stasjon (rød prikk i appen), men at bilen står stille i appen.
5. Appen avslutter uventet under kjøring.
6. Utstyret mister GNSS-signalet mens man kjører.
7. Utstyret beregner en feil pris.
8. Utstyret slutter å virke i løpet av en tur (dvs. utstyret fungerte ved oppstart).

Resultatene viser at nesten halvparten av brukerne rapporterte at de tekniske problemene skjedde aldri eller nesten aldri, se Figur 22. En annen høy andel av brukerne svarer "vet ikke" på spørsmål om tekniske problemer hadde oppstått eller ikke.

Blant de 8 presenterte scenariene, var 3 problemer som hadde en høyere andel av brukerne som svarte at de hadde opplevd dem. Disse var: 'utstyret har hatt oppstartsproblemer som vedvarte hele turen' (problem 1), og 'appen viser ingen kontakt med ITS-stasjon' (problem 4) hvor 12% av brukerne svarte at de hadde opplevd dem fra svært ofte til alltid. De to problemer samt 'utstyret har treg oppstart før appen viser rett posisjon og følger bilen' (problem 2) ble rapportert av 16 til 20% av brukerne som problemer som oppstå fra 'av og til' til 'ofte', se Figur 22. Det er også viktig å påpeke at det var svært mange brukere som svarte 'Vet ikke', dette tyder på at brukerne ikke var spesielle opptatte av utstyret i bilen i løpet av testperioden.

Hvor ofte vil du si at du har opplevd at...

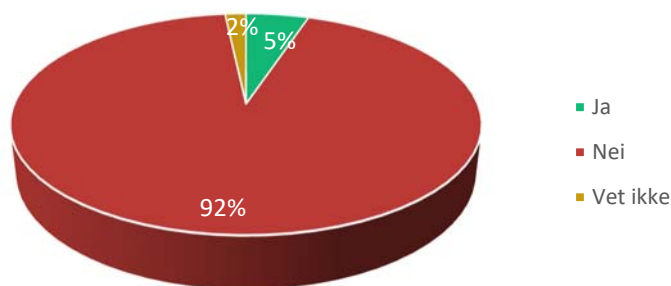


Figur 22: Fordeling av svar blant brukerne som opplevde tekniske problemer i testperioden.

3.2.7 Endring av reisevaner i piloten

Brukerne ble spurt om de hadde endret noe på reisevanene sine som følge av deltakelsen i pilotprosjektet. Totalt svarte 92% av brukerne at de ikke har endret noe på reisevanene sine, mens kun 6 brukere (5%) svarte at de hadde endret reisevanene, se Figur 23.

Har du/dere endret noe på reisevanene som følge av deltakelsen i GeoFlow?



Figur 23: Andel av brukere som rapporterte å ha endret sine reisevaner.

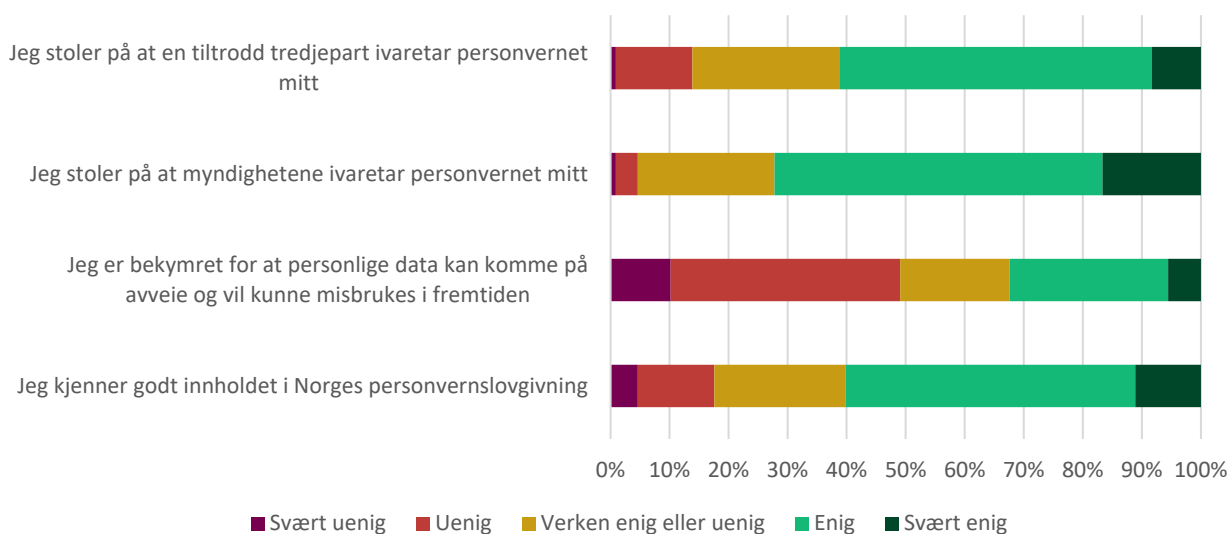
Av de 6 brukere som rapporterte å ha endret reisevanene, svarte tre at de hadde endret kjørerute, og tre svarte at de kjørte mindre enn før. Ingen felles trekk i forhold til demografisk data ble funnet blant brukerne som endret reisevanene sine. Disse brukerne var av ulike kjønn, aldersgrupper, og med ulikt utdanningsnivå. De rapporterte ulike svar med dere bruk av bil etter pandemien, og ulike svar til spørsmål knyttet til deres interesse i teknologi. Det var derimot ett fellestrekk blant disse brukerne: alle hadde en høyere økonomisk belastning med vegprising sammenlignet med belastning fra bomringen.

Dette funnet kan tyde på at disse fem prosentene er den andelen av brukerne som kunne ha endret reisevanene sine som en effekt av å måtte 'betale' mer. Endring av reisevane vil da inkludere at de enten endret kjørerute eller kjøre mindre enn før. Disse resultatene gir en indikasjon, men et utvalg på 6 personer er lite for å kunne trekke sterke konklusjoner.

3.2.8 Holdning til behandling av persondata

En del av prosjektet undersøke brukernes holdninger til ulike metoder for behandling av persondata, for eksempel lokasjonsdata (GNSS-spor). Først ble 6 ulike spørsmål stilt til brukerne for å avdekke i hvor stor grad de kjenner til innholdet i Norges personvernlovgivning (inkludert GDPR, *General Data Protection Regulation*), tillit til at personvernet deres blir ivaretatt, og om de er positive til registrering av persondata.

Resultatene viser i generelle trekk at de fleste av brukerne stoler på at personvernet blir ivaretatt, og at brukerne er mindre bekymret for at personlige data kan misbrukes i fremtiden. Interessant nok viser resultatene at når det gjelder ivaretagelse av personvern, stoler brukerne litt mer på myndighetene (73%), sammenlignet med at en tredjepart oppfyller den rollen (61%), se Figur 24. Seksti prosent av brukerne rapporterte til å kjenne godt innholdet i Norges personvernlovgivning. Disse resultatene tyder på at fordi brukere er klar over personvernlovgivning, og har tillit til beskyttelsen av sine personopplysninger (enten via myndighetene eller en tredjepart), er de positive til at en ny vegprising teknologi kan registrere personlige data om dette bidrar til bedre transporttjenester.



Figur 24: Fordeling av svarene ang. brukernes tillit for ivaretagelse av persondata, samt holdninger til registrering av personlige reisedata.

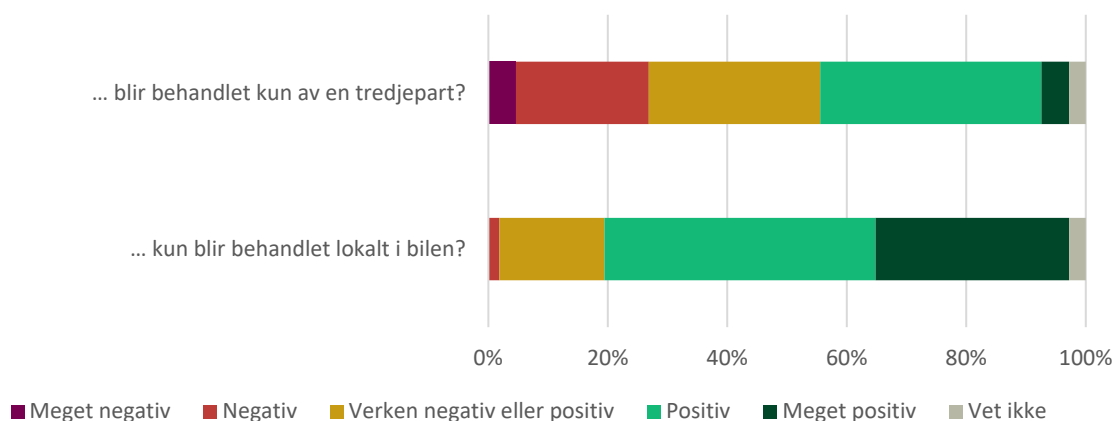
Som nevnt tidligere, et eksempel på personlige reisedata er lokasjonsdata (GNSS-spor). For vegprising finnes i hovedsak to alternativer for behandling av informasjonen knyttet til GNSS-posisjon. Ett alternativ er hvor alle persondata behandles i bilen, dvs. beregninger basert på GNSS-posisjon (som utkjørt distanse i soner) blir gjennomført i bilen, og at kun en oppsummering av turen blir sendt videre til fakturering. I det andre alternativet sendes persondata til en tiltrodd tredjepart for behandling, dvs. at selve GNSS-posisjonene registrert i bilen blir sendt fra bilen til en nøytral tredjepart for behandling og fakturering.

I førundersøkelsen ble brukerne presentert begge scenarier for å finne ut deres holdninger til disse. Resultatene viste en klar preferanse blant brukerne for at de personlige reisedata behandles lokalt i bilen

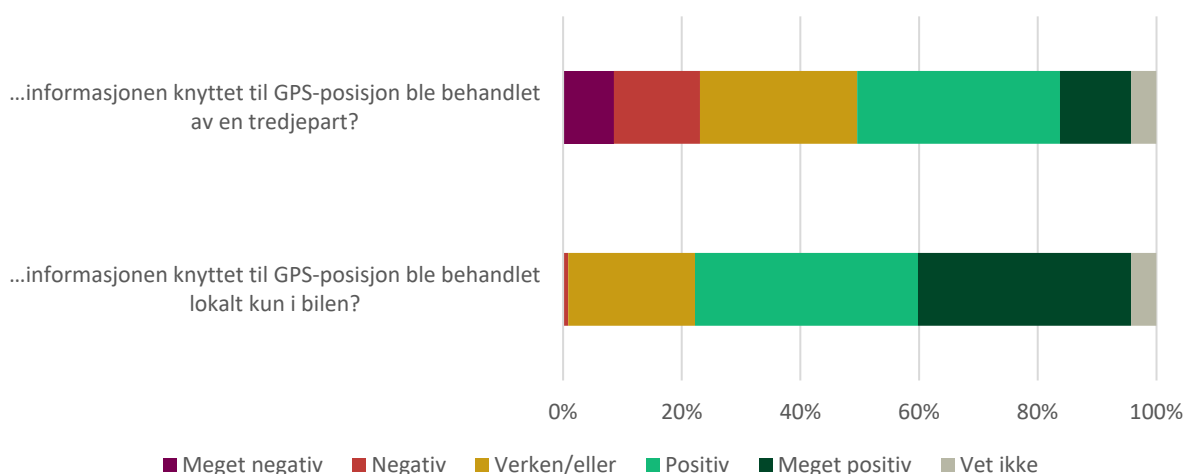
(77%) fremfor av en tredjepart behandler data (42%), se Figur 25. For å kunne avdekke eventuelle endringer i deres mening om behandling av persondata etter å ha testet ut teknologien, ble spørsmålene om disse stilt igjen i etter-undersøkelsen. Resultatene viser at i generelle trekk er brukerne fortsatt positive til registrering av persondata, både når det gjelder behandling gjennomført av tredjepart og i bilen. Resultatene viser også at det er en høyere andel av brukere som foretrekker å ha GNSS-posisjon behandlet lokalt kun i bilen (73% som var positive eller meget positive), framfor å ha det behandlet av en tredjepart (46% som var positive til meget positive).

Resultatene fra etterundersøkelsen viser ikke en stor variasjon sammenlignet med resultatene fra førundersøkelsen, da brukerne svarte før testperioden startet at 77% foretrakk å ha GNSS-posisjon behandlet kun i bilen, og 42% svarte i før-undersøkelsen av de foretrakk at GNSS-posisjon blir behandlet av en tredjepart (Figur 25). Resultatene er også i lik linje med funnene fra GeoSum prosjektet, hvor 76% av brukere foretrakk å behandle data kun i bilen enn å behandle data hos en tredjepart (36% av brukere).

[a] Hvordan stiller du deg til at informasjon knyttet til GPS-posisjon...



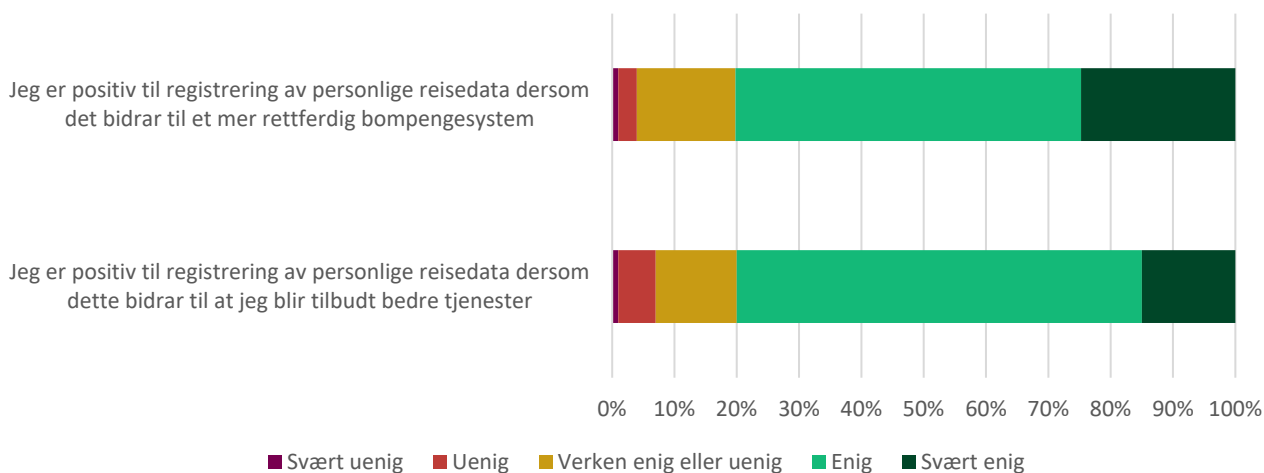
[b] Hvordan ville du stilt deg til at...



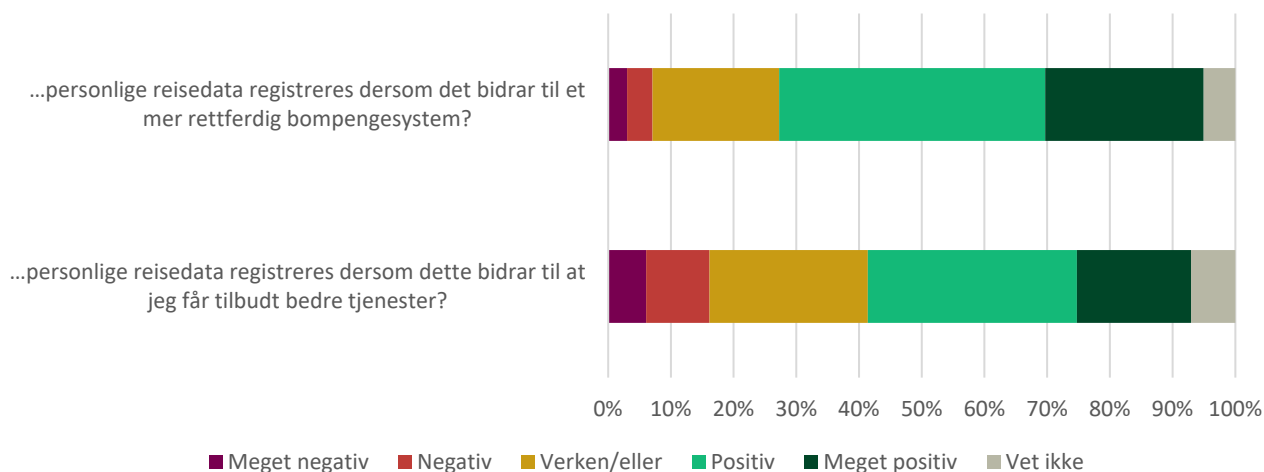
Figur 25: Brukernes holdninger til persondatabehandling før [a] og etter [b] testperioden.

Når det gjelder om brukere er positive til å registrere persondata for å få bedre tjenester innen transportsektoren, ble to spørsmål stilt i både før- og etterundersøkelsen. Disse spørsmålene handlet om brukere er positive til registrering av persondata dersom *i)* det bidrar til en mer rettferdig bompengesystem, og *ii)* dersom det bidrar til bedre tjenester. Svarene fra førundersøkelsen viser at et klart flertall av brukerne svarte at de var positive til registrering av personlige reisedata dersom det bidrar til en mer rettferdig bompengesystem (81%), eller om det bidrar til bedre tjenester (80%). Selv om spørsmålene ble stilt litt forskjellig i begge undersøkelser, var tendensen den samme i etterundersøkelsen: over halvparten av brukere rapporterte også å være positive til registrering av reisedata dersom det bidrar til bedre tjenester (52% av brukerne), eller om det bidrar til et mer rettferdig bompengesystem (67%). Derimot, er disse resultatene interessante når de sammenlignes. For begge spørsmålene, har det vært en nedgang i andel brukere som er positive til registrering av reisedata. For registrering av reisedata dersom det bidrar til bedre tjenester er det 28% mindre brukere som er positive, mens for registrering av reisedata dersom det bidrar til et mer rettferdig bompengesystem, er det 14% brukere som er positive til det, se Figur 26. Resultatene tyder på at selv om brukerne er generelt positive til registrering av persondata, har de blitt mer negative til det etter testperioden.

[a] Hvor enig eller uenig er du?



[b] Hvordan ville du stilt deg til at...

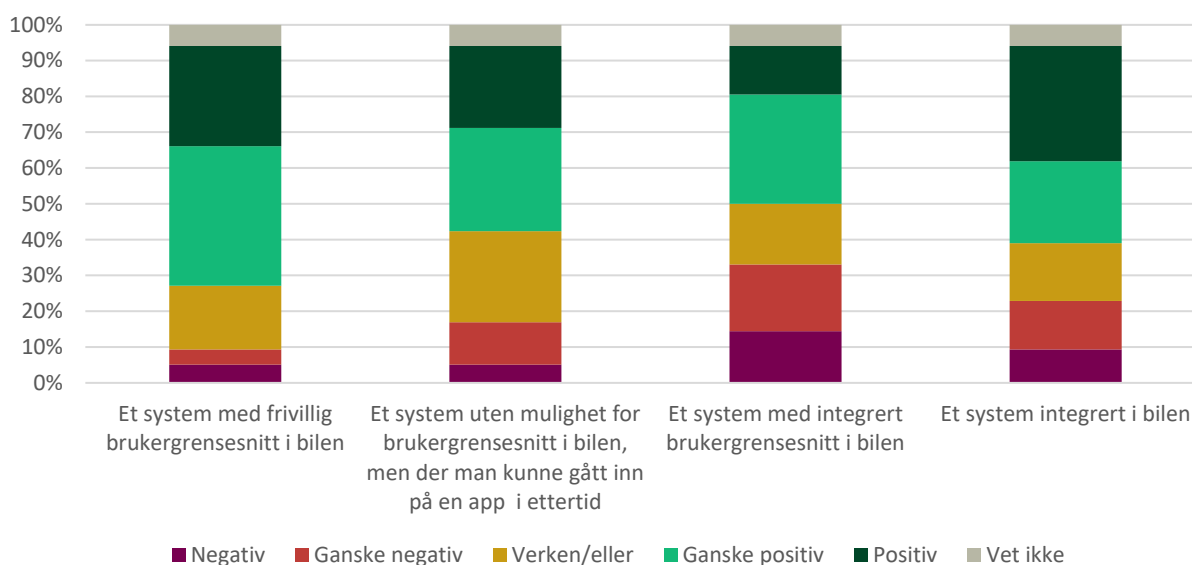


Figur 26: Brukernes holdninger til registrering av persondata før [a] og etter [b] testperioden.

