



SINTEF

Kunnskapsstatus og brukerbehov for HyPos

Oppsummerte funn fra arbeidspakke 1

Forfattere:

Fagerholt, Randi A., Gunhild E. Berget, Anders Martin Solberg, Morten Taraldsten Brunes, Petter Arnesen og Hanne Seter

Rapportnummer:

2023:00149 - Åpen

Oppdragsgiver:

Kartverket

Kunnskapsstatus og brukerbehov for HyPos

Oppsummerte funn fra arbeidspakke 1

EMNEORD Preset posisjonsbestemmelse; hybrid posisjonstjeneste; distribuerte GNSS korreksjonsdata; posisjonsbestemmelse i mobilnettet; brukerbehov	VERSJON Versjon 1	DATO 2023-01-31
	FORFATTERE Fagerholt, Randi A., Gunhild E. Berget, Anders Martin Solberg, Morten Taraldsten Brunnes, Petter Arnesen og Hanne Seter	
	OPPDRAGSGIVER(E) Kartverket	OPPDRAGSGIVERS REFERANSE 331984
	PROSJEKTNUMMER 102027141-1	ANTALL SIDER OG VEDLEGG 47

SAMMENDRAG

Denne prosjektrapporten er en samling av resultater fra arbeidspakke 1 i HyPos-prosjektet, hvor det overordnede formålet er å utforske kombinasjonen av en ny teknologi for å distribuere GNSS korreksjoner og en ny og umoden teknologi med stort potensial: posisjonsbestemmelse i 5G mobilnett. Rapporten dokumenterer brukerbehov for en hybrid posisjonstjeneste med distribuerte GNSS korreksjoner og 5G (HyPos). Rapporten kartlegger brukerbehov hos mulige brukere, gir en gjennomgang av eksisterende litteratur, eksisterende distribusjonsmetoder og status på posisjonsbestemmelse i mobilnettet.

UTARBEIDET AV

Randi A. Fagerholt

KONTROLLERT AV

Per Johan Lillestøl

GODKJENT AV

Terje Reitaas

RAPPORT NR.

2023:00149

ISBN

978821407863

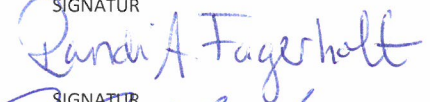
GRADERING

Åpen

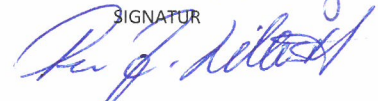
GRADERING DENNE SIDE

Åpen

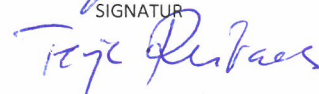
SIGNATUR



SIGNATUR



SIGNATUR





Forord

Denne rapporten er en samling av notatene som er utarbeidet i arbeidspakke 1, kalt Brukerbehov. Den beskriver brukerbehov for en hybrid posisjontjeneste. I tillegg gis en beskrivelse av dagens eksisterende teknikker for høypresisjon GNSS-korreksjoner i Norge, samt en gjennomgang av posisjonsbestemmelse i mobilnettet.

Målgruppen for rapporten er de som jobber med CCAM (Cooperative, Connected and Automated Mobility) og alle som er interessert i kjerneteknologien. Hensikten med rapporten er å legge grunnlag for å utvikle kunnskap, teste og utforske den hybride tjenesten for posisjonsbestemmelse (HyPos). Prosjektet er nært knyttet til utviklingen av fremtidens automatiserte transport og vi har intervjuet ulike brukergrupper som har behov for posisjonsbestemmelse av ulike kjøretøy og farkoster.

Rapporten er utarbeidet av Randi A. Fagerholt, Gunhild Berget, Petter Arnesen og Hanne Seter tilknyttet SINTEF Community, avdeling Mobilitet. Kapittel 3 om eksisterende metoder for distribusjon av GNSS-korreksjoner er utarbeidet av Anders Martin Solberg og Morten Taraldsten Brunes som er tilknyttet Kartverket. Per Lillestøl fra SINTEF har kvalitetssikret rapporten.

Trondheim, 31. januar 2023


Teje Reitaas

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1	2022-12-19	

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	7
2	Brukerbehov	9
2.1	Metode.....	9
2.2	Kartlegging av brukerbehov	10
2.2.1	Erfaring fra luftfart for helikopter.....	10
2.2.2	Erfaringer fra nødetat, representert av brann- og redningstjenesten	13
2.2.3	Erfaringer fra automatisert landbruk	15
2.2.4	Oppsummering av brukerbehov og refleksjoner rundt fremtidens behov	17
3	Eksisterende metoder for distribusjon av GNSS-korreksjoner	20
3.1	Grunnleggende GNSS-prinsipper	21
3.2	Feiltyper i GNSS og korreksjonsmetoder/-tjenester	22
3.2.1	RTK.....	23
3.2.2	Nettverks-RTK (NRTK).....	24
3.2.3	SSR: PPP	27
3.2.4	SSR: Hybridtjenester (PPP-AR, PPP-RTK)	27
3.2.5	SBAS	28
3.3	Generelt om distribusjonsmetoder	29
3.3.1	OSR (NRTK)	29
3.3.2	SSR	30
4	Posisjonsbestemmelse i mobilnettet.....	31
4.1	Mobile nettverk	31
4.2	Standardisering og utvikling av mobilnett	33
4.3	Posisjonsbestemmelse i mobilnettet.....	34
4.3.1	Grunnleggende prinsipper for posisjonsbestemmelse i mobilnettet.....	35
4.3.2	Eksisterende metoder.....	36
4.4	Posisjonsbestemmelse i 5G.....	38
4.4.1	Nye teknologier i 5G	38
4.4.2	Posisjonsbestemmelse i 5G NR.....	40
4.4.3	RTK GNSS	41
4.5	Fremtidens mobilnett	42
4.5.1	Innovasjon i mobilbransjen	42
5	Anbefalinger	44
6	Referanser	46

BILAG/VEDLEGG

Klikk eller trykk her for å skrive inn tekst.

1 Introduksjon

Nøyaktig posisjonsbestemmelse smelter sammen med andre kjerneteknologier og vil akselerere fremveksten av alt fra droner, avanserte anleggsmaskiner, robotgressklippere, og ikke minst fremtidens automatiserte transport. Disse må alle vite nøyaktig hvor de er i sanntid. Kartverket opererer allerede en tjeneste, CPOS, som tilbyr nøyaktig posisjonsbestemmelse, men tjenesten har imidlertid to store utfordringer når fremtidens behov skal møtes: 1) den kan ikke skaleres opp til et ubegrenset antall brukere, og 2) det er ikke mulig å tilby tjenesten overalt på grunn av svakheter ved GNSS. Dersom man skal realisere fremtidens automatiserte og digitaliserte samfunn må disse utfordringene løses. Den nye HyPos-tjenesten vil kunne skaleres til et massemarked. I tillegg til GNSS skal posisjonsbestemmelse med mobilnettet brukes som en supplerende kjerneteknologi for å oppnå tilstrekkelig nøyaktighet der GNSS ikke fungerer godt nok og øker redundans til tjenesten. Prosjektet undersøker også offentlig-privat samarbeid mellom de ulike aktørene, sammen med brukerbehov for tjenesten og forretnings- og forvaltningsmodeller for realisering av løsningen for posisjonsbestemmelse. Målet med prosjektet er derfor å utvikle en brukervennlig, redundant, nøyaktig og skalerbar posisjonstjeneste.

Det er ventet store endringer i transportsystemet i fremtiden, og CCAM (Cooperative, Connected, and Automated Mobility) er en viktig del av dette. Fremtidens transportsystem vil bestå av automatiserte kjøretøy med mulighet for kommunikasjon mellom kjøretøyene og omgivelsene rundt. Det er ventet at dette vil forbedre transportsystemet gjennom økt sikkerhet, effektivitet og reduserte utslipp (Galassi et al., 2018). For å oppnå dette er nøyaktig posisjonsbestemmelse essensielt som en av flere kjerneteknologier for kjøretøyene. Kravene til posisjonsbestemmelse innen fremtidens transportsystem avhenger av hvilket nivå av automatisert kjøring man snakker om. SAE International (Society of Automotive Engineers) har definert en skala som definerer forskjellige nivåer av automatisert kjøring (SAE International, 2021). De ulike nivåene er oppsummert i Figur 1 og går fra nivå 0 (ingen automatisering - føreren har ansvar for alle oppgaver) til nivå 5 (selvkjørende kjøretøy som fungerer under alle mulige forhold). De ulike nivåene vil ha ulike krav til posisjonsbestemmelse. I dag finnes det enda ikke kjøretøy som oppfyller kravene til nivå 5, og det er usikkert hvilke krav som settes til posisjonsbestemmelse for dette nivået av automatisert kjøring. Et kjøretøy på nivå 4 og 5 må først og fremst holde seg på veien, men også kunne skifte kjørefelt og gjøre korrekte svinger i kryss. Her vil det kreves en pålitelig posisjon over tid med desimeters nøyaktighet, men det er enda uavklart om den høye nøyaktigheten gjelder globalt (altså i et felles referansesystem, som HyPos-tjenesten vil utvikles for), eller kun lokalt, det vil si kjøretøyets nøyaktige plassering av omverden relativt til seg selv. Høy lokal nøyaktighet vil trolig senke behovet for høy nøyaktighet på global posisjon, men for eksempel ved høyt behov for koordinering og kommunikasjon mellom kjøretøyene vil behovet for et felles referansesystem være nødvendig. Dette komplekse forholdet mellom sensorteknologier, inkludert GNSS, for posisjonsbestemmelse og navigasjon, deres styrker og svakheter, kostnader etc. er et av de tekniske områdene innenfor CCAM med størst usikkerhet, men også med mye fokus.



	SAE LEVEL 0	SAE LEVEL 1	SAE LEVEL 2	SAE LEVEL 3	SAE LEVEL 4	SAE LEVEL 5
What does the human in the driver's seat have to do?	You are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You are not driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in "the driver's seat"		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	
What do these features do?	These are driver support features			These are automated driving features		
	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions	
Example Features	<ul style="list-style-type: none"> • automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering OR • adaptive cruise control 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering AND • adaptive cruise control at the same time 	<ul style="list-style-type: none"> • traffic jam chauffeur 	<ul style="list-style-type: none"> • local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed 	<ul style="list-style-type: none"> • same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

Figur 1: Oppsummering av SAE-nivåer (SAE International, 2021)

HyPos-tjenesten vil kunne være svært nyttig for automatiserte kjøretøy. Tilgjengelighet og robusthet er i denne forbindelse to stikkord. Automatiserte kjøretøy vil kreve at man kan stole på at innholdet fra sensorene de bruker er tilgjengelige, korrekte, og at de i siste instans makter å gi beskjed når de feiler eller ikke gir nøyaktig nok verdier. GNSS med korreksjoner er allerede brukt i bilindustrien, men problemer med posisjonsbestemmelse kan oppstå på strekninger uten GNSS-signal (f.eks. i tunneler, innendørs i parkeringshus eller i urbane strøk med tette bygninger). Her kan en hybrid løsning slik HyPos-tjenesten forslår, være en god strategi, sammen med bilens egne sensorer. I tillegg vil et system der det offentlige holder i korreksjonsstrømmen sikre tilgjengelighet for alle, og hvor man kan ha forutsigbarhet med tanke på endringer i tjenesten. Så i tillegg til at bilindustrien er et massivt marked for en slik tjeneste, og det er her essensielt at tjenesten er skalerbar til en stor mengde brukere, vil en offentlig datakilde for korreksjoner være av nasjonal interesse både med tanke på sikkerhet og tilgjengelighet.

Med dette som bakteppe trengs det kunnskap om behovene til brukerne til en slik hybrid tjeneste. Vi trenger også en kunnskapsoversikt over hvilke teknikker og teknologier som eksisterer i dag, og hva som kan komme i fremtiden. Denne rapporten er resultatet av arbeidet som er gjort i arbeidspakke 1 "Brukerbehov". Arbeidspakken har vært startpunktet for prosjektet og skal gi grunnlag for å utvikle kunnskap, teste og utforske den hybride tjenesten for posisjonsbestemmelse videre i de øvrige arbeidspakkene i prosjektet.

Rapporten inneholder tre temaer:

- 1) **Brukerbehov:** Her gir vi en presentasjon og analyse av dybdeintervjuer som ble gjennomført med mulige brukere av HyPos. Disse gir input til utvikling av tjenesten, brukerbehov samt hvilke muligheter og barrierer som finnes for tjenesten både teknisk og organisatorisk.

- 2) **Eksisterende distribusjonsmetoder for produksjon og distribusjon av høypresisjons GNSS-korreksjoner i Norge.** Her gis en oversikt over dagens eksisterende teknikker for sanntids GNSS-tjenester med høy presisjon i Norge, som innspill til arbeidet med brukerkrav i HyPos-prosjektet. Denne oversikten er ikke ment å være komplett, men forsøker å tegne det store bildet.
- 3) **Posisjonsbestemmelse i mobilnettet:** Dette kapitlet sier noe om fremtiden og her beskriver vi hvordan posisjonsbestemmelse skjer gjennom bruk av mobilnettet, samt gir en oversikt over de siste teknologiske utviklingene i tillegg til posisjonsbestemmelse i 5G mobilnett¹.

2 Brukerbehov

Utviklingen av prosjektets hybridtjeneste må ses i sammenheng med at den skal operere i et komplekst sosio-teknisk system. Man må optimalisere tjenesten både fra et teknologisk perspektiv og et samfunnsperspektiv (Milakis, 2019). Gjennom dybdeintervjuer av potensielle brukere av tjenesten ville vi forstå kravene og behovene som brukerne har for best mulig utforming og realisering av HyPos-tjenesten.

2.1 Metode

I den første fasen av arbeidet med å utforske brukerbehov startet prosjektgruppen med å diskutere hvilke aktører som kunne være mulige brukere av tjenesten, samt hvilke use case som kunne vært relevante å utforske. Flere kriterier var viktige i dette arbeidet. Blant annet måtte GNSS være kritisk og spille en sentral rolle for brukerne allerede i dag. Faktisk erfaring med teknologien var derfor viktig da vi bestemte oss for brukergrupper. Dette fordi oppfatning av teknologi endrer seg når man har erfaring med teknologien, og siden en hybrid tjeneste ikke eksisterer i dag er erfaring med GNSS det nærmeste man kommer og vil derfor gi de mest kvalifiserte meningene fra mulige brukere. Ofte vil brukerne bli mer positive til teknologi etter at de har erfart den, spesielt over litt tid, som sett for eksempel med elbil (Fevang et al., 2021) eller førerstøttesystemer (Lubkowski et al., 2021). Vi ville derfor spesielt intervjuer aktører med dybdekunnskap om posisjonsbestemmelse eller av nytten av posisjonsbestemmelse. I tillegg ønsket vi brukere som befant seg i kontekster hvor tjenestene kunne gi både nytte for brukerne i deres hverdag, men også stor samfunnsmessig nytte.

For å utforske og forstå hvilke behov mulige brukere av tjenesten har, ble det gjennomført semistrukturerte dybdeintervjuer av relevante både offentlig og private aktører; ambulerende luftfart, redningstjeneste innen luftfart, brann- og redningstjenesten samt aktører innen automatisert landbruk. Luftfart ble valgt fordi vi ønsket spesielt å undersøke erfaringsgrunlaget med GNSS og eventuelle bortfall av GNSS. Brann og rednings-tjenesten ble valgt ut spesielt for erfaringsgrunlaget med redning i tunell, en situasjon hvor man ikke har GNSS tilgjengelig. I tillegg intervjuet vi NIBIO Senter for presisjonslandbruk for erfaringer med posisjonsbestemmelse innen landbruket som representerer en næring der behovet for utstyr med mulighet for nøyaktig posisjonsbestemmelse er stort.

Vi utviklet en semistrukturert intervjuguide med noen hovedtemaer og spørsmål, blant annet bruk av GNSS, erfaringer med bortfall av GNSS, kritiske eksempler på behov for posisjonsbestemmelse, brukerbehov

¹ Deler av dette kapitlet er hentet fra et pågående notat om posisjonsbestemmelse i mobilnettet tilknyttet et prosjekt på oppdrag fra Statens Vegvesen.

(nøyaktighet, kontekst) og behov for tjenesten, samt fordeler og ulemper ved en slik ny tjeneste. Intervjuene ble tilpasset hver enkelt informant siden ekspertiseområdet og erfaringene til de ulike informantene varierte. Noen intervjuer hjalp oss også å lokalisere og rekruttere andre informanter som hadde relevante erfaringer med posisjonsbestemmelse. I tillegg til intervjuene har vi også brukt informasjon samlet inn i på workshops og møter.

2.2 Kartlegging av brukerbehov

Her presenteres erfaringer og brukerbehov for en ny posisjonstjeneste fra de fire brukergruppene: luftfart for helikopter, nødetat, landbruksnæringen og anleggsbransjen.

2.2.1 Erfaring fra luftfart for helikopter

For å forstå behovet for en slik tjeneste innen luftfart er det viktig å vite om hvordan utrykning av rednings- og luftambulanseoppdrag skjer. Systemene og måten utrykningen skjer er ikke identisk, derfor gis et kort sammendrag av slik utrykninger i Norsk Luftambulans (NLA) og for redningshelikoptrene i luftforsvaret.

For NLA er det LAAMK² som kaller ut luftambulansen. Det er fire sentraler i landet, Oslo, Bergen, Trondheim og Tromsø. Sentralen sitter med informasjon om hvor den forulykkede pasienten befinner seg, enten via en adresse, eller så finner LAAMK informasjon om posisjon gjennom 113-appen (AML³). De setter en markering i kartet som luftambulansen får opp i sitt kartsystem, TransMed. NLA tar også i bruk 113-appen hvis de har vanskeligheter med å finne pasienten, for eksempel turgåere:

"Den [113-appen] har vi veldig stor nytte av. Den bruker vi for så vidt også om bord, hvis det var unøyaktig eller av en eller annen grunn så stemte ikke posisjonen, så har vi muligheten til å spore dem på telefonen vår igjen hvis vi ringer opp fra egen"

Pilotene opplyser at det er svært krevende å visuelt se folk fra lufta, og at de får stor hjelp fra ulike virkemidler for å oppdage mennesker på bakken, enten gjennom appen, at AMK setter nøyaktige kartplottinger, eller at menneskene på bakken kan guide helikoptret via telefon fordi de hører helikoptret fra bakken og kan gi oppdaterte opplysninger og guiding.

