Kontroll av sporets beliggenhet med satellittbasert posisjonsbestemmelse

Rapport



Forord

Denne rapporten sammenfatter resultater og erfaringer fra et prosjekt på Rørosbanen der formålet var å undersøke hvor nøyaktig sporet