3.2.9 Løsninger og andre bruksområder for vegprisingssystem

Som siste tema, ble brukerne spurt om hvor positive de er til ulike tekniske løsninger som permanent løsning i deres bil dersom vegprising skulle bli innført. Resultatene viser at det er en større andel av brukere (67%) som er mer positive til å ha et system med frivillig brukergrensesnitt i bilen (som i testen). Det er viktig å påpeke at selv om et frivillig brukergrensesnitt fikk høyere score gir de andre alternativene nesten tilsvarende resultat. Totalt var 55% av brukerne positive eller ganske positive til å ha et system integrert i bilen (f.eks. gjennom app i midtkonsol), mens 52% var positive til å ha et system uten mulighet for brukergrensesnitt i bilen, men der man kunne gått inn på en app i ettertid. Til slutt, var 45% av brukerne enten positive eller ganske positive til å ha et system med integrert brukergrensesnitt i bilen (som f.eks. i testen, med inkludert fast skjerm i tilknytning utstyret).

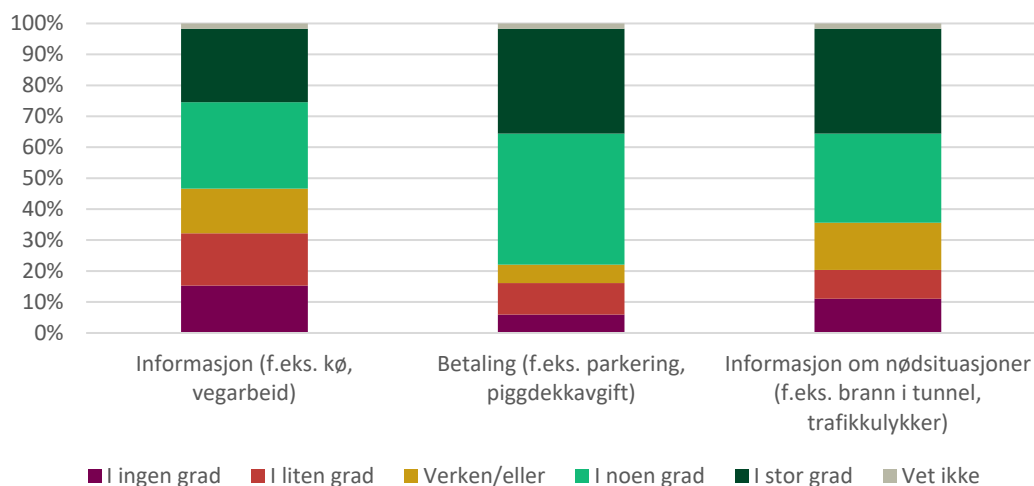
Hvordan ville du vurdert de ulike tekniske løsningene for en permanent løsning i bilen din dersom vegprising skulle bli innført?



Figur 27: Fordeling av svar blant brukerne for ulike tekniske løsninger i bilen.

I tillegg ble et spørsmål inkludert for å utforske om det samme konseptet testet i piloten skulle være nyttige for andre bruksområder, og om brukere ville vurdere det som nyttig å betale for andre tjenester i samme konsept. Tre tjenester ble presentert: informasjon (f.eks. om kø, vegarbeid), betaling (f.eks. parkering, piggdekkavgift), og informasjon om nødsituasjoner (f.eks. brann i tunnel, trafikkulykker). Over halvparten av brukerne svarte at enten i noen grad eller i stor grad skulle det være nyttig å betale for de tre tjenestene. Ut av de tre tjenestene, var 76% av brukere enige i at det skulle være nyttig å betale for betalingstjenester i samme konseptet som vegprising. Dette samsvarer funnene om brukerbehov fra Skatteetaten (2022), som indikerer at brukere har behov for en enkel ordning for veibruksavgift og bompenger.

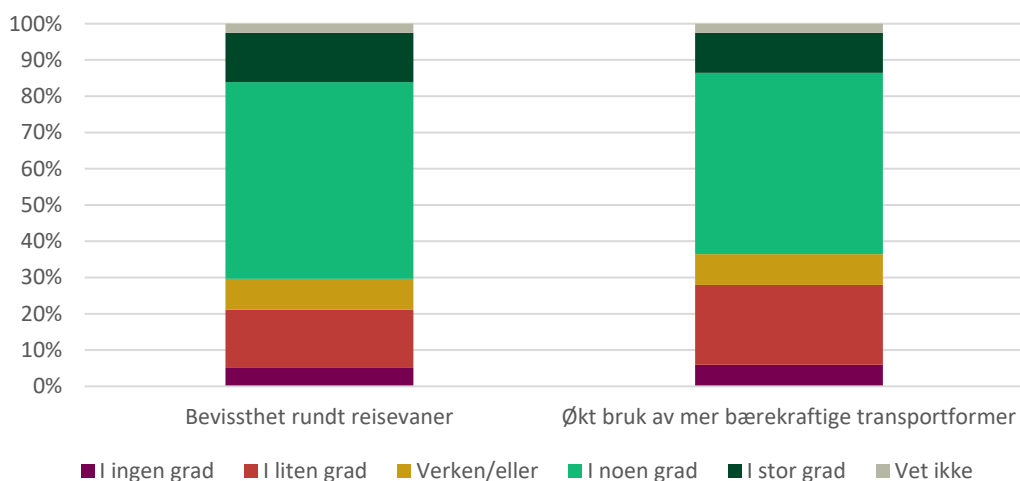
I hvilken grad hadde det vært nyttig å betale for andre tjenester i samme konseptet?



Figur 28: Brukernes holdninger til betaling av andre tjenester i samme konsept som vegprising.

Til slutt ble brukerne spurt om i hvilken grad de trodde at bevissthet rundt reisevaner eller mer bruk av bærekraftige transportformer kunne være aspekter ved bærekraft som vegprising ville bidra til. Over halvparten av brukere (61%) svarte at bruk av mer bærekraftige transportformer skulle øke dersom vegprising skulle tas i bruk. Enda en høyere andel av brukerne (68%) svarte at det skulle være bevissthet rundt reisevaner for å støtte bærekraftighet under et vegprisingssystem. Disse resultatene er også i tråd med funnene fra Skatteetaten (2022), som påpeker at brukerne synes at 'det lønner seg å velge grønt', og at bevisstheten over miljø er et bruker behov. Videre indikerer Skatteetaten sin studie at miljøet er viktig for de private brukerne, og samtidig er de åpne på at det er både kostnads- og praktiske spørsmål rundt bruk av vegprising med tanke på bærekraftighet (f.eks. pris og lademuligheter for el-biler).

For å støtte bærekraftighet, i hvilken grad tror du at de følgende forholdene blir mer påvirket av å bruke et veipricing system?



Figur 29: Brukernes mening om påvirkning av vegprising for å støtte bærekraftighet.

4 Loggedata

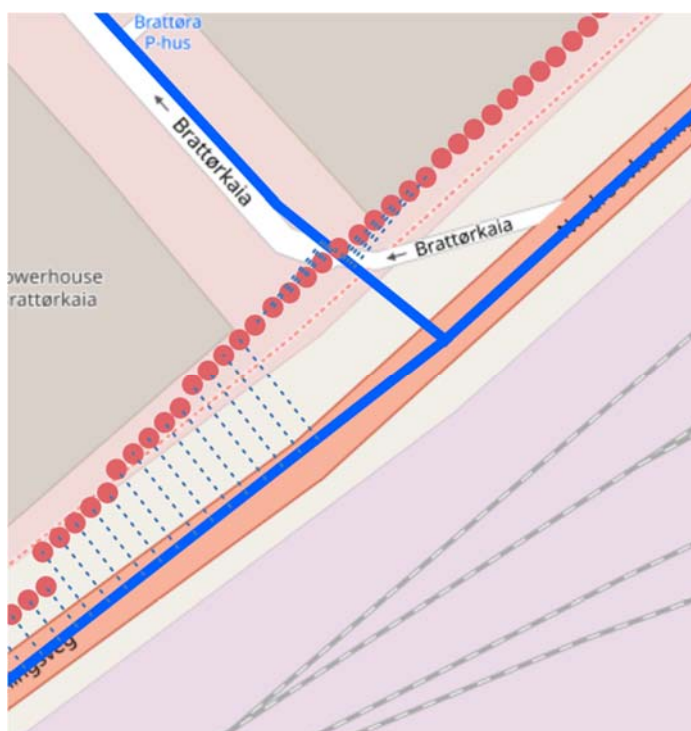
4.1 Algoritme for map-matching

Algoritmen for map-matching utviklet i GeoFlow består av tre hovedsteg. Først kobles hvert GNSS-punkt i kjøreturen mot den nærmeste veglenke (i luftlinje) i NVDB (Nasjonal vegdatabank). Deretter brukes disse koblingene til å gi hver involverte veglenke en poengsum. Denne poengsummen brukes til å velge ut lenker som sannsynligvis var en del av ruten (ankerlenker). Til slutt brukes en rutingsalgoritme til å fylle eventuelle hull mellom ankerlenkene med lenker som logisk passer inn (og som så langt som mulig følger GNSS-sporet). En mer detaljert forklaring av hvert steg følger under.

4.1.1 Koble GNSS-punkter mot vegnett

For hvert GNSS-punkt blir det slått opp i listen over relevant lenker, og den nærmeste lenken blir plukket ut. Hver lenke har en teller som teller opp hvor mange punkt som har den som nærmeste lenke med maksimal avstand mellom punkt og lenke på 10 meter.

På Figur 30 vises det hvordan punktene nede til venstre har blitt korrekt koblet mot lenken som går diagonalt oppover mot høyre, punktene på midten har blitt feilaktig koblet mot lenken som går oppover mot venstre, og punktene oppe til høyre har ikke blitt koblet til noen lenker, fordi de er mer enn 10 meter unna den nærmeste lenken.



Figur 30: GNSS-punktene (rosa) er koblet (stiplet blå) mot nærmeste veglenke (tykk blå).

4.1.2 Identifiser ankerlenker

Så beregnes det en poengsum på hver lenke basert på punktene som har den som nærmeste lenke. Poengsummen er basert på hvor godt geometrien til lenken stemmer med geometrien til de datapunktene som er koblet til denne lenken, ved å vurdere:

- Kjøreretning (for envegskjorte lenker)
- Forskjellen mellom luftlinjedistanse og distansen mellom nærmeste punkt på veglenken for hvert etterfølgende datapunkt-par
- Avstanden mellom punktene og lenken
- Kompleksiteten på lenken (en rett lenke kan lettere "tilfeldig" treffes enn en buet, mer kompleks lenke).

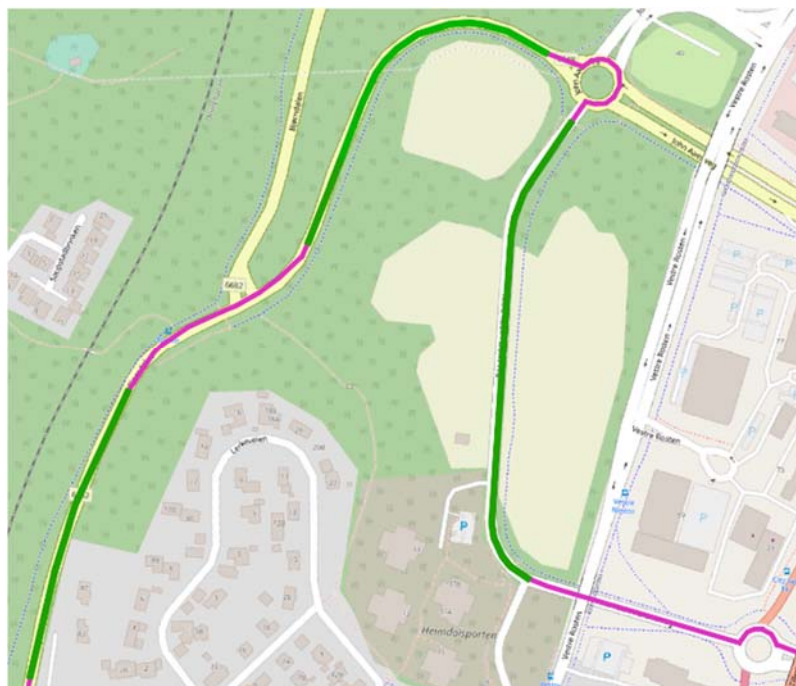
Disse vurderingene brukes til å velge ut lenker det mest sannsynlig ble kjørt på, såkalte ankerlenker. Figur 31 viser et eksempel på hvordan denne poengsummen luker ut lenker som har blitt inkludert uten å være en sannsynlig del av kjøreruten.



Figur 31: Lenker har fått poengsum og farge basert på punktene som har blitt koblet til dem. Fargekodingen går fra rød (dårlig poengsum) til grønn (god poengsum). De grønne lenkene kan brukes som ankerlenker.

4.1.3 Bygg opp kjørerute fra start til slutt

Deretter bygges kjøreruten opp ved å sette sammen ankerlenkene i riktig rekkefølge. Dersom det er hull mellom ankerlenkene benyttes en korteste veg-algoritme (Dijkstras algoritme) der lenkene i vegnettverket er vektet basert på poengsummen beskrevet over til å finne den mest sannsynlige kjøreruten mellom ankerlenkene. Figur 32 viser noen eksempler på hvordan hullene mellom de grønne ankerlenkene har blitt fylt med veglenker valgt ut basert på korteste veg-algoritmen (lilla).



Figur 32: Dijkstras algoritme har blitt brukt til å finne mest sannsynlige kjørerute (lilla) mellom ankerlenkene (ulike nyanser av grønnfarge).

4.1.4 Tilpass første og siste lenke

I tilfeller hvor kjøreturen starter og/eller slutter utenfor vegnettet (for eksempel inne på privat eiendom, parkeringsplass, eller lignende) vil map-matchingen starte der turen kommer nærmere en veglenke enn 5 meter. Første og siste veglenke blir kuttet ved på-/avkjøringspunktene slik at det ikke blir dobbelttelling. Dette er illustrert i Figur 33, hvor bilen forlot vegnettet og kjørte inn på en parkeringsplass. Den tykke røde linjen i figuren er de innsamlede GNSS-punktene, den grønne linjen er ruten kjørt langs vegnettet, og den blå linjen representerer datapunkter etter at turen forlot vegnettet, som ikke har blitt map-matchet.

Kjøring utenfor veg utgjør en prinsipiell forskjell mellom å beregne vegpris utifra rent GNSS-spor eller å beregne ut fra utkjørt distanse på vegnettet. Vegpris fra et rent GNSS-spor, som for den tykke klienten brukt i prosjektet, vil beregne vegpris uansett hvor man kjører, mens man ved en vegnettbasert strategi kan velge om distanse kjørt utenfor vegnettet skal inkluderes eller ikke.

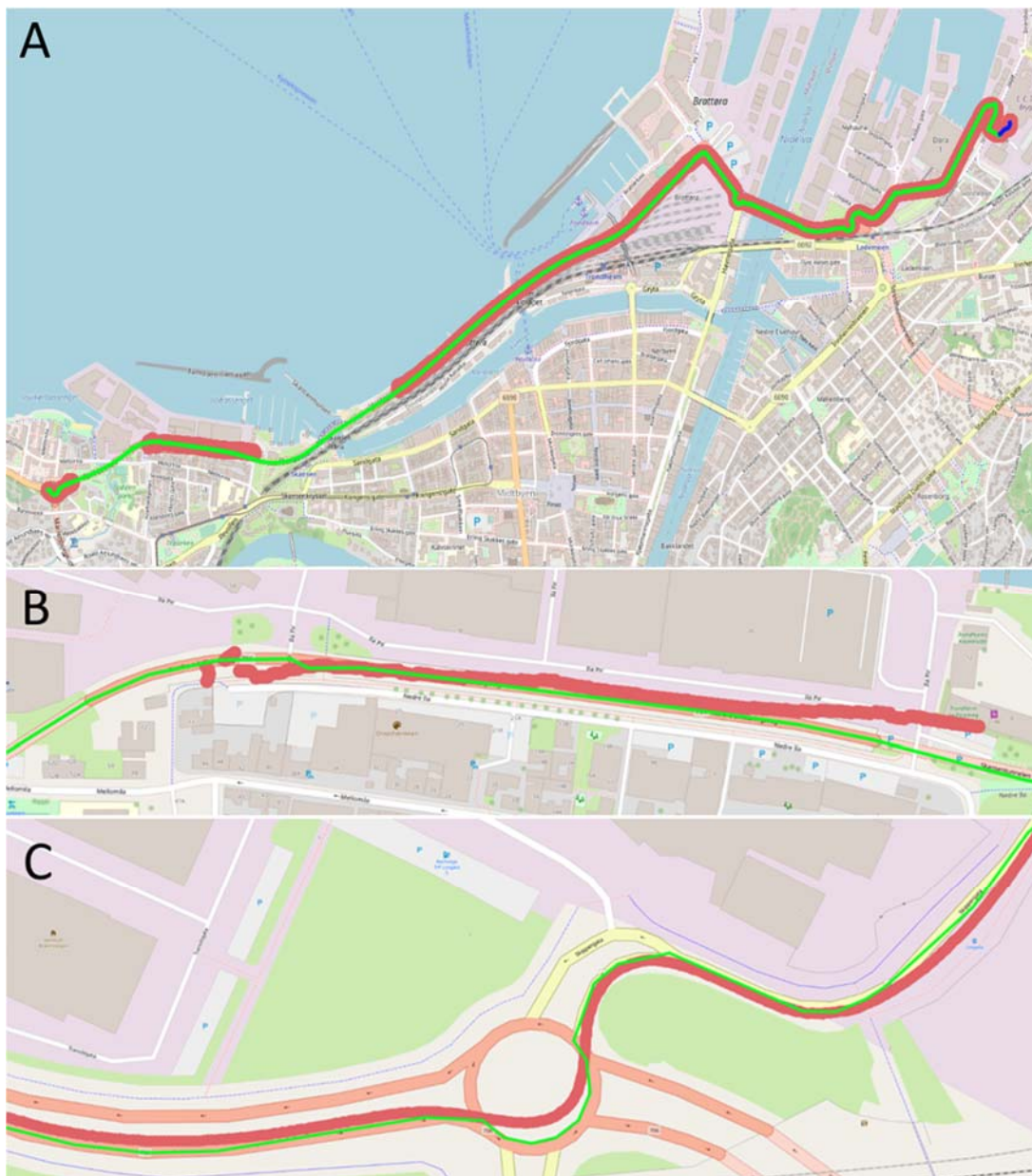


Figur 33: På slutten av kjøreturen forlater bilen vegnettet, og kjører inn på en parkeringsplass. Den siste veglenken (grønn som peker nedover mot høyre) kuttes ved avkjøringspunktet, og resten av kjøreturen lagres som en "falsk lenke" (blå).