For utrykning av redningshelikoptrene i luftforsvaret er oppdragene organisert noe annerledes. Her er det to hovedredningssentraler i landet, som forsyner henholdsvis den nordlige og den sørlige delen av landet. Ved ulykker eller andre hendelser som krever bistand eller støtte fra redningshelikopter, blir det sendt en forespørsel til hovedredningssentralen om lån av redningshelikopter. For hendelser på sjøen får ofte hovedredningssentralen direkte melding inn til seg, fra for eksempel båter i nød. De instansene som behøver bistand fra redningshelikoptret, f.eks. helse, brann, eller politi, bruker hovedredningssentralen som disponerer og sender ut ressurser. Da er det hovedredningssentralen har kontakt med AMK. Redningshelikoptrene har de samme utfordringene som NLA med å finne nøyaktig posisjon til menneskene som skal reddes, enten fordi de ikke klarer å forklare nøyaktig hvor de er, eller ikke klarer å lese av eller finne posisjonen via mobiltelefonen sin, eller at mobilen til de forulykkede har blitt tom for strøm. Det nevnes

² Luftambulans Akuttmedisinsk Kommunikasjonssentral

³ AML (Advanced Mobile Location) som gjør at mobiltelefoner ved nødansrop selv beregner og avgir sin posisjon til AMK.

imidlertid at redningstjenesten har tatt i bruk et nytt mobilsporingssystem som gjør at de kan lokalisere en mobiltelefon ved hjelp av utstyret om bord, men likevel er det utfordrende: "Det er en veldig stor utfordring å få nøyaktig posisjon på de vi skal redde".

Navigasjon med helikopter

Navigasjon med helikopter skjer i hovedsak på to måter: 1) man flyr visuelt uten virkemidler eller støtteteknologier, eller gjennom den mest vanlige metoden, 2) instrumentelle flyvninger hvor man bruker skjermer med kart som gir nøyaktig posisjon på helikopteret ved å bruke GNSS samt informasjon fra andre sensorer som for eksempel IMU. For å oppnå en så nøyaktig og pålitelig GNSS-posisjon som mulig, benytter den europeiske luftfarten seg i dag av EGNOS, se kapitel 3.2.5. Denne korreksjonstjenesten for GNSS gjelder for hele Europa.

Bortfall av GNSS (grunnet f.eks. jamming) i luftfarten ved bruk av helikoptre er mest sikkerhetskritisk hvis det skjer ved lave høyder: "Jo nærmere bakken du kommer, dess mindre tid har du på å finne ut hva du skal gjøre, og så kan konsekvensen av feilen du gjør bli mye større". Dette er imidlertid ikke et utbredt problem, men dette blir sett på som en utfordring som kan ramme flyvningene for helikoptrene i fremtiden: "Det er veldig sjeldent at det [bortfall av GNSS] får en konsekvens fordi det som regel skjer på litt høyde, eller så er det fordi vi ellers flyr visuelt. Så vi opplever ikke dette som et stort problem, men vi tar det som en fremtidig utfordring"(NLA). Som et eksempel nevnes blant annet jammeforsøk fra andre land i militære sammenhenger, og ved grensekommunene i nord som ligger ved Russland. Disse jammeforsøkene skjer i høyder som ikke rammer helikoptrene, men de får likevel rapporter fra NKOM om disse forsøkene. GNSS-bortfall som er forårsaket av jamming beskrives også som kortvarige og vil i de aller fleste tilfeller ikke være sikkerhetskritisk hendelse.

Spoofing kan som nevnt forårsake mer skade enn jamming: "Da kan de klare å manipulere satellitt-signalet slik at det flytter seg, slik at alt ser normalt ut og alle systemene våre tror at i vet hvor vi er, men vi kan være en nautisk mil til venstre for der vi egentlig er". Likevel er det en fordel å befinne seg i luften:

"Fordelen vår som flyr er at vi er alltid over terreng stort sett, sånn at når vi flyr høyt så har vi alltid fri bane til satellittene. Men det er klart at hvis du flyr lavt eller kjører bil nede i en dal så vil du i noen tilfeller sannsynligvis kunne oppleve at du mister det på grunn av satellitt-signalene"

Helikopterflyvning ble valgt ut som case med en hypotese om at bortfall av GNSS kunne være en utfordring, og et økende problem for denne bransjen. Intervjuene avdekket derimot at dette ikke er et utbredt problem med bortfall av GNSS: "Jeg tok ut en rapport over de to siste årene, og da var det 16 eller 18 ganger [med bortfall av GNSS]. Type 10 ganger i året da, og når vi flyr 13.000 flytimer i året så er volumet ganske lite".

Situasjoner med jamming og spoofing er ikke utbredt blant verken rednings- eller ambulanshelikoptrene. Likevel er dette en utvikling luftfarten følger med på. Veiprisering blir nevnt som et eksempel som NLA har bemerket seg og følger med på, på grunn av risiko og bekymringer for økt grad av jamming og spoofing. De prøver å være i forkant av denne spesifikke utfordringen og "prøve å lære før problemet materialiserer seg, og adressere det til produsentene av det utstyret vi holder på med". En av posisjonstilbyderne i luftfarten, Honeywell, arbeider blant annet med alternative posisjonssignaler i situasjoner hvor GPS-signaler er

blokkert, avbrutt eller utilgjengelig. Her brukes imidlertid synsassistert navigasjon, himmelstøttet navigasjon eller navigasjonsteknologi som måler magnetisk styrke (Honeywell, 2021).

Brukerbehov

For helikopter er det mindre nøyaktighetskrav i høyden enn nærmere bakken. Utfordringen er at jo nærmere de kommer bakken, dess mer nøyaktighet kreves. I høyden har helikoptrene lite behov for å vite nøyaktig posisjon fordi dette løses gjennom å ha klare prosedyrer, for eksempel at fly eller helikopter i lufta må ligge på forskjellig høyde eller ha et gitt antall minutter eller et gitt antall avstand mellom seg for å fjerne usikkerhet og risiko. Når helikopteret nærmer seg bakken og rullebaner, kreves det derimot langt større nøyaktighet. I tillegg understrekes det et behov om å få varsling hvis nøyaktigheten blir mindre enn det som er ønskelig:

"Det er et veldig strengt sertifiseringsregime på hvor tidlig man skal varsles og lignende. Så det er klart at hvis vi er en plass hvor vi er nært noe som vi kan treffe, og baserer oss på det [GNSS-signal] der, da er vi jo veldig sårbare. Fordi hvis man da i utgangspunktet mister signalet så vet du plutselig ikke hvor du er, du får ikke inn noe bakkebasert hjelpemiddel, du ser ikke ut av skya og du vet at du er nært noe. Sånn at hvis du fortsetter rett frem så vil du treffe noe"

Generelt oppgir NLA at de ved vanlige flyvninger ikke behøves større nøyaktighet på posisjonen enn 10 meter, men at når prosedyrene skal kontrolleres og dokumenteres kreves det en mer nøyaktig posisjon. Eksempelvis når det skal måles opp en ny landingsplass, så er Avinors krav til nøyaktighet av landingsplasser satt til 0,5 meter.

Potensielle barrierer ved bruk av HyPos

Den korte rekkevidden til 5G er det første som problematiseres av helikopter-brukerne. Rekkevidden til 5G er for kort generelt sett fordi ved noen oppdrag vil de ha trøbbel med dekningen. Det blir også problematisert at 5G er ikke designet for bruk i luften på grunn av at basestasjonene er vinklet retningsbestemt mot bakken for å passe hovedbrukerne på bakken. Likevel er utfordringene med bortfall av GNSS mer vanlig ved lave høyer og der vil 5G kunne gi en løsning:

"...med telefonsignal så skal dette mottas sannsynligvis via et SIM-kort, og da er rekkevidden en utfordring. Vi har som regel god dekning opp til 1000 meters høyde, altså 3000 fot. Men over dette da er det litt vanskelig. Og når vi er over 3000 fot, det er jo ikke så veldig mange operasjoner vi har det i Norge, men vi har fjellheimen, altså Dombås, Ål, Fagernes. Men å bruke 5G der vi har problemer, det tror jeg vil funke – det er jeg ganske sikker på. Men det er noen utfordringer med høydedekning"

Bruk av 5G som metode for posisjonsbestemmelse nær bakken der de kritiske situasjonene oppstår, kan basert på disse vurderingene være nyttig.

Redningstjenesten peker på utfordringer med at HyPos skal være en nasjonal tjeneste, blant annet at de samarbeider med mange andre land som tilbringer tid i Norge og jobber her. Da blir det spesielt viktig at HyPos ikke baserer seg på unike format, men at tjenesten virker sømløst og kan benyttes av alle. NLA peker også på de strenge standardene innen luftfart og at alle prosedyrene her må være helt lik. Dette gjør det vanskelig å se på HyPos som en tjeneste som de kan bruke som en primær-tjeneste:

" Hvis det skal være en løsning som skal være til bruk i hverdagen vår, så må det være en ICAO-standard på det som alle kan bruke. [...] så kan bruken [av HyPos] til i hvert fall luftambulansetjenesten og senere redningstjenesten og politiets helikoptertjeneste være i en type dobbeltsjekkfunksjon".

Her menes det at HyPos-signalet kunne blitt brukt for å sammenligne hvor godt det er sammenlignet med EGNOS, Galileo og det helikopteret eller flymaskinen faktisk fløy.

For redningshelikopteret som tilhører forsvaret så stilles det også større krav enn hos brukere i det sivile, særlig med tanke på sårbarhet for jamming og spoofing. "Systemene vi bruker skal jo tåle mye mer, det skal jo være designet for at det kan tåle å bli skutt på. Vi skal jo kunne operere når resten av samfunnet ikke kan. Så det er en del egne krav til sertifisering og slikt når det gjelder militæret utstyr". Dette gjør redningshelikopteret til en bruker som vil ha strengere brukerbehov enn andre brukere av tjenesten.

2.2.2 Erfaringer fra nødetat, representert av brann- og redningstjenesten

Ved utrykning til en hendelse for brann- og redningstjenesten kjører de etter selvrapporterte posisjoner. Brannbilene er utstyrt med et system som heter Locus⁴. Dette systemet kan ikke få opp posisjonen til innringere direkte, men det settes en manuell markør opp av operatøren på 110 (AMK). Innringere oppgir posisjon, og denne blir lagt inn og brannbilen mottar posisjonen opp på kartet på skjermen. Dette fungerer som en GPS og brannbilen blir geleidet til det oppgitte målet. Dette systemet kan imidlertid være utfordrende fordi det er en risiko for feilrapporteringer av slike selvrapporterte posisjoner: "Det er jo en utfordring fordi operatøren må ofte gjette på hvor posisjonen er, og hvis du kjører dit så er det kanskje feil. Så det er fortsatt en unøyaktighet der som nok så sikkert kan bli bedre".

Et annet eksempel på hvordan brann- og redningstjenesten arbeider er navigering til hendelser er i tunell. Nyere tunneller har ofte god nok dekning av kameraer til å kunne se hele veistrekningen gjennom. Det er Veitrafikksentralen (VTS) som har oversikten og sitter på disse dataene og informasjonen: "Det er ikke per i dag noen link eller direkte link, så de [VTS] ringer til 110-sentralen og formidler posisjonen [på hendelsen]". Systemløsningene som eksisterer er basert på selvrapportering (f.eks. i Locus) og at kommunikasjonen, som f.eks. skjer mellom VTS og brannbil ved hendelser i tunell, er god. Det har skjedd situasjoner hvor misforståelser og feiltolkningen har ført til at posisjonsbestemmelse av hendelsen i tunnelen blir preget av feilrapporteringer, og dermed tar tid. Brann- og redningstjenesten forteller om en brann i en nyere tunnell med kamerasystem hvor det tok lang tid før 110-sentralen kunne gi god nok informasjon til brannbilene: "Vi fikk beskjed om at det var nordre ende, så viste det seg at det var i søndre ende". Så selv med kamerasystem så er posisjonsbestemmelse i tunnel en utfordring.

En annen utfordring med kamerasystemet er at ved en brann i tunnell så vil kamerasikten på et gitt tidspunkt forsvinne på grunn av at løpet fylles med røyk og kamerasikten vil bli dårlig eller helt borte. Dette fører til utfordringer med å finne frem til hendelsen og forulykkede personer, og her er det et behov for å forberede dagens løsning: "Vi har ønsket oss et system hvor vi kunne fått informasjon på en pad eller en mobil, eller noe for å få opp posisjonen direkte". Noen biler fra brann- og redningstjenesten kan være utstyrt med infrarødt kamera i front og bak, som kan brukes til å søke etter personer: "Men det er en stor utfordring,

⁴ <https://www.locus.no/produkter/category1037.html>

selv med infrarødt kamera er det vanskelig å se folk. Vi hadde en øvelse med en markør som lå i milen mellom gulv og vegg, han ble kjørt forbi fordi han vistes ikke på kamera". For slike situasjoner påpeker informantene at det å vite posisjonen på savnede personer via mobilsignal kunne gjort arbeidet lettere og mer effektivt: "Hadde vi visst at der fremme tror vi det er en mobiltelefon, så hadde vi kanskje lett nøyere akkurat der".

Brukerbehov

Behovet for presis posisjonsbestemmelse for brann- og redningstjenesten omhandler først og fremst å få posisjonen til innringere eller personer i nød. Dette vil først og fremst gi en effektivisering av tid samt å få klargjort en posisjon i kartet og de systemløsningene som finnes i brannbilene: "Det er jo tid å spare på det å finne posisjonen til den som ringer forttest mulig. Man ser jo ofte i loggene at det har tatt lang tid fra anrop til de faktisk har klart å sette et punkt i kartet. Så det er absolutt tid å hente". Sporing av mobiltelefoner ved hendelser med brann i tunell, som nevnt ovenfor, ville også lettet arbeidet med søk etter personer:

"Det å gi en oversikt over at 'her er det sju stykker' [...] selv om seksjonen er full av røyk, så kan det posisjoneres sju mobiltelefoner inne her. For oss er det mye bedre å gå å lete etter sju konkrete punkt i røyken enn å måtte starte søk i én ende og ikke ane hva som er der".

For leting etter personer etter mobilsignal i f.eks. tunell så vil en nøyaktighet på 5 meter være tilstrekkelig for brann- og redningstjenesten: "For oss er 5 [meter] veldig bra. Det tar relativt kort tid å søke en radius på 5 meter. Men flere hundre tar litt tid".

En utfordring for brann- og redningstjenesten som nevnes er at det eksisterer mange gamle tunneller i Norge. En del tunneller i Norge har ikke noe sikkerhets-infrastruktur tilgjengelig og kan også mangle helt eller delvis mobildekning, mens nyere tunneller har mye sikkerhets-infrastruktur og full mobildekning. Brann- og redningstjenesten mener det muligens finnes et potensiale for HyPos-tjenesten i mellomstaket av de to ytterpunktene: "mellom der så har nok Norge flere hundre tunneller som mangler kamera, innsnakk⁵ og de funksjonene der, men som har mobildekning. I det mellomområdet der finnes det et potensiale". Det er også andre situasjoner for nødetatene hvor posisjonsbestemmelse kan være kritisk og potensielt livsviktig. Blant annet nevnes utrykning til selvmordsforsøk/selv mord hvor den som skal lokaliseres ikke nødvendigvis ønsker å bli funnet: "Per i dag bruker politiet den posisjoneringen som finnes i dag for å vite hvor personen er, men den er ikke nøyaktig. Det kan være avvik på flere hundre meter, så en nøyaktig posisjonering på noen som egentlig ikke vil bli funnet er jo interessant".

De fleste behovene som fremmes av brann- og redningstjenesten handler altså om nøyaktig posisjoner hos personer, for eksempel gjennom mobiltelefonen, som nevnt i eksemplene ovenfor. Når det gjelder selve posisjonstjenesten HyPos så tror informantene at denne først og fremst er nyttig for nødsentralen (110-sentralen) som sitter med overblikket og som kan ha best mulighet til å nyttiggjøre seg informasjonen fra en slik tjeneste.

⁵ En forhåndsinnspilt beskjed, på norsk og engelsk, som blir sendt ut fra VTS med en gang det blir brann- eller røykutvikling i en tunnel

2.2.3 Erfaringer fra automatisert landbruk

For å få erfaringer med posisjonsbestemmelse innen landbruk intervjuet vi NIBIO Senter for presisjonslandbruk. Her jobber de med å bruke ny teknologi til å tilpasse behandlingen av jord og vekster etter behov. Behovet for behandling kartlegges gjennom for eksempel informasjon fra ulike sensorer, kamera og GNSS. For eksempel settes utstyret på traktorer, automatiserte roboter, droner eller satellitter. Fjernmåling med sensorer behandler spektraldata blant annet for å finne sammenhengen mellom det som de kan måle og det som vokser på bakken. Dette gjøres både for å få informasjon, men også anbefalinger om hva som er riktige tiltak i felt. Et slikt presisjonsjordbruk handler om å behandle individuelle områder i åkeren etter behovene som er der, blant annet fordi det er store variasjoner i plantevekst og jordforhold etc. Automatisering er en del av presisjonsjordbruket, og NIBIO er ofte avhengig av velig høy posisjonsnøyaktighet i forskningsprosjektene de driver. Gjennom intervjuet gir NIBIO også innblikk i gårdbrukeres bruk av posisjonsbestemmelse og mulige behov i fremtiden.

Per i dag er det stort sett personer som kjører kjøretøyene som brukes, men fremveksten av bruk av roboter er stor. For eksempel nevnes norskutviklede ugressroboter som sprøyter. For de fleste gårdbrukere og for NIBIO brukes traktormonterte systemer hvor traktoren kan styre etter GNSS og den snakker med utstyret slik at utstyret får posisjonen fra traktoren. Det er sjeldent utstyret de bruker selv har egen GNSS. NIBIO har en egen basestasjon på låvetaket på sitt testområde som bidrar til å gi nøyaktig posisjon, men dette er ikke vanlig at gårdbrukere har. I tillegg bruker NIBIO andre løsninger ved feltarbeid: "Når vi måler ut ting i felt i forsøk så bruker vi en pinne med GPS-antenne på toppen. Så går vi ut med den".

Presisjonslandbruk og automatiserte løsninger

NIBIO beskriver deres eget og gårdbrukeres behov for posisjonsbestemmelse slik: "For mange dreier det seg bare egentlig om å finne en optimal måte å kjøre og dekke over hele jordet på. Det vil si å kjøre kortest mulig avstand, bruke minst mulig drivstoff, gjøre minst mulig skade, fordi man skader jo litt hver gang man kjører over, så man vil ha minst mulig kjøring". En slik optimalisering av driften gjøres gjennom blant annet å bruke traktorer eller roboter utstyrt med GNSS-mottakere. Traktoren med nøyaktig posisjon kan igjen bli benyttet som en sentral stasjon for å gi nøyaktig posisjon til annet utstyr. NLR (2019) beskriver behovet for posisjonsbestemmelse slik:

"For å drive presisjonslandbruk trenger vi presise signal. Det vanlige GNSS-signalet som du får inn på en smarttelefon er ikke nøyaktig nok. I landbruket trenger vi korreksjonssignal. Ved hjelp av en antenne og en terminal som tar imot det såkalte EGNOS-signalet, kan vi få en nøyaktighet på 15-20 cm. Problemet er at EGNOS-satellittene går geostasjonært rett ut fra ekvator. Vi er langt mot nord, og det kan være utfordrende. Særlig med høye fjell og dype daler." (NLR, 2019)

Vi ser altså at landbruket allerede tar i bruk korreksjonssignal i form av SBAS-systemet EGNOS hvor det oppnås en god nøyaktig på desimeter-nivå. Men det trekkes også frem utfordringer ved dette som at det er færre synlig satellitter langt nord, og at fjell og dype daler kan blokkere for GNSS-signal.

