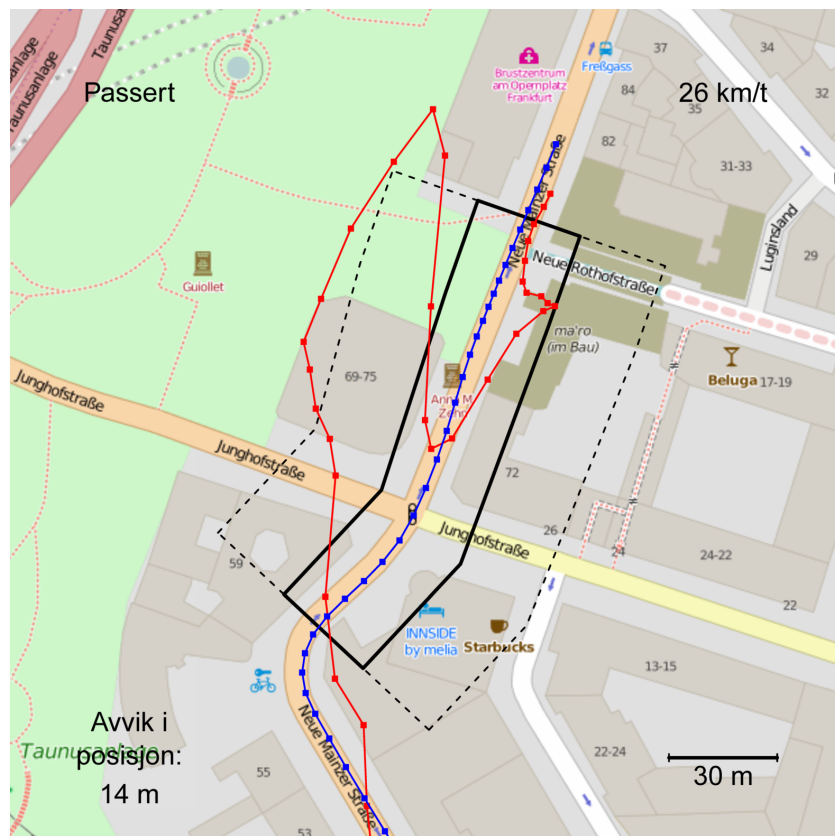


Teknologistatus GNSS

Utredning trafikantbetaling i revidert avtale Oslopakke 3 2016



Notatnr
Forfatter

SAMBA/12/17
Anders Løland

Dato

7. april 2017

Norsk Regnesentral

Norsk Regnesentral (NR) er en privat, uavhengig stiftelse som utfører oppdragsforskning for bedrifter og det offentlige i det norske og internasjonale markedet. NR ble etablert i 1952 og har kontorer i Kristen Nygaards hus ved Universitetet i Oslo. NR er et av Europas største miljøer innen anvendt statistisk-matematisk modellering og har et senter for forskningsdrevet innovasjon, Big Insight, med finansiering fra Norges forskningsråd, bedrifter og offentlige partnere. Innen statistikk jobbes det med et bredt spekter av problemstillinger, for eksempel finansiell risiko, jordobservasjon, estimering av fiskebestander, helse og beskrivelse av geologien i petroleumsreservoarer. NR er ledende i Norge innen utvalgte deler av informasjons- og kommunikasjonsteknologi. Innen IKT-området har NR innsatsområdene e-inkludering, informasjonssikkerhet og smarte informasjonssystemer.

NRs visjon er forskningsresultater som brukes og synes.

Tittel **Teknologistatus GNSS – Utredning trafikantbetaling i revidert avtale Oslopakke 3 2016**

Forfatter **Anders Løland** <Anders.Loland@nr.no>

Dato 7. april 2017

Publikasjonsnummer SAMBA/12/17

Sammendrag

GNSS («Global Navigation Satellite System») er et satellittnavigasjonssystem, som det amerikanske GPS, europeiske Galileo eller det russiske GLONASS, eventuelt en kombinasjon av disse. For veiprising er GNSS allerede tatt i bruk i mange land, men kun for lastebiler.

Denne rapporten oppsummerer arbeidet med status for GNSS-teknologi for veiprising, som i hovedsak ble utført i desember 2016 og januar 2017. Arbeidet er en del av prosjektet “Utredning trafikantbetaling i revidert avtale Oslopakke 3 2016”.

Emneord	Veiprising, akselerometer, gyroskop, satellittnavigasjon, radar, speedometer, odometer, smarttelefon, virtuell bomstasjon, virtuell sone
Målgruppe	Utredning trafikantbetaling i revidert avtale Oslopakke 3 2016
Tilgjengelighet	Åpen
Prosjekt	Trafikantbetaling
Prosjektnummer	220788
Satsningsområde	Teknologi, industri og forvaltning
Antall sider	19
© Copyright	Norsk Regnesentral

Innhold

1	Innledning	5
2	Om teknologien.	6
3	Veipricing ved hjelp av GNSS i ulike land	7
3.1	Tyskland, Belgia, Slovakia og Russland	7
3.2	Sveits	7
3.3	Nederland, Frankrike, Sverige.	8
3.4	Singapore.	8
4	Mulig GNSS-løsning basert på erfaringer fra SAVE-prosjektet	10
4.1	Smarttelefon?	11
5	Alternativer til GNSS	13
5.1	Odometer/trippteller eller speedometer	13
5.2	Radar	13
6	Virtuelle bomstasjoner – som et alternativ til dagens bomstasjoner.	14
7	Virtuelle soner – nødvendig for avstandsmåling og et alternativ til dagens bomstasjoner	15
8	Avstand	16
9	Personvern	18
10	Oppsummering	18
11	Referanser	19

1 Innledning

GNSS («Global Navigation Satellite System») er et satellittnavigasjonssystem, som det amerikanske GPS, europeiske Galileo eller det russiske GLONASS, eventuelt en kombinasjon av disse. For veiprising er GNSS allerede tatt i bruk i mange land, men kun for lastebiler.