4.1.5 Resultat av map-matching

Resultatet av rutesøket blir en rute som vil prioritere de lenkene som mest sannsynligvis var en del av ruten, men også vil kunne velge mindre sannsynlige lenker der det er store GNSS-avvik, eller der det er hull (for eksempel ved kjøring i tunneler eller ved GNSS-utfall).

Figur 34 viser resulterende rute (grønn og blå) for et GNSS-spor (rød), og hvordan kombinasjonen av enkel matching, ankerlenker og en rutingalgoritme kan håndtere både GNSS-avvik og manglende data. Disse avvikene vil føre til forskjeller i beregnet utkjørt distanse mellom beregninger på rene GNSS spor, eller ved bruk av oppgitte lengder på veglenker. Dette skal vi nå se nærmere på.



Figur 34: Opprinnelig GNSS-spor (rosa) og resulterende rute (grønn og blå). A: Hele ruten. B og C: utsnitt som viser oppførsel ved GNSS-avvik og -utfall.

4.2 Sammenligning av lengder med og uten map-matching

Det er viktig å understreke at vi ikke anser map-matchingen som fasit, men som en alternativ måte å beregne distanser på i et vegprisingssystem til å bruke rene distanser beregnet fra GNSS (som i prosjektets tykklientløsning). Vi har allikevel lagt map-matchingen, og i spesielt i de tilfellene der vi har manuelt kontrollert resultat fra map-matchingen som grunnlag, benyttet dette som en baseline mot resultatene fra tykklienten. I det kommende ønsker vi å belyse forskjellene mellom de to tankesettene og peke på noen fordeler og ulemper ved begge.

Totalt ble det i løpet av vegprisingspiloten samlet inn 88 175 filer med kjøreturer. På grunn av hvordan loggeutstyret fungerer er enkelte turer delt opp i flere filer, og en del filer er svært korte tursegmenter som

ser ut til å oppstå på slutten av en normal kjøretur. Av disse filene ble 14 600 filtrert bort fordi de ikke tilhørte reelle deltagere i piloten (testbrukere og simuleringer), og ytterligere 6 125 turer ble filtrert bort fordi de inneholdt færre enn 30 GNSS-koordinater. Deretter ble de resterende turene kjørt gjennom map-matching, hvor totalt 33 447 ble filtrert bort fordi GNSS-koordinatene dannet en linje kortere enn 50 meter (stort sett støy og/eller svært korte tursegmenter). Av de resterende turene ble 24 086 kjørt gjennom både map matching og tykklientberegning.

4.2.1 Kvalitetssikret delsett av turene

For å kunne sammenligne distanser fra tykklienten med distanser fra map-matchingen på en pålitelig måte tok vi utgangspunkt i turer fra vegprisingspiloten som fulgte samme rute. Alle turer ble gruppert etter hvilken vegnettbaserte (map-matchede) rute de fulgte, og alle ruter med 10 eller flere turer ble tatt med. Totalt ble dette 564 turer fordelt på 40 unike kjøreruter med lengder fra ca. 100 meter opp til ca. 22 kilometer.

Sammenligningen ser kun på den delen av turene som foregår på vegnettet. Et eksempel på kuttingen av turer er vist i Figur 35. Dette ble gjort for å hindre at kjøring utenfor vegnettet (parkeringshus/parkeringsplasser/privat eiendom, osv.) ble inkludert, og for å eliminere støykilder som for eksempel oppstartsproblemene som diskuteres i kapittel 4.3.



Figur 35: Venstre: originale turer. Høyre: turer med avkuttete ender slik at kun den relevante delen av turen gjenstår.

Den vegnettbaserte distansen er dermed totale lengden av inkluderte veglenkene, mens tykklientdistansen er resultatet etter at de gjenværende GNSS-datapunktene er sendt gjennom tykklientberegningen.

Tabell 6 viser en oppsummering av resultatene for alle ruter som ble kjørt 10 eller flere ganger. Hver rad representerer én kjørerute, og inkluderer antallet turer som kjørte denne ruten, vegnettbasert distanse, pluss gjennomsnitt, standardavvik, minimum og maksimum av tykklientdistansen for alle turene som kjørte denne ruten, og til slutt gjennomsnittlig differanse mellom den vegnettsbaserte distansen og tykklientdistansen for alle turene. Rutene i tabellen er sortert stigende etter vegnettbasert distanse.

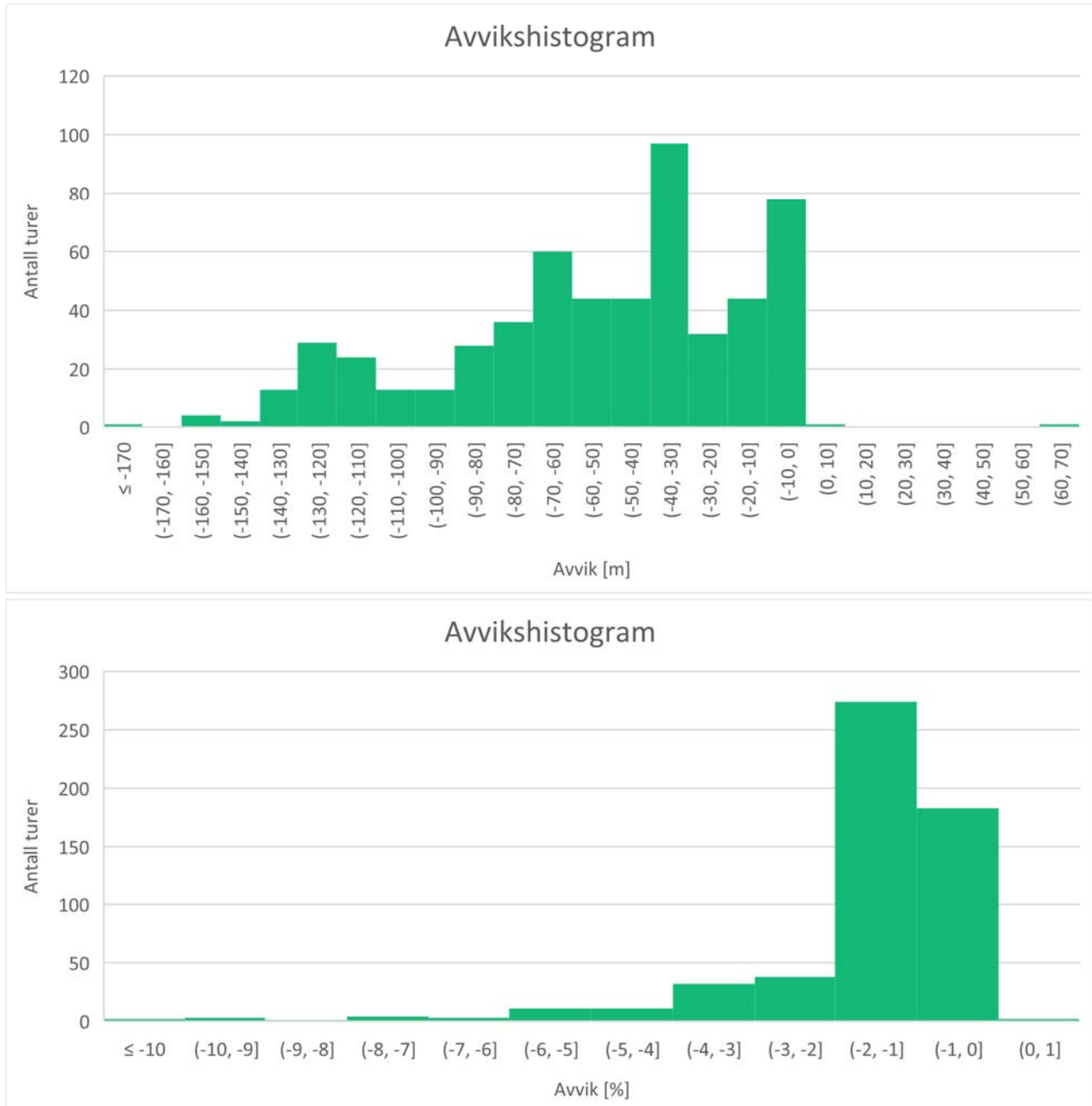
Alle kjøreturene som er inkludert i tabellen er manuelt kontrollert: turer som er innom parkeringsplasser eller av andre grunner utenom vegnettet er fjernet, og turer som har fått feil map-matching er fjernet.

Tabellen sammenligner dermed kun turer som følger akkurat den samme ruten hele veien og som har fått korrekt map-matching.

| Tabell 6: Vegnettbasert distanse for ruter kjørt flere ganger sammenlignet med tykklientdistanser for alle kjøreturene per rute. | | | | | | | |
|--|----------------------------|------------------------------|---------------|----------|----------|----------------------------|---------|
| n | Vegnettbasert distanse [m] | Tykklientbasert distanse [m] | | | | Gjennomsnittlig differanse | |
| | | Gjennomsnitt | Standardavvik | Minimum | Maksimum | Meter | Prosent |
| 11 | 114,8 | 109,3 | 2,0 | 106,2 | 112,3 | -5,4 | -4,7 % |
| 13 | 207,4 | 205,6 | 0,6 | 204,9 | 207,2 | -1,8 | -0,8 % |
| 16 | 252,6 | 243,6 | 1,2 | 240,9 | 245,7 | -8,9 | -3,5 % |
| 13 | 253,5 | 248,4 | 1,5 | 246,1 | 251,3 | -5,0 | -1,9 % |
| 12 | 416,8 | 412,6 | 1,3 | 410,4 | 414,5 | -4,2 | -1,0 % |
| 23 | 456,1 | 426,5 | 15,9 | 373,0 | 440,9 | -29,6 | -6,5 % |
| 11 | 478,8 | 470,9 | 2,9 | 466,7 | 476,0 | -7,8 | -1,6 % |
| 15 | 862,3 | 849,2 | 2,7 | 842,0 | 852,4 | -13,1 | -1,5 % |
| 10 | 928,2 | 916,0 | 6,2 | 911,5 | 933,7 | -12,1 | -1,3 % |
| 15 | 988,4 | 961,6 | 8,2 | 942,7 | 974,6 | -26,8 | -2,7 % |
| 16 | 1 368,8 | 1 307,0 | 25,0 | 1 237,5 | 1 347,0 | -61,8 | -4,5 % |
| 10 | 1 791,0 | 1 756,9 | 10,2 | 1 743,5 | 1 776,5 | -34,0 | -1,9 % |
| 10 | 2 164,2 | 2 131,3 | 1,5 | 2 128,9 | 2 134,3 | -32,9 | -1,5 % |
| 11 | 2 579,9 | 2 571,9 | 4,3 | 2 562,3 | 2 578,9 | -7,9 | -0,3 % |
| 15 | 2 919,8 | 2 889,0 | 1,9 | 2 886,8 | 2 893,4 | -30,7 | -1,0 % |
| 16 | 3 030,5 | 2 991,0 | 3,1 | 2 984,8 | 2 995,6 | -39,5 | -1,3 % |
| 11 | 3 076,8 | 3 015,1 | 19,3 | 2 974,6 | 3 034,4 | -61,7 | -2,0 % |
| 16 | 3 175,9 | 3 117,4 | 4,3 | 3 111,8 | 3 127,8 | -58,4 | -1,8 % |
| 14 | 3 342,8 | 3 300,1 | 16,2 | 3 243,9 | 3 309,7 | -42,6 | -1,2 % |
| 16 | 3 365,7 | 3 318,9 | 6,5 | 3 301,0 | 3 328,6 | -46,8 | -1,3 % |
| 12 | 3 517,5 | 3 480,5 | 3,7 | 3 471,9 | 3 485,8 | -37,0 | -1,0 % |
| 13 | 3 585,0 | 3 528,2 | 5,4 | 3 518,4 | 3 541,8 | -56,7 | -1,5 % |
| 11 | 3 737,6 | 3 670,8 | 10,0 | 3 652,4 | 3 684,6 | -66,8 | -1,7 % |
| 11 | 4 329,7 | 4 294,2 | 3,2 | 4 286,3 | 4 297,8 | -35,5 | -0,8 % |
| 10 | 4 352,2 | 4 316,4 | 2,8 | 4 311,3 | 4 320,2 | -35,7 | -0,8 % |
| 19 | 4 522,6 | 4 446,6 | 5,0 | 4 438,6 | 4 455,3 | -75,9 | -1,6 % |
| 15 | 4 746,3 | 4 708,0 | 5,9 | 4 695,4 | 4 715,7 | -38,3 | -0,8 % |
| 14 | 5 473,1 | 5 410,1 | 3,1 | 5 406,2 | 5 415,2 | -62,9 | -1,1 % |
| 10 | 5 817,0 | 5 790,5 | 3,0 | 5 783,9 | 5 796,5 | -26,5 | -0,4 % |
| 14 | 5 940,1 | 5 871,2 | 7,2 | 5 856,7 | 5 883,9 | -68,8 | -1,1 % |
| 12 | 6 359,4 | 6 294,1 | 3,4 | 6 288,8 | 6 302,7 | -65,2 | -1,0 % |
| 10 | 6 393,2 | 6 308,9 | 8,1 | 6 296,1 | 6 325,0 | -84,2 | -1,3 % |
| 16 | 6 506,3 | 6 414,4 | 23,6 | 6 374,9 | 6 461,8 | -91,9 | -1,4 % |
| 11 | 7 197,8 | 7 134,6 | 49,4 | 7 072,6 | 7 258,1 | -63,2 | -0,8 % |
| 23 | 10 285,4 | 10 198,7 | 11,8 | 10 171,9 | 10 219,5 | -86,7 | -0,8 % |
| 11 | 11 541,3 | 11 409,8 | 31,6 | 11 340,1 | 11 456,1 | -131,4 | -1,1 % |
| 22 | 13 107,6 | 12 989,0 | 5,8 | 12 976,1 | 13 002,5 | -118,6 | -0,9 % |
| 29 | 13 181,6 | 13 050,6 | 6,8 | 13 030,5 | 13 061,2 | -131,0 | -0,9 % |
| 14 | 13 201,3 | 13 138,5 | 3,9 | 13 130,6 | 13 147,0 | -62,7 | -0,4 % |
| 13 | 22 090,3 | 21 983,4 | 11,7 | 21 972,2 | 22 020,0 | -106,9 | -0,4 % |

Av tabellen ser vi i gjennomsnitt stort sammenfall mellom de tykklientbaserte distansene og vegnettsbasert distanse. Vi ser også, spesielt av min/max-verdiene, men også av beregnet standardavvik, at det i noen tilfeller er relativt store variasjoner mellom tykkclientbasert distanse for den samme ruten. Turen med det største standardavviket i tykkclientdistanse (mot bunnen av tabellen, markert med tykk skrift i "Standardavvik"-kolonnen) går gjennom Marienborgtunnelen i Trondheim, en tunnel på 1400 meter med kurvatur og rundkjøring.

I Figur 36 vises i tillegg avvikene mellom gjennomsnittlig tykkclientdistanse og vegnettbasert distanse for de samme turene.



Figur 36: Histogram over avviket mellom tykkclientdistanse og vegnettbasert distanse blant turene i Tabell 6.

Små variasjoner i distanse kan komme av at GNSS-posisjonene sjeldent havner på nøyaktig samme sted gitt en identisk kjørerute, som vist i Figur 37.



Figur 37: Rute langs vegnettet (tykk oransje) sammenlignet med 23 ulike kjøreturer som kjørte den samme ruten (punkter i ulike farger).

Med den nåværende tykklientberegningen vil identiske turer kunne gi noe varierende pris grunnet ulik distanse, men avviket er stort sett lite. Som vist i Figur 36 er de fleste avvikene negative, noe som vil komme bilføreren til gode. Ved å benytte en vegnettbasert beregning vil prisen bli konstant lik for like turer, men dette kommer ikke uten potensial for nye feilkilder, som demonstreres i kapittel 4.3. Stort sett ser vi at tykklientberegningene gir stabile resultater, men det er de ekstreme avvikene som må begrenses så mye som mulig i en reell implementering, for å minimere antall etterbehandlinger av spørsmål, klager, rettelser osv.

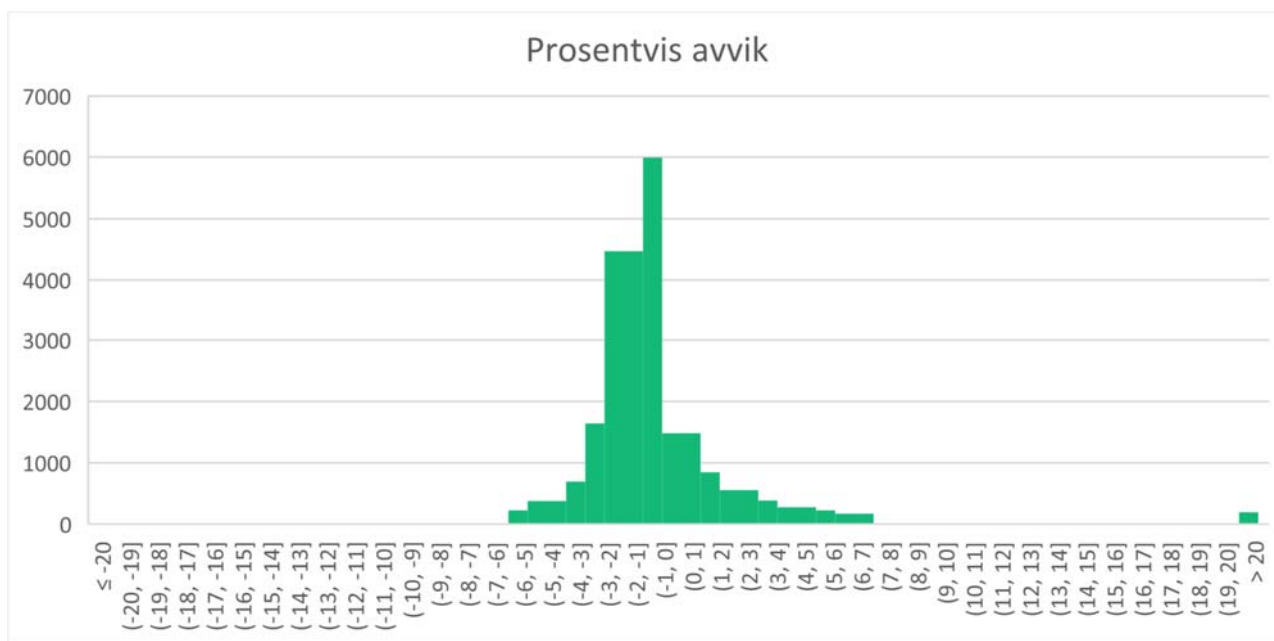
4.2.2 Hele datasettet

Vi ser nå på hele datasettet, men på grunn av det store antallet turer er det umulig å kvalitetssikre map-matchingen for alle turene i dette tilfellet. Figur 38 viser det prosentvise avviket for alle turer som ble kjørt gjennom map-matchingen, og indikerer at det stort sett er stor enighet mellom tykklientdistansene og de vegnettbaserte distansene.