Et eksempel hvor det er behov for nøyaktig posisjonsbestemmelse er seksjonskontroll for sprøyter⁶. Seksjonskontrollen skal sikre at traktorene ikke tildeler sprøytemidler på det samme området på åkeren to

⁶ Se for eksempel <https://www.norsklandbruk.no/article/ny-seksjonskontroll-til-kverneland-sproyter/>

ganger, for eksempel gjennom overlapp og unngå kantsoner utenfor åkeren. Ved å unngå slike overlappinger med dobbeltsprøyting og kantsoner vil man ikke bare kunne spare ressurser, men også sørge for at traktoren kjører i de samme sporene så mye som mulig. Da kjører man ikke ned mer avling enn nødvendig, og det vil også være positivt med tanke på pakking av jorda, at man unngår å kjøre med tungt utstyr over et større areal enn det som trengs.

Et annet eksempel er sprøyting og lusing av radkulturer. I radkulturer vokser det for eksempel grønnsaker i rader i et bed, hvor det kan finnes ulike autonome løsninger for lusing av ugress og for sprøyting. Her vil det være viktig å sprøyte kjemikaliene presist, men også ta bort det som er ugress mellom radene og mellom plantene, og ikke selve planten. De automatiserte løsningene vil ofte ikke basere seg kun på GNSS, men bruker også kamera i tillegg. Her er det behov for centimeters nøyaktighet, fordi hvis utstyret bommer på noen centimeter, kan man i ytterste konsekvens ende med å ta bort hele planteveksten. Her er behovet for nøyaktig posisjonsbestemmelse også knyttet til sporene som traktoren eller roboten skal kjøre i. Ved unøyaktig GNSS- posisjonsbestemmelse kan man også her ende med å kjøre ned avling i stedet for å treffe sporene som er laget for kjøretøyene.

Et tredje eksempel er bruken for variabel tildeling, som betyr at man varierer tildelingen av gjødsel ut fra hvor det trengs. Her finnes både offline-systemer og sanntidsløsninger. Offline-systemene lager kart over hvor tildelingen skal skje. Dette blir deretter lastet inn i utstyret og kjøretøyet kjører etter dette kartet. Sanntidsløsningen har imidlertid en sensor og et utstyr som justerer seg etter sensoren. Ett eksempel er Yara N-Sensor⁷, som brukes til å variere tildelingen i gjødsel. Sensoren sitter på traktoren som kan kommunisere med gjødsels-tildeleren bak. Sensoren måler lysrefleksjon fra åkeren, programvaren beregner nitrogenbehovet og dermed kan gjødselsprederen tildele ut fra denne informasjonen.

Videre nevnes andre fagfelt som bruker posisjonsbestemmelse til andre formål enn de overnevnte som kan ha behov for tjenesten. Her nevnes blant annet faglige aktiviteter som registreringer av arter i kulturlandskapet, eksempelvis andelen humler ett gitt sted, eller presisjonsskogbruk som planlegger og gjennomfører en stedstilpasset skogbehandling. Vi har imidlertid ikke snakket med representanter for disse fagfeltene og kartlagt deres eventuelle brukerbehov.

Brukerbehov

NIBIO bruker også droner i stor grad. Dronene kjører etter en planlagt rute. Dronene brukes først og fremst til måling, ikke til tildeling. For dronene er det viktig at de dekker over området så de ikke kjører steder utenfor ruten, på grunn av risiko for krasj og skade. NIBIO har ikke store utfordringer med bortfall av GNSS: "Vi ser noen ganger at vi får interferens med signaler hvis det er mye annen infrastruktur som påvirker. For eksempel den roboten, men det er kanskje ikke i så stor grad satellitt-signalet, men at det har vært interferens med IMU slik at roboten har begynt å gå i ring". Til tross for at NIBIO ikke har store utfordringer med GNSS-bortfall, nevnes det at gårdsbruk i Norge er spredt over hele landet og befinner seg i vært ulike landskap, for eksempel gårder som befinner seg under bratte fjellsider og i daler etc., og dekningsen kan dermed være problematisk. Norsk Landbruksrådgivning har gjennomført en dekningskartlegging siden 2019

⁷ <https://www.yara.no/gjoedsel/presisjonsverktøy/n-sensor/>

med mål om å måle hvor god dekningen er, og hvorvidt de ulike systemene som brukes har avvik seg imellom (NLR, 2019). Det er derfor en utfordring som næringen setter ressurser inn mot, og som tydelig kommer til å få mer betydning i årene fremover med økt automatisert kjøring og nye teknologiske løsninger som krever presis posisjonsbestemmelse. Dette er en utvikling som NIBIO spår vil bli viktig fremover: "Autonome kjøretøy kommer til å komme i jordbruket. Det er jo ingen som har høyere kostnader og lavere inntekter enn jordbruket. De vil bruke minst mulig arbeidskraft, men samtidig så har de ikke alltid så store investeringsmuskler". For gårdbrukere vil derfor pris være en viktig faktor for å eventuelt ta i bruk tjenesten: "Det må enten være billigere enn det de har fra før eller så må det være at de har et behov fordi tjenesten er veldig mye bedre. Så det er nok ganske prissensitivt". I tillegg nevnes det at abonnementstjenester fra utstyrsleverandører, for eksempel John Deere sitt samarbeid med Trimble. Dette kan gi utfordringer med tanke på proprietære løsninger og det er usikkert om andre tjenester vil fungere på traktorene. Den største utfordringen slik NIBIO ser det er hvordan den nye hybride tjenesten skal kunne bli foretrukket over det som allerede finnes: "Det er jo en byttekostnad, eller kanskje ikke en kostnad, men en bytteinnsats i hvert fall".

Utfordringer med tyveri

NIBIO nevner at en stor utfordring for både dem selv og gårdbrukere er tyverier av utstyr for posisjonsbestemmelse fra traktorer og andre kjøretøy. De forteller at mange gårdbrukere har sluttet å la traktorer med utstyr bli stående ute om natten på grunn av tyveri. Dette er også en kjent problemstilling i anleggsbransjen, og et forsikringselskap anslår at det forsvinner utstyr for mellom 10 og 20 millioner kroner hvert år fra anleggsbransjen og landbruket.⁸

Utfordringer med 5G-posisjonsbestemmelse

Norge er et langstrakt land og det er flere områder med svært lite bebyggelse. Flere av gårdene i Norge ligger i svært rurale strøk, og her kan det oppstå problemer med 5G-posisjonsbestemmelse. Posisjonsbestemmelse i mobilnettet krever et godt utbygd 5G-nettverk, men dette er kostbart og urbane strøk blir prioritert. Erfaring fra tidligere utbygging (av f.eks. 4G-nettverk) viser at det tar lang tid før mobilnettverket kommer på plass i rurale strøk, og enkelte steder vil det ikke lønne seg å bygge ut i det hele tatt. Altså vil det ikke være mulig med 5G-posisjonsbestemmelse for mye av landbruket. Dette er også en interessant parallell til vegtransportsektoren.

2.2.4 Oppsummering av brukerbehov og refleksjoner rundt fremtidens behov

Behov for mer nøyaktig posisjonsbestemmelse er til stede for alle de intervjuede brukerne, men samtidig ligger brukerbehovene som er skissert ovenfor relativt nært i tid. Brukerne ser per i dag ikke nødvendigvis behov for cm-nøyaktig posisjon. De ser likevel at HyPos-tjenesten kan gjøre ting enda lettere, men at dette avhenger av hvordan tjenesten blir utviklet. Brukerne har vanskeligheter med å se for seg fremtidens løsninger, men tar naturligvis heller utgangspunkt i de løsningene de benytter i dag og vurderer tjenesten sammenlignet med disse. En gjentagende vurdering er derfor at hvis de skal ta i bruk HyPos-tjenesten og være brukere av tjenesten, må denne erstatte og være bedre enn de løsningene som allerede finnes og som de bruker i dag. I det følgende vil vi reflektere og diskutere rundt hvilke behov man kan tenke seg å se i fremtidens transportsektor på bakgrunn av den informasjonen vi fikk fra brukerne.

⁸ <https://landbruk24.no/tyveri-av-gps-utstyr-for-millioner/>

Luftfarten har et stort behov og interesse for nye løsninger som omhandler posisjonsbestemmelse. Likevel er det ikke gitt at disse er en reell bruker i fremtiden. Bortfall av GNSS er mye mindre utbredt og ikke en så uttalt utfordring som antatt. Det kan tenkes at i et fremtidig transportsystem der biler er automatisert og oppkoblet i større grad vil jamming og spoofing bli vanligere enn det er i dag. Man trenger kanskje heller ikke gå helt frem til automatiserte kjøretøy, men se på innføringen av en tjeneste som veiprisering som en mulig trussel for flere hendelser med jamming eller spoofing enn det er i dag (Hellandsvik og Bryne 2021). Her kan igjen en nasjonal hybrid-tjeneste være hjelpelig, f.eks. kan posisjonsbestemmelse gjennom mobilnettet øke robustheten og/eller fungere som kontroll av observert GNSS spor, som vil gjøre jamming og spoofing både vanskeligere og mindre attraktivt.

Sikkerhet og security⁹ står i høysete når man snakker om tjenester relatert til transportsektoren. For eksempel er luftfart preget av strenge standarder og prosedyrer som gjør at HyPos-tjenesten mest sannsynlig kun kan brukes som en tilleggstjeneste i første omgang. Det samme gjelder innenfor automatisert vegtransport, men her er bruken og nødvendigheten av høypresisjons tjenester for posisjonsbestemmelse enda ung, og med et helt annet behov knyttet til skalering. Dette gjør at man har et større spillerom med tanke på utvikling av standarder og prosedyrer, men dette vil ikke gå på bekostning av sikkerheten som alltid vil ligge som et grunnleggende krav også innenfor CCAM, spesielt med tanke på de høyere nivåene i SAE-skalaen. I luftfarten blir GNSS-korleksjoner i dag benyttet ved å benytte seg av SBAS-systemer (i Europa: EGNOS), men denne tjenesten vil ikke være tilstrekkelig for kravene massemarkedet innenfor CCAM krever, derfor bør nye tjenester, som PPP-tjenester og HyPos undersøkes og vurderes i den fremtidige utviklingen.

Både helikopter-brukerne og nødetaten (brann- og redning) har et mer uttalt behov om å vite mer om posisjonen til brukere (innringere og forulykkede). Innen vegtransportsektoren er man også interessert i å vite posisjonen til brukerne, spesielt hvis man har automatiserte kjøretøy som bør optimalisere sin atferd sett opp mot systemet som helhet. For eksempel vil automatiserte kjøretøy ha en mye større nytte for samfunnet dersom de kan motta direksjoner fra en Vegtrafikksentral (eller lignende) for å optimalisere vegtransportsystemet som helhet. Det er rimelig å anta at det vil være svært nyttig for samfunnet som helhet om fremtidens kjøretøy delte posisjon med Vegtrafikksentral for optimaliseringshensyn. Et annet eksempel er innføring av *delte* automatiserte kjøretøy (som skissert av for eksempel norske aktører som Ruter¹⁰), hvor en tilbyder har en flåte av tilgjengelige kjøretøy, vil man også ha store behov for nøyaktig posisjonsbestemmelse. Dette kan gjelde både av mobiltelefonene til kundene, og av kjøretøyene. På den andre siden må personvern hensyn også inn i denne betraktningen.

Landbruksaktører har et større behov allerede i dag for nøyaktig posisjonsbestemmelse på centimeter-nivå og kan spare store ressurser, både i form av ødelagte planter og vekster, pakket jord og redusert bruk av

⁹ Sikkerhet (safety) viser til sikkerhet mot uønskede hendelser som opptrer som følge av en eller flere tilfeldigheter. Security viser til sikkerhet mot uønskede hendelser som er resultat av overlegg og planlegging. Se NOU 2000:24 og NOU 2006:6 for utdypninger av disse begrepene.

¹⁰ Se mer om Ruter sin satsning på automatisert transport:

<https://storymaps.arcgis.com/stories/67f751b5e5b54db092ea7af3f1837699>

gjødsel gjennom å få en mer nøyaktig posisjon. Dette er også gjeldende for lignende bransjer som bygg- og anleggsbransjen, og innen den økende bruken man ser av droner innenfor flere bransjer.

Det er viktig å bemerke at dette gjelder eksisterende brukere av ulike løsninger for posisjonsbestemmelse, og i forlengelsen av den teknologiske utviklingen kan man se for seg mange andre nye brukere av en slik tjeneste. F.eks. vil utstyr som er i bevegelse, og som må snakke med andre enheter, kunne ha behov for HyPos-tjenesten, for eksempel aktører innen industri, sjøfart, eller andre bransjer. Spesielt automatiserte produkter f.eks. robotgressklippere, automatiserte kjøretøy, droner o.l., vil kunne ha god nytte av en nøyaktig hybrid posisjonstjeneste. Store deler av dataene som finnes er i dag georeferert, og et kjent utsagn er at «80% av all eksisterende data er geografisk» (Dempsey, 2012). Større nøyaktighet i de georefererte dataene vil kunne gi flere nye muligheter, og dette skaper et enormt mulighetsrom for HyPos-tjenesten.

For de potensielle brukerne er det mindre viktig hvem som tilbyr en ny posisjonstjeneste, men mer viktig at tjenesten er bedre enn det de har fra før, og at den kan tilbys til en riktig pris. Dette er spesielt viktig i enkelte bransjer, som i landbruket. Det er også rimelig å anta at pris vil være en viktig faktor dersom HyPos-tjenesten skulle blitt brukt av bilprodusenter, og disse har behov for å sikre sine funksjonaliteter også på tvers av landegrenser. Tradisjonelt sett har ikke nøyaktige og robuste GNSS mottagere vært prioritert fra bilprodusentsiden, og trenden er fortsatt at slikt utstyr og tjenester må holdes på et kostnadmessig lavt nivå. En parallell kan trekkes til LiDAR, som først nå blir introdusert i noen få dyrere kjøretøy, ettersom man ser at prisnivået er på vei nedover for denne sensortypen. Dette bør tas i mente når HyPos-prosjektet skal utforske forretning- og forvaltningsmodeller for tjenesten.

Brukerinvolvering

De intervjuede aktørene ble spurt om hvilke aktører som burde være involvert i arbeidet med å utarbeide HyPos-tjenesten for å kunne realisere nytten av tjenesten. Her kommer flere inn på viktigheten av nærhet til utstyrprodusenter og brukerinvolvering i tjenesteutviklingen. Flere brukere påpeker at utstyrprodusentene, om det gjelder kjøretøy, helikoptre eller utstyr for posisjonsbestemmelse befinner seg utenlands, og at dette kan vanskeliggjøre utviklingen og implementeringen av en tjeneste som skal kommunisere med eksisterende utstyr. Her blir standardisering essensielt og det er viktig at HyPos-tjenesten ikke krever spesialutstyr (som f.eks. særegne GNSS-mottakere), som gjør det vanskelig å benytte utstyr fra flere ulike produsenter på tvers av landegrenser. Videre understreker redningstjenesten spesielt viktigheten av brukerutvikling og viser til andre erfaringer med produktutvikling innen luftfart hvor det har vært viktig å få til et godt samarbeid mellom brukere, utviklere og teknikere: "Teknisk personell utvikler et system og når brukerne får det så ser man så vanvittig mange ting som man ønsker litt annerledes, og når man begynner å nøste opp i det så er det fordi at de som utviklet har tatt noen antagelser de er helt sikre på". Derfor understrekes viktigheten av å få inn brukerne i tett samarbeid fra første dag til produktet er ferdig:

"Det å snakke sammen hele tiden med en god brukergruppe sammen med utviklere tror jeg er Alpha og Omega for suksess. Snakk gjerne med mange, og tett hele tiden, fra starten og til slutten, og ikke stoppe den dialogen når man har kommet et stykke på veg, for det endrer seg hele tiden. Det er så dynamisk".

Tilknytningen til produsenter og brukere i utviklingen av HyPos blir også nevnt av NIBIO:

"Hvis det er maskin- og utstørsproduzentene som skal implementere det i sin løsning så er de jo ofte ikke norske og sitter andre steder i Tyskland, USA, England og Sverige [...] men hvis det er på en måte brukeren selv som skal implementere det og ta det i bruk så er det jo litt viktig å ha noen representanter for de som kan si noe om hvilke utfordringer og hva som trengs".

Dette er nyttige brukererfaringer fra to ulike grupper som har testet og implementert ny teknologi i sine bransjer.

3 Eksisterende metoder for distribusjon av GNSS-korreksjoner

GNSS (i Norge gjerne omtalt som satellittnavigasjonssystemer) er mye brukt til posisjonsbestemmelse på eller nær jordas overflate. Anvendelser av GNSS spenner fra å finne det riktige huset i ei gate via sikkerhetskritiske operasjoner som landingsprosedyrer i luftfart, til høypresisjonsoppgaver som overvåking av bevegelser i jordskorpa. Antall anvendelser øker, i stor grad drevet av IoT og den framvoksende sektoren for automatiserte kjøretøy. De ulike brukerbehovene har ført til ulike strategier for å utnytte GNSS på en optimal måte for de ulike anvendelsene. For eksempel krever geodetisk overvåking av bevegelser i jordskorpa svært høy nøyaktighet, men hvis vi ikke snakker om overvåking av såkalte «geo hazards» (jord- og fjellskredfare, tsunami etc.), er det ikke nødvendig med sanntids posisjonsbestemmelse. Det samme gjelder for posisjonsbestemmelse av sensorer (f.eks. flybårne) som brukes til kartlegging. Etterprosessering av GNSS-data er et av elementene som bidrar til å oppnå maksimal nøyaktighet. I de fleste navigasjonsanvendelser, derimot, er det nødvendig med sanntids posisjonsbestemmelse. Dette kapitlet fokuserer kun på sanntids posisjonsbestemmelse.

I dag er det fire konstellasjoner av GNSS som består av nok satellitter slik at hver av dem gir verdensomspennende sanntids posisjonsbestemmelse 24/7: GPS, GLONASS, Galileo og BeiDou. Ofte brukes begrepet GPS selv om man mener GNSS, og ikke nødvendigvis det spesifikke amerikanske systemet. Tabell 1 gir en oversikt over termer og forkortelser som er relevante i denne sammenhengen.