I perioden 2011-2015 deltok Norsk Regnesentral i BIA-prosjektet SAVE («Satellittbasert posisjonering for effektiv veiprising»), sammen med NMBU, NTNU, SINTEF IKT og Q-Free. BIA står for «Brukerstyrt innovasjonsarena» og prosjektet var delvis finansiert av Forskningsrådet. Norsk Regnesentral utviklet algoritmer for veiprising basert på 1) virtuelle bomstasjoner, 2) virtuelle soner og 3) avstandsberegning. Flere av disse metodene ble patentert (i hovedsak tre ulike patenter, [1-3]). Algoritmene ble testet og utviklet på et omfattende datamateriale, både fra relativt enkle, landlige omgivelser og til dels svært utfordrende, bymessige strøk (blant annet Oslo, Trondheim og Frankfurt). Noen av erfaringene og resultatene som blir presentert i det følgende stammer fra SAVE-prosjektet.

GNSS-feltet er i stadig utvikling og denne oversikten er ikke uttømmende.

2 Om teknologien

Mens GNSS-teknologi tidligere var dyrt og uhensiktsmessig for mange anvendelser er GNSS nå blant annet takket være populariteten til smarttelefoner blitt tilgjengelig for de fleste til en overkommelig pris. GNSS gjør det mulig for en mottaker å fastsette egen posisjon med stor nøyaktighet overalt i verden. GNSS-teknologien fungerer bra i åpent landskap, hvor det er mer eller mindre fri sikt til navigasjonssatellittene. I bymessige strøk, for eksempel hvis GNSS-mottakeren er omgitt av store kjøretøyer eller høye bygninger, kan imidlertid posisjonsfeilen være til dels svært stor, som illustrert i figur 1.



Figur 1. Kilde: SAVE-prosjektet. Registrerte posisjoner fra en GNSS-brikke i vinduet på et kjøretøy (over) etter 12 runder i sentrum av Oslo (med sann posisjon og trasé under).

Dagens standardløsninger kombinerer GPS-systemet og GLONASS. Etter hvert som Galileo blir operativ, vil det komme databrikker på markedet som kombinerer disse tre systemene og eventuelt andre systemer, for eksempel det kinesiske BeiDou. I praksis gir det helt klart økt ytelse å kombinere disse ulike systemene, særlig i bymessige strøk.

3 Veipricing ved hjelp av GNSS i ulike land

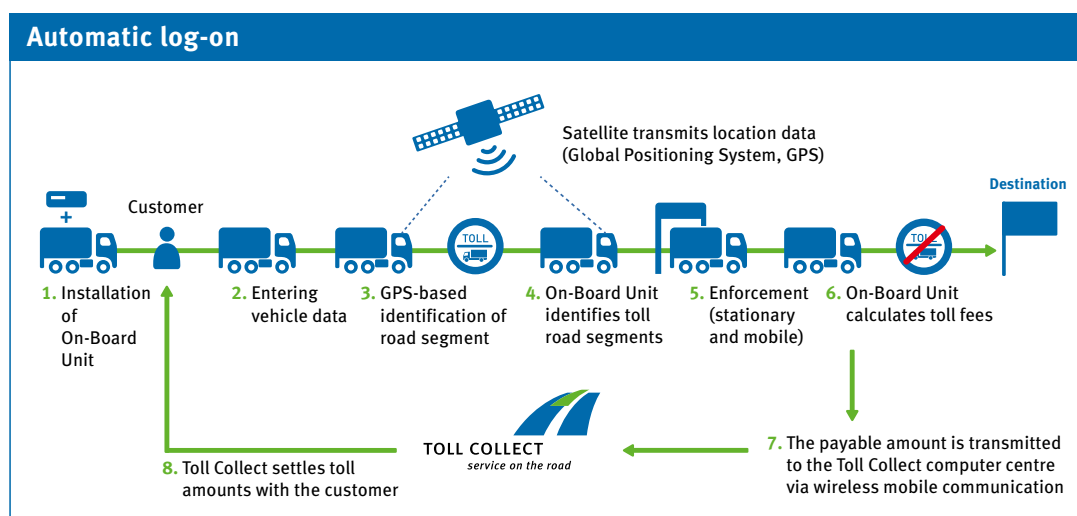
I det følgende går vi kort gjennom statusen i en del land. Det kan finnes land som bruker eller planlegger å bruke GNSS-veipricing som ikke er nevnt her.

3.1 Tyskland, Belgia, Slovakia og Russland

GNSS er allerede tatt i bruk i flere land. De fleste løsningene har dette til felles:

- Veipricingen gjelder kun for tyngre kjøretøyer/lastebiler. I noen land gjelder det alle kjøretøyer over 3,5 tonn.
- GNSS-enheten (OBU – «On Board Unit») er relativt stor og dermed uhensiktsmessig for en personbil.
- Pricingen er strengt tatt ikke avstandsbasert, men segmentbasert. Det er teknologisk enklere å detektere segmenter. Løsningen innebærer at dersom systemet vet (eller regner det som sannsynlig) at kjøretøyet har passert et virtuelt segment/punkt A og B, er avstanden mellom disse kjent og en kan ta betalt for å kjøre fra A til B. Utformingen av robuste virtuelle segmenter kan imidlertid være en manuell og tidkrevende prosess.