Tabell 7 oppsummerer tall for avviket mellom tykklientdistansen og den vegnettbaserte distansen. Også her ser vi i gjennomsnitt stort sammenfall mellom de tykklientbaserte distansene og vegnettbasert distanse. Gjennomsnittlig avvik er kun -0,2% (et avvik på 2 meter per km) med standardavvik på 5,8% (58 meter per km). Det negative fortegnet i både gjennomsnittet og median viser at tykklientbasert distanse oftere er noe kortere enn vegnettbasert distanse. Standardavviket viser det er noen få tilfeller der forskjellene er meget store. Maks avvik for en tur er 122808 meter per kilometer. Dette ekstreme eksempelet er nøyere studert i Figur 43. Andre årsaker til store avvik er illustrert i kapittel 4.3. Dette viser noe av kompleksiteten i valget mellom å bruke distanser beregnet fra ren GNSS, med sine tilhørende svakheter, og map-matching som innfører et bøtende tiltak mot usikkerhet i GNSS, men som selv innfører sine sårbarheter.

Tabell 7: Beregnet avvik per tur for hele datasettet.

| | Meter | Prosent |
|---------------|-------|---------|
| Gjennomsnitt | -4,1 | -0,2 % |
| Median | -29,7 | -0,7 % |
| Standardavvik | 823,4 | 5,8 % |



Figur 38: Histogram over det prosentvise avviket mellom tykklientdistanse og vegnettbasert distanse blant alle turer som ble kjørt gjennom map-matchingen.

4.3 Eksempler på utfordringer

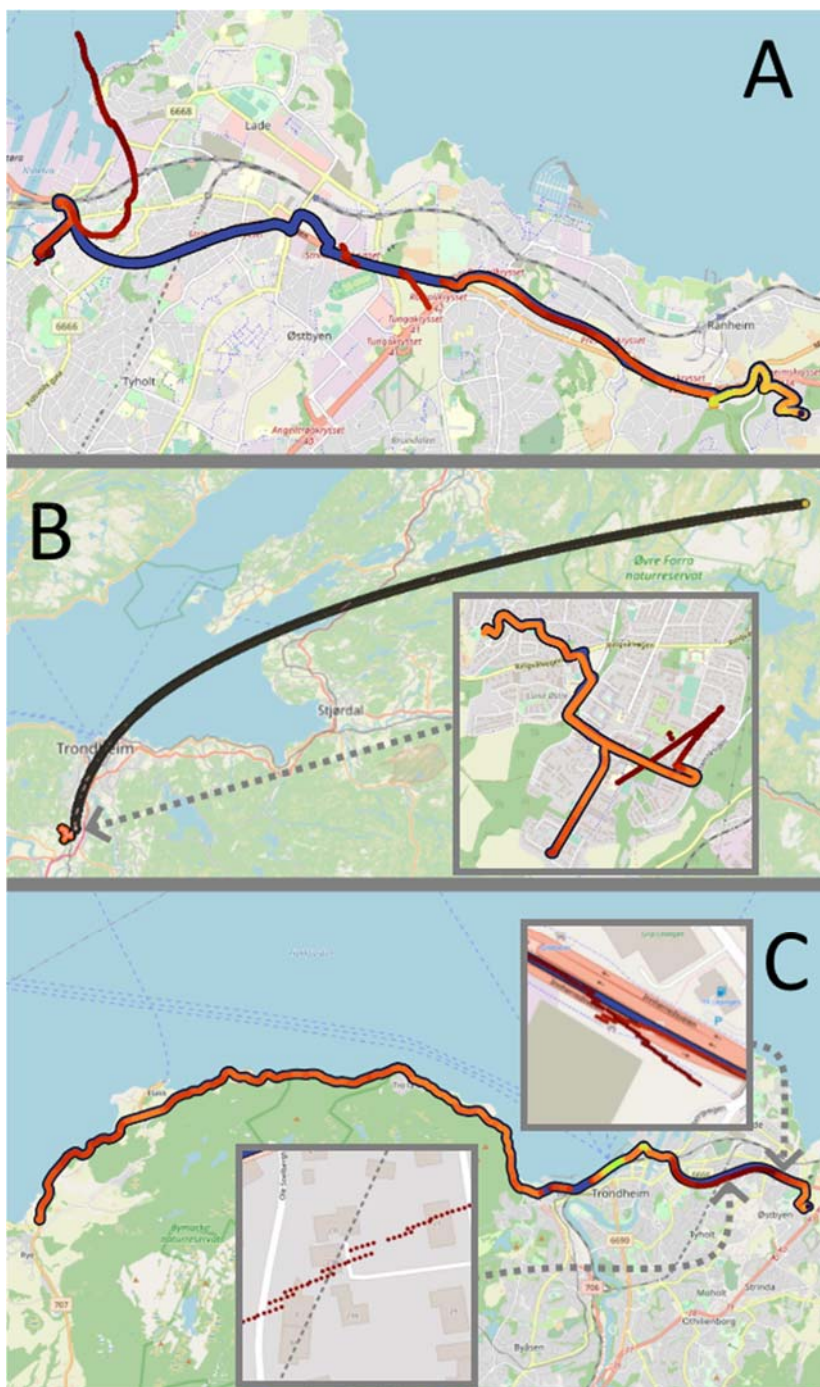
I dette avsnittet trekkes det frem eksempler på utfordringer med GNSS-sporene og hvordan dette vil påvirke vegprising.

4.3.1 GNSS-drift

GNSS-drift er situasjoner hvor GNSS observasjonene tilsynelatende fortsetter å gi brukbare data, men hvor dataene på grunn av akkumulerte feil "drifter" stadig lengre bort fra faktisk kjørerute. Dette ser ut til oftest å skje i forbindelse med tunneller, men også tilsynelatende uten noen god grunn. Det kan ofte være vanskelig å eliminere GNSS-drift uten ekstra data (som for eksempel vegnett), siden punktene kan se ut som en normal kjøretur.

Figur 39 viser to eksempler på turer rammet av GNSS-drift. Tur A kjører inn i flere tunneller, og GNSS-en fortsetter å levere data mens kjøretøyet er inne i tunnelen, men dataene blir mer og mer feil. Her er tykklientdistansen 10,1 km, mens vegnettbasert distanse er 9,3 km. Tur B er en ekstremvariant av dette problemet, hvor GNSS-posisjonen har fortsatt å drifte over lang tid. Etter hvert som GNSS-posisjonen drifter

bort fra faktisk posisjon øker posisjonens estimerte feil, som benyttes til å filtrere posisjoner i tykklienten, slik at problemet blir mer eller mindre eliminert. Her er tykklientdistansen 4,8 km, mens vegnettbasert distanse er 4,6 km. Noen ganger drifter GNSS-punktene bare litt, men hvis det skjer mange nok ganger i løpet av en tur vil det kunne påvirke sluttresultatet. Dette ser også ut til å ofte være relatert til tunneller. Tur C i Figur 39 ser i utgangspunktet ut til å ha et veldig rent GNSS-spor, men om man zoomer inn litt kan man på flere steder se små hopp i GNSS-punktene, hvor korte GNSS-sekvenser ofte overlapper slik at det blir dobbelttelling. Her er tykklientdistansen 21,8 km, mens vegnettbasert distanse er 21,2 km.



Figur 39: Eksempler på turer med GNSS-drift. GNSS-punktene har farger etter estimert feil fra grønn (lavest feil) via gul, til rød (høyest feil). Den vegnettbaserte ruten er blå og noe tykkere enn GNSS-sporet slik at den er synlig også når den er bak sporet.

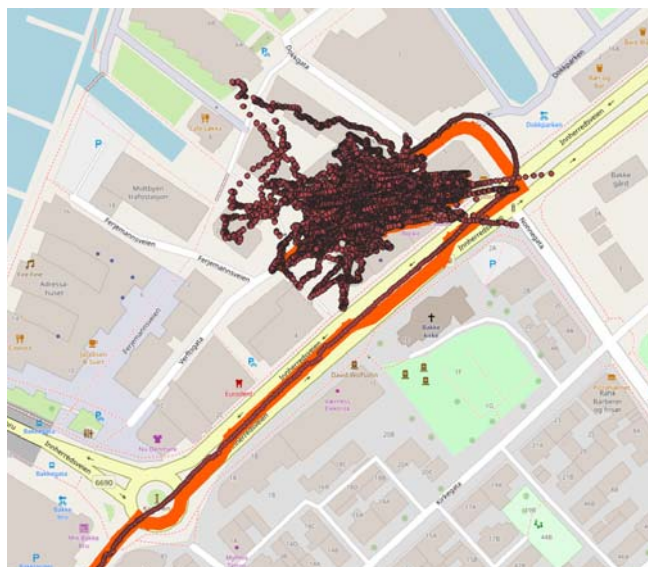


Figur 40: Bortfall av GNSS-signal i tunnel og høyere usikkerhet (mørkere rødfarge og hopp i GNSS-posisjon).

Eksempelet i Figur 40 viser hvordan GNSS-sporene blir borte i tunnel. Ved inngang/utgang av tunnelen ses unøyaktigheter i sporet. Dette kan sees tydelig også på den første turen i Figur 39. For å komme rundt problemet med tunell er det i prosjektet diskutert muligheten for å implementere og oppdatere en oversikt over tunnelene i Norge, men tilhørende lengder, i tykklienten. Tanken er å etablere geofencer i tykklienten over tunnel inngangene for å identifisere når og hvor man kjører ut og inn av en tunell. En utfordring med denne tankegangen vil allikevel være GNSS unøyaktigheter som oppstår i det man kjører ut av en tunnel og utfordringen med da å registreres inn i rett geofence, se 4.3.3 for mer om GNSS-fix.

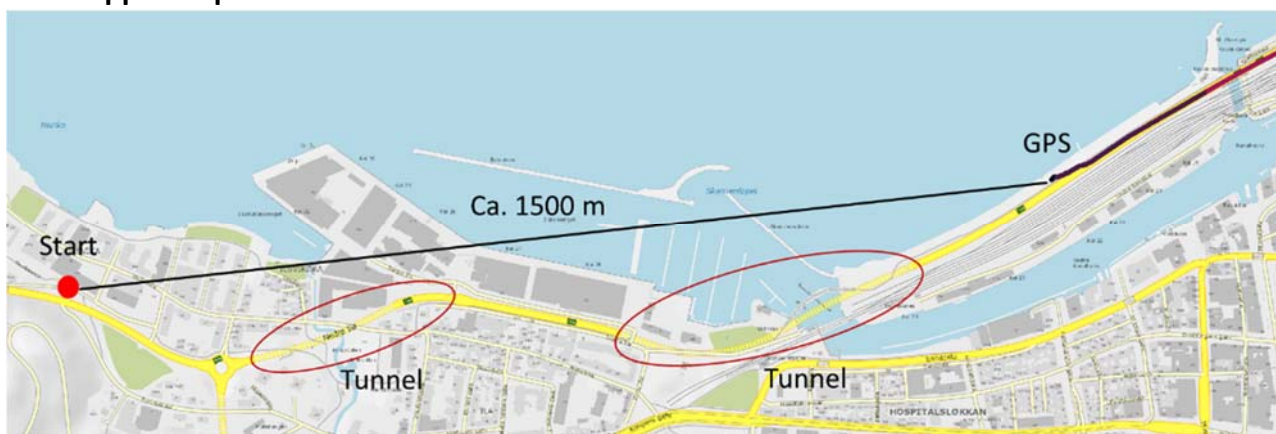
4.3.2 Stillestående GNSS-støy

Turen vist i Figur 41 ble avsluttet med kjøretøyet fortsatt påslått, men stillestående over lengre tid. Mens kjøretøyet stod stille fortsatte det å generere GNSS-posisjoner, som på grunn av unøyaktigheter i GNSS dannet en støyete punktsky. Selv om tykklienten forsøker å filtrere bort punkter med høy estimert feil er det tilstrekkelig med punkter i denne skyen med lav estimert feil til at den totale tykklientdistansen ender på 5,9 km mot 0,5 km på den vegnettbaserte distansen (turen starter omtrent 200 meter utenfor kartutsnittet).



Figur 41: En tur hvor kjøretøyet trolig stod stille (men påslått) over lengre tid, og genererte en klassisk GNSS-punktsky.

4.3.3 Oppstartsproblematikk

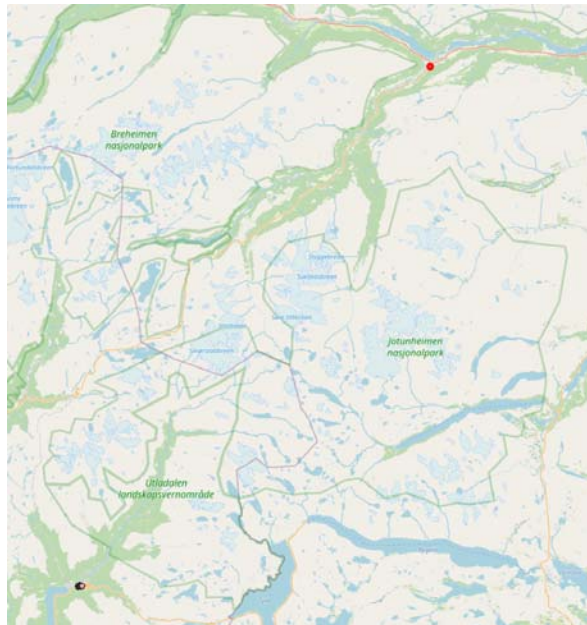


Figur 42: Dette er en tur vi vet startet ved det røde punktet til venstre i kartustnittet, men det er ca. 1500 m i luftlinje fra dette punktet til de første GNSS-dataene.

Eksempelet i Figur 42 viser at det kan ta lang tid å få såkalt GNSS-fix. Det vil si, en posisjon mottakeren stoler på, sammen med lav nok estimert usikkerhet. Her er det ca. 1500m mellom reelt startpunkt og de første GNSS-dataene. Den ekstra lange avstanden i dette eksempelet skyldes også to tunneler nært startstedet. I systemet som benyttes i testen lagres siste GNSS-posisjon før kjøretøyet skrus av. Denne posisjonen benyttes så for å beregne avstanden (med rett linje) til første GNSS-posisjon for neste tur. Dette kan føre til store avvik. Som oftest vil strategien med en rett linje føre til en mindre sum å betale for brukeren enn ved korrekt GNSS-spor, men det finnes en mulighet for at dette også kan føre til en større sum dersom den rette linjen krysser en sone som bilen egentlig kjørte rundt før GNSS-fix ble oppnådd. Det finnes også en muligheter for at kjøretøyet ikke har samme startposisjon som forrige sluttposisjon, som ved bilberging, tauing eller fergeoverganger.

Et ekstremtilfelle er vist for den korte turen i Figur 43. Her har man en oppstarts koordinat ca. 70 kilometer fra resten av turen. Det er vanskelig å vite hvorfor oppstarts koordinaten er plassert her, men at det mangler

en tur i systemet kan være en grunn. Uansett fører den feilaktige oppstartskordinaten til en tykklientdistanse på 71,5 km mot en vegnettbasert distanse på 0,6 km (map-matchingen fjerner enkelt slike ekstremt feilplasserte koordinater), og en lignende logikk kan og bør også implementeres i en fremtidig tykklientsløsning.



Figur 43: En kort tur (nede til venstre i kartutsnittet) med oppstartskordinat oppe til høyre i kartutsnittet (rødt punkt).

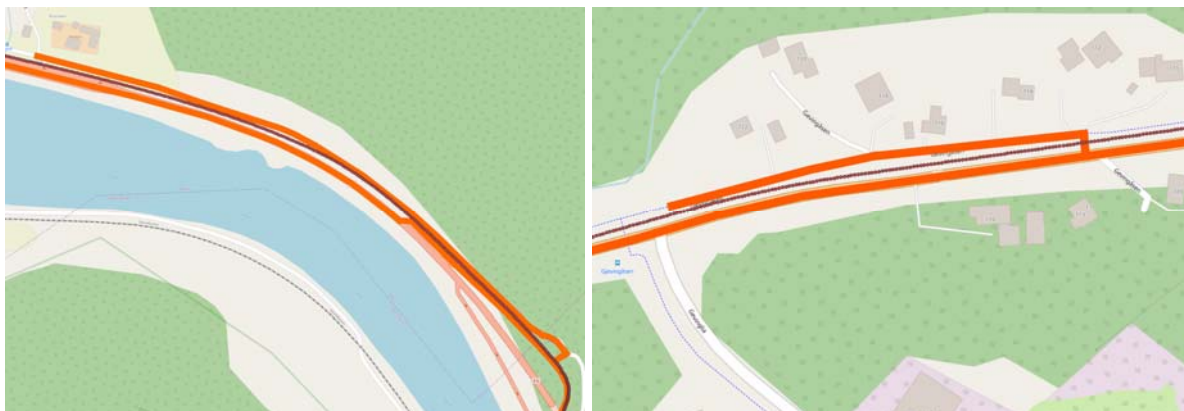
Det er meget vanskelig å tenke seg et vegprisingssystem basert på GNSS som ikke vil ha noen utfordringer knyttet til GNSS-fix ved oppstart. Dersom utstyret har tilgang til strøm og holdes i live kontinuerlig kan man sørge for å hurtig nok fix, men det vil alltid finnes tilfeller der utstyret må kobles fra strøm, eller der kjøretøyet for eksempel parkeres i en parkeringskjeller, og man er nødt til å opprette ny GNSS-fix. I GNSS-systemet finnes det noen naturlige begrensninger som gjør at det er begrenset hvor fort man kan skaffe en slik GNSS-fix. For det første sender satellittene ut ulik informasjon i ulike faser, dvs. ulik informasjon i gitte tidsintervall på ca. 30 sekunder. Dette betyr at under perfekte GNSS forhold vil man i visse tilfeller få opp mot 30 sekunders time-to-first-fix uten hjelp fra andre systemer. Et system som kan forkorte denne tiden er for eksempel AGNSS (assisted-GNSS), der informasjon nødvendig for fix i stedet kan kommuniseres over mobilnett. Enkle forsøk viser at dette kan gi en brukbar fix ned mot 3 sekunder, men denne tiden inkluderer ikke tiden det vil ta for utstyret å koble seg på mobilnettet (det vil også ta noen sekunder). I praksis tror vi at man må leve med et system der GNSS-fix fra kald tilstand tar ca. 10-15 sekunder, og at dette er noe man må forholde seg til i et fremtidig system for vegprising.

4.3.4 utfordringer med map-matching

Siden GNSS-posisjonene kan være veldig kaotiske enkelte steder, særlig ved starten av turen og ved tunneller, så vil også map-matchingen kunne bli feil. Steder hvor det går flere parallelle lenker i vegnettverket kan også by på utfordringer, siden GNSS-punktene ofte har en tendens til å være litt parallellforskjøvet og dermed kan kobles til feil lenke. I tillegg er map-matchingen sårbar for endringer i vegnettet, siden den er avhengig av et datagrunnlag som i dag typisk oppdateres maksimum én gang i måneden.

Figur 44 viser to eksempler på turer hvor GNSS-sporet er litt forskjøvet i forhold til vegnettet, slik at en lenke i feil kjøretretning blir valgt ut som ankerlenke, og at map-matchingen tar med en omveg som inkluderer den

feilaktige lenken. Dette kan skje både når GNSS-sporet er lett påvirket av drifting, eller når en eller flere lenker i vegnettet er upresist eller utdatert.



Figur 44: Eksempler på turer hvor GNSS-sporet (mørk rød) er litt forskjøvet i forhold til vegnettet, slik at en lenke i feil kjøreretning blir valgt ut som ankerlenke, og at map-matchingen (oransje) tar med en omveg som inkluderer den feilaktige lenken.