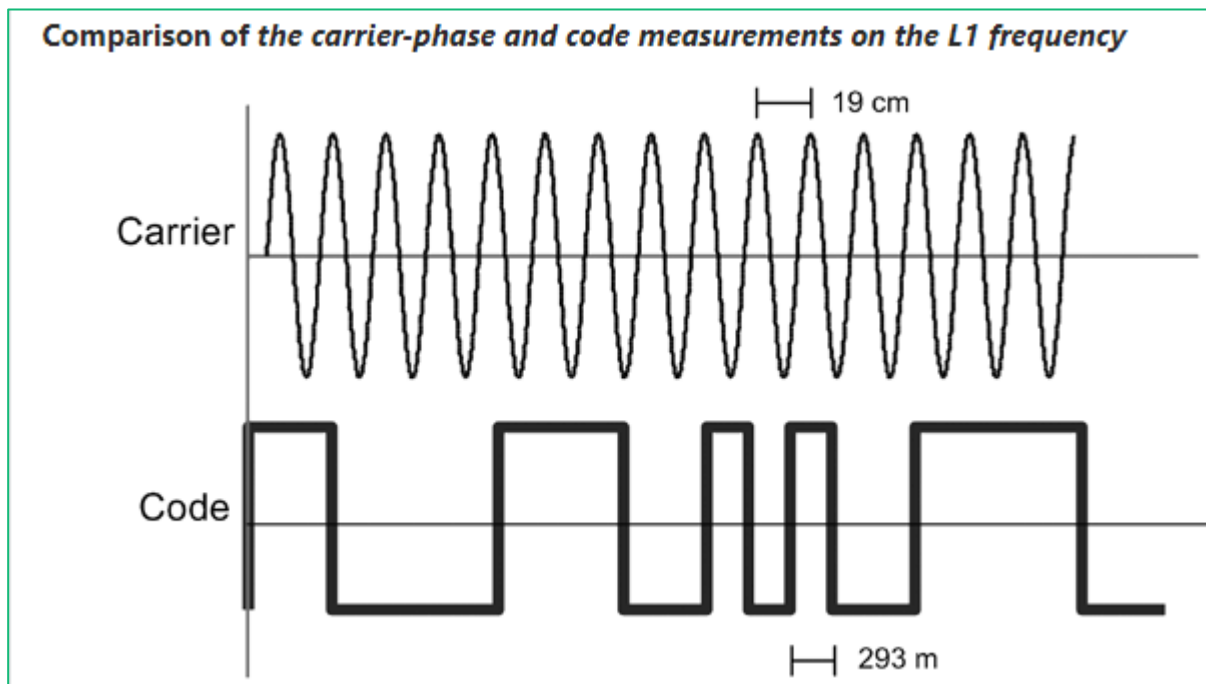
Tabell 1: Termer og forkortelser

BeiDou	GNSS eid av Kina
GNSS	Global Navigation Satellite System (Globalt satellittbasert navigasjonssystem)
GPS	Global Positioning System (GNSS eid av USA)
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GNSS eid av Russland)
Galileo	GNSS eid av EU
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
Initialiseringstid	Tiden det tar fra man begynner å motta data fra korreksjonstjenesten til man oppnår spesifisert nøyaktighet
IoT	Internet of Things ("tingenes internett")
NRTK	Nettverks-RTK
Ntrip	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
OSR	Observation Space Representation

PPP	P recise P oint P ositioning (en teknikk for høypresisjons posisjonsbestemmelse med GNSS)
RTCM	R adio T echnical C ommission for M aritime S ervices (www.rtcn.org)
RTSP	R eal T ime S treaming P rotocol
RTK	R eal T ime K inematic (en teknikk for høypresisjons posisjonsbestemmelse med GNSS)
SSR	S tate S pace R epresentation

3.1 Grunnleggende GNSS-prinsipper

Posisjonsbestemmelse med GNSS er basert på avstandsmålinger ved hjelp av radiosignaler som sendes ut fra GNSS-satellittene. Disse radiosignalene ligger som regel i L-båndet (1-2 GHz). Radiosignalet moduleres av en kodesekvens (se Figur 2) som GNSS-mottakeren bruker til å måle avstanden mellom seg selv og hver satellitt, gjennom det enkle prinsippet om at elektromagnetiske bølger beveger seg gjennom tomt rom med konstant hastighet $c = 299\,792\,458$ m/s. Den grunnleggende metoden er å bruke dette kodesignalet. Avstandsmålingene som blir gjort kalles da "kodeobservasjoner". For anvendelser med høy presisjon er det imidlertid vanligvis nødvendig å gjøre observasjoner av fasen til selve bølgeformen i signalet (kalt "faseobservasjoner"), fordi slike observasjoner er mye mer presise enn kodeobservasjonene. Faseobservasjonene har imidlertid ulempen med at de er flertydige med antall bølgelengder mellom satellitten og mottakerens antenne: Bare brøkdelen av bølgelengden som observeres ved mottakerens antenne blir faktisk målt. Derfor må antall ukjente bølgelengder estimeres for å oppnå maksimal nytte av de presise faseobservasjonene. Denne estimeringsprosessen kalles ofte flertydighetsløsning, og forskningsresultater innen dette emnet for noen tiår siden (f.eks. Lambda-metoden [Teunissen, 1993]), banet vei for RTK – en metode sanntids posisjonsbestemmelse med høy presisjon.



Figur 2: Kode- og faseobservasjoner (kilde: quora.com)

Jamming og spoofing

Jamming er signalblokkering, vanligvis forårsaket av interferens til signalene på GNSS frekvensene (Intertanko 2019), noe som gjør at en mottager mister GNSS-signalet sitt. Jamming er ulovlig, men enkelt å utføre. Man kan finne utstyr for jamming i et stort utvalg på Internett og dette brukes allerede av mange som har interesse av å skjule posisjonen sin. Spoofing er mer alvorlig, her sendes et falskt satellittsignal fra en radiosender som forvirrer satellittmottageren. Kort sagt, jamming gjør at mottageren "dør", spoofing fører til at mottageren lyver om posisjonen sin (Intertanko 2019).

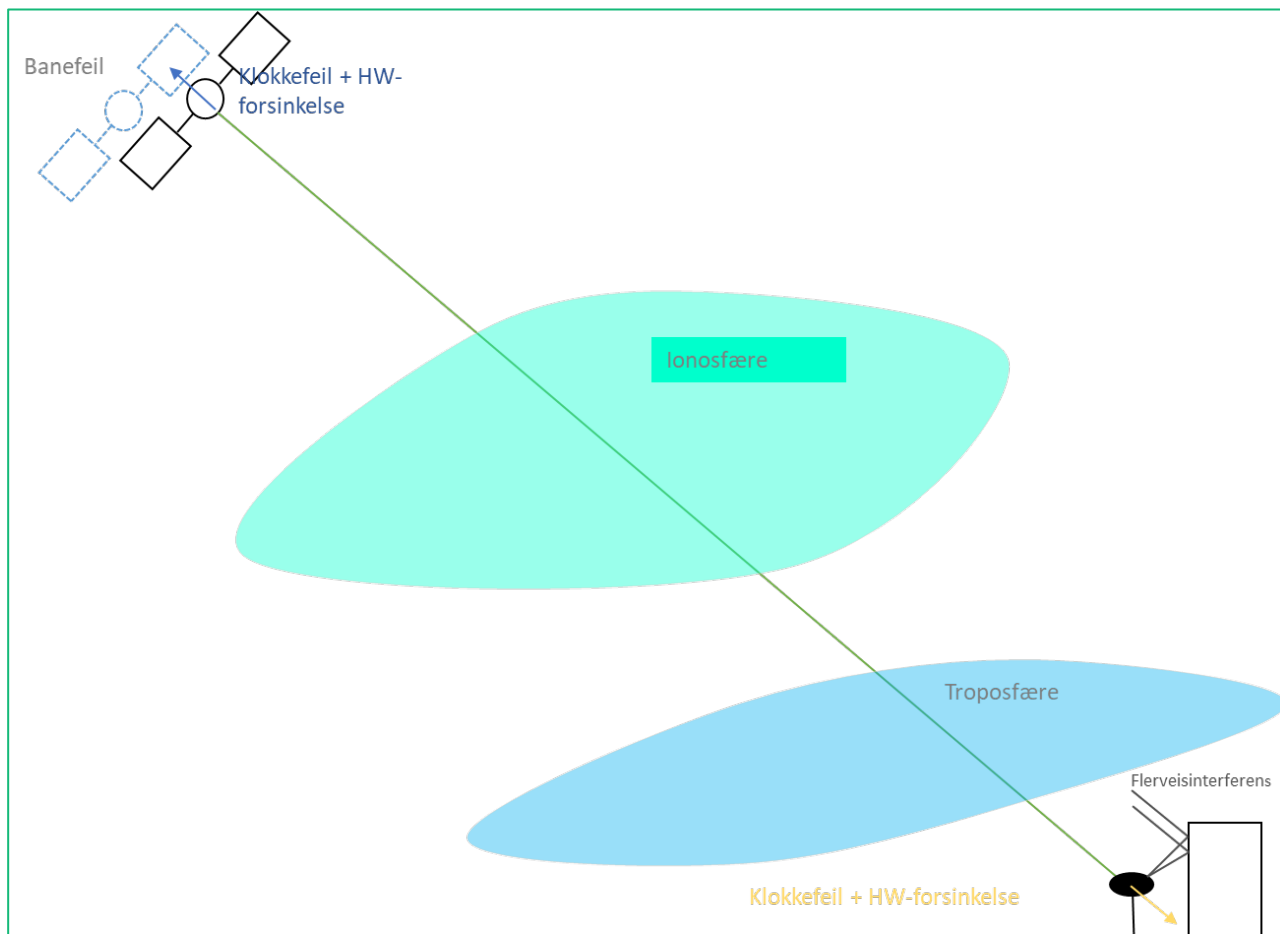
3.2 Feiltyper i GNSS og korreksjonsmetoder/-tjenester

Målepresisjon er ikke den eneste faktoren som trengs for å utføre posisjonsbestemmelse med høy presisjon. For å unngå posisjonsfeil på opptil flere meter, eller i verste fall titalls meter, må følgende feiltyper kompenseres på en eller annen måte:

1. Satellittbanefeil
2. Satellittklokkefeil
3. Signalforsinkelse/signalframrykning i ionosfæren (øvre del av atmosfæren)
4. Signalforsinkelse i troposfæren (nederste del av atmosfæren)

Figur 3 illustrerer de nevnte feiltypene, samt to andre:

- A. Flerveisinterferens (eng.: «multipath»), en feiltype som i utgangspunktet **ikke** lar seg kompensere for av korreksjonstjenester.
- B. Mottakerens klokkefeil. Dette er en feiltype som enkelt beregnes og elimineres ved at mottakeren observerer en ekstra satellitt.



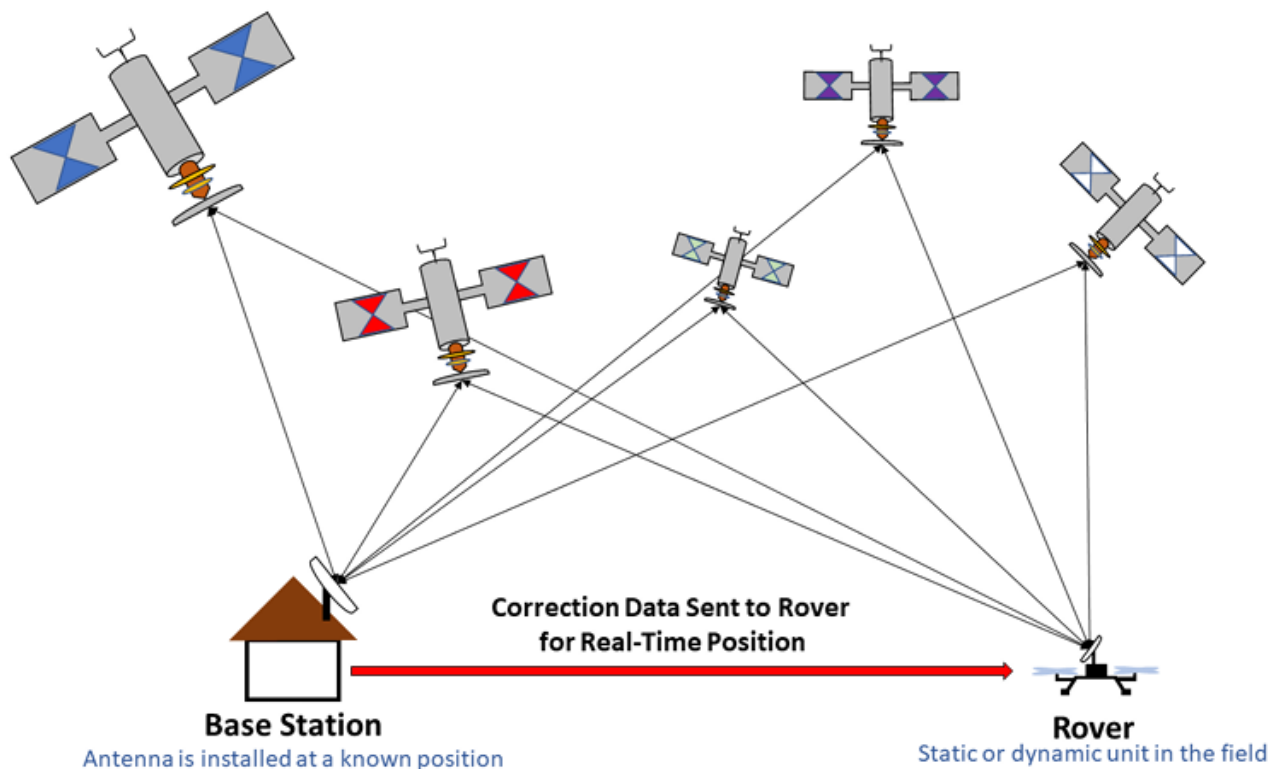
Figur 3: De viktigste feiltypene i GNSS

3.2.1 RTK

I RTK-teknikken utnytter man det faktum at de nevnte feilene av type 1-4 er nokså like over små geografiske avstander på bakken. Man setter opp en GNSS-mottaker på et punkt med kjent posisjon (denne mottakeren kalles «referansestasjon» eller «basestasjon») og overfører dennes kode- og faseobservasjoner til brukerens GNSS-mottaker (denne mottakeren kalles «rover») via enten en radiolink eller en mobildata-forbindelse. Roveren kombinerer så sine egne observasjoner med dem den har fått tilsendt. Hvis roveren befinner seg mindre enn 5-10 km fra referansestasjonen, vil de alle feilene av type 1-4 under normalt gode måleforhold i stor grad kanselleres ut, og roverens relative beliggenhet i forhold til referansestasjonen blir bestemt med en presisjon på få cm. Og siden vi kjenner posisjonen til referansestasjonen, er det enkelt å regne ut posisjonen til roveren.

Referansestasjonen kan enten være utstyr som brukeren tar med seg og setter opp over fastmerker med kjente koordinater, eller det kan være permanent utstyr som enten driftes av brukeren eller andre.

- Typiske distribusjonskanaler for data fra referansestasjon til rover: Radio, 2G, 4G, 5G

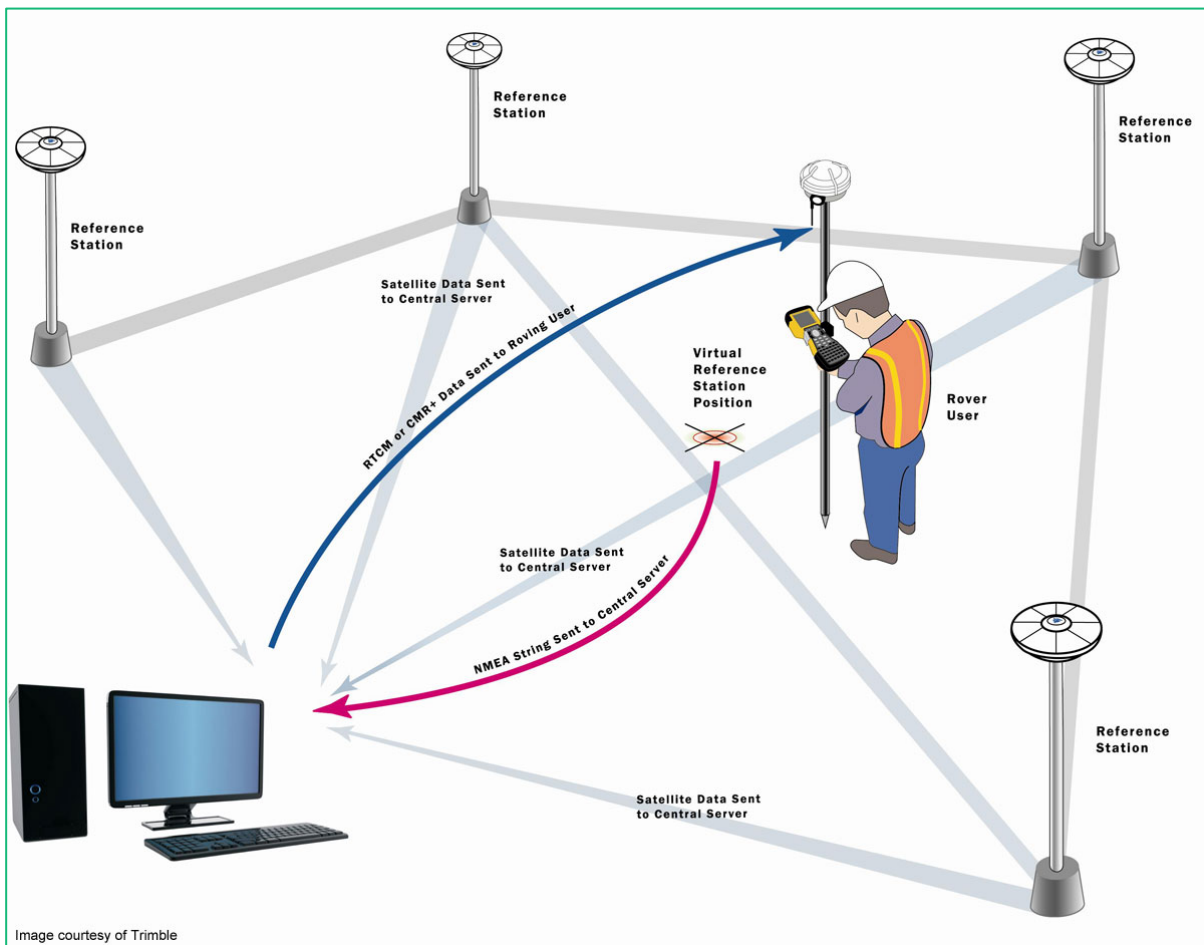


Figur 4: Illustrasjon av RTK (Kilde: inertialabs.com)