Løsningen i Tyskland [4] er illustrert i figur 2.



Figur 2. Kilde: https://www.toll-collect.de/en/toll_collect/service/download_center_1/downloadcenter.html

3.2 Sveits

Systemet i Sveits ligner på det tyske ved at det gjelder for tyngre kjøretøyer, men det er ikke segmentbasert. OBU-en inneholder også her en GPS-brikke, men er i tillegg koblet til kjøretøyet tachograf (også kalt fartsskriver), som registrerer hastigheter og dermed avstand for et kjøretøy mens det beveger seg [5]. (En tachograf er ikke det samme som

et speedometer.) Ved å kombinere GPS-informasjonen med tachografen, kan en luke ut noen typer forsøk på juks og tekniske problemer med et av systemene. Tidligere har avstanden blitt beregnet i OBU-en, men i Sveits' nyeste system blir GNSS-posisjonene overført til en sentral for prosessering og beregning av avgifter.

3.3 Nederland, Frankrike, Sverige

Nederland har utredet en GNSS-basert sone- og avstandsavgift, men prosjektet ble lagt på is i 2009/2010 på grunn av en regjeringsskisse.

Frankrike skulle innføre et system som ligner på det tyske rundt 2014, men på grunn av store protester har det blitt utsatt eller skrinlagt.

Sverige utreder for tiden et avstandsbasert avgiftssystem (en veislitasjeavgift) for tyngre kjøretøyer. Utredningen skal være klar i løpet av februar 2017.

3.4 Singapore

Singapore planlegger det første avstandsbaserte veiavgiftssystemet som inkluderer personbiler. Som med mange av de kommersielle løsningene, er både kravene fra myndighetene (Land Transport Authority – LTA) og løsningen til leverandøren, NCS Pte Ltd og Mitsubishi Heavy Industries Engine System Asia Pte Ltd, hemmelige. Av pressemeldingen fra februar 2016 [6] kan vi imidlertid lese at

“The consortium will develop the next-generation ERP system based on Global Navigation Satellite System (GNSS) Technology [...] A new On-Board Unit (OBU) will replace the existing In-Vehicle Unit (IU), which can also be used to deliver additional services to motorists. For example, LTA will be able to disseminate traffic advisories through the OBU. The OBU can also be used to pay for parking, checkpoint tolls, and usage of off-peak cars electronically.”

Det skal med andre ord utvikles en GNSS-basert OBU som kan få plass i en vanlig bil, og myndighetene i Singapore har etter flere runder med tester konkludert med at kvaliteten vil bli god nok. Systemet skal fases inn fra 2020.

En artikkel fra 2013 i Mitsubishi Heavy Industries' eget magasin [9], viser noen testresultater av et GNSS-system for veiprisering i Singapore. Artikkelforfatterne jobber stort sett i LTA (altså transportmyndighetene i Singapore som står bak pressemeldingen [6]) og Mitsubishi Heavy Industries (som er en av leverandørene av den nye løsningen). Det er derfor grunn til å tro at Singapores planlagte GNSS-system bygger på erfaringene beskrevet i [9]. Kort oppsummert inneholder deres GNSS-system følgende ingredienser:

- En dedikert OBU med akselerometer og gyroskop.
- En løsning for å avgjøre om bilen står stille.
- Et system for å avgjøre om noen prøver å jukse.
- Karttilpasning for å minimere konsekvensen av store posisjonsfeil.
- Hjelpestasjoner som angir en posisjon for å hjelpe OBU-en på steder med spesielt

store posisjonsfeil eller der hvor systemet er ekstra følsomt for posisjonsfeil.

- Prediksjon av passeringstidspunkt (for eksempel passering av en virtuell bomstasjon), for å gi inntrykk av at løsningen er raskere enn den egentlig er.

Som i SAVE-prosjektet er det gjennomført tester under varierende, bymessige forhold. Artikkelforfatterne skriver at «charging and indication could mostly be done within +/- 12.5 m from the charging point». Hva «mostly» betyr og hvor ofte «mostly» ikke inntreffer sies det ikke noe om. Videre skriver de at «The evaluation of the charge levy yielded consistent results due to map matching». Heller ikke «consistent» er definert eller utbrodert på noen måte. Det er derfor vanskelig å vite hvor godt systemet egentlig fungerer.

4 Mulig GNSS-løsning basert på erfaringer fra SAVE-prosjektet

Bombrikkene i dagens norske AutoPASS-system er svært effektive og batteriet varer med normal bruk i flere år. En GNSS-bombrikke bør støtte dagens system, noe som også hjelper til å kunne oppdage eventuelle forsøk på juks.

Det er ikke realistisk å kunne lage en GNSS-bombrikke som ikke trenger ekstern strømforsyning. Derfor må en GNSS-bombrikke kobles for eksempel til sigaretteneren, en usb-kontakt eller annen strømforsyning i kjøretøyet. En GNSS-bombrikke kan monteres i frontruta som anbefalt for dagens bombrikker.

GNSS-bombrikken bør dessuten utstyres med akselerometer og gyroskop, som kan understøtte satellittnavigasjon når satellittdekningen er dårlig, noe som kan være spesielt nyttig i tunneller. Dessuten må GNSS-bombrikken kunne kommunisere over mobilnettet for å overføre informasjon om avgiftsbelagte tollpasseringer eller avgiftsbelagt avstand. Dette kan skje så ofte eller sjelden eieren av systemet ønsker.