Figur 45 viser en tur hvor ruten gikk innom et parkeringshus. Siden vegnettet ikke inkluderer "vegene" inne i parkeringshuset, og siden map-matchingen heller ikke fikk høy nok poengsum på de små lenkene inn mot parkeringshuset, så resulterer det i dette tilfellet i en ganske lang sløyfe som ikke blir inkludert i den map-matchedde ruten.



Figur 45: En tur som forlater vegnettet slik at en del av turen ikke blir med i den map-matchedde ruten.

Som vist i Figur 46 kan det noen steder i vegnettet være overdrevne vinkler mellom lenkene, trolig for å skille flere parallelle lenker fra hverandre. Dette utgjør ikke store distanseforskjeller, men vil kunne gjøre den map-matchedde ruten marginalt lengre enn den faktisk er.



Figur 46: Vegnettet kan ha overdrevne vinkler mellom lenker i spesielle situasjoner, her demonstrert med map-matched rute (oransje) sammenlignet med GNSS-sporet (mørkerød).

4.3.5 Utliggere

En utligger betyr en eller flere observasjoner som ligger et stykke utenfor et forventet GNSS-spor.



Figur 47: Det er registrert et GNSS-punkt langt mot øst som ikke henger sammen med resten av kjøreruten.

I Figur 47 sees en utligger som et GNSS-punkt langt øst som ikke henger sammen med resten av kjøreruten. Likeledes, Figur 48 viser flere punkter som ikke henger sammen med kjøreruten, og sporene ser kaotiske ut. Det kan sees fra figurene at disse punktene ofte har høy usikkerhet (estimated error).



Figur 48: Figuren viser flere utliggerer, det vil si punkter som ikke henger sammen og gir en fornuftig kjørerute.

De fleste utliggerne vist her vil bli filtrert bort i tykklienten benyttet i denne piloten, da de har en estimert feil på mer enn 50 meter. Men noen av utliggerne i Figur 48 har en estimert feil på mindre enn 50 meter (de som ikke er helt sorte), og vil dermed bidra til å påvirke beregnet distanse i større eller mindre grad.

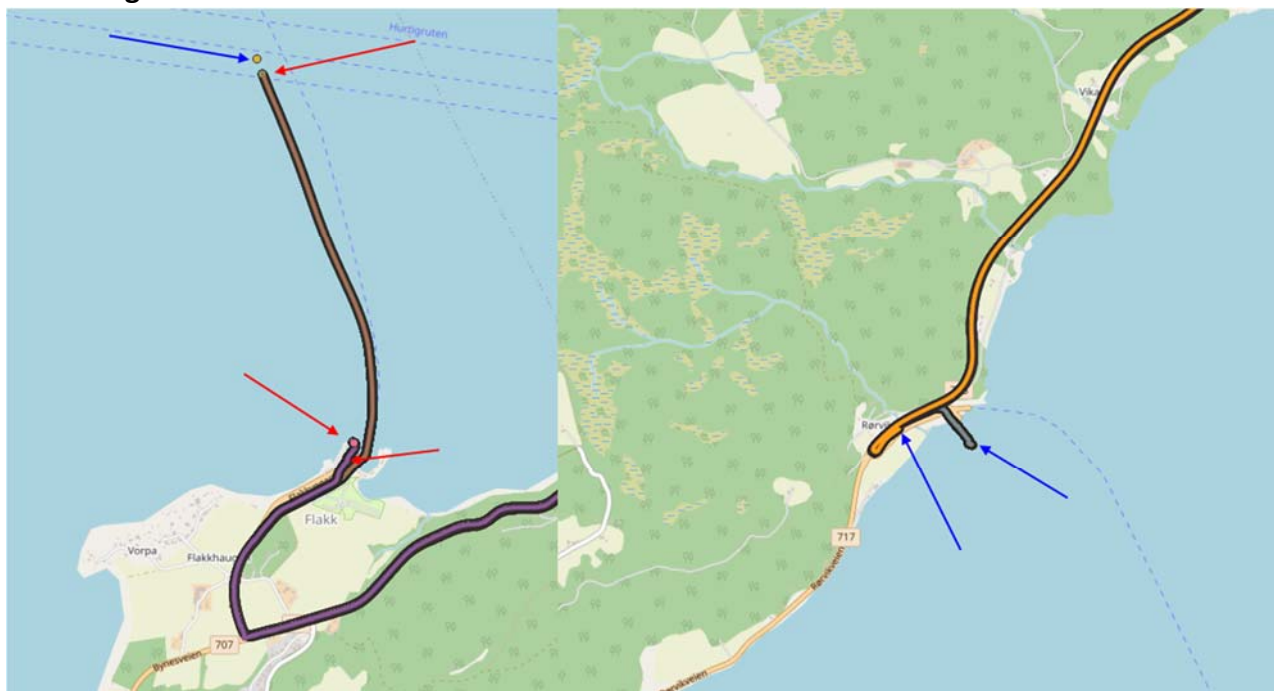
4.3.6 Ujevnheter



Figur 49: Ujevnheter i GNSS-sporene

Figur 49 viser hvordan GNSS-sporene kan ha en del ujevnheter. I eksempelet kan det se ut som om kjøretøyet hopper rundt i veibanen, noe som nok skyldes unøyaktigheter i sporene. Også her har vi relativt høy estimert usikkerhet i målingene. Årsaken til disse ujevnhetene er ikke kjent, men det kan for eksempel skyldes generelt dårlige GNSS-signaler på grunn av vær og/eller atmosfæriske forstyrrelser, eller høye bygninger eller terreng som forstyrrer signalene.

4.3.7 Ferger



Figur 50: Fergestrekningen Flakk-Rørvik i Trondheim. Venstre: Turer som stopper der bilen kjører ombord på fergeren i Flakk. Høyre: Turer som starter der bilen kjører av fergeren i Rørvik. Røde og blå piler viser henholdsvis siste og første punkt i hver av de seks turene.

Systemet som ble testet i denne piloten fungerer slik at det avslutter en tur når bilen skrus av (når utstyret mister strøm). Det betyr at turer som inkluderer en ferge typisk blir delt i to, med en del på hver side av fergeleiet. I Figur 50 vises tre kjøreturer som tok fergeren fra Flakk til Rørvik, som altså resulterer i seks turer i dette systemet. Den venstre halvdel av bildet viser turene som går til Flakk og fortsetter ut i fjorden så lenge bilen er påskrudd. De røde pilene viser hvor turen ble avsluttet. Som det vises på figuren vil det variere veldig fra tur til tur hvor langt ut i fjorden bilen kommer før utstyret skrus av. Tilsvarende sees i høyre halvdel av bildet, hvor de blå pilene viser den første GNSS-posisjonen i turene som starter i Rørvik. Også her kan vi se at det varierer hvor utstyret slås på. Det er også verdt å merke seg at en av Rørvik-turene har en startkoordinat i det venstre bildet, trolig en "last known good"-koordinat (som omtalt i kapittel 4.3.3). De fleste turene avsluttes et stykke utpå vannet, og starter igjen før fergeren legger til kai. Én av turene som starter på Rørvik-siden starter et stykke inne på land, noe som kan tyde på GNSS-problemer tilsvarende de som opplevs når bilen kommer ut av en tunnel.

Ved å bruke map-matching kan man enkelt fjerne fergelenker fra datagrunnlaget for å unngå vegprising når bilen er om bord i en ferge. Det er ikke gjort i dette prosjektet, så vi viser ingen sammenligning av tykklientdistanser og vegbaserte distanser for å illustrere dette problemet, men det er åpenbart at tykklientdistansene vil kunne bli for lange på grunn av "utkjørt" distanse på vannet. En alternativ løsning for å unngå denne problematikken kan være geofencing rundt fergeleier.

4.3.8 Oppsummering - utfordringer

- De fleste resultatene virker fornuftige og det er godt samsvar mellom map-matching og resultat fra tykklient, men finnes også flere unntak, både der map-matching og resultat fra tykklient ikke er optimalt/korrekt.

- Startproblemer knyttet til GNSS-fix er relativt vanlig. Det går mellom 50-1500m før man får et stabilt GNSS-signal. Dette er delvis løst ved å ta vare på siste koordinat fra forrige tur og benytte denne som første koordinat i neste tur.
- Det finnes en del utliggerer, men her er estimert feil ofte høy (>50m) slik at de enkelt kan filtreres bort. Allikevel ser man gjenværende utfordringer knyttet til dette.
- Map-matching vil gi en større stabilitet ift. at like turer vil bli belastet likt, og en får en mer reell beskrivelse av turen da en slik algoritme vil være i stand til å filtrere bort GNSS usikkerheter og feilregistreringer, samt fylle inn hull der det mangler data. Allikevel er map-matching en mer krevende øvelse der man er sårbar for litt mer komplekse utfordringer som parallelle veier, ikke oppdatert vegnett og så videre.
- Både ujevnheter og utliggerer håndteres på en god måte med map-matching. Utliggerer blir forkastet og ujevnheter blir borte når sporene knyttes til en veglenke. Problemer med bortfall av GNSS i f.eks. tunneler håndteres også fint med map-matching. Skjer derimot bortfallet helt på starten av kjøreruten, slik vi ofte observerer på grunn av lang tid til GNSS-fix, kan det også forstyrre map-matchingen.
- I en faktisk implementering er man avhengig av å kunne identifisere og i størst mulig grad finne en løsning for de utfordringene identifisert i dette prosjektet. Spesielt i de tilfellene der utfordringene fører til ekstreme avvik, må man implementere løsninger for å identifisere og filtrere bort. Dette kan gjøres i hovedsak ved å: 1) Utvide og legge til teknologi(er) i utstyret, som AGNSS, 2) Utvide og bedre algoritmene/softwaren i utstyret for blant annet for kontroll og 3) inkludere andre interne eller eksterne sensorer for å identifisere feil eller unøyaktige GNSS-registreringer som vegkantutstyr eller andre kilder for posisjonering av kjøretøyene.

4.4 Sjekk mot bompasseringer

I dette kapitlet sammenlignes loggdataene med bompasseringer registrert i bomringen. Bomringen er et svært pålitelig system, så en slik sammenligning vil gi en god pekepinn på robustheten til utstyret i Geoflow. For å gjøre en sammenligning av registrerte bompasseringer og GNSS-sporene, blir GNSS-dataene innenfor en 10 meters radius fra en bom analysert. Dersom det finnes 10 eller flere målepunkter innenfor denne radien, blir dette registrert som en bompassering. Resultatene er oppsummert nedenfor. Tabellen viser totalt antall passeringer i henholdsvis bomringen og i Geoflow. Antall passeringer registrert i bomringen og ikke fanget opp av Geoflow vises i rad 3, og antall passeringer i Geoflow som ikke er registrert i bomringen vises i rad 4.

Tabell 8: Antall passeringer i bomringen og i Geoflow.

| | Antall | Prosent |
|------------------------|--------|---------|
| Bomringen | 42247 | |
| Geoflow | 41428 | 98,4% |
| Bomringen uten Geoflow | 718 | 1,7% |
| Geoflow uten bomringen | 32 | 0,1% |

Fra Tabell 8 kan det sees at antallet passeringer stemmer ganske godt overens. Det er totalt registrert 8988 passeringer i bomringen for alle kjøretøyene i piloten. GNSS-dataene i Geoflow fanger opp 8847 av disse.

Det er registrert 718 passeringer i bomringen som ikke sees i GNSS-dataene, som utgjør 1,7% av det totale antall passeringer. Bompasseringer som ikke fanges opp av Geoflow kan skyldes nedetid på utstyret (at det ikke blir logget data i tidspunktet der en bompassering skjer). Et typisk eksempel på dette er hvis bompasseringen skjer i nærheten av starten på turen. Av diskusjonen og eksemplene i kapittel 4.3. har vi sett at det kan ta noe tid å få GNSS-fix og at GNSS-dataene den første tiden er unøyaktige. En annen årsak til at

Geoflow ikke registrerer en bompassering kan være GNSS-drift. Også fra eksemplene i 4.3 kan det sees at driften kan i noen tilfeller være svært stor. I slike tilfeller, vil man kunne driften utenfor sonen på 10 meters radius fra bomstasjonen, og passeringen vil ikke bli registrert.

GNSS-drift kan også være skyld i at det motsatte skjer, at Geoflow registrerer en passering som ikke er registrert i bomringen. Her kan man oppleve at GNSS-sporene drifter vekk fra den korrekte ruten og inn i nærheten av en bom, uten at dette egentlig er tilfelle. En annen mulig årsak til falske registrerte bompasseringer er dersom en bom er plassert i nærheten av flere veglenker. Slike falske registrerte passeringer ser dog ut til å være et lite problem, da det er kun registrert totalt 7 slike i løpet av eksperimentet. En feilkilde i måten sammenligning blir gjort på er at det i sentrale områder finnes flere vegstrekninger nært hverandre. I noen tilfeller vil grensen, som nå er satt til 10 meter, gjøre at kjøring på veger i nærheten av bommen (f.eks. parallelle eller kryssende veger) lett kan registreres som bompassering uten at det faktisk er det. For å undersøke omfanget av denne problemstillingen ble bommen Ranheim valgt ut. Her finnes det ikke veger i nærheten som kan skape forvirring i datagrunnlaget.

Tabell 9: Antall passeringer i bom (Ranheim)

| | Antall | Prosent |
|------------------|--------|---------|
| Bom | 1006 | |
| Geoflow | 993 | 98,7% |
| Bom uten Geoflow | 13 | 1,3% |
| Geoflow uten bom | 0 | 0% |

For kun Ranheim er antall bompasseringer som ikke er registrert i Geoflow på 1,3 %. Dette er litt lavere enn resultatet for alle bommer (1,7%). I denne bommen er det 0 tilfeller der Geoflow har registrert en bompassering som ikke er reell.

4.5 Endring av reisevaner

I en kort periode kjørte brukerne i vegprisingspiloten i black-mode. I dette avsnittet ser vi på forskjellene i distanse og pris mellom denne korte startperioden og perioden for vegprisingspiloten. Lengden på black-mode-periodene varierer noe fra kjøretøy til kjøretøy (mellom 6-20 dager).

4.5.1 Alle kjøretøy

Vi undersøker først samtlige brukere i vegpiloten. Resultatene er oppsummert i tabellen under.

Tabell 10: Forskjeller i distanse og pris før og etter piloten.

| | Før | Etter |
|---|-----|-------|
| Gjennomsnittlig distanse per dag (km) | 6,3 | 6,5 |
| Gjennomsnittlig distanse i sonen per dag (km) | 2,1 | 2,2 |
| Gjennomsnittlig pris per dag (NOK) | 7,7 | 7,9 |
| Gjennomsnittlig pris per km (NOK) | 1,2 | 1,2 |

Vi ser ingen betydelig endring i kjøremønster fra før-perioden (black-mode) og etter-perioden. For gjennomsnittlig distanse per dag ser vi en liten økning fra 6,3 km til 6,5 km. Dette gjenspeiler seg i gjennomsnittlig pris per dag som også viser en liten økning. Gjennomsnittlig pris per dag holder seg på samme nivå for hver av periodene. Dette kan tyde på at vegprisingspiloten ikke har påvirket brukernes atferd. Dette sees også fra brukerundersøkelsen der kun 5% svarer at de har endret reisevanene. I spørreundersøkelsen var også et av spørsmålene om brukerne hadde brukt informasjonen i appen aktivt.

Her svarer rundt 70% av brukerne at de i ingen grad eller i liten grad har gjort dette (se Figur 21). Appen gir god tilbakemelding på hvordan atferd burde endres for å redusere pris, så lite bruk av denne kan tyde på liten interesse og vilje til å endre atferd.

Det er flere faktorer som bør kommenteres med tanke på denne sammenligningen. For flere av kjøretøyene inkluderer før-perioden også påskeferien. Her er det naturlig at kjøremønsteret endrer seg og at dette vil påvirke resultatene. Før-perioden er også kort (1-2 uker), så utypiske kjøremønstre som f.eks. påskeferie vil kunne ha en del å si for gjennomsnittsdistansen. Etter-periodene inneholder mye mer data (1,5-3 måneder med kjøring). Denne perioden vil for mange av brukerne inkludere sommerferien som kan tenkes å ha en lignende effekt på kjøreatferden som påskeferien.

4.5.2 Kjører mindre enn før

Av spørreundersøkelsen så vi at 6 brukere (5%) svarte at de hadde endret reisevanene, se Tabell 11. Av de 6 brukere som rapporterte å ha endret reisevanene, svarte 3 at de hadde endret kjørerute, og 3 at de kjører mindre enn før. Ved bruk av loggdataene ble disse påstandene undersøkt nærmere. En av brukerne hadde ikke fungerende utstyr fra piloten som førte til at loggdata mangler, og vi står igjen med 5 brukere.

Vi ser nå spesifikt på de brukerne som selv har hevdet at de har endret atferd i løpet av Geoflow. De tre tabellene under viser tre forskjellige kjøretøy der brukerne alle har hevdet at de nå kjører mindre enn tidligere.

| Tabell 11: Sammenligning av kjøretøy fra brukere som rapporterte å kjøre mindre enn før. | | |
|--|-------------|-------------|
| | Før | Etter |
| Kjøretøy 1 | | |
| Datoer | 27.05-01.06 | 01.06-11.09 |
| Distanse per dag (km) | 5,9 | 7,0 |
| Distanse i sonen per dag (km) | 2,3 | 0,9 |
| Pris per dag (NOK) | 9,0 | 2,9 |
| Pris per km (NOK) | 1,5 | 0,4 |
| Kjøretøy 2 | | |
| Datoer | 31.03-19.04 | 20.04-09.07 |
| Distanse per dag (km) | 6,2 | 3,9 |
| Distanse i sonen per dag (km) | 1,3 | 0,9 |
| Pris per dag (NOK) | 4 | 2,9 |
| Pris per km (NOK) | 0,6 | 0,7 |
| Kjøretøy 3 | | |
| Datoer | 07.06-18.06 | 19.06-12.09 |
| Distanse per dag (km) | 1,5 | 3,7 |
| Distanse i sonen per dag (km) | 1,5 | 2,2 |
| Pris per dag (NOK) | 5,1 | 7,4 |
| Pris per km (NOK) | 3,4 | 2,0 |

Av de tre kjøretøyene der brukerne selv har rapportert at de kjører mindre enn før er det kun kjøretøy nummer 2 som har redusert den daglige kjøredistansen.

4.5.3 Endret kjøremønster

Vi ser nå på de to brukerne som har rapportert at de har endret kjøremønster i løpet av Geoflow. Resultatene er vist i de to tabellene under.