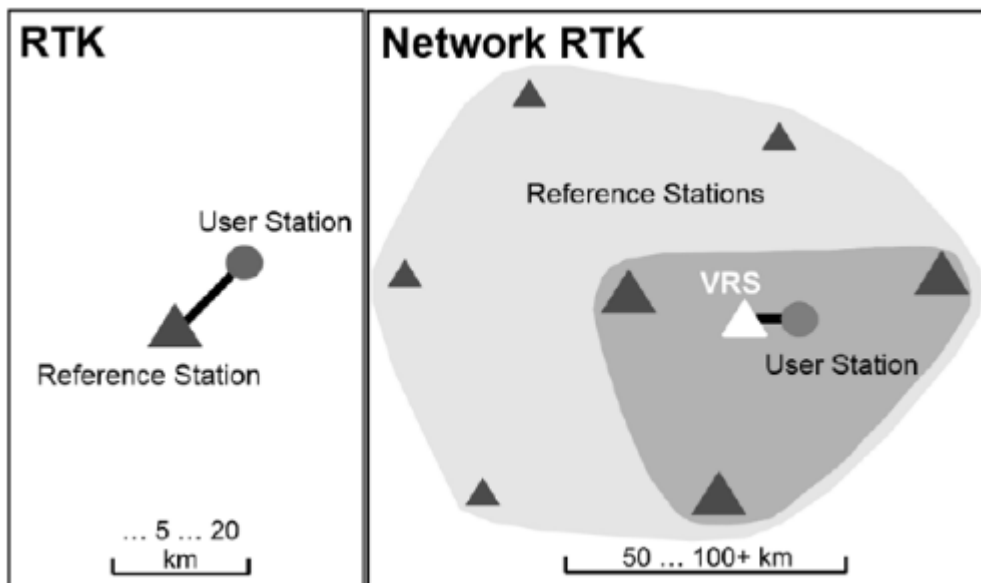
3.2.2 Nettverks-RTK (NRTK)

Den åpenbare ulempen med RTK er at man som bruker er bundet til å måtte operere i nærheten av en referansestasjon. Jo lenger unna man befinner seg, jo større blir sjansene for dårlig posisjonsnøyaktighet. 10 km må anses som veiledende maksavstand under gode måleforhold. Hvis man skal arbeide i andre områder, må enten referansestasjonen flyttes, eller man er avhengig av at det finnes en permanent referansestasjon som man kan benytte seg av i området der man skal jobbe. Hvis man skulle dekke store områder (f.eks. stater) med permanente referansestasjoner for RTK, måtte man ivareta en maksavstand på 5-10 km til nærmeste stasjon, noe som ville resultere i en svært stor mengde stasjoner og dermed store infrastrukturkostnader. For å unngå dette, ble teknikker for Nettverks-RTK (NRTK) utviklet. Utviklingen av NRTK unyttet blant annet at tilgangen på høyhastighets internett og datamaskiner med høy prosesseringskapasitet ble stadig bedre tidlig på 2000-tallet, og NRTK baserer seg på et nettverk av referansestasjoner som «samvirker» via en felles beregningssentral. Prinsippet her er at, istedenfor å sende observasjoner direkte fra referansestasjon til rover, blir de sendt inn via internettlinjer til en felles beregningssentral. Programvaren i beregningssentralen behandler observasjonene fra referansestasjonene og beregner romlige matematiske modeller for de ovennevnte feiltypene. Videre finnes det ulike veier til målet, men her beskrives den vanligste varianten, som kan kalles «VRS-metoden»: Brukeren GNSS-mottaker sender sin omtrentlige posisjon, beregnet som en ukorrigert standard løsning med typisk nøyaktighet på 5-10 meter, inn til beregningssentralen. Programvaren i beregningssentralen interpolerer til denne posisjonen i modellene for GNSS-feil, og utarbeider et syntetisk sett med kode- og faseobservasjoner for brukerens omtrentlige posisjon. Disse dataene sendes til roveren, som kan benytte disse som om de kom fra en virkelig

referansestasjon. Ettersom man interpolerer mellom flere stasjoner istedenfor å ekstrapolere fra en enkelt stasjon, som man i praksis gjør i RTK, gjør det at man i NRTK kan tillate seg å ha vesentlig større avstand mellom stasjonene enn hvis man skulle dekket det samme området med RTK. Det geografiske stedet som de syntetiske dataene refererer seg til (altså rett i nærheten av brukeren), kalles ofte en «virtuell referansestasjon» (VRS), og de syntetiske dataene kan vi kalle VRS-data. En VRS er altså ingen fysisk stasjon, men bare et geografisk punkt som dataene refererer seg til. Dersom brukeren beveger seg mye, beregningscentralen etter hvert måtte bytte til ny VRS etter noen få kilometer, fordi gyldigheten av dataene fra den forrige VRS-en da vil svekkes i takt med avstanden.



Figur 5: Illustrasjon 1 av NRTK (Kilde: Trimble / U.S. Geological Survey)



Figur 6: Illustrasjon av forskjellen mellom RTK og NRTK (Kilde: Researchgate.net)

I Norge er Kartverkets CPOS en av flere NRTK-tjenester, og Kartverket har gradvis etablert en stor mengde referansestasjoner for å gi landsdekkende CPOS-dekning. I tillegg finnes 3 tilsvarende tjenester som tilbys av 3 konkurrerende kommersielle aktører:

- TopNet Live (Topcon. Formidles i Norge av Blinken AS)
- HxGN SmartNet (HEXAGON / Leica Geosystems AG. Formidles i Norge av Leica Geosystems AS)
- VRS Now (Trimble. Formidles i Norge av Norgeodesi AS)

Disse tjenestene baserer seg også på Kartverkets referansestasjoner. I utgangspunktet kan avstanden mellom referansestasjonene i NRTK være på ca. 70 km, dvs. at brukerne kan befinne seg opptil 40 km fra nærmeste referansestasjon. En bruker må imidlertid regne med at forventet nøyaktighet er lavere 40 km unna enn 2 km unna nærmeste referansestasjon. I takt med økte målsetninger/forventninger om nøyaktighet, har Kartverket fortettet sitt nettverk av referansestasjoner til avstander på om lag 30 km i store deler av landet.

Et viktig poeng for NRTK er at det kreves en toveis kommunikasjonskanal fra beregningsentralen til hver av brukerne. Årsaken til dette er at programvaren i beregningsentralen må vite hvor brukeren befinner seg for å kunne beregne VRS-data. Brukeren sender inn sin posisjon til beregningsentralen ved tilkobling til tjenesten og deretter med jevne mellomrom.

- Typiske distribusjonskanaler for data fra NRTK-beregningsentral til rover: 2G, 4G, 5G

RTK og NRTK benytter prinsippet Observation Space Representation (OSR), det vil si at kompensasjonen for GNSS-feilene skjer ved å kombinere observasjoner (kode og fase) slik at ulike feiltyper kanselleres ut ved geografisk nærhet. Dataflyten for dette er illustrert i øverste del av Figur 9. En annen strategi for å forsøke å beregne hver av de ulike feilene og distribuere korreksjoner for disse til brukeren. Dette kalles State Space Representation (SSR), og forklares nærmere i neste avsnitt.

3.2.3 SSR: PPP

Ettersom NRTK, til tross for en vesentlig innsparing av nødvendig stasjonstetthet sammenlignet med RTK, krever et nokså tett nettverk av stasjoner for å dekke større områder, har denne teknikken ikke vært egnet til bruk på havet, unntatt i kystnære områder. Et annet poeng er distribusjonskanalen. Til havs er det gjerne dårlig dekning med mobilt internett. I utgangspunktet er det langt flere anvendelser som krever cm-nøyaktighet på land enn til sjøs, men i offshore-næringen har høy presisjon vært et behov i lang tid. Ulike kommersielle selskaper tilbyr her tjenester som gir ned mot 10 cm nøyaktighet. Slike tjenester er basert på et annet prinsipp enn RTK/NRTK: Et nettverk av anslagsvis 20 – 40 stasjoner spredd over hele jorda sender inn sine observasjoner til en beregningsentral, som benytter disse til å beregne satellittenes bane- og klokkefeil (feiltype 1 og 2), og derigjennom å lage korreksjoner for disse feilene. En nøkkel for at disse korreksjonene skal få høy kvalitet er nettopp at stasjonene er spredd rundt hele kloden. Disse korreksjonene sendes til brukerne tradisjonelt sett via kommunikasjonssatellitter (for god dekning langt til havs), men man kan også tenke seg andre distribusjonskanaler. Disse korreksjonene har global gyldighet, så her trenger ikke brukeren sende inn sin posisjon. Dermed er det ikke nødvendig med toveis kommunikasjon med beregningsentralen. Datamengden som skal distribueres er også vesentlig lavere enn for NRTK. Brukeren kompenserer selv for feiltype 3 (ionosfæren) ved å observere minst 2 signalfrekvenser fra hvert GNSS, og for feiltype 4 (troposfæren) ved å estimere denne feilen selv. Denne teknikken kalles tradisjonelt for PPP (Precise Point Positioning). Ulempen med PPP er at brukeren må vente i anslagsvis 15 – 30 minutter fra man har koblet seg til tjenesten før angitt nøyaktighet oppnås. Derfor er PPP en teknikk som ofte egner seg best under forhold hvor man kan bruke GNSS relativt uavbrutt i arbeidet man skal utføre. Slike forhold har man oftere på sjøen, hvor det er god «sikt» til satellittene, enn på land, hvor terreng, vegetasjon og bygninger ofte skygger for mange satellittsignaler.

Lenker til noen leverandører av PPP-tjenester:

<https://www.fugro.com/our-services/marine-asset-integrity/satellite-positioning/starfix#tabbed1>

<https://veripos.com/services>

<https://positioningservices.trimble.com/services/rtx/>

<https://www.omnistar.com/>

<https://novatel.com/products/gps-gnss-correction-services/terrastar-correction-services>

3.2.4 SSR: Hybridtjenester (PPP-AR, PPP-RTK)

En stor grad av forskning og utvikling har blitt utført for å gjøre PPP mer attraktiv for brukere som ikke kan vente en halvtime på å få god nøyaktighet etter at utstyret er skrudd på. Målet er at man bevarer PPP sin fordel med enveiskommunikasjon, samtidig som man får god nøyaktighet raskt, som er fordelene med RTK/NRTK. Et løsningsprinsipp som flere aktører har basert sine tjenester på, er å basere seg på PPP sitt prinsipp om kringkastede korreksjoner for satellittenes bane- og klokkefeil, supplert med atmosfæriske korreksjoner som beregnes fra et stasjonsnettverk som har en tetthet som minner om et NRTK-nettverk. Dette vil kunne gi initialiseringstider på linje med RTK/NRTK, altså få sekunder. Test-tjenesten som skal implementeres i HyPos-prosjektet er av denne typen.

Lenker til noen leverandører av slike tjenester (noen av lenkene peker til nettsteder som både omtaler PPP-tjenester og hybridtjenester):

<https://www.u-blox.com/en/product/pointperfect>

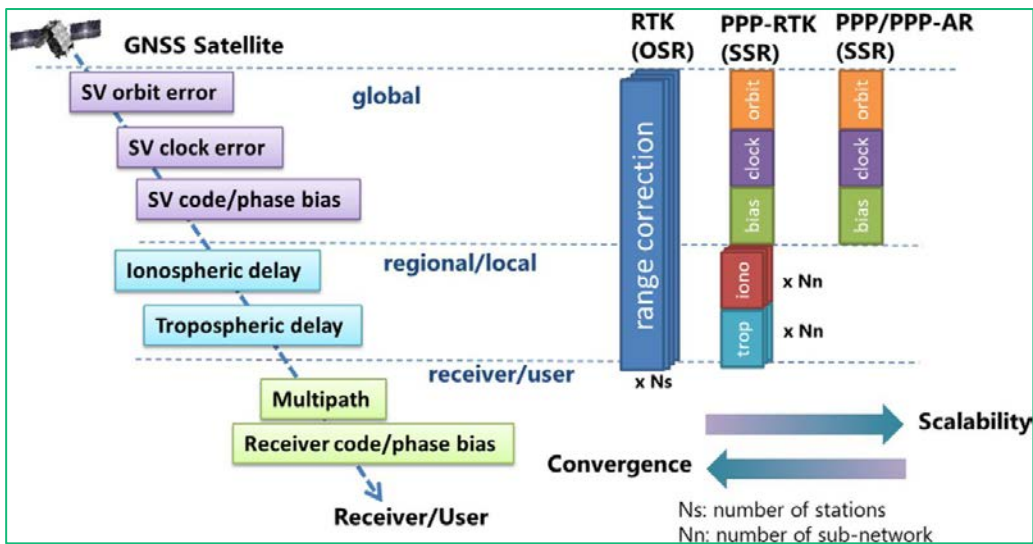
<https://magicgnss.gmv.com/>

<https://positioningservices.trimble.com/services/rtx/>

<https://novatel.com/products/gps-gnss-correction-services/terracor-correction-services>

Galileo vil snart tilby en tjeneste som også faller i denne kategorien. Den heter Galileo High Accuracy Service (HAS), og vil gi en nøyaktighet på anslagsvis ca. 20 cm, altså noe dårligere enn RTK/NRTK, men den vil til gjengjeld være gratis. Tjenesten vil levere korreksjoner for Galileo- og GPS-satellitter, og korreksjonene vil distribueres på E6-signalet (1278.75 MHz) fra de fleste Galileo-satellitter, noe som gir brukerne enkel tilgang. Mer informasjon om Galileo HAS finnes her:

<https://www.gsc-europa.eu/galileo/services/galileo-high-accuracy-service-has>

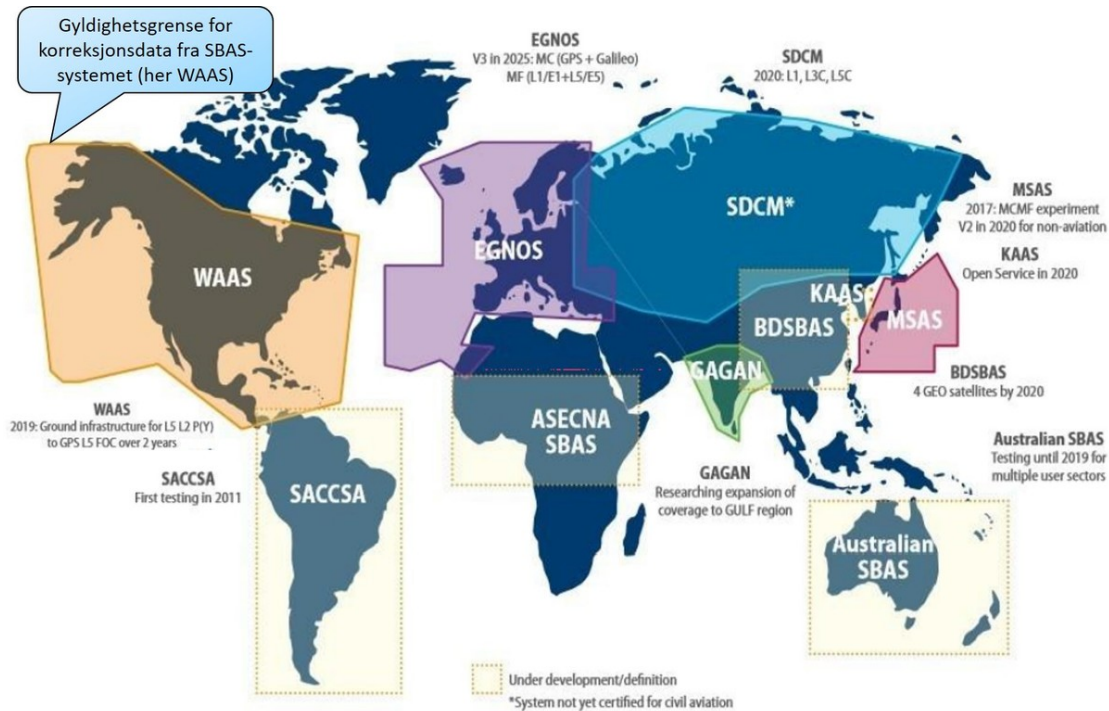


Figur 7: Illustrasjon av forskjellen mellom OSR og SSR (Kilde: Institute of Navigation / R. Hirokawa et al.)

3.2.5 SBAS

Satellite Based Augmentation system (SBAS) (EUSPA (2022)) er en tjeneste som sender korreksjoner og integritetsinformasjon ved hjelp av geostasjonære kommunikasjonssatellitter. SBAS systemenes mest sentrale rolle er å ivareta sikkerhetskritiske anvendelser av GNSS (f.eks. lande fly/helikopter) og er mye brukt innen luftfart der sikkerhet trumfer nøyaktighet. Nøyaktigheten for SBAS-systemer er typisk dårligere enn for PPP-tjenester, bl.a. fordi SBAS har regionale stasjonsnettverk istedenfor globale, og fordi ingen brukere primært bruker kodeobservasjoner (iht. standarder). Til gjengjeld gir SBAS høy integritet, noe som foreløpig ikke er særlig utbredt i PPP-tjenester. På grunn av "Safety-of-Life"-fokuset i SBAS er infrastrukturen i et SBAS gjerne duplisert, og det er innbygd sikkerhetssjekker for dataflyt og dataprosessering. Figur 8 viser operative og planlagte SBAS-systemer. I Europa er EGNOS operativt med referansestasjoner plassert fra Svalbard i nord til Sør-Afrika i sør, og brukes aktivt for eksempel i den norske luftambulansen.

<https://www.euspa.europa.eu/european-space/egnos/what-egnos>



Figur 8: Dekning av operative og planlagte SBAS-systemer. Kildekart fra: European Global Navigation Satellite Systems Agency.