Beregning av avgiftsbelagte tollpasseringer eller avgiftsbelagt avstand kan skje på to måter:

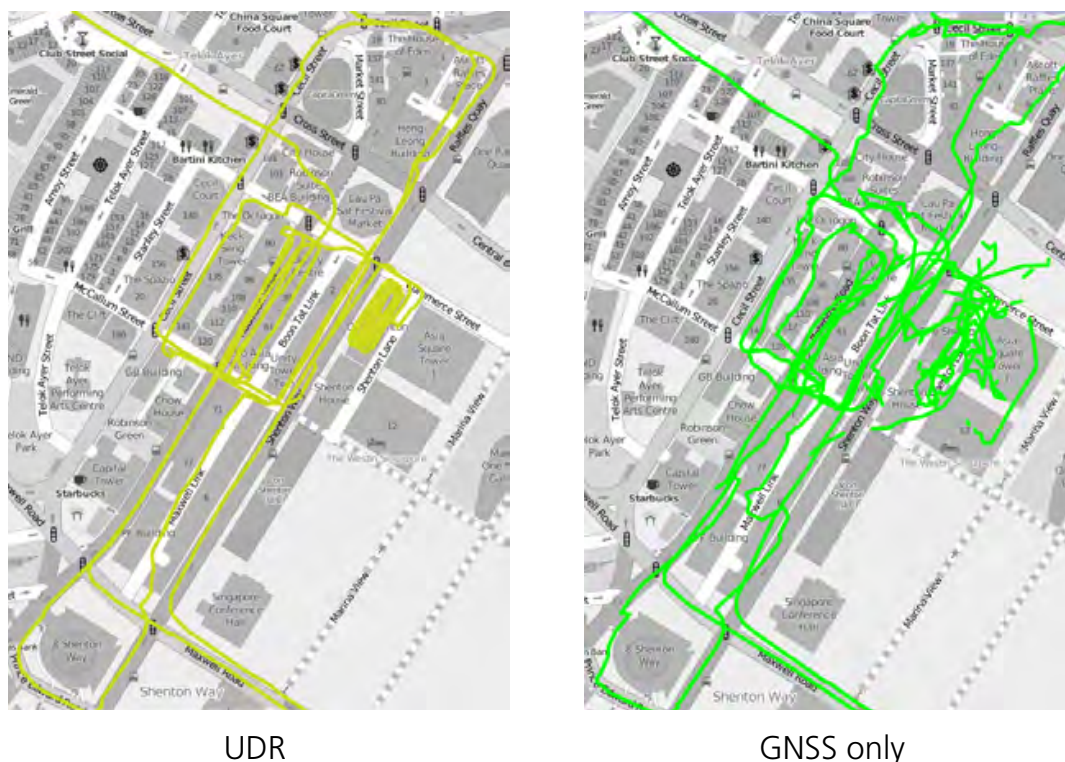
1. Sentral prosessering, ved at rådata (målte posisjoner med mer) overføres trådløst fra GNSS-bombrikken.
2. Prosessering i GNSS-bombrikken, og informasjon om avgiftsbelagte tollpasseringer eller avgiftsbelagt avstand som overføres til en sentral. I dette tilfellet bør bombrikken ha prosesseringskraft på linje med en smarttelefon.

Da posisjonsfeilen fra et GNSS-system kan være stor, benytter vanlig navigasjonsprogramvare, som for eksempel Google Maps som er tilgjengelig på smarttelefoner, såkalt karttilpassing. Det skjer ved at den målte posisjonen dras til nærmeste vei. En slik løsning gir inntrykk av at posisjonsfeilen er mindre enn den faktisk er. I bymessige strøk kan imidlertid resultatet bli at posisjonen dras til feil vei (eller at kjøretøyet ikke kjører på en vei). Det er dessuten krevende å ha et kart som er oppdatert til enhver tid i alle GNSS-enheter. Derfor konkluderte SAVE-prosjektet med at det er enklere og mer robust å klare seg uten kart.

Siden SAVE-prosjektet ble avsluttet, har GNSS-brikke-produsenten u-blox kommet med en lovende løsning [8] hvor satellittnavigasjonen, akselerometeret og gyroskopet er tettere integrert enn det som har vært vanlig tidligere. Resultatet ser fra [8] ut til å gi:

- Færre problemer med kaldstart (for eksempel posisjonsfeil dersom et kjøretøy kjører ut av et parkeringshus).
- Bedre ytelse ved dårlig eller ingen satellittdekning, som i tunneller.
- Bedre grunnlag for å avgjøre om kjøretøyet står stille eller ikke.

Dette er illustrert med et eksempel fra sentrum i Singapore i figur 3.



Figur 3. Kilde: u-blox [8]. Til høyre: posisjoner som er funnet kun ved hjelp av satellittnavigasjon (trolig en kombinasjon av GPS og GLONASS). Til venstre: forbedrede posisjoner.

Det er åpenbart at den nye løsningen kan være svært nyttig i bymessige strøk, men heller ikke denne nye løsningen fra u-blox er feilfri. Mange av metodene utviklet i SAVE-prosjektet er ekstra robuste nettopp for å ta hensyn til målinger som i figuren til høyre. Med et forbehold om at vi ikke har undersøkt u-blox' nye løsning i detalj, vil vi tro at kombinasjonen av bedre målinger med robuste metoder vil gi enda bedre resultater enn det som har vært mulig tidligere.

4.1 Smarttelefon?

En moderne smarttelefon inneholder satellittnavigasjon (vanligvis GPS og gjerne GLONASS), akselerometer og gyroskop, og er derfor et GNSS-apparat som i prinsippet kan brukes på linje med løsningen beskrevet over. Eksperimenter fra SAVE-prosjektet [7] tyder på at ytelsen kan være sammenlignbar med en dedikert OBU-enhet. En kan da tenke seg å lage en egen app som for eksempel rapporterer hvor langt et kjøretøy har kjørt i en viss periode innenfor et avgiftsbelagt område. Et slikt smarttelefon-basert system vil derfor kunne være både kostnadseffektivt og i praksis godt nok.