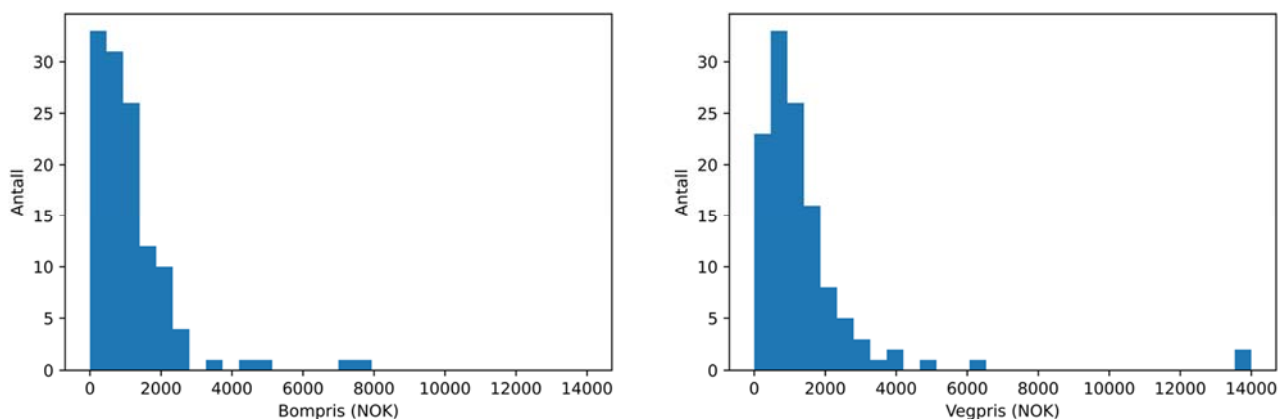
| Tabell 12: Sammenligning av kjøretøy fra brukere som rapporterte å ha endret kjøremønster. | | |
|---|-------------|--------------|
| | Før | Etter |
| Kjøretøy 1 | | |
| Datoer | 29.04-07.05 | 08.05-29.08 |
| Distanse per dag (km) | 6,7 | 4,6 |
| Distanse i sonen per dag (km) | 0,03 | 0,03 |
| Pris per dag (NOK) | 0,1 | 0,1 |
| Pris per km (NOK) | 0,02 | 0,02 |
| Kjøretøy 2 | | |
| Datoer | 05.04-19.04 | 20.04-08.08 |
| Distanse per dag (km) | 4,7 | 4,2 |
| Distanse i sonen per dag (km) | 2,1 | 3,0 |
| Pris per dag (NOK) | 7,2 | 10,1 |
| Pris per km (NOK) | 1,5 | 2,3 |

Vi kan observere at begge disse har redusert sin daglige distanse noe, men dette gjelder dog ikke utkjørt distanse i GeoFlow-sonen, så det er noe vanskelig å konkludere med at loggedataene kan bekrefte deres påstand i dette tilfellet med de dataene vi har for hånden.

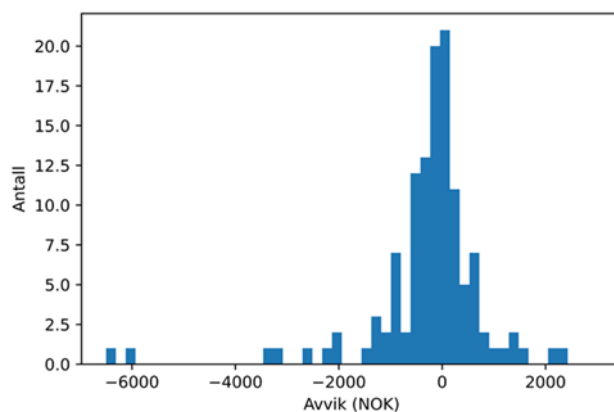
4.6 Sammenligning av kostnad i bomring og vegpris

Vi sammenligner nå prisene fra vegprisingeksperimentet med reelle priser fra bomringen. I beregningene for bompriser benyttes ikke avtalepriser eller reduserte takster for elbil og lignende. Dette gjøres for at beregnet belastning i bomringen og beregnet belastning med vegprising skal være mest mulig sammenlignbart (se kapittel 2.2 for detaljer). Figur 51 viser en sammenligning av priser betalt i bom og beregnede vegpriser for hvert enkelt kjøretøy over hele testperioden, med summerte resultater i Tabell 13, og avvik for hvert kjøretøy i Figur 52. Som beskrevet i kapittel 2.2 inngår det i den reelle bomprisberegningen som deltagerne faktisk får fakturert både rabatter og betalingstak. Dette er ikke tatt hensyn til i våre beregninger og må tas med i betraktningene av de mest ekstreme resultatene.

| Tabell 13: Sammenligning av kostnad i bomring og vegpris. | | |
|--|--------------------|----------------|
| | Kostnad bom | Vegpris |
| Total pris (NOK) | 138 163 | 171 579 |
| Gjennomsnittspris (NOK) | 1142 | 1418 |
| Median | 909 | 1080 |



Figur 51: Sammenligning av priser betalt i bom og beregnede vegpriser i eksperimentet per kjøretøy for hele testperioden.



Figur 52: Avvik mellom kostnad i bom og vegpris per kjøretøy.

Figur 52 viser avvikene mellom kostnad i bom og vegpris regnet ut på følgende måte:

$$\text{Avvik} = \text{bompris} - \text{vegpris}$$

Fra figuren kan det sees at for de fleste kjøretøyene er avviket mellom kostnad i bom og vegpris innenfor 1500 NOK. Men det finnes enkelt unntak med svært høye avvik. Kjøremønsteret til hver enkelt bilist har mye å si for hvor stort avviket blir. Når avvikene er større enn 0, er betalt pris i bomringen høyere enn beregnet vegpris i Geoflow. Dette skjer for kjøretøy som krysser bomringen ofte, men som ikke kjører lenge i betalingssonen definert i Geoflow (se Figur 3). For avvik mindre enn 0 har vi de bilistene som ender opp med å betale mer i vegpris enn i bomringen. Dette gjelder kjøretøy som befinner seg ofte og kjører mye i betalingssonen sammenlignet med antall bomplasseringer. De største enkeltavvikene befinner seg i denne gruppen. Disse gjelder hovedsakelig bilister som er bosatt innenfor sonen (og kjører mye innenfor), men som sjeldnere kjører utenfor og krysser bomringen.

5 Dynamisk vegprising

I denne seksjonen ser vi på om det er mulig å bruke data fra vegprisingpiloten til å oppdage når en bil kjører i saktegående trafikk. Dette kan i så fall åpne for å bruke dataene til å sette dynamiske vegpriser, det vil si at man betaler ut fra hvor stor forsinkelse man er delaktig i å bidra til i trafikkavviklingen. Vi skal først

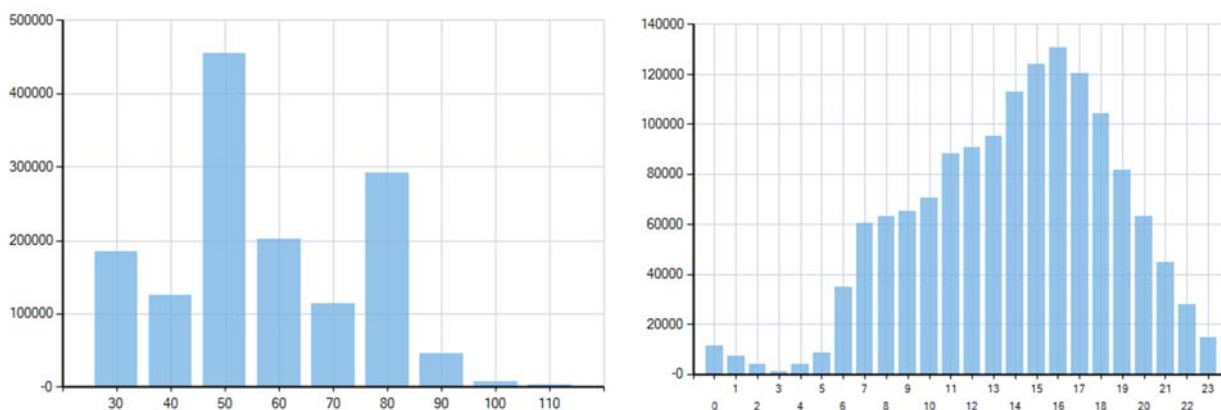
se litt nærmere på fartsdataene fra piloten før vi i kapitel 5.2 sammenligner disse beregningene med data fra trafikregistreringsstasjonene i Trondheim. Data fra trafikkregistreringsstasjonene har også et potensial for å måle forsinkelsen, men der disse dataene kun er snittdata som viser et utsnitt av fremkommeligheten (i et fåtall punkter langs vegnettet) er GeoFlow dataene strekningsdata som har et bedre potensial for å vise fremkommeligheten på aktuelle strekninger.

5.1 Data fra vegprisingspiloten

Som utgangspunkt for første vurdering ble det brukt 361 millioner datapunkter fra piloten (alle datapunktene frem til 25. mai 2022). UTC-tidspunktene ble konvertert til lokaltid for å kunne vurdere hvilke datapunkter som var innenfor rush-perioder. Deretter ble datapunktene først filtrert punktvis (de fem første radene i Tabell 14), så ble de koblet mot veglenker ved hjelp av vår algoritme for map-matching som er forklart tidligere i denne rapporten, og deretter ble ytterligere punkter fjernet basert på hvilke lenker de ble koblet til (de siste to radene i Tabell 14).

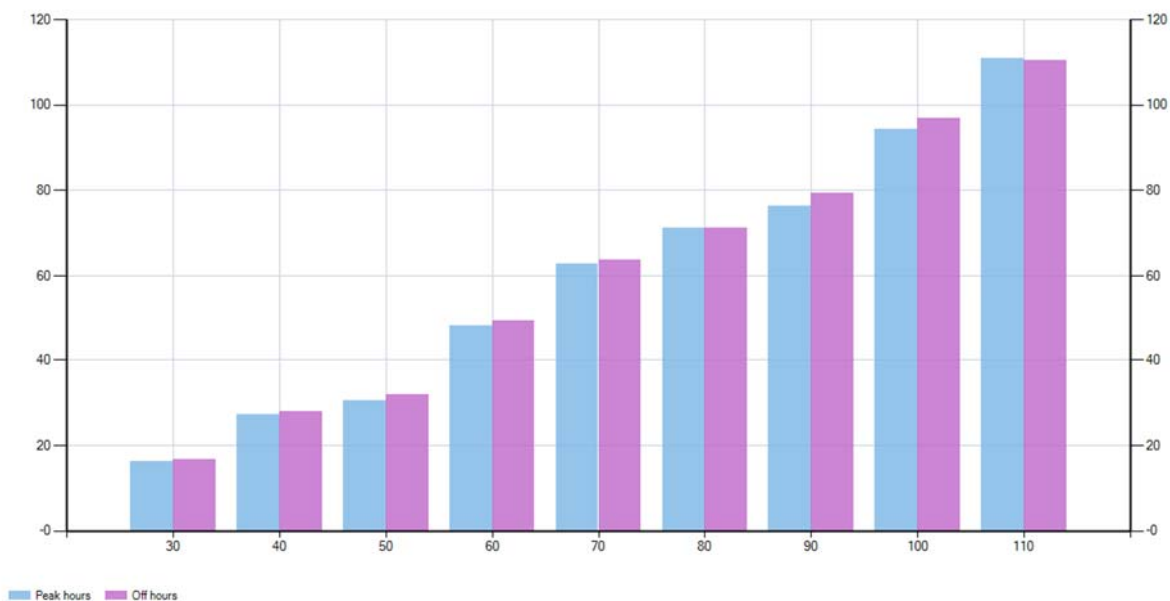
| Tabell 14: Filtrering av datapunkter fra piloten før arbeid med dynamisk vegprising. | |
|--|-------------------------|
| Filtrering | Antall fjernede punkter |
| Punkter med ugyldige koordinater | 34M |
| Sekvensielle punkter med samme koordinat | 155M |
| Punkter med "estimated error" > 10 | 25M |
| Punkter med for stor avstand fra forrige punkt | 3M |
| Punkter med for høy fart | 59K |
| Punkter knyttet til lenker uten fartsgrense | 936K |
| Punkter knyttet til lenker med få punkter | 1M |

Etter at punktene var filtrert og koblet mot vegnettet ble hver kjøretur prosessert på nytt. Alle etterfølgende datapunkter koblet til den samme lenken ble gruppert sammen til én observasjon, hvor det ble lagret et tidspunkt (tidspunktet for første datapunkt på lenken) og en gjennomsnittsfart (lenkevis distance mellom første og siste datapunkt på lenken delt på tidsdifferanse mellom første og siste punkt). Dette resulterte i 1.4 millioner observasjoner, fordelt mellom fartsgrenser og tider på døgnet som vist i Figur 53.



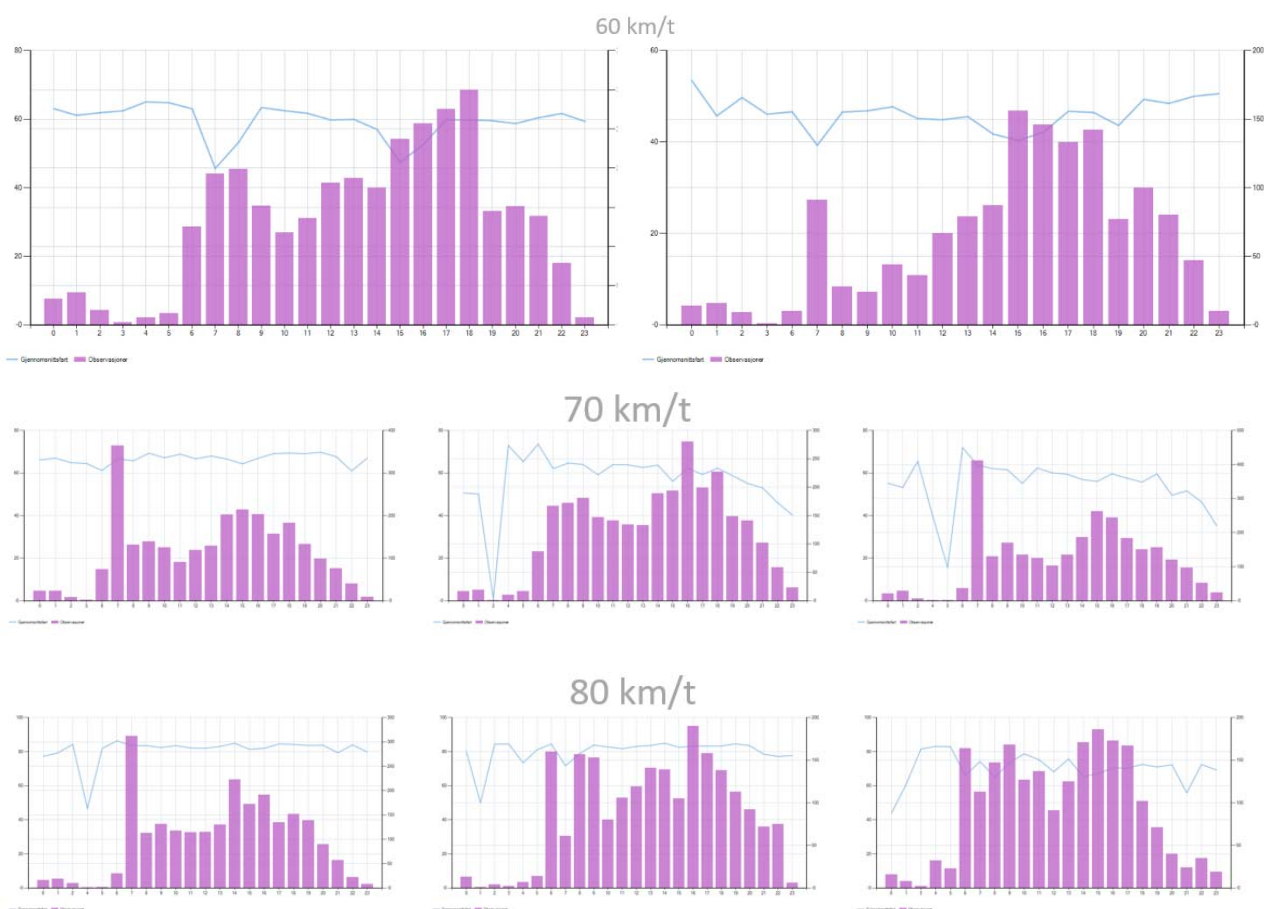
Figur 53: Antall observasjoner fordelt på fartsgrenser og tid på døgnet.

Ved å separere observasjonene i to grupper, rush fra klokken 07-09 og 15-17, og ikke-rush ellers på døgnet, kan vi se en liten forskjell i gjennomsnittsfart, som vist i Figur 54.



Figur 54: Gjennomsnittsfart for observasjonene fra piloten for hver fartsgrense, fordelt på rush (blå) og ikke-rush (lilla).

Figur 55 viser antall observasjoner og gjennomsnittsfart gjennom døgnet (aggregert for alle dager i pilotperioden) for åtte av lenkene med flest datapunkter. Særlig på de to øverste, hvor fartsgrensen er 60 km/t, er det en synlig reduksjon i gjennomsnittsfart i rush-periodene. For de andre lenkene er det noen ganger reduksjoner i rush-tidene, men farten varierer mye uten synlige mønstre. Bortsett fra den ene 60-lenken er det aldri mer enn 100 kjøretøy selv i den høyeste timen, og mange av observasjonene er det samme kjøretøyet som kjører samme rute (for eksempel til eller fra jobb) hver dag, noe som kan gjøre datamaterialet sårbart for ekstremverdier eller vanene til enkelte sjåførere.



Figur 55: Antall observasjoner per time (lilla søyler) og gjennomsnittsfart (blå kurve) for noen av lenkene med flest datapunkter fra piloten.

Tabell 15 og Tabell 16 viser en oppsummering av observasjonene for hver fartsgrense, og for de tre lenkene med flest observasjoner for hver fartsgrense. Av tabellene kan vi se at variansen til hastighetene som forventet er ganske høy. Dette skyldes naturlige svingninger i trafikken, ulikt kjøremønstre for ulike sjåførere, hendelser langs vegen, vegarbeid, kjøretøytøyt med langsom fart, og så videre. Spesielt kan vi se at både gjennomsnittshastighet og varians kan være veldig ulike for veger med samme fartsgrense, og at hva som er normalsituasjon kan variere fra lenke til lenke, noe som bør tas hensyn til i et forsøk på å oppdage kø-situasjoner.