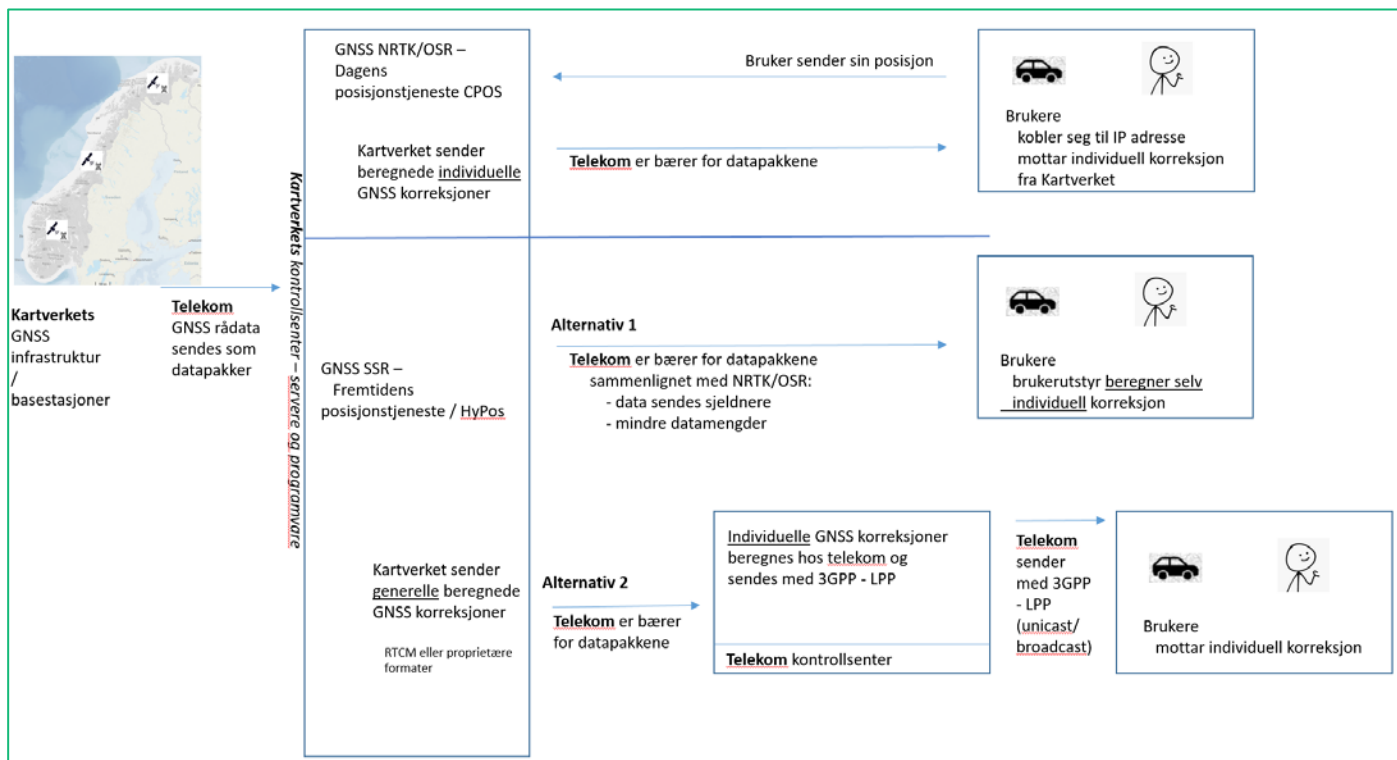
3.3 Generelt om distribusjonsmetoder

3.3.1 OSR (NRTK)

For NRTK-tjenestene i Norge er situasjonen i dag slik at tjenesten blir tilbudt som en datastrøm på en server som man koble seg til via hvilken som helst slags internettforbinding. Programvaren på denne serveren sørger for adgangskontroll. Den vanligste måten for en bruker å koble til serveren på er via 4G på måleutstyret, på samme måte som en mobiltelefon har tilgang til internett.

Anvendelsesprotokollen som blir brukt til dette formålet er Ntrip, som er standardisert gjennom den USA-baserte organisasjonen RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services), og er basert på HTTP og RTSP.

Dataflyten for CPOS (Kartverkets NRTK-tjeneste) er skissert i øverste del av Figur 9.



Figur 9: Dataflyt for Kartverkets posisjonstjenester (Kilde: Morten Taraldsten Brunes, Kartverket)

3.3.2 SSR

PPP-tjenester distribuerer som regel dataene sine via L-bånd-signaler på geostasjonære kommunikasjonssatellitter. Fordelen med dette er at brukerne som regel ikke trenger egen antenne eller modem til mottak av korreksjoner, ettersom GNSS-signalene også er L-bånd-signaler. Adgangskontroll sørges for gjennom kryptering av datastrømmen. Ulempen med de geostasjonære satellittene er at de står lavt på himmelen i arktiske strøk, noe som særlig er en utfordring når norsk topografi skaper mye signalskygge. Noen tjenester tilbyr også distribusjon over internett (med Ntrip). Dessuten er det enkelte tjenester som i tillegg distribuerer data over lavbane-satellittkommunikasjon (f.eks. Iridium).

Hybridtjenester (PPP-AR, PPP-RTK etc.) distribuerer gjerne data både via geostasjonære kommunikasjonssatellitter og via internett (NB! Enkelte tjenester bruker andre protokoller enn Ntrip). Testtjenesten som skal implementeres i HyPos-prosjektet, vil distribuere data via internett. Nedre del av Figur 9 illustrerer to tenkte alternativer for en slik tjeneste. Forskjellene mellom dem dreier seg i hovedsak om byrdefordeling mellom Kartverkets beregningsentral, telekom og brukernes utstyr.

Galileo HAS vil distribuere korreksjonene sine via Galileo-satellitter (L-bånd, spesifikt E6-signalet), noe som gir tilgang direkte i antenne som hører til GNSS-mottakeren, samt vesentlig bedre tilgjengelighet i arktiske strøk og ved topografisk skygge enn hva situasjonen er med distribusjon via geostasjonære satellitter. I tillegg er det planlagt distribusjon over internett.

4 Posisjonsbestemmelse i mobilnettet

Mobile nettverk har revolusjonert kommunikasjon ved å gjøre det mulig for mennesker å holde kontakten med hverandre uansett hvor de befinner seg. De har også gjort det mulig for enheter å koble seg til internett og utnytte en rekke tjenester og applikasjoner, som nettbank, sosiale medier, e-post og mye mer. I dag er mobile nettverk en viktig del av vårt daglige liv, og de utvikles stadig videre for å tilby enda raskere datahastigheter og støtte for nye tjenester og applikasjoner.

posisjonsbestemmelse ved hjelp av mobilnettet ble først introdusert i USA i 1996 som et verktøy for å hente lokasjonen til en nødsamtale (Federal Communications Commission, 1996). Lokalisering av brukerenheter (UE – User Equipment) er også essensielt for mobil kommunikasjon, da nettverket f.eks. må vite hvor en samtale/data skal rutes fra/til, samt for sikre kontinuitet i kommunikasjon-/datatrafikken når enheter går fra et dekningsområde til et annet. Siden 1996 har man stadig videreutviklet og standardisert teknikker for posisjonsbestemmelse gjennom mobilnett både for å øke ytelsen i mobilnettet selv, men også for å bygge nye tjenester. Posisjonsbestemmelse i mobilnettet er også et godt supplement til GNSS, spesielt i områder uten GNSS-dekning f.eks. innendørs eller i tunneler.

4.1 Mobile nettverk

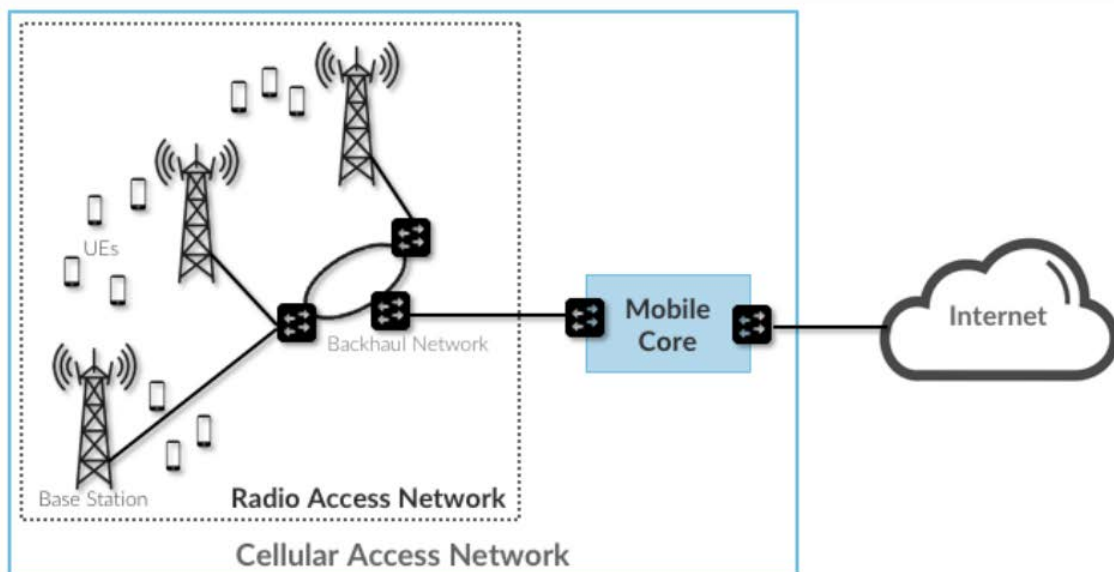
Mobile nettverk er trådløse kommunikasjonsnettverk som tillater enheter som smarttelefoner, nettbrett og bærbare datamaskiner å koble seg til internett og gjøre telefonsamtaler. Mobile nettverk er basert på cellulær teknologi, som deler opp et geografisk område i en rekke små «celler», hver dekket av en basestasjon. Basestasjonene sender og mottar signaler fra mobile enheter innenfor cellen, og viderekobler samtaler og dataene til mobil-sentraler, som igjen viderekobler dem til det offentlige telefonnettet eller internett. For å hindre interferens og sikre servicekvalitet innenfor hver celle, bruker en celle normalt et separat sett med frekvenser fra nabocellene. Figur 10 viser to eksempler på hvordan en basestasjon kan se ut.



Figur 10: Eksempler på hvordan en basestasjon kan se ut. Til venstre vises basestasjonen på Hotellneset, Svalbard. Til høyre ser man en mobil basestasjon godt kamouflert ved Larvik golfbane. Kilde: Wikipedia.

Arkitekturen til et 5G-nettverk kan sees i Figur 11 og vil bestå av følgende komponenter:

- **Radio access network (RAN):** Dette er delen av nettverket som kobler mobilenheter til nettverkets kjerne. Det består av et stort antall basestasjoner, hver av dem som dekker et lite geografisk område.
- **Mobile core (Kjernenett):** Dette er hjertet av 5G-nettverket og ansvarlig for å viderekoble samtaler og data mellom mobilenheter og det offentlige internettet. Det består av et antall forskjellige komponenter blant annet Mobile Switching Center (MSC), hjemme-lokasjons-registeret (HLR), gjest-lokasjons-registeret (VLR) og autentisering, autorisering og fakturering (AAA)-servere.
- **Backhaul network (Transportnettverk):** Dette er infrastrukturen som kobler de ulike komponentene i 5G-nettverket sammen, slik at de kan utveksle data og tale-trafikk. Det består vanligvis av fiberoptiske kabler og mikrobølge-lenker med høy hastighet.



Figur 11: Oppbyggingen av et 5G-nettverk. Kilde: Peterson & Sunay (2020).

4.2 Standardisering og utvikling av mobilnett

For mobilteknologi foregår standardisering gjennom 3GPP (Third Generation Partnership Project) som representerer standardiseringsorganet for mobilteknologi. Denne organisasjonen forhandler, utvikler og setter opp standarder for mobilteknologi. En fordel, som også er ulik fra andre teknologier, er at mobilteknologien er helt standardisert og fungerer likt i alle land, hos forskjellige operatører og hos ulike produsenter. Det går mellom 1,5 og 2 år mellom hver standard «release» som inneholder ny funksjonalitet, og dette fungerer som et veikart for de neste årene.

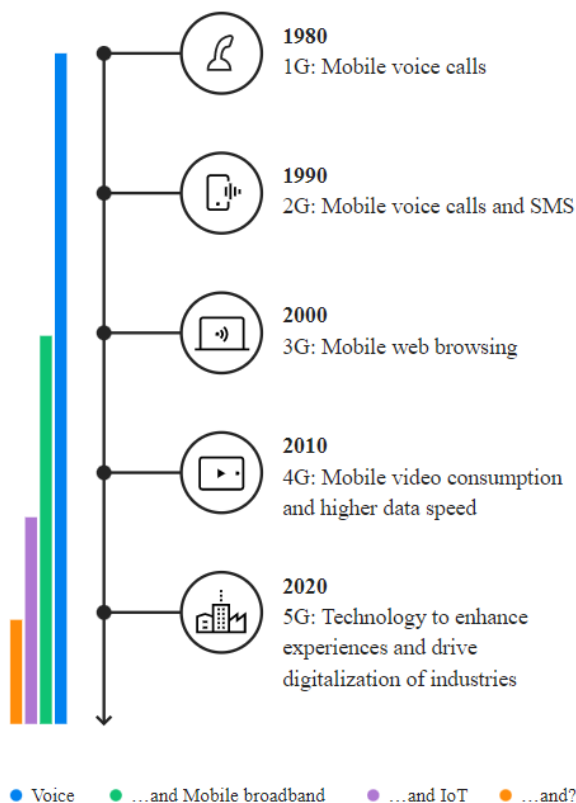
Generasjoner av mobilnett

De ulike teknologiene for mobilnett blir delt inn i generasjoner med stadig økt ytelse og kapasitet. Under oppsummeres de eksisterende generasjonene for mobilnett og dette er også vist i Figur 12:

- **1G:** Dette var den første generasjonen mobilnett, som ble lansert på 1980-tallet. 1G-nettet ble primært brukt til å levere taletjenester, men kunne også levere enkle data-tjenester, som SMS.
- **2G:** 2G-nettet ble lansert på 1990-tallet, og var en videreutvikling av 1G-nettet. Dette nettet ble mye brukt for å levere taletjenester, men kunne også levere enkle data-tjenester, som SMS og MMS. 2G-nettet ble standardisert av 3GPP gjennom teknologiene: GSM (Global System for Mobile Communications) og CDMA (Code Division Multiple Access).
- **3G:** 3G-nettet ble lansert på 2000-tallet, og var en videreutvikling av 2G-nettet. Dette nettet gir raskere dataoverføringshastigheter enn 2G, og kan levere en rekke avanserte data-tjenester, som videotelefoni, mobilt internett og andre tjenester. 3G-nettet ble bygget på teknologier standardisert av 3GPP som UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) og CDMA2000.
- **4G:** 4G-nettet ble lansert på 2010-tallet. Dette nettet gir ytterligere økning i dataoverføringshastigheter sammenlignet med 3G, og kan levere en rekke avanserte data-tjenester,

inkludert streaming av video og musikk. 4G-nettet ble bygget på teknologier standardisert av 3GPP som LTE (Long-Term Evolution) og WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access).

- **5G:** 5G-nettet er den siste generasjonen mobilnett, og ble lansert på 2020-tallet. Dette nettet gir en betydelig økning i dataoverføringshastigheter sammenlignet med 4G. 5G vil bli næyere beskrevet i de neste avsnittene.

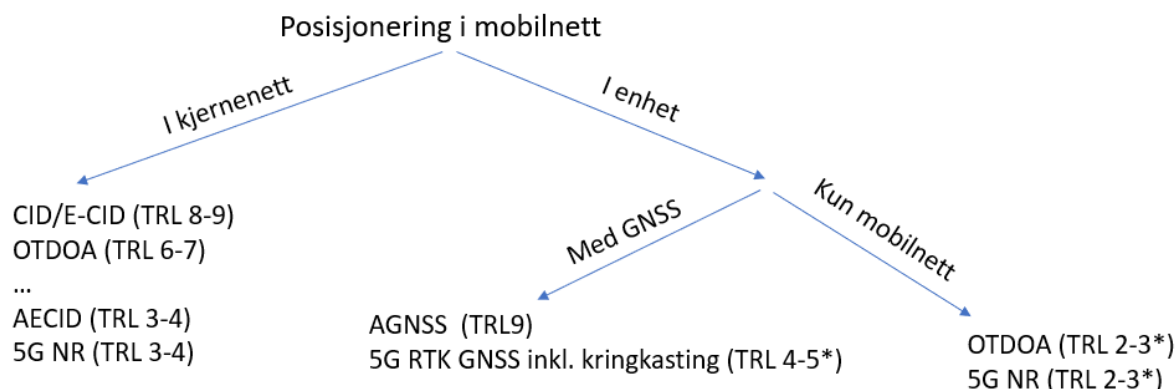


Figur 12: Utviklingen av mobilnettet fra 1G til 5G. Kilde: Ericsson.

4.3 Posisjonsbestemmelse i mobilnettet

En rekke ulike metoder for posisjonsbestemmelse i mobilnett kan identifiseres fra både litteratur, presentasjoner og i samtaler med eksperter på området. For en grundigere introduksjon til prinsipper og noen muligheter innenfor en del av metodene anbefales Rohde & Schwarz (2013). Metodene kan deles inn i tre hovedkategorier (se Figur 10):

- 1) Posisjonsbestemmelse av enheter der beregningene blir gjort kun i kjernenettet.
- 2) Enheten mottar data fra mobilnettet for å støtte opp en posisjonsbestemmelse i hovedsak basert på GNSS.
- 3) Enheten beregner selv sin posisjon med data kun fra mobilnettet.



Figur 13: Metoder for posisjonsbestemmelse ved bruk av mobilnett, med estimert TRL-nivå for metodene beskrevet. Nære prosjekter/aktiviteter er også oppgitt og forkortelser følger i beskrivelsen av metodene. *Representere de mest usikre estimatene for TRL nivå

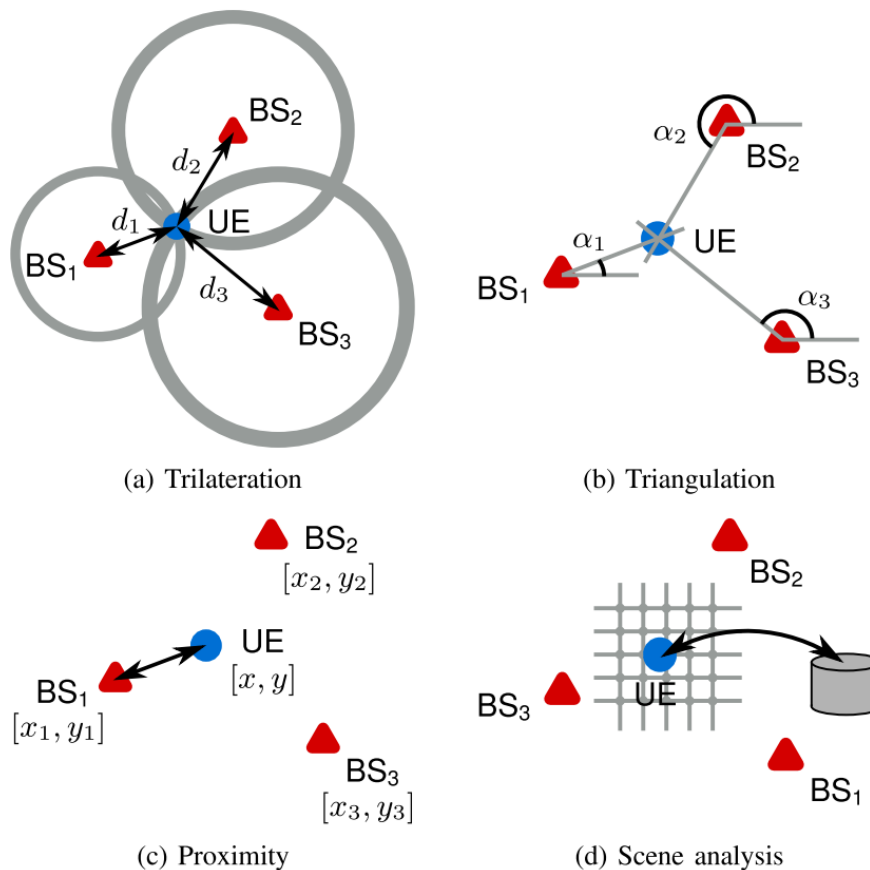
Av disse er posisjonering via kjernenettet den mest utviklede teknologien. Dette er den typen posisjonering som har lengst historie og er nærmest kjernevirksomheten og forretningsmodellen til en mobiloperatør. Teknologien er sentralisert og gir nettverksoperatøren full kontroll over posisjoneringstjenesten, samt at den ikke stiller krav til mobilenhetene og kan derfor benyttes av eldre enheter.