Samtidig er det er dessverre flere store utfordringer med å basere seg på smarttelefoner:

- En har ingen garanti for at eieren/brukeren av kjøretøyet har slått på smarttelefonen eller bruker appen til enhver tid.
- For at satellittnavigasjonen skal fungere godt, må smarttelefonen ha fri sikt til satel-

littene. Det oppnås kanskje best ved å legge telefonen ved frontruta. I praksis vil nok noen ha telefonen i lomma, i baksetet eller og med i hanskerommet. Det forringer posisjonskvaliteten betydelig.

- Det finnes en myriade av smarttelefoner og tilhørende operativsystem og programvare. Å lage en app som fungerer bra for alle disse vil i praksis være vanskelig.

5 Alternativer til GNSS

5.1 Odometer/trippteller eller speedometer

I SAVE-prosjektet ble bruk av odometret for å måle tilbakelagt avstand undersøkt, og det ble konkludert med at en GNSS-beregnet avstand oftest er å foretrekke. Forskjellen mellom faktisk og odometermålt avstand kan utgjøre flere prosentpoeng, og avhenger av bilprodusenten, biltypen, valg av dekkstørrelse, trykk, med mer. Society of Automotive Engineers (SAE) anbefaler at feilen er innenfor ± 4 %. Noen bilprodusenter garanterer at feilen ligger mellom -1 % til $3,75$ %.

Krav til speedometre er regulert, og i EU er kravet at hastigheten som vises aldri skal være under sann hastighet og aldri over 110 % av sann hastighet. På moderne biler måles hastigheten ganske nøyaktig internt, mens hastigheten som speedometeret viser er justert for å oppfylle krav og reguleringer. Speedometeret er på samme måte som odometret følsomt for dekkstørrelse og trykk.

Selv om en skulle mene at et odometer (eller et speedometer) gir gode nok avstandsmålinger, er det allikevel ikke rett frem å få tak i slike målinger. For å få avlest odometerdata, må en koble seg til den såkalte OBD-porten, som de aller fleste biler er utstyrt med. Denne porten brukes imidlertid av og til til andre formål, som elektronisk kjørebok.

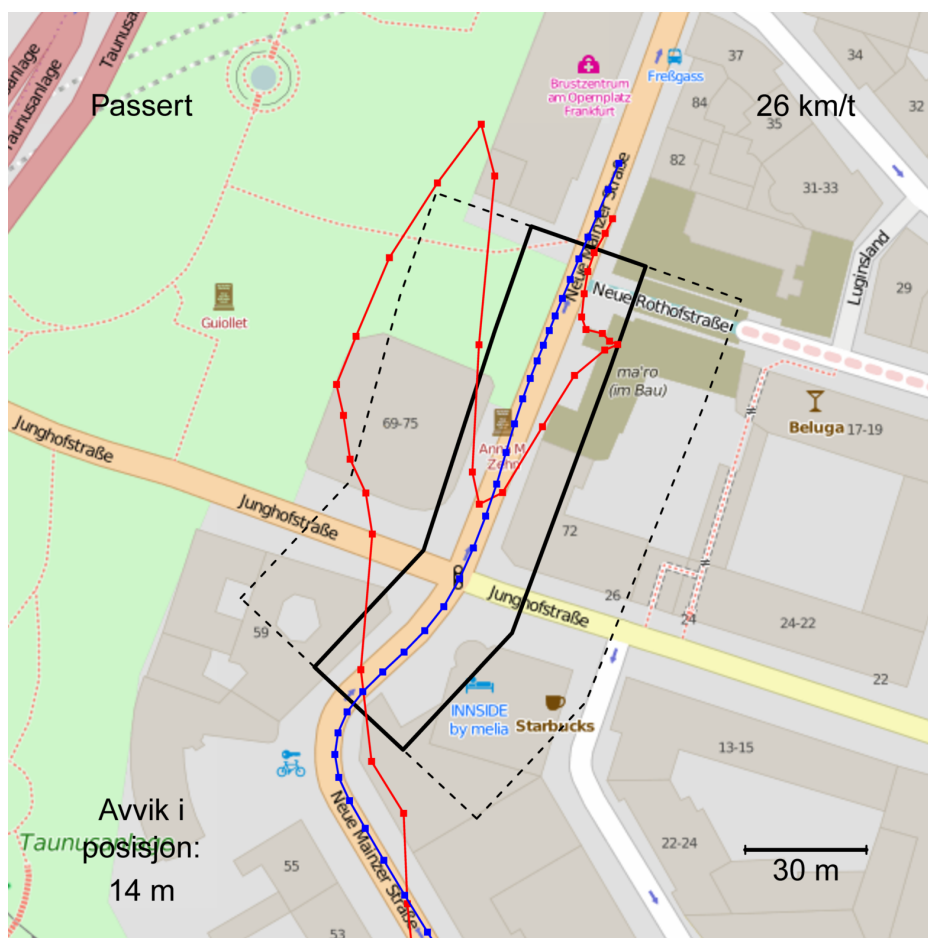
Selv med avstandsmålinger fra odometret må en ha et system for å avgjøre hvor det skal tas betalt per kjørte kilometer. Dagens bompengestasjoner med eventuelle nye stasjoner kan brukes til dette. Et GNSS-system vil være mer fleksibelt, ved at nye virtuelle soner relativt enkelt kan defineres.