Tabell 15: Oppsummering av observasjoner for hver fartsgrense. Konfidensintervall utregnet ved å anta normalfordeling

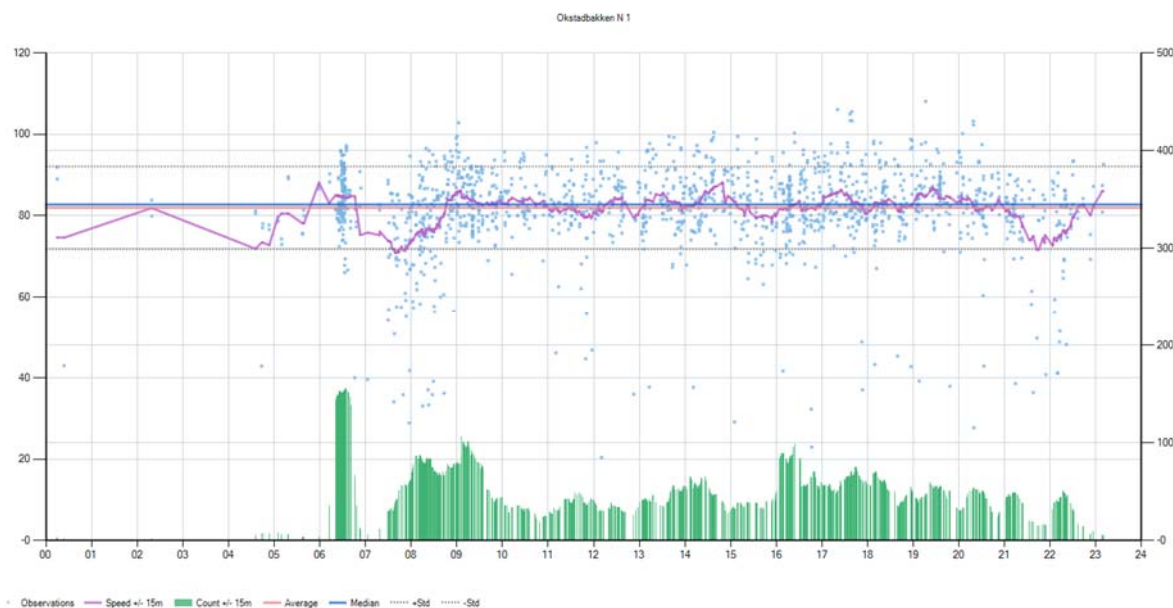
| Fartsgrense | Observasjoner | Gjennomsnitt | Standardavvik | Varians | Konfidensintervall |
|-------------|---------------|--------------|---------------|---------|--------------------|
| 30 | 20 131 | 23,5 | 10,7 | 114,8 | (2.5, 44.5) |
| 40 | 13 976 | 30,3 | 11,3 | 127,7 | (8.2, 52.4) |
| 50 | 51 905 | 35,2 | 14,2 | 202,7 | (7.4, 63.0) |
| 60 | 23 260 | 50,0 | 15,1 | 226,9 | (20.4, 79.6) |
| 70 | 11 326 | 64,1 | 14,6 | 213,7 | (35.5, 92.7) |
| 80 | 29 342 | 71,9 | 15,6 | 243,4 | (41.3, 102.5) |
| 90 | 5 458 | 79,6 | 13,1 | 171,5 | (53.9, 105.3) |
| 100 | 849 | 95,9 | 12,5 | 156,8 | (71.4, 120.4) |

Tabell 16: Oppsummering av observasjoner for de tre lenkene med flest observasjoner for hver fartsgrense. Hver rad er altså én individuell lenke. Konfidensintervall utelatt grunnet få observasjoner.

| Fartsgrense | Stedsnavn | Observasjoner | Gjennomsnitt | Standardavvik | Varians |
|-------------|------------------|---------------|--------------|---------------|---------|
| 30 | Nardo | 49 | 6,3 | 7,6 | 58,3 |
| 30 | Ved Elgsetergate | 23 | 27,1 | 6,8 | 45,7 |
| 30 | Stubban | 22 | 26,7 | 2,1 | 4,2 |
| 40 | Stubban | 26 | 26,8 | 15,8 | 251,3 |
| 40 | Grillstad | 22 | 31,9 | 4,6 | 21,4 |
| 40 | Stubban | 20 | 25,7 | 6,3 | 39,9 |
| 50 | Sluppen | 43 | 36,0 | 5,8 | 33,6 |
| 50 | Sluppen | 43 | 36,0 | 2,7 | 7,5 |
| 50 | Ila | 40 | 32,3 | 13,0 | 169,2 |
| 60 | Bjørndalsbrua | 65 | 62,9 | 14,0 | 196,6 |
| 60 | Bjørndalsbrua | 55 | 64,1 | 14,5 | 209,4 |
| 60 | Nardo | 54 | 67,6 | 10,6 | 111,5 |
| 70 | Sluppen | 76 | 64,2 | 5,8 | 33,8 |
| 70 | Om kjøringsvegen | 63 | 64,5 | 13,1 | 170,7 |
| 70 | Om kjøringsvegen | 57 | 65,4 | 15,3 | 234,6 |
| 80 | Okstadbakken | 65 | 81,1 | 6,5 | 42,8 |
| 80 | Okstadbakken | 58 | 67,1 | 20,4 | 414,8 |
| 80 | Leangen | 57 | 77,3 | 11,6 | 135,5 |
| 90 | E6 mot Værnes | 38 | 76,9 | 6,9 | 47,3 |
| 90 | E6 mot Værnes | 36 | 80,0 | 6,8 | 47,0 |
| 90 | E6 mot Værnes | 34 | 80,4 | 11,8 | 138,6 |
| 100 | E6 Klett | 12 | 93,9 | 5,0 | 25,4 |
| 100 | E6 Klett | 11 | 90,6 | 5,5 | 30,1 |
| 100 | E6 Klett | 11 | 94,3 | 5,5 | 29,8 |

Figur 56 viser alle observasjonene for en lenke i Okstadbakken i Trondheim. Her kan vi se hvordan det er observasjoner med både høy og lav fart gjennom hele døgnet, men at de fleste observasjonene ligger innenfor ett standardavvik over eller under gjennomsnittsfarten, som er like over fartsgrensen på denne lenken. De grønne søylene viser et løpende gjennomsnitt av antallet kjøretøy, og illustrerer at vi gjennom

vegprisingspiloten bare har en veldig liten del av den faktiske trafikken som går på vegnettet.



Figur 56: Alle observasjoner (blå punkt) på en lenke i Okstadbakken i Trondheim, med løpende gjennomsnittsfart (lilla kurve), totalt gjennomsnitt, median og standardavvik (blå, oransje og stiplet grå rette linjer), og antall observasjoner (grønne søyler).

5.2 Sammenligning med data fra trafikkregistreringsstasjoner

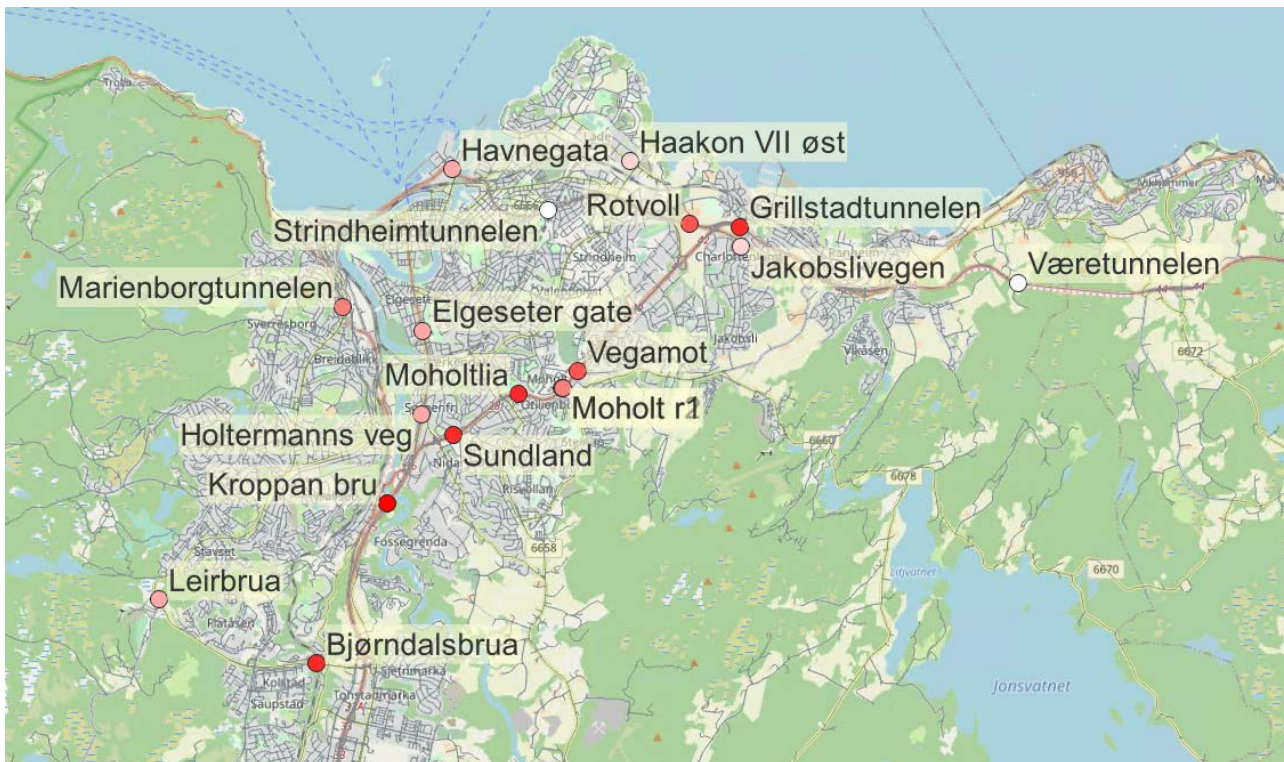
For å se hvordan dataene fra vegprisingspiloten samsvarer med faktiske trafikkdata fikk vi data fra 17 av de mest relevante trafikkregistreringsstasjonene i fire måneder fra mars til juni 2022. Data fra hele vegprisingspiloten (på dette tidspunktet totalt 1 135 000 000 datapunkter filtrert på samme måte som i Tabell 14) ble igjen koblet mot vegnettet ved hjelp av map-matching-algoritmen, men denne gang ble det i tillegg gjort en filtrering på veglenker som passerer trafikkregistreringsstasjonene. For hver passering av en relevant veglenke ble det beregnet en gjennomsnittsfart langs denne lenken, slik at resultatet ble en liste over tidspunkt og gjennomsnittsfart for hver passering av tellepunktet. Som nevnt i innlegningen til dette kapitlet er det viktig å huske på at data fra trafikkregistreringspunktene kun viser tilstanden til fremkommeligheten i et fåtall snitt langs vegnettet, mens data fra vegprisingssystemet foreslått i GeoFlow har potensial til vise fremkommeligheten på aktuelle strekninger.

En sammenstilling av data fra trafikkregistreringsstasjonene og observasjonene fra GeoFlow-piloten viser at det var opp til noen tusen GeoFlow-observasjoner på de tellepunktene vi hadde mest data fra, se Tabell 17.

Tabell 17: Trafikkdata sammenstilt med data fra vegprisingspiloten.

| Tellepunkts-ID | Tellepunkts-observasjoner | GeoFlow-datapunkter | GeoFlow-observasjoner |
|-------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|
| Bjørndalsbrua | 28925 | 257112 | 4928 |
| Elgeseter | 48528 | 164566 | 1779 |
| Grillstadtunnelen | 47662 | 320617 | 5862 |
| Havnegata | 47266 | 60826 | 1672 |
| Holtermann | 47923 | 82943 | 1696 |

| | | | |
|--------------------|-------|--------|------|
| Haakon VII øst | 46022 | 37860 | 1066 |
| Jakobslivegen | 44606 | 61403 | 1019 |
| Kroppanbrua | 48917 | 518324 | 6697 |
| Leirbrua | 46897 | 104224 | 1655 |
| Marienborgtunnelen | 20172 | 88190 | 1858 |
| Moholt | 20725 | 79130 | 1930 |
| Moholtlia | 48818 | 212996 | 4972 |
| Rotvoll | 48226 | 476578 | 3256 |
| Strindheimtunnelen | 23729 | - | - |
| Sundland | 26683 | 100330 | 5121 |
| Væretunnelen | 45386 | - | - |
| Vegamot | 48772 | 37787 | 4624 |

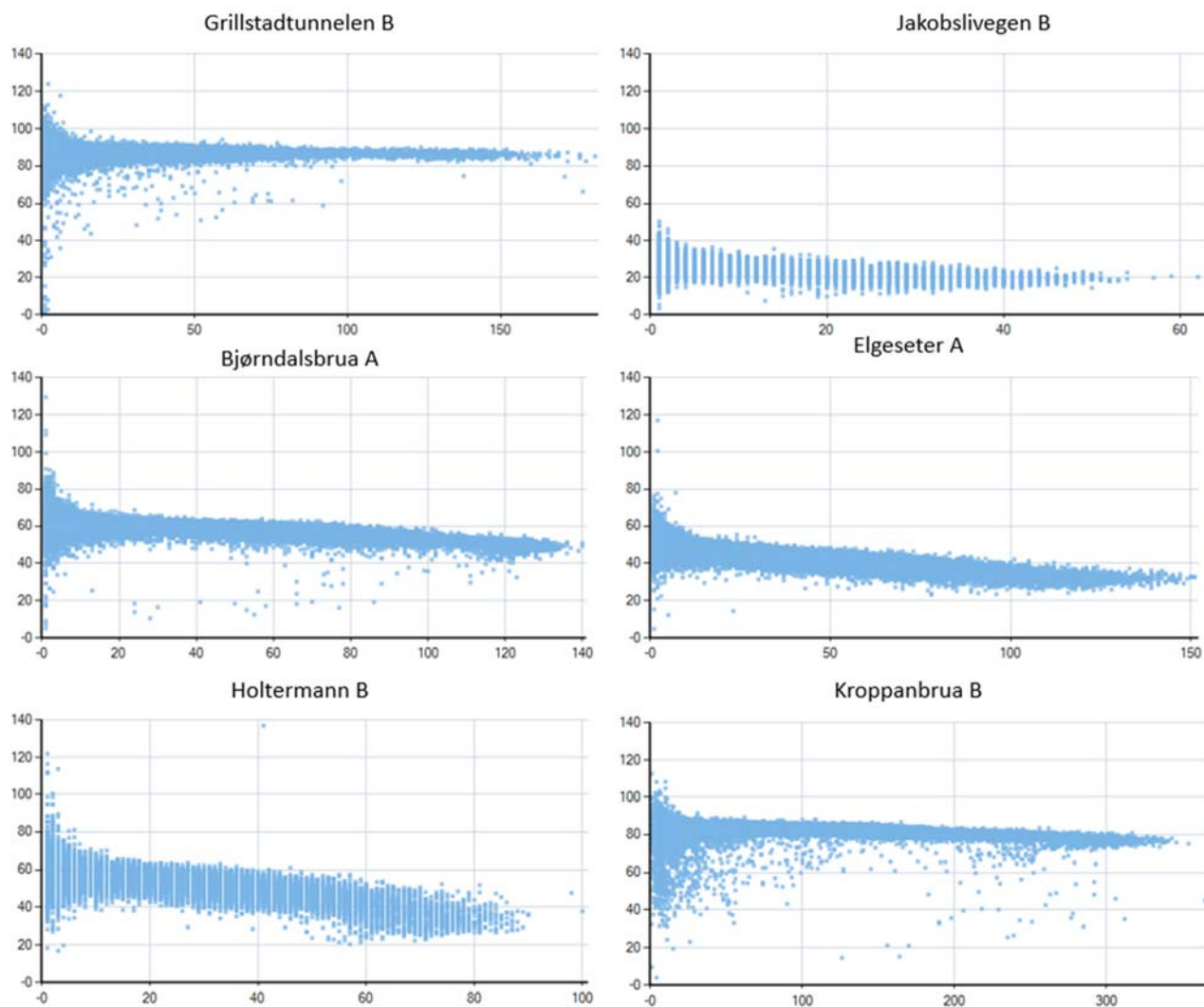


Figur 57: En oversikt over alle trafikkregistreringsstasjonene som ble undersøkt. Fargen på punktene indikerer hvor mange vegprisingsobservasjoner som ble koblet til denne stasjonen (fra hvit til sterk rød).

Figur 57 viser de samme dataene grafisk: hver stasjon er representert med et punkt med rødfarge som markerer mengden vegprisingsobservasjoner ved dette punktet. De hvite stasjonene er stasjoner som ikke ble koblet mot vegprisingspiloten på grunn av problemer med vegnettet.

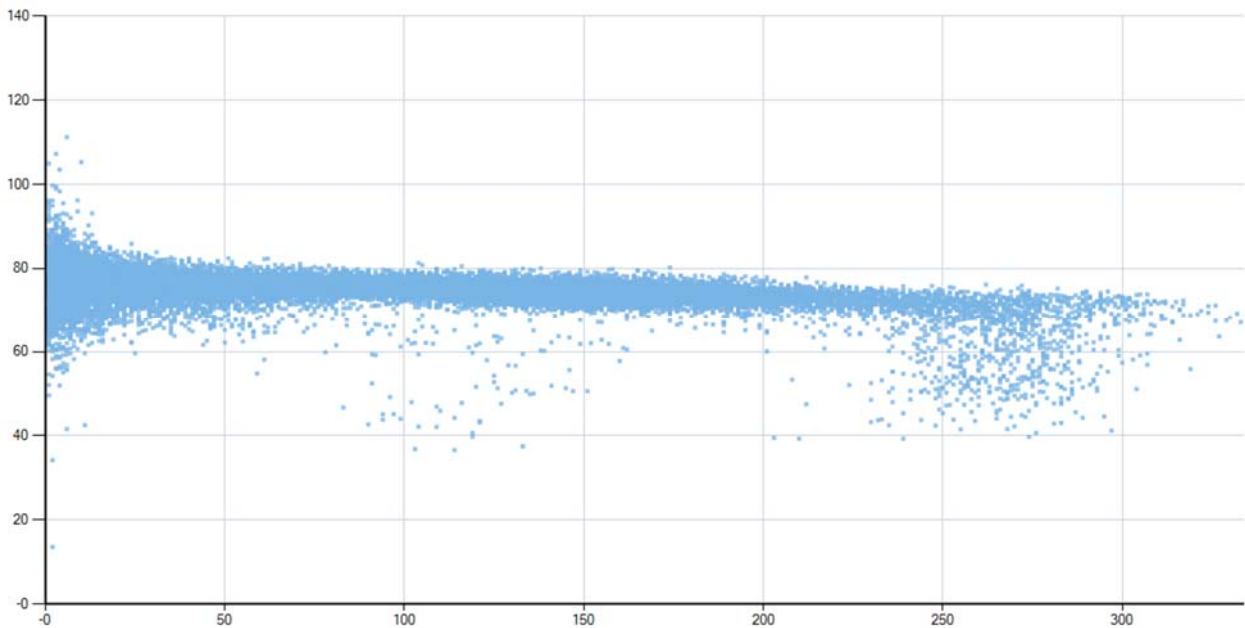
For hvert trafikkregistreringsstasjon ble det forsøkt å oppdage køsituasjoner eller sammenbrudd. Dette ble gjort ved å vurdere plott av gjennomsnittsfart mot volum av alle kjøretøy i intervaller på fem minutter, som kan brukes til å identifisere sammenbrudd i trafikkflyten (Arnesen og Hjelkrem, 2018). Det var flere trafikkregistreringsstasjoner som viste synlige reduksjoner i fart, og noen få som viste tydelige sammenbrudd. Figur 58 viser noen eksempler på fartsplott av stasjoner som viser ulik grad av trafikkproblemer. I disse plottene er målingene er aggregert til intervaller på fem minutter, og plottet med

gjennomsnittsfart på Y-aksen og antall kjøretøy på X-aksen. Sammenbrudd kan identifiseres ved lave hastigheter registrert i høy fart, se plottet for Kroppanbrua B i Figur 58 der observasjonene under 60 km/t der det er registrert mer enn 100 kjøretøy er typiske observasjoner fra sammenbrudd da disse er løsrevet fra den mer jevne fartsreduksjonen som kommer med økende volum. Av plottene i denne figuren ser vi også tydelig forskjellen mellom forsinkelse og kø / sammenbrudd. Observasjonene fra Holtermannsveg B viser en økt forsinkelse (mer saktegående trafikk med økende trafikkvolum), men ingen tydelige sammenbrudds-situasjoner. Forsinkelse kan man også observere på Kroppanbrua B, men her ser man altså også tilfeller av sammenbrudd.