HyPos-prosjektet arbeider hovedsakelig mot høyre delen av figuren, der vi i dette prosjektet ser på muligheten for en nasjonal hybrid posisjonstjeneste ved å ta i bruk kringkasting av korreksjonsdata via mobilnett og posisjonsbestemmelse i mobilnettet som uavhengig posisjonstjeneste som tillegg til posisjonsbestemmelse via GNSS.

4.3.1 Grunnleggende prinsipper for posisjonsbestemmelse i mobilnettet

Det er fire grunnleggende teknikker som kan brukes til å beregne posisjonen til den mobile enheten ved hjelp av radiosignalmålinger eller referanser. De fire er

- **Trilaterasjon:** Posisjonen finnes ved å beregne skjæringspunktet mellom geometriske former, f.eks. sirkler eller hyperbler skapt av avstandsmålinger mellom basestasjonene og mobilenhetene. Flere typer målinger kan brukes, f.eks. ankomsttid (ToA), tidsforskjell for ankomst (TDoA) eller mottatt signalstyrke (RSS).
- **Triangulering:** Ved triangulering er ankomstreningen eller vinkelen (DoA eller AoA) av de mottatte signalene kjent. Disse kan brukes til å estimere posisjon ved å bruke skjæringspunktet mellom minst to kjente retningene til det innkommende signalet.
- **Nærhet:** Posisjonen blir estimert ut fra den nærmeste basestasjon.
- **Scene analysis:** Dette er også kjent som finger printing (fingeravtrykk) og går ut på å finne den beste matchen for en signalmåling fra en kjent database. Hvert fingeravtrykk er knyttet til en bestemt posisjon.



Figur 14: Illustrasjon av de fire grunnleggende teknikkene for posisjonsbestemmelse i mobilnettet.

4.3.2 Eksisterende metoder

Under gis det kort en introduksjon for de ulike metodene nevnt i Figur 13. Dette er eksisterende metoder som blir benyttet for posisjonsbestemmelse i mobilnettet i dag.

CID og E-CID

Cell ID (CID) er en unik identifikator for en celle, eller en spesifikk plassering innen et mobilnettverk. Cell ID-er kan brukes til å bestemme plasseringen til en mobil enhet ved å benytte nærhetsteknikken.

Posisjonen gitt ved CID er ikke veldig presis, og presisjonen kan variere avhengig av blant annet tettheten av basestasjoner i området.

Enhanced Cell ID (E-CID) er en teknologi som brukes for å forbedre nøyaktigheten til CID. Den fungerer ved å samle inn mer detaljert informasjon om plasseringen til en mobil enhet (f.eks. ved hjelp av GNSS eller Wi-Fi), slik at nettverket kan gi en mer nøyaktig plassering enn det som kan oppnås ved hjelp av bare en vanlig cell ID.

OTDOA

OTDOA (Observed Time Difference of Arrival) fungerer ved å måle tidsforskjellen mellom når et signal sendes fra en mobilenhet og når det mottas av ulike basestasjoner i nettverket. Ved å måle tidsforskjellen

mellom signalet som sendes fra enheten og signalet som mottas av ulike basestasjoner, kan nettverket bestemme enheten sin posisjon. OTDOA baserer seg altså på trilaterasjon.

For eksempel for tidskritiske anvendelser innen CCAM vil det være interessant å undersøke i hvilken grad all kalkulasjon av posisjonsbestemmelse kan gjøres i enheten. OTDOA kan være en aktuell teknikk for dette ved at enheten i stedet beregner sin posisjon ut ifra signal sendt fra basestasjonene. Dette setter krav til en høy tidssynkronisering av data som sendes fra basestasjonene. I tillegg må posisjonen til basestasjonene gjøres tilgjengelig for enheten. Se spesielt (Spirent, 2012) for detaljer omkring tekniker for OTDOA.

Fingerprinting og AECID

Fingerprinting går ut på lære seg hvordan signaleringen ser ut i ulike områder. Posisjonen til en enhet blir så bestemt ved å sammenligne målte signalstyrker med et forhåndsdefinert "signalkart". Det forhåndsdefinerte kartet er oftest laget ved hjelp av software som predikerer signalstyrken på gitte punkter. AECID (Adaptive enhanced cell ID) er en metode som videreutvikler "tradisjonell" fingerprinting ved å inkludere mer informasjon som f.eks. celle-id. Metoden er sårbar for endringer som påvirker signalegenskapene på et gitt sted, for da vil ikke lenger "kartet" gi riktig verdi. Den krever også nok referansepunkter for å gi god nøyaktighet. Se Shi og Wigren (2009) og Tahat m.fl. (2016) for flere detaljer.

A-GNSS

A-GNSS (Assisted GNSS) involverer å benytte mobilnettet til å sende informasjon om satellittplasseringer for tilgjengelige satellitter, for å bedre time-to-fix, nøyaktighet, og batterilevetid (Heukelman, 2018; Ublox 2021). Ved å sende informasjon om satellittdata over mobilnettet kan mobilenhetene benytte flere satellitter og hurtigere koble seg på nye satellitter som blir tilgjengelige.

Tabell 2 viser en oversikt over metodene som er beskrevet hittil. Tabellen beskriver blant annet i hvilken generasjon av mobilnettverk teknikken først ble tatt i bruk og nøyaktighet for metodene.

Tabell 2: Oversikt over eksisterende metoder for posisjonsbestemmelse i mobilnett. Hentet fra (Liu et.al., 2017)

Network	Synchronization	Method	Limitations	Accuracy	Response time
2G	Timing advance	CID+TA	Cell sizes	About 550 m	Very low
		E-OTD	Multipath	50~300 m	Medium
3G	Synchronization symbols	CID+RTT	Cell sizes	About 200 m	Low
		OTDOA	Multipath	50~200 m	Medium
		A-GPS	Weak indoor reception	10~50 m	High
4G	PRS	ECID	Cell sizes and multipath	150 m or coarser	Low
		OTDOA or UTDOA	Multipath	50~200 m	Medium
		A-GNSS	Weak indoor reception	10 m or more precise	High

TABLE I. Positioning technologies and corresponding performances in evolved cellular networks.

4.4 Posisjonsbestemmelse i 5G

5G er den femte generasjonen av mobiltelefonnettverk, og det er en rekke nye funksjoner og forbedringer som skiller det fra tidligere generasjoner av mobiltelefonnettverk. Noen av de viktigste nyhetene i 5G inkluderer:

- **Høyere hastighet:** 5G gir mulighet for høyere hastigheter enn tidligere generasjoner av mobiltelefonnettverk, noe som gjør at det er mulig å overføre store mengder data raskt.
- **Mindre forsinkelse:** 5G har mindre forsinkelse enn tidligere generasjoner av mobiltelefonnettverk, noe som gjør at det er mulig å kommunisere med enhetene på en raskere måte. Forsinkelsen med 4G er normalt mellom 30-50 millisekunder. 5G skal etter planen ha en forsinkelse som er under 10 millisekunder ved normale forhold, og ned mot under 1 millisekund for spesielle bruksområder.
- **Mer kapasitet:** 5G gir mulighet for mer kapasitet enn tidligere generasjoner av mobiltelefonnettverk, noe som gjør at det er mulig å koble til flere enheter samtidig.
- **Bedre dekning:** 5G gir mulighet for bedre dekning enn tidligere generasjoner av mobiltelefonnettverk, noe som gjør at det er mulig å koble til nettverket i områder der dekningen har vært dårlig før.

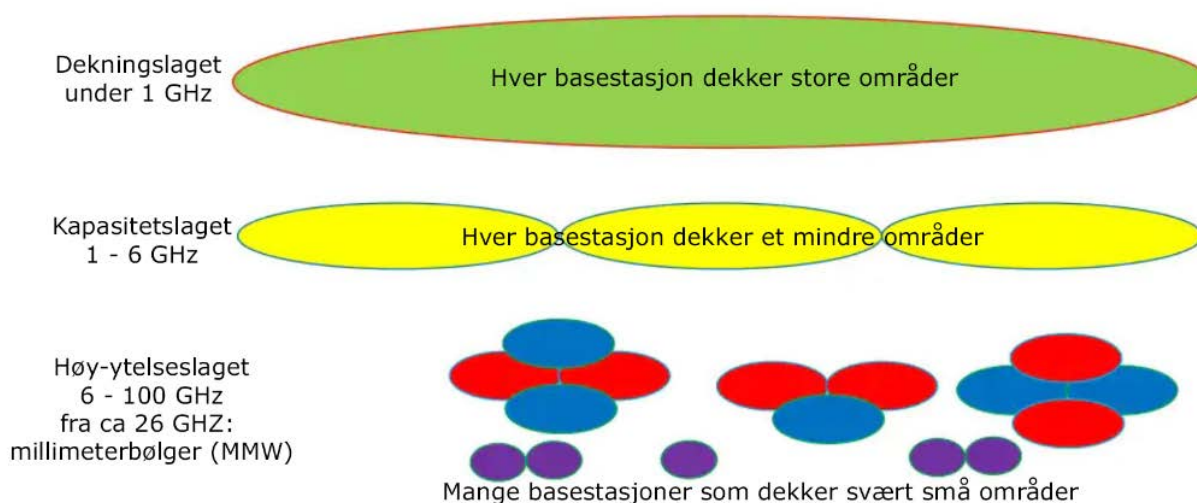
4.4.1 Nye teknologier i 5G

Bruk av ulike frekvenser

5G tar i bruk frekvenser i mikrobølgeområdet (den mest høyfrekvente delen av radiospektrumet) og skal benytte bølgelengder i området 24 GHz og høyere. Disse er ikke brukt til trådløse mobilnettverk tidligere. I tillegg skal lavere frekvenser som også brukes av 4G i dag benyttes. Dette gjelder spekteret 600-850 MHz og 2,5-3,7 GHz. I 5G skal den samme teknologien kunne brukes på alle båndene, både lave frekvenser og høye. Ved å ta i bruk høye frekvenser fra 24 GHz og oppover, får man høyere kapasitet og båndbredde, men rekkevidden på et signal svekkes.

De ulike frekvensbåndene er delt opp i ulike bruksområder fordi de egner seg til ulike oppgaver. De kan deles i tre nivåer, se også Figur 15:

- **Dekningslaget** med frekvenser under 1 GHz. Dette gir utendørsdekning over store områder og når langt inn i bygninger.
- **Deknings-og kapasitetslaget** har frekvenser mellom 1 GHz og 6 GHz. Dette omfatter for 5G frekvensspekteret rundt 3,5 GHz.
- **Høy ytelseslaget** fra 6 GHz opp til mmWave-frekvenser som 30 GHz og over. Dette gir høy ytelse, men med høye frekvenser som ikke når langt ut fra en basestasjon. Det er derfor behov for svært mange basestasjoner for å dekke et område.

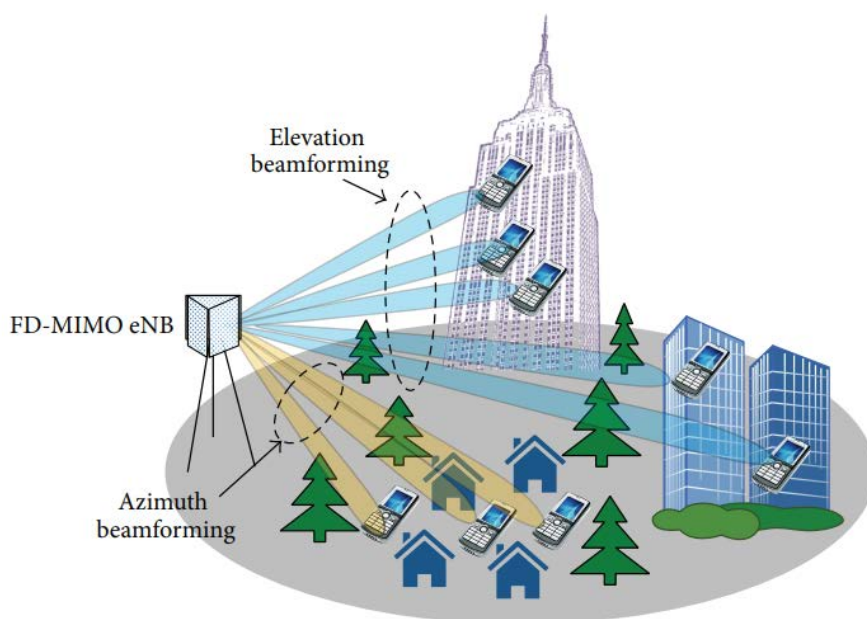


Figur 15: 5Gs bruk av ulike frekvensbånd for ulike behov. Høy ytelse krever høye frekvenser som ikke når langt ut fra en basestasjon. Det er derfor behov for mange basestasjoner for å dekke et område.

Stråleforming og MIMO

Stråleforming (beamforming) i 5G er en teknikk som brukes for å fokusere sendingen av radiobølger på en bestemt retning, slik at signalet kan sendes mer effektivt og med høyere kapasitet. Dette gjøres ved å bruke flere antenner som sendesignalet reflekteres av og fokuseres inn mot en bestemt retning. På denne måten kan stråleforming hjelpe til med å øke rekkevidden og kapasiteten på 5G-nettverket, samt redusere forstyrrelser og forbedre ytelsen generelt. Stråleforming kan også brukes for å forbedre dekningen i områder med dårlig signal, ved å sende signalet direkte til enhetene som trenger det. Figur 16 viser en illustrasjon av konseptet stråleforming.

MU-MIMO (Multiple User - Multiple Input Multiple Output) er en teknikk som brukes i 5G-nettverk og fungerer ved at det brukes flere antenner både på basestasjonen og på enhetene som kommuniserer med hverandre, slik at det kan sendes og mottas flere datastrømmer samtidig. På denne måten kan MU-MIMO øke båndbredden og kapasiteten på nettverket, og gjøre det mulig for flere enheter å kommunisere samtidig uten å forstyrre hverandre. MU-MIMO er spesielt nyttig i områder med høy trafikk, der det er mange enheter som kommuniserer samtidig, og kan bidra til å forbedre ytelsen og hastigheten på 5G-nettverket generelt.



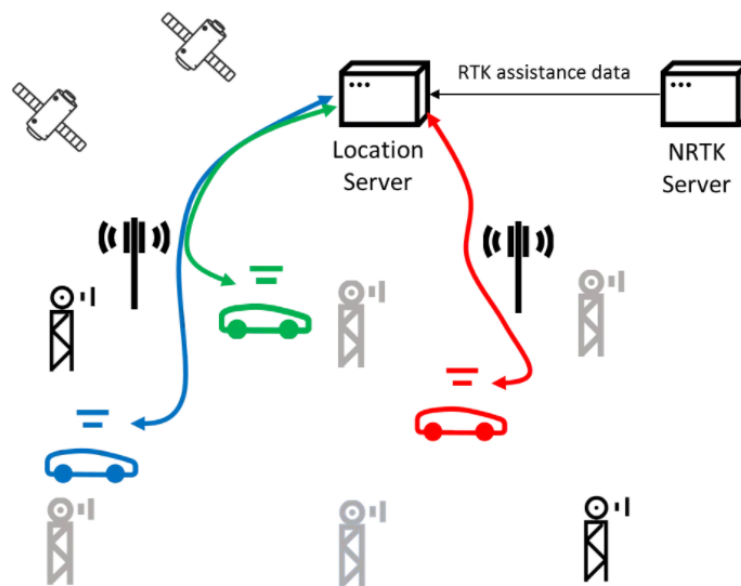
Figur 16: Illustrasjon av konseptet beamforming (stråleforming). Radiosignalet blir rettet direkte mot enhetene. Tzanidis et. al. (2015)

4.4.2 Posisjonsbestemmelse i 5G NR

5G NR (New Radio) refererer til en ny teknologi for mobilnett, på samme måte som LTE og GSM. Denne nye teknologien, sammen med en ny 3GPP posisjonsbestemmelse arkitektur introdusert i 3GPP Release 16, gir et forbedret parametersett for mer nøyaktig posisjonsbestemmelse, se Ericsson (2020) for en introduksjon. Posisjonsbestemmelse i 5G vil kunne benytte samme teknikker og metoder som beskrevet i avsnitt 4.3, men p.g.a. den nye teknologien i 5G vil dette føre med seg en rekke forbedringer. Disse forbedringene oppsummeres som:

- Med høyere frekvenser, som det legges til rette for i 5G, reduseres usikkerheten på signalforsinkelse.
- Mottatt signalstyrke reduserer usikkerheten i både forsinkelse og vinkelmåling. Beamforming (signalet rettes mot der hvor enhetene befinner seg), hjelper her.
- 5G NR kommer typisk med flere antenner per basestasjon, som reduserer usikkerheten, spesielt for vinkelmåling.
- Typisk består også et 5G radionettverk av flere basestasjoner, spesielt i byområder.
- Det er lagt til nye referansesignaler for 5G NR, NR PRS for downlink og SRS (sounding reference signal) for uplink. Disse signalene er designet, og sendes over hele båndbredden, for å redusere usikkerheten, spesielt når det måles mot flere basestasjoner simultant for f.eks. triangulering

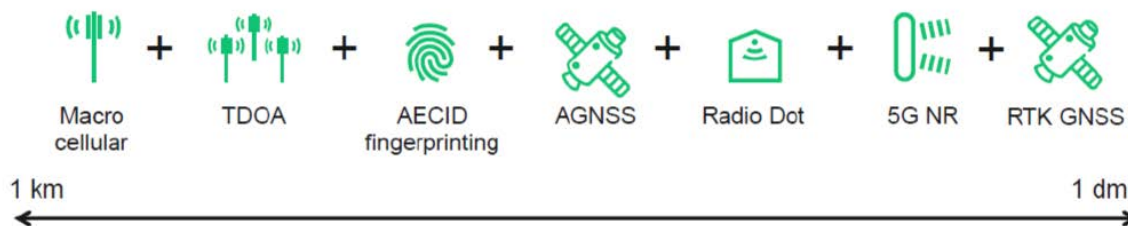
I tillegg har man et høyere fokus på å tidssynkronisere basestasjonen i mobilnettet, som vil bedre nøyaktigheten i flere av metodene for posisjonsbestemmelse.



Figur 17: Ericsson beskrivelse av konsept for kringkasting av GNSS over LPP. RTK basestasjoner (i svart, for eksempel Kartverkets basestasjoner) genererer data til en NRTK (Network RTK) server som kontinuerlig genererer korreksjoner for virtuelle basestasjoner (grå) og deler data med lokale servere som basert på omtrentlige posisjoner til enhetene kringkaster rette korreksjonsdata til rett enhet.