5.2 Radar

En rimelig radarsensor montert på kjøretøyet kan måle hastighet og dermed avstand. Eksperimenter fra SAVE-prosjektet, viser imidlertid at en radarløsning gir altfor store feil ved lave hastigheter. En radar kan for eksempel ikke avgjøre om kjøretøyet står stille.

6 Virtuelle bomstasjoner – som et alternativ til dagens bomstasjoner

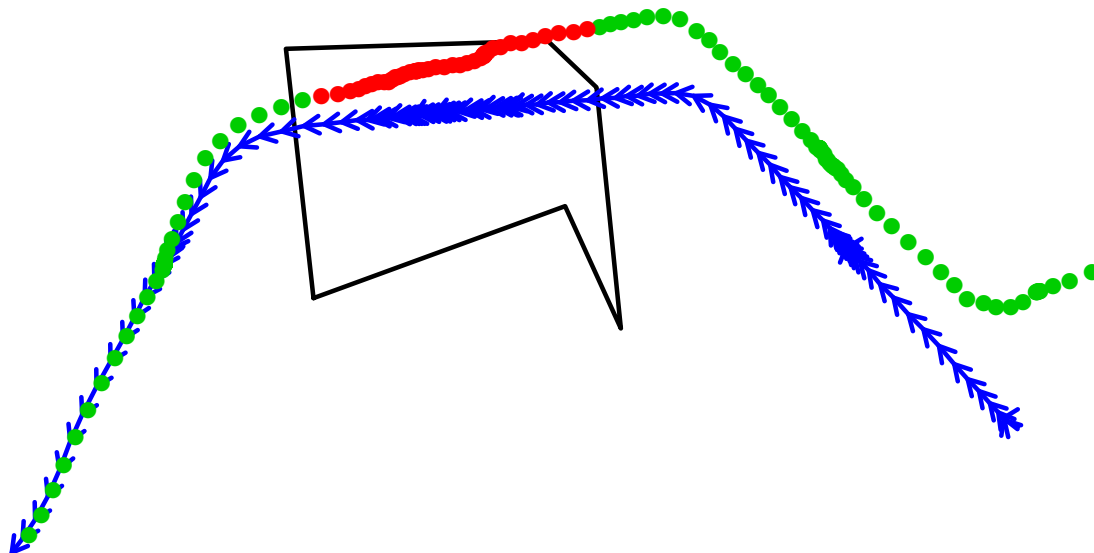
De fleste av dagens bomstasjoner kan byttes ut med såkalte virtuelle bomstasjoner. En virtuell bomstasjon trenger strengt tatt bare å være definert ved en passeringslinje vinkelrett på veien med en tilhørende passeringsretning. I praksis må det utformes en toleranseregion som definerer veien og omgivelsene. I SAVE-prosjektet ble det utviklet og testet metoder for å bestemme om et kjøretøy har passert en virtuell bomstasjon [1]. Analyser av hundrevis av timer med data fra virkelige kjøring viser at sjansen for feilregistreringer er svært lav, men dette er blant annet avhengig av hvor en slik virtuell bomstasjon plasseres. Se figur 4 for et eksempel på hvor krevende det kan være.



Figur 4. Kilde: SAVE-prosjektet. Eksempelen over viser en virtuell bomstasjon plassert i sentrum av Frankfurt, Tyskland. I SAVE-prosjektet ble det samlet inn timevis med data fra en bil påmontert mange ulike GNSS-brikker, samt kostbart referanseutstyr for å få en pålitelig posisjonsfasit å kunne sammenligne med. Den blå streken viser faktiske posisjoner, mens den røde streken viser målte posisjoner med en GNSS-bombrikke. Den virtuelle bomstasjonen er her omgitt av høye bygninger, som skaper problemer for signalene fra navigasjonssatellittene. På det verste var posisjonsfeilen i dette eksempelet over 100 meter, men det ble allikevel korrekt avdekket at kjøretøyet hadde passert. Uten en robust metode for å beslutte om kjøretøyet har passert eller ikke, er det ikke mulig å lage et pålitelig bompasseringsystem i slike bymessige strøk.

7 Virtuelle soner – nødvendig for avstandsmåling og et alternativ til dagens bomstasjoner

Dagens bompengestasjoner i Oslo kan i prinsippet erstattes av virtuelle bomstasjoner. En alternativ løsning er å bruke virtuelle soner og detektører når et kjøretøy kjører inn eller ut av en eller flere slike soner. En slik sone er illustrert i figur 5.