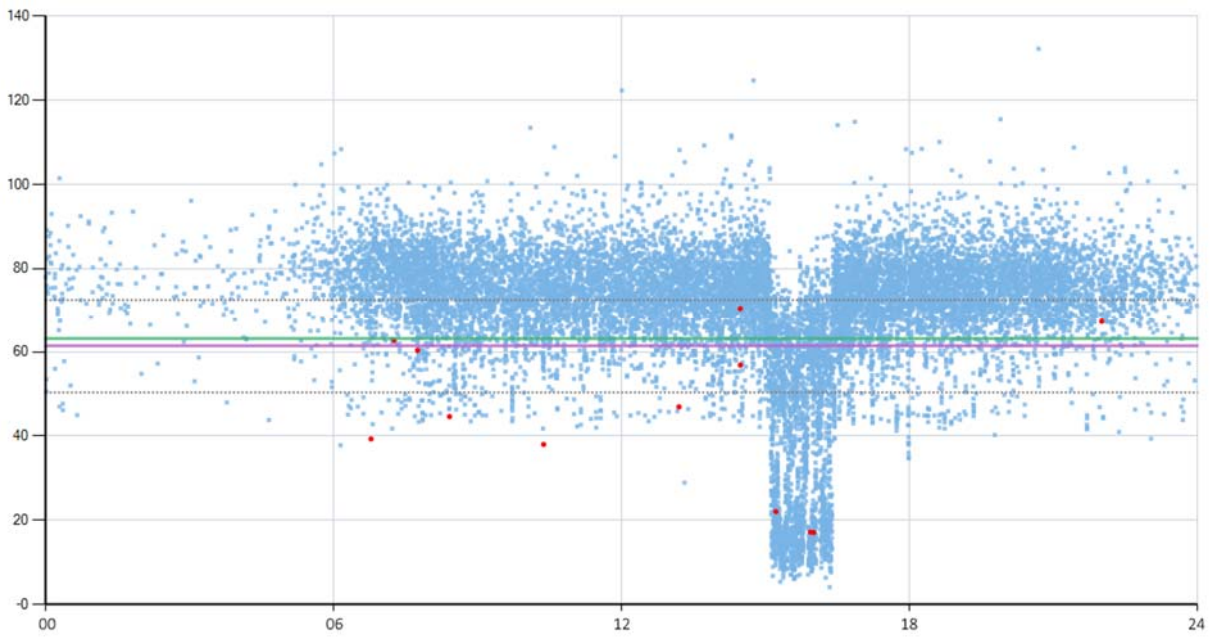
Figur 58: Noen eksempler på varierende grad av trafikkproblemer. De to øverste grafene viser to veger som ikke ser ut til å være nevneverdig rammet av saktegående trafikk. De to neste viser en stødig nedadgående hastighet ved økende trafikk, mens de to nederste viser tendenser til sammenbrudd. Plottene viser gjennomsnittsfart for alle passerende kjøretøy (x-aksen) og antall passerende kjøretøy (y-aksen) per 5-minutts intervall.

Siden stasjonen ved Rotvoll var en av de få tellepunktene med tydelig sammenbrudd i tillegg til mange registrerte datapunkter fra vegprisingspiloten, velger vi å se litt mer detaljer på denne som et eksempel videre i teksten. Målinger fra dette tellepunktet vises i Figur 59. Ved volum over ca. 230 kjøretøy vises det et tydelig sammenbrudd.

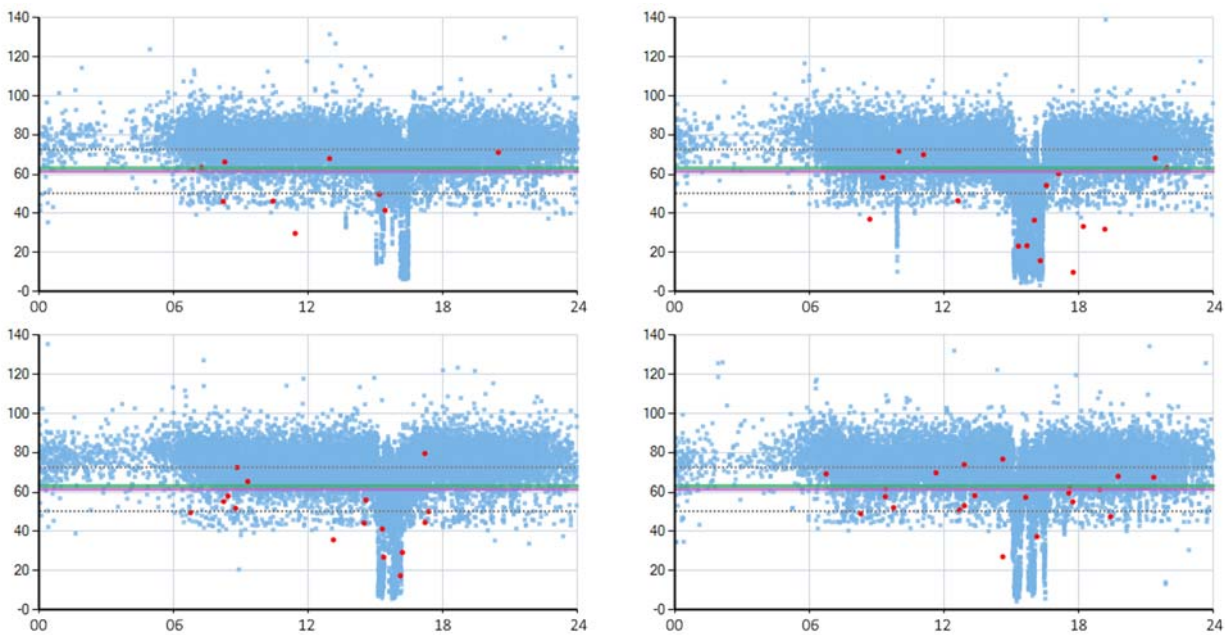


Figur 59: Trafikkregistreringer fra stasjonen ved Rotvoll aggregert til femminuttsintervaller, og plottet med gjennomsnittsfart på Y-aksen og antall kjøretøy på X-aksen.

For stasjonen på Rotvoll ble et sammenbrudd definert som minst tre etterfølgende perioder på fem minutter hvor volumet var høyere enn 200 kjøretøy og gjennomsnittsfarten lavere enn 60 km/t. Totalt ble det på Rotvoll identifisert 24 slike sammenbrudd, fordelt på 19 ulike dager. For hver av disse dagene sammenstilte vi trafikkdata med data fra vegprisingspiloten, som vist i Figur 60. På denne figuren vises også trafikkobservasjoner som blå prikker. I tillegg plottes observasjoner fra vegprisingspiloten som røde prikker, og gjennomsnitt, median og +/- standardavvik av alle vegprisingsobservasjoner på denne lenken som henholdsvis lilla, grønn og stiptet grå linjer. På Figur 60 er det et tydelig sammenbrudd rundt klokken 15, hvor det er mange trafikkobservasjoner med lav fart. Vi ser også dette gjenspeilet i vegprisingsobservasjonene, men det er ikke alltid sammenheng mellom vegprisingsobservasjonene og det som virker å være trafikkflyten på veglenken. Rundt klokken 8 er det for eksempel en bil fra piloten som har kjørt ganske sakte, selv om trafikken på lenken ser ut til å ha hatt god flyt. Vi ser også at mange biler, både fra trafikkregistreringsstasjonen og fra piloten, har høyere fart også under sammenbruddet. Figur 61 viser noen flere utvalgte dager fra Rotvoll, og illustrerer hvordan observasjonene fra piloten i noen tilfeller ser ut til å kunne indikere dårlig trafikkflyt, men i andre tilfeller ikke gjenspeiler den flyten som indikeres av tellepunktdataene.



Figur 60: En full dag med trafikkregistreringer (blå) og observasjoner fra vegprisingspiloten (rød). Lilla og grønn linje er henholdsvis gjennomsnitts- og medianfart for alle passeringer av denne veglenken fra vegprisingspiloten, og de stiplede grå linjene er +/- standardavvik.



Figur 61: Fire andre dager som viser trafikkregistreringer (blå) mot observasjoner fra vegprispiloten (rød).

Bruk av trafikkregistreringer har visst seg nyttige for å oppdage situasjoner med kø eller saktegående trafikk. Dette er imidlertid en punktmåling som gjør overføringen til forsinkelse på strekning eller veglenker vanskelig. Ideen her var å studere data fra GeoFlow-forsøket i de tilfellene der det var observert kø for å se om man kunne måle denne forsinkelsen og eventuelt prise denne. Det eksisterer både saktegående trafikk der det ikke oppdages kø, som naturlig nok kan forklares med andre påvirkninger, men vi finner også trafikk som går i normal fart når trafikkregistreringene viser en kø-situasjon. Dette illustrerer hvor lite svart-hvitt en sammenbruddssituasjon i trafikken kan være. Det er hele tiden en overgangsperiode, gjerne felt der trafikken flyter ulikt, samt at tellepunktene kun viser situasjonen på et enkelt tverrsnitt av vegen, som gjør at den enkelte kjøretøys fart gjennom en kø-situasjon oppdaget i et punkt kan variere mye. Dersom vegprising med tynnklientsløsning blir implementert, og man kunne ha samlet data fra størstedelen av alle kjøretøyene på vegen, kan vi ikke utelukke at man kan oppdage kø og måle forsinkelse med en større sikkerhet enn det vi har klart å vise i dette kapitlet, men basert på dette datagrunnlaget syns farten til kjøretøy i kø å ha en så stor variasjon at det vil være vanskelig å pris-sette ulikhetene på en forutsigbar og rettferdig måte.

6 Oppsummering og konklusjoner

I GeoFlow ble det gjennomført en pilot for vegprising med totalt 126 sjåførere i Trondheim. Bomringen ble brukt som utgangspunkt for å definere en sone der deltagerne måtte betale per utkjørt distanse i en 3 måneders periode. Q-Free utviklet teknologien, ITS-stasjonen, ble benyttet i prosjektet. Løsningen i piloten besto av både en tykk- og tynnklientsløsning, for å dekke henholdsvis utviklings- og forskningsbehovet i prosjektet. Tekniske data fra ITS-stasjonen ble samlet, i tillegg til responsen fra både en før- og etterundersøkelse. Hensikten var både å evaluere den tekniske løsningen og undersøke brukernes holdninger og erfaringer til vegprising.

Resultatene fra spørreundersøkelsene viste at 24% av brukere har en negativ holdning mot det eksisterende bomsystemet. Dette ser ut til å fortsette en pågående trend hvor ulike spørreundersøkelser viser at det er

en reduksjon av negative holdninger blant Trondheims beboere i de siste årene. For de som svarte at de var negative til bomringen i Trondheim, var alternativet som fikk høyest poeng at det var et urettferdig system. Dette ble senere bekreftet med et spørsmål om rettferdighet av bomsystemet, der over halvparten av brukerne svarte at der nokså til meget urettferdig. Dette kan tyde på at brukerne ikke er spesielt negative til bomsystemet i seg selv, men at det eksisterende systemet ikke oppleves som rettferdig.

Selv om vegprising var evaluert som positiv av de fleste brukerne før testperioden startet, viser resultatene fra etterundersøkelsen en reduksjon i antall personer med positiv holdning til systemet. Dette betyr at generelt er brukere mindre positive til vegprisingssystemet etter å ha testet systemet. Interessant nok, viser resultatene at brukerne som betalte mye vegpris syntes at personlig økonomi var en viktig faktor for deres holdning til vegpris. På den andre siden, brukere som betalte lite vegpris ikke syntes at personlig økonomi var viktig. Dette kan tyde på at holdningen til vegprisingssystemet ble påvirket av hvor mye brukere betalte i vegprising i testperioden. Det var en stor andel, men også som forsøkt designet i kapittel 2, av brukere (43%) som betalte mer for vegprising enn det de gjorde med kostnader i bom i prosjektet.

Til tross for at resultatene viste en reduksjon av positiv holdning til vegprising, svarte over halvparten av brukere at de sannsynligvis ville syntes at det er mer rettferdig å betale for utkjørt distanse enn å betale i bomsnitt. Brukerne ser ut også til å ha en høyere aksept for at prisene varierer med trafikkbelastning som med vegprisingssystemet. Dette er i linje med resultatene som viser at brukere synes at dagens bomsystem er urettferdig, og tyder på at en differensiering av pris etter trafikkbelastning anses som rettferdig av brukerne.

Basert på resultatene fra både spørreundersøkelsene og loggdataene kan det sies at brukerne i stor grad ikke har endret adferd i forsøksperioden som følge av uttesting av vegprising. Dette kan sees i kontrast til GeoSUM-prosjektet (Arnesen et al., 2021), der en mindre adferdsendring ble sporet. Det bør imidlertid løftes frem at appen med visning av soner og priser ikke var valgfri i GeoSUM (mer informasjon), brukerne fikk mer oppfølging underveis i forbindelse med utstyr og fremgang på pilot (mer motivasjon), flere av brukerne nok kunne sies å være enda sterkere klassifisert som "early adopters" (Rogers, 2003) (mer teknologiinteresse), samt at vi i GeoSUM hadde mer fokus på adferdsendring med tanke på et miljøperspektiv (annet fokus). I tillegg hadde man i dette prosjektet et litt annet økonomisk incentiv enn i GeoSUM. I GeoSUM ble deltagerne gitt en startsum penger som man betalte fra, og hvor det resterende ble utbetalt. Dette gav en veldig tydelig premiesum å forholde seg til, i motsetning til i dette prosjektet der sammenligning mot bomplasseringer nok ga et mer utydelig bilde av hva hver bruker kunne få igjen. Brukerne kunne også i GeoSUM beholde sitt vanlige bruksmønster, men passe på å kjøre elektrisk i sonene (kun plug-in hybrid biler inkludert), mens i dette prosjektet måtte brukerne faktisk endre kjøreruter for påvirke resultatet i nevneverdig grad. En adferdsendring er heller ikke det det man nødvendigvis sikter etter med tanke på innføring av vegprising, og det vil for øvrig være naturlig å anta en viss avhengig mellom adferdsendring og prisenivået man setter i sonene. I denne piloten ble takstene satt for å balansere med takstene i bomringen.

Teknisk viser piloten at et system for distansebasert vegprising basert på GNSS lar seg gjennomføre i praksis, men det er en del løsbare utfordringer man må ta tak i eller hensynta i en endelig løsning. Oppstartsutfordringer som resultat av tid før GNSS-fix, tunneler, GNSS-drift og utliggere er vanskelig å gardere seg 100% imot, og er noe man må ta med seg som en realitet inn i en eventuell implementering av et slikt system. Spesielt vil dette være utfordrende med en tykklientbasert løsning, der det skal mer til for å ettergå data og rette eventuelle feil. Et alternativ som ble undersøkt i denne rapporten er å legge vegnettet med map-matching til grunn for prising. Selv om dette kan bøte på noen feil og mangler i en rent GNSS basert beregning, vil map-matching kreve et oppdatert vegnett og komme med sine egne utfordringer. I tillegg vil det være svært krevende å få et system basert på map-matching til å fungere optimalt i en tykklientløsning. Det er rimelig å anta at dersom man kunne identifisert en måte å behandle tynnklientdata med map-

matching i et baksystem, ville dette vært verdt å undersøke videre. Det er noen fundamentale forskjeller i å beregne distanse fra ren GNSS eller ved bruk av map-matching, men basert på denne rapporten syns følgende å kunne anbefales:

- **I en tykklientløsning** synes rene GNSS løsningen å være den tryggeste implementeringen. Dette fordrer gode interne algoritmer for filtrering av usikre observasjoner, et godt system for hurtig GNSS-fix, gode rutiner der brukere kan sjekke sine egne data, flagging av turer som virker urealistiske, stabile og robuste utstyrsett, og så videre. I tillegg må det inkluderes eksterne sjekker av utstyret, det vil si via kommunikasjon med vegkantutstyr, samt med fordel også kontroll mot andre kilder for posisjonering, som data fra OEM, mobilselskaper eller lignende. I gjennomsnitt vil vegprising basert på ren GNSS data i en tykklient fungere svært bra, den store utfordringene er å minimere antallet og effekten av de tilfellene der GNSS vil gi store negative utslag for brukeren på grunn av feilregistreringer, usikkerhet osv. En tykklientløsning basert på map-matching virker på dette tidspunktet utfordrerne å få implementert. Man er i stor grad avhengig av et oppdatert vegnett, og det vil ytterligere øke kompleksiteten om man skal flytte disse beregningene ut i kjøretøyet.
- **I en tynnklientløsning** synes et system basert på map-matching å være mer reelt. Her har man større mulighet til å kjøre mer avanserte algoritmer, drive videreutvikling av algoritmer, samt større grad av kontroll med dataene. Man kan f.eks. se for et baksystem der mistenkelige turer flagges til videre kontroll, f.eks. differansen mellom vegnetts-basert og ren GNSS distanseberegninger. Ved å plassere map-matchingen i et baksystem kan man i tillegg utvikle rutiner for å oppdage avvik i vegnettet, og ha en kortere prosess for feilretting, og i klagesaker. Det vil allikevel kreve betydelige ressurser for datalagring og behandling av et slikt datasett, i tillegg til at store utfordringer med personvernet må løses i en slik implementering.

En GNSS basert løsning for vegprising er mulig å implementere med dagens teknologi, men man skal være klar over dens utfordringer og designe systemet deretter. I tillegg virker det som aksepten og forståelsen for en slik løsning er til stede hos trafikantene.

7 Referanser

Arnesen, P., Seter, H., Foss, T., Dahl, E., Lillestøl, P. J., Jenssen, G. (2020) Geofencing for smart urban mobility. Summarizing the main findings of work package 2 and 3. SINTEF report, ISBN: 978-82-14-06852-8.

Arnesen, P., Seter, H., Tveit, Ø., Bjerke, M. M. (2021). Geofencing to Enable Differentiated Road User Charging. Transportation Research Board: Transportation research record.

Arnesen, P., & Hjelkrem, O. A. (2018). An estimator for traffic breakdown probability based on classification of transitional breakdown events. Transportation Science, 52(3), 593-602.

Bolsø, I. og Østgaard. (2022). Mijøpakken undersøkelse. Rapport - Sentio Research Norge.

Börjesson, M. og Kristoffersson, I. (2017). The Swedish Congestion Charges: Ten Years on: -and effects of increasing charging levels. Working papers in Transport Economics 2017:2, CTS - Centre for Transport Studies, Stockholm (KTH og VTI).

KVU (2022) Konseptvalgutredning for framtidig ordning for veibruksavgift og bompenger. URL: <https://www.vegvesen.no/nn/fag/trafikk/utredning-om-veibruksavgift-og-bompenger/>

Lykkja, O.M. (2021) GeoFlow – Communications Architecture. Project note, Q-Free.

Prosam (2019). Holdningsundersøkelse om bomring, trafikk og kollektivtilbud i Oslo og Akershus 1989-2019. Prosam rapport Nr 237. URL: <https://www.prosam.org/index.php?page=report&nr=237>

Rogers, E.M. (2003) Diffusion of Innovations (5th ed.), Free Press, New York.

Seter, H., Hansen, L., & Arnesen, P. (2021). Comparing user acceptance of integrated and retrofit driver assistance systems—A real-traffic study. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 79, 139-156.

Skatteetaten (2022). Vedlegg: Interessentbaserte behov. KVU Veibruksavgift og bompenger.

SVV (2022) Statens vegvesen - Vegprising – et alternativ til bompenger. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=qdDkxMNU6uk>

SVV (2015). Statens vegvesen – Evaluering av Miljøpakke Trondheim. Om bruken av bompengemidlene samsvarer med nytteprinsippet. URL: <https://miljopakken.no/wp-content/uploads/2018/06/Rapport-rettferdighet-i-bomsystemet.pdf>

Teknologirådet (2022). Holdninger til ny transportteknologi. Rapport Teknologirådet. URL: <https://teknologiradet.no/publication/holdninger-til-ny-transportteknologi/>