4.4.3 RTK GNSS

I 3GPP release 15 er det inkludert standarder i LPP, eller mer presist en utvidelse gjennom LPPe (LPP extensions), for kringkasting av korreksjonsdata for GNSS via 5G mobilnett. Det er også inkludert kryptering som gjør at f.eks. spoofing blir vanskeligere å gjennomføre (Maier and Garcia, 2021). Dette gjøres ved å utnytte at mobilnettet allerede har en grov posisjon på enhetene og dermed kan direkte kommunisere relevante korreksjonsdata til brukerenheten (Ericsson, 2018). Den største fordelen med denne typen kringkasting er for ITS-anvendelsen i tidsdimensjonen og skalering. For eksempel er dagens CPOS tjeneste (Kartverket, 2021) basert på en to-veis kommunikasjon med et baksystem for å hente rette korreksjonsdata. Med en lokal kringkasting via mobilnettet som i tillegg tar i bruk 5G nettets lave forsinkelse vil enhetene raskt kunne korrigere sin GNSS posisjon. For en introduksjon til GNSS sin rolle i 5G nettet se Prieto-Cerdeira m. fl. (2018) og Ericsson (2018). Kringkastingen av korreksjonsdata gjennomføres i prinsippet som vist i Figur 17, der figuren er hentet fra den sistnevnte referansen. I denne referansen finnes også beskrivelse av mer skalerbare metoder, samt kryptering av data og bruk av basestasjoner for å generere korreksjonsdata.



Figur 18: Presentasjon av teknologier og estimert nøyaktighet for posisjonsbestemmelse. Radio Dot ment for innendørs navigasjon og omtales ikke i dette kapitlet. Kilde: Ericsson.

4.5 Fremtidens mobilnett

Utbyggingen av 5G-nettet er i gang i flere land i verden. I Norge er det Telenor, Telia og Ice som har ansvar for utrulling av 5G-nettet. Telenor planlegger å være ferdige med bytting av utstyr på 8500 basestasjoner innen utgangen av 2024. Spesielt i de store byene går overgangen raskt. Telia ser for seg å ha på plass et landsdekkende 5G-nett innen 2023.

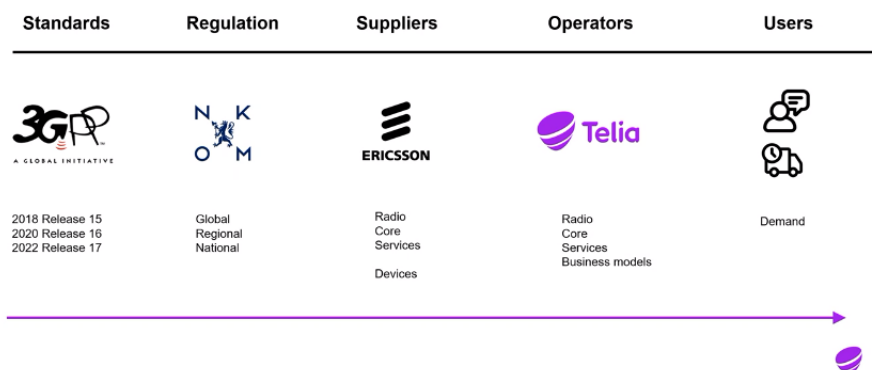
5G på høye frekvenser er derimot ikke en del av den pågående utrulling i Norge. De høyere frekvensene (24,2 – 27,5 GHz) er heller ikke auksjonert bort i Norge enda (Kjørstad, 2021), men vurderes for tildeling senere. Det er imidlertid disse som kan gi best fart. Hvis man skal ha dekning med de høyeste frekvensene, kreves det mange flere små basestasjoner.

4.5.1 Innovasjon i mobilbransjen

Telia presenterte i en workshop arrangert gjennom Lambda-prosjektet i desember 2021 prosessen fra standardisering til implementering i mobilnettet, vist gjennom i Figur 19 som illustrerer økosystemet for innovasjon i telebransjen. Det er flere aktører som er aktive i en slik innovasjonsprosess. Standardisering er beskrevet i 4.2. De andre aktørene er beskrevet under:

Regulering. Standarder er et viktig utgangspunkt for innovasjon, men disse gir lite kunnskap om hvordan ny funksjonalitet skal iverksettes og fås ut på markedet. Regulatorne blir i denne konteksten viktige aktører, og på nasjonalt nivå er det Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (NKOM) som regulerer mobilnettet og tildeling av frekvenser. Videre er det regionale nivået (F.eks. EU), og det globale nivået viktige, hvor f.eks. EU har standarder som sier noe om hvilke frekvenser som skal brukes til ulike formål. Regulering behøver ikke bare være barrierer for innovasjon, men kan også fungere sammen med standarder som en pådriver for å få ny teknologi i markedet. Selv om enkelte prosesser i mobilbransjen går sakte, er denne bransjen omforent om at funksjonaliteter skal være standardisert og fungere overalt.

TELCO ECOSYSTEM FOR INNOVATION



Figur 19: Økosystem for innovasjon i telebransjen. Kilde: Telia.

Leverandører. En annen rolle er leverandører av både radioutstyr og brukerenheter. Her finner vi blant annet bedrifter som bygger radioutstyr og produserer mange av tjenestene som skal brukes (eks. Ericsson). Innføring av ny teknologi, f.eks. overgangen til et nytt kjernenett (fra 4G til 5G) fører med seg mange usikre elementer som potensielt kan representere barrierer mot implementering. Eksempelvis vil et nytt radionett være verdiløst hvis det ikke finnes enheter som kan ta det i bruk. I tillegg har man leverandører av selve brukerenhetene (f.eks. en mobiltelefon/håndsett eller en bil). Både maskin- og programvaren i brukerenhetene må som nevnt ha mulighet for å ta i bruk de tjenestene som blir tilbudt via mobilnettet. Signalene fra mobilnettet må kunne mottas og prosesseres av brukerenhetene. Et eksempel på en leverandør av brukerenheter er U-blox som produserer «chiper» som brukes for posisjonsbestemmelse iblant annet biler eller droner. For transportsektoren vil dette for eksempel si at enhetene (simkortene i bilene) må kunne ta i bruk de funksjonene som mobilnettet tilbyr, ellers vil ikke tjenestene bli tatt i bruk.

Operatører. I neste punkt finner vi operatørene investerer i nett, designer og bygger ut nettet samtidig som de også drifter nettet, som i Figur 19 er representert av Telia. Et sentralt punkt hos operatørene er hvilke forretningsmodeller som ligger til grunn, og dette kan fungere som en barriere hvis operatørene ikke finner en forretningsmodell som kundene aksepterer. Dette kan gjøre det vanskelig å investere i ny teknologi. Et relevant eksempel fra transportsektoren er lønnsomheten ved utbygging av dekning i tunneler. Dette vil som oftest aldri være en lønnsom investering for operatørene, og det finnes derfor en del tunneler i Norge som fremdeles ikke har dekning.

Brukere. Til slutt finner vi brukerne som har krav og etterspørsel for hva som skal tas i bruk. Telebransjen har ikke monopol på kommunikasjon, og det finnes mange teknologileverandører som kan levere ulike tjenester. Det er derfor mye konkurranse og kamp om brukerne.

Proessen for innovasjon er ikke lineær. Noen ganger blir tjenestene utviklet før standardene er satt, og i enkelte tilfeller kan disse også bidra til utforming av standardene. Det er også mulig at operatørene og leverandørene starter med å utvikle og implementerer ny teknologi som ikke blir støttet av standardene som etter hvert kommer. Et annet scenario er at det som blir standardisert ikke når markedet. Dette kan komme av at man ikke finner tilstrekkelig etterspørsel, at annen teknologi tar over eller at det stopper opp et sted i prosessen.

Økosystemet rundt posisjonsbestemmelse i mobilnettet kan av og til komme i høna-eller-egget-situasjoner hvor aktører fra ulike sider sitter på gjerdet og avventer initiativ fra de andre aktørene. Man havner i en situasjon der ingen er villige til å ta risikoen med å implementere sin del av en teknologisk løsning først. For eksempel kan nye løsninger for posisjonsbestemmelse i mobilnettet kreve at ulike aktører samarbeider, og man må være klar til å bidra inn fra både fra leverandør- og operatør-siden, samt fra tilbydere av brukerenheter.

Et tredje moment er tid. Det er ønskelig med full funksjonalitet som settes i standardene, men tiden det tar å tilgjengeliggjøre disse kan bli lang. Ofte kan det ta mange år fra standarden settes til funksjonalitetene er tilgjengelig for hele kjeden.

Nye metoder for posisjonsbestemmelse kan resultere i direkte eller indirekte økonomisk profitt for f.eks. leverandørene. Likevel kan det være vanskelig å få til investering i infrastruktur som forbedrer posisjonsbestemmelse i mobilnettet. For at ny teknologi for posisjonsbestemmelse skal satses på må forventede inntekter overgå utbyggingskostnadene. En annen utfordring med posisjonsbestemmelse i mobilnettet er personvern både for brukeren og for nettverksoperatørene. Brukernes personvernkrav er en personlig rettighet, og er et gjeldende samfunnsanliggende, mens operatørens virksomhet (nettverkets organisering og struktur) er sett på som forretningssensitivt for operatører og regnet som kritisk og skjermingsverdig infrastruktur på myndighetsnivå.

5 Anbefalinger

Basert på intervjuer av mulige brukere samt kunnskapsstatusene gitt i kapittel 3 og 4, skisseres det her anbefalinger til utviklingen av HyPos-tjenesten.

Anbefalinger

- 1) En inkluderende prosess med involvering av brukere samt andre relevante aktører i utviklingen av tjenesten gjennom hele prosjektet
- 2) Kartverket bør ta en ledende rolle i å trekke frem nytten og utstrekningen av HyPos-tjenesten

Anbefaling 1

Den første anbefalingen omhandler å gjennomføre en inkluderende prosess med involvering av alle relevante aktører. For å ende opp med ønsket sluttresultat er det svært mange aktører som må involveres i en innovasjonsprosess f.eks. brukere, standardiseringsorganer, relevante myndigheter og programvare- og maskinvareleverandører. For brukerinvolvering blir det viktig å ha en effektiv utvikling hvor testing av tjenesten blir gjort av reelle brukere fra forskjellige bransjer, også utover de brukerbehovene som blir kartlagt i denne rapporten. HyPos har som nevnt et mål om å ha en skalerbar tjeneste til et massemarked. Det blir derfor viktig å skape en tjeneste som er generell nok til at mange ulike brukere kan ha nytte av den, samtidig som den må være spesifikk nok til å kunne møte de behovene som finnes hos de ulike brukerne, samt møte behovene til nye brukere.

Det understrekes som viktig at HyPos-tjenesten ikke baserer seg på unike format, men at tjenesten virker sømløst og kan benyttes av alle. Det vil derfor være viktig å inkludere aktuelle programvareleverandører og maskinvareleverandører, aktuelle standardiseringsorganer og sluttbrukere. Spesielt er 5G en svært «ung» teknologi og utbygging av 5G-nettet er så vidt påbegynt i Norge. F.eks. vil posisjonsbestemmelse i 5G-nettet bli mest nøyaktig ved bruk av de høye frekvensene (mmWave), men dette vil kreve en stor utbygging da denne teknologien fordrer et mye større antall basestasjoner enn i dag. I 4.5.1. blir innovasjonsprosessen i telebransjen skissert, og det vises her at en slik prosess ikke er lineær. Presis posisjonsbestemmelse er beskrevet i standarden for 5G NR, men det kreves tilstrekkelig etterspørsel eller krav fra myndigheter før dette faktisk kommer på markedet. For utviklingen av teknologi i 5G blir det ekstra viktig med involvering av alle aktører. Det må legges til rette for at operatører/leverandører tør å satse på ny teknologi definert i standardene gjennom tydeliggjøring av nytte og etterspørsel fra brukere og myndigheter.

Anbefaling 2

Den andre anbefalingen handler om fremme HyPos-tjenesten i markedet. Det er et behov for å få frem HyPos-tjenestens plass i det store bildet hvor teknologien utvikler seg kontinuerlig og nye tjenester og utstyr utvikles. Vår anbefaling er at Kartverket, som statens fagorgan for geografisk informasjon og med ansvar for posisjonstjenester, tar det overordnede ansvaret for å trekke frem HyPos-tjenesten sin posisjon i massemarkedet og fagfeltet som tjenesten befinner seg i, samt konkretisere nytteverdien som tjenesten vil gi utover de tjenestene som allerede finnes. Dette vil være til nytte for både nåværende brukere av ulike andre tjenester for posisjonsbestemmelse, men også for mulige nye brukere av tjenesten.

6 Referanser

Campos, R. S. (2017). Evolution of positioning techniques in cellular networks, from 2G to 4G. Wireless Communications and Mobile Computing, 2017.

Dempsey, C. (2012). "Where is the phrase "80 % of Data is Geographic" from?" Hentet 07.11.2022 fra <https://www.gislounge.com/80-percent-data-is-geographic/>

Dwivedi S. et al. (2021). "Positioning in 5G Networks," in IEEE Communications Magazine, vol. 59, no. 11, pp. 38-44, November 2021, doi: 10.1109/MCOM.011.2100091.

Ericsson (2018). LTE Positioning and RTK: Precision down to the centimeter. Ericsson blog. Hentet 16.11.2022 fra: <https://www.ericsson.com/en/blog/2018/11/lte-positioning-and-rtk-precision-down-to-the-centimeter>

Ericsson (2020). 5G positioning: What you need to know. Ericsson blog. Hentet 16.11.2022 fra: <https://www.ericsson.com/en/blog/2020/12/5g-positioning--what-you-need-to-know>

European Commission, Joint Research Centre, Galassi, C., Levati, L. & Grosso, M. (2018). An analysis of possible socio-economic effects of a Cooperative, Connected and Automated Mobility (CCAM) in Europe: effects of automated driving on the economy, employment and skills, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/007773>

EUSPA (2022). What is SBAS? Hentet 25.10.22 fra: <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-sbas>

Federal Communications Commission (1996). Revision of the Commission's Rules to Ensure Compatibility with Enhanced 911 Emergency Calling Systems, CC Docket no. 94-102, Federal Communications Commission, Washington, DC, USA

Fevang, E., Figenbaum, E., Fridstrøm, L., Halse, A. H., Hauge, K. E., Johansen, B. G., & Raaum, O. (2021). Who goes electric? The anatomy of electric car ownership in Norway. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 92, 102727.

Hellandsvik, A. og T. H. Bryne (2021). Veipricing kan saboteres med "jamming" – og gi mer trøbbel i luften. Kronikk. Hentet 16.11.2022 fra <https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/veipricing-kan-saboteres-med-jamming-og-gi-mer-trobbel-i-luften/>

Heukelman (2018). What is A-GPS (A-GNSS) and Why Would I Need It? Symmetry blog. Hentet 16.11.2022 fra: <https://www.symmetryelectronics.com/blog/what-is-a-gps-a-gnss-and-why-would-i-need-it-symmetry-blog/>

Honeywell (2021). No GPS, No Problem: Honeywell Invents, demonstrates military-grade alternative navigation technology. Hentet fra: <https://aerospace.honeywell.com/us/en/about-us/press-release/2021/04/no-gps-no-problem-honeywell-invents-alternative-navigation-technology>

Intertanko (2019). Jamming and Spoofing of Global Navigation Satellite Systems (GNSS). Hentet 16.11.2022 fra: <https://www.maritimeglobalsecurity.org/media/1043/2019-jamming-spoofing-of-gnss.pdf>

Kjørstad, E. (2021). Hva er egentlig 5G? Hentet 16.11.2022 fra <https://forskning.no/internett-mobiltelefon/hva-er-egentlig-5g/1813874>

Liu, Y. X. Shi, S. He and Z. Shi (2017). Prospective Positioning Architecture and Technologies in 5G Networks. in *IEEE Network*, vol. 31, no. 6, pp. 115-121, doi: 10.1109/MNET.2017.1700066.

Lubkowski, S. D., Lewis, B. A., Gawron, V. J., Gaydos, T. L., Campbell, K. C., Kirkpatrick, S. A., ... & Cicchino, J. B. (2021). Driver trust in and training for advanced driver assistance systems in real-world driving. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 81, 540-556.

Milakis, D. (2019). Long-term implications of automated vehicles: an introduction. *Transport Reviews*, 39:1, 1-8.

Neeley, K. A., Wylie, C. D., & Seabrook, B. (2019). In Search of Integration: Mapping Conceptual Efforts to Apply STS to Engineering Education. In 2019 ASEE Annual Conference & Exposition.

NLR (2019). Kartlegger dekningsforhold for presisjonsutstyr. Hentet 18.10.22 fra: <https://www.nlr.no/fagartikler/teknikk/trondelag/kartlegger-dekningsforhold-for-presisjonsutstyr>

Peterson, L., & Sunay, O. (2020). 5G Mobile networks: a systems approach. *Synthesis Lectures on Network Systems*, 1(1), 1-73.

Prieto-Cerdeira, R., Ries, L., Grec, F., Cioni, S., de Gaudenzi, R., & Manteiga-Bautista, M. (2018). The role of GNSS in 5G wireless networks. Riccardo De Gaudenzi's Lab. Hentet 16.11.2022 fra: https://www.researchgate.net/publication/339443538_The_role_of_GNSS_in_5G_wireless_networks_and <https://h2020nav.esa.int/uploads/files/documents/5cbbddaad9a04696487422.pdf>

Rohde & Schwarz (2013). LTE Location Based Services Technology Introduction. White paper. Hentet 16.11.2022 fra: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/LTE_LBS_White_Paper.pdf

Spirent (2012). LTE OTDOA. Reference Guide. Hentet 16.11.2022 fra: https://assets.ctfassets.net/wcxs9ap8i19s/23gn97bJzpi6U5P6XvIYzO/5b1f3ea915e530b119258cbcb20eef30/OTDOA_Reference_Guide.pdf

Shi, L., & Wigren, T. (2009). AECID fingerprinting positioning performance. In GLOBECOM 2009-2009 IEEE Global Telecommunications Conference (pp. 1-6). IEEE.

SAE International (2021). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/. 07.11.2021

Teunissen, P.J.G. (1993). Least-squares estimation of the integer GPS ambiguities. Invited lecture. Section IV Theory and Methodology, IAG General meeting. Beijing, China. (16p.). Also, in Delft Geodetic Computing Centre LGR series No. 6.

Tahat, A., Kaddoum, G., Yousefi, S., Valaee, S., & Gagnon, F. (2016). A look at the recent wireless positioning techniques with a focus on algorithms for moving receivers. IEEE Access, 4, 6652-6680.

Tzanidis, I. & Ij, Yang & Xu, Gary & Seol, Ji-Yun & Zhang, Jianzhong. (2015). 2D Active Antenna Array Design for FD-MIMO System and Antenna Virtualization Techniques. International Journal of Antennas and Propagation. 2015. 1-9. 10.1155/2015/873530.