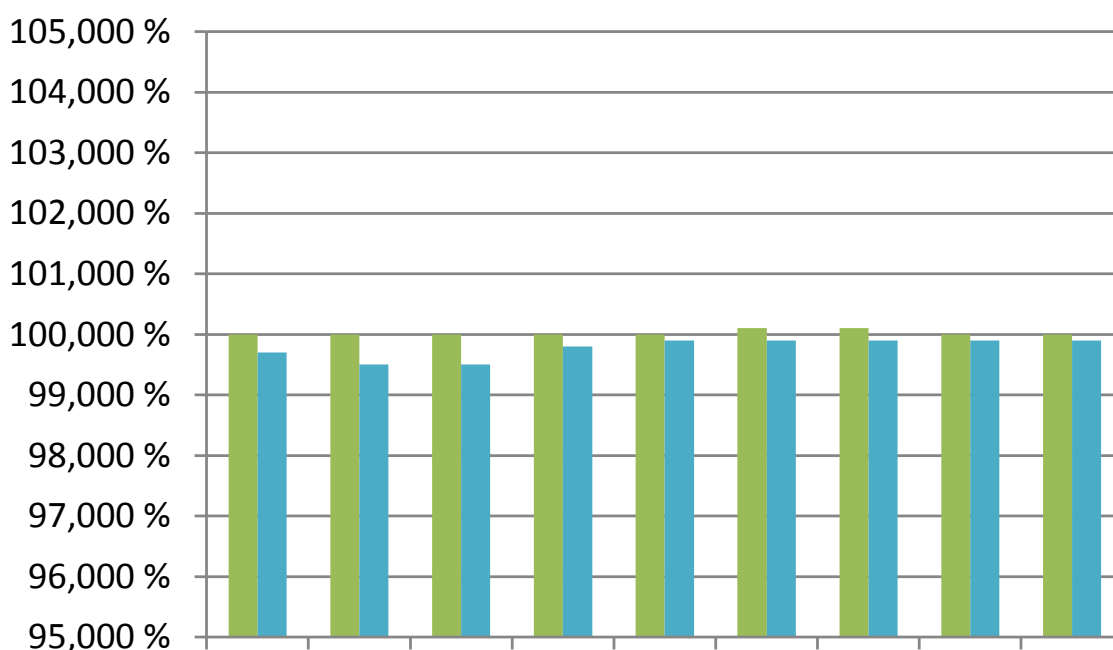


Figur 5. Kilde: SAVE-prosjektet. Den svarte linjen definerer her en (veldig liten) sone i sentrum av Oslo. Den blå linjen representerer den sanne posisjonen til kjøretøyet. De grønne og røde prikkene representerer den målte posisjonen. De røde prikkene tilsvarer posisjoner hvor kjøretøyet faktisk er innenfor sonen. I dette tilfellet klarte metoden utviklet i SAVE-prosjektet å korrekt bestemme når kjøretøyet kjørte inn og ut av sonen, se blant annet [2]. Erfaringene fra SAVE-prosjektet viser at sone-metodikken er robust og fungerer meget bra også i bymessige strøk, noe som ble testet i Trondheim, Oslo og Frankfurt. Ved store posisjonsfeil kan en imidlertid oppleve at tidspunktet for deteksjon av passering av en sone blir noen få sekunder feil.

8 Avstand

Ved hjelp av virtuelle soner (eventuelt virtuelle bomstasjoner) er det mulig å definere et område hvor det skal betales en avgift per kjørte kilometer. Siden posisjonsfeilen kan være stor i bymessige strøk, vil en som regel overestimere faktisk avstand dersom en trekker en rett linje mellom alle observerte posisjoner. I SAVE-prosjektet ble det utviklet en mer robust metode for å beregne avstand, hvor det legges mindre vekt på avvikende posisjoner. Denne robuste metoden vil underestimere sann avstand noe, noe som er bedre enn å overestimere avstanden. For å sikre at en ikke tar for mye betalt, kan en i tillegg eventuelt legge inn en sikkerhetsmargin på for eksempel 1 % av beregnet avstand.

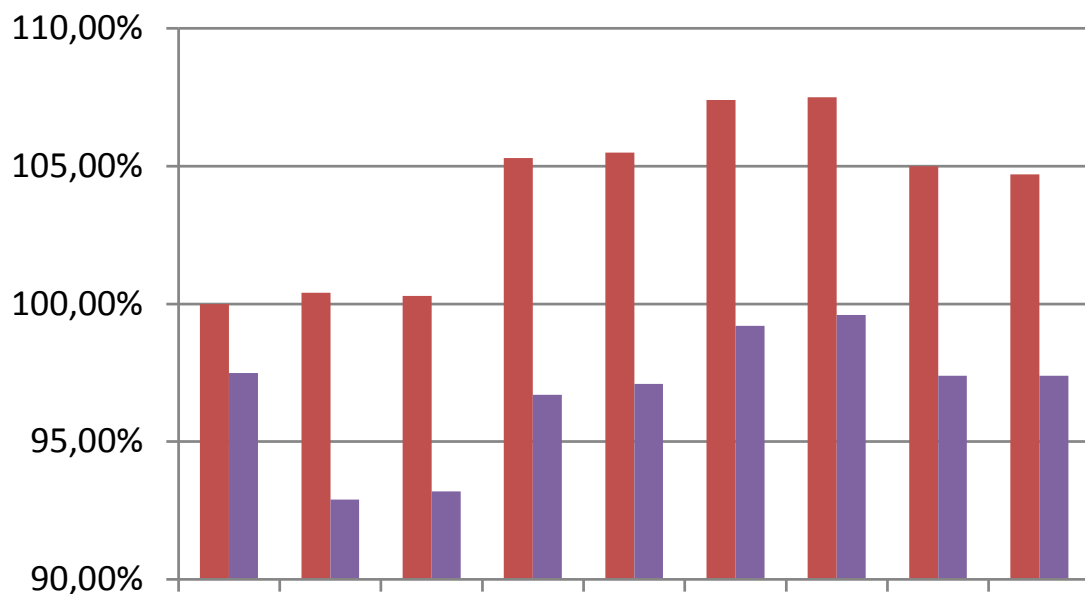
For å illustrere hvor gode disse avstandsanslagene vil vi i det følgende gå gjennom noen eksempler fra SAVE-prosjektet fra tysk motorvei (figur 6) og Frankfurt sentrum (figur 7).



Figur 6. Kilde: SAVE-prosjektet. Figuren viser resultater fra en kjøretur på 80 km langs tyske motorveier. Hvert par av søyler representerer en GNSS-brikke med noe ulik innmat og plassering i kjøretøyets frontrute. GNSS-brikken helt til venstre er referansesystemet (100 % tilsvarer helt korrekt avstand). Grønn: avstand fra opprinnelige observasjoner. Turkis: robust avstandsmetode anvendt på de samme observasjonene.

I åpent landskap, som langs en typisk motorvei, vil de aller fleste GNSS-løsninger fungere bra. Det er noe variasjon mellom de ulike brikkene, men den er ikke stor. Det er heller ikke stor forskjell på å bruke den robuste avstandsmetoden eller ikke.

En storby som Frankfurt er utfordrende for de fleste rimelige GNSS-løsninger. Bortsett fra for referansesystemet, overestimeres avstanden av alle GNSS-brikkene, og sjansen for det øker dessuten jo kortere avstand som er tilbakelagt. Variasjonen er her stor mellom de ulike GNSS-brikkene, som både kommer av kvaliteten på innmaten og plasseringen i frontruten. Den robuste avstandsmetoden sikrer her at en ikke overestimerer tilbakelagt



Figur 7. Kilde: SAVE-prosjektet. Figuren viser resultater fra en kjøretur på 50 km i sentrum av Frankfurt. Hvert par av søyler representerer en GNSS-brikke med noe ulik innmat og plassering i kjøretøyets frontrute. GNSS-brikken helt til venstre er referansesystemet (100 % tilsvarer helt korrekt avstand). Rød: avstand fra opprinnelige observasjoner. Lilla: robust avstandsmetode anvendt på de samme observasjonene.

avstand.

Uten å ha hatt mulighet til å undersøke det, forventer vi at blant annet u-blox sin nye løsning [8] ville hatt signifikant bedre ytelse i dette eksempelet fra Frankfurt.

I SAVE-prosjektet ble det gjennomført tilsvarende avstandseksperimenter i blant annet Trondheim og Oslo. Tendensen er den samme der, men muligheten for GNSS-posisjonsfeil er generelt mye større i Frankfurt enn i Trondheim og Oslo. Vi har derfor ikke tatt med resultater fra Trondheim eller Oslo her.

9 Personvern

I et GNSS-basert system har kjøretøyet installert en bombrikke som registrerer posisjon, behandler denne og deretter sender informasjon om tollpasseringer eller avstander trådløst til en sentral. Der beregnes eventuelle avgifter basert på mottatte passeringsdata. Det er ikke nødvendig at bombrikken overfører posisjonene til sentralen, med mindre kunden skulle ønske dette for etterprøvbarehet. Det er kun passeringene eller avstandene som må overføres. Derfor kan en GNSS-løsning lages slik at den ikke gir mer sporbare data enn dagens AutoPASS-system.

10 Oppsummering

Det er teknologisk mulig å lage en GNSS-bombrikke som kan brukes til veipricing i Oslo. En kommer ikke utenom at en slik bombrikke trenger ekstern strømforsyning. Som et alternativ til GNSS, kan en koble seg til bilens odometer eller speedometer, men det er ikke et fullgodt alternativ og har tekniske utfordringer.

Selv om vi mener at GNSS-teknologien er moden for veipricing i Oslo, gjenstår det en kommersialiseringsfase og ingen systemer er helt feilfrie. Dersom en vil innføre avstandsbasert veipricing, er det mulig å sikre at den avstanden en tar betalt for med høy sannsynlighet ligger noe under den sanne avstanden. Eventuelle personvernutfordringer kan nokså enkelt begrenses.

11 Referanser

- [1] Lykkja, Ola Martin; Bolstad, Hans Christian; Løland, Anders; Huseby, Ragnar Bang: «Deteksjon av virtuelle bomstasjoner i et GNSS System». Patentnummer NO336504. Registrert 20.12.2013. Patentet er eid av Q-Free ASA
- [2] Lykkja, Ola Martin; Bolstad, Hans Christian; Løland, Anders; Huseby, Ragnar Bang: «Sonedeteksjon i et GNSS-system». Patentnummer NO336505. Registrert 20.12.2013. Patentet er eid av Q-Free ASA
- [3] Lykkja, Ola Martin; Storvik, Geir Olve; Gjevstad, Jon Glenn Omholt; Løland, Anders: «Påvisning av et avgiftsobjekt i et GNSS-system med partikkelfilter». Patentnummer NO337304. Registrert 03.06.2014. Patentet er eid av Q-Free ASA
- [4] Toll Collect. Om det tyske systemet.
https://www.toll-collect.de/en/toll_collect/service/fragen___antworten/allgemeines_1/allgemeines.html
- [5] Performance-Related Heavy Vehicle Charge. Federal Customs Administration FCA, Sveits
http://www.ezv.admin.ch/zollinfo_firmen/04020/04204/04208/04243/index.html?lang=en&download=NHZLpZeg7t,lnp6I0NTU04212Z61n1ad1IZn4Z2qZpn02Yuq2Z6gpJCDenx3e2ym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--
- [6] Tender awarded to develop next-generation electronic road pricing system. Pressemelding fra Land Transport Authority, Singapore. 25.02.2016
<https://www.lta.gov.sg/apps/news/page.aspx?c=2&id=0bd76988-3c70-4b1f-9b68-65bb7fb47d56>
- [7] Lykkja, Ola Martin; Løland, Anders; Huseby, Ragnar Bang: "Accuracy of Smartphones for GNSS Road User Charging". Paper number EU-TP0646. 23rd ITS World Congress, Melbourne, Australia, 10.-14. Oktober 2016
- [8] Bousquet, Florian: "How UDR technology is going to enable new business models and change existing ones for automotive applications". u-blox white paper. Februar 2016
- [9] Hiura, Ryota; Yamaguchi, Taizo; Mabuchi, Yoshihiro; Okazaki, Takuma; Iehara, Masato; Fukase, Takeshi: "System Evaluation Test of Global Navigation Satellite System-based Road Pricing System". Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 50 No 4., Desember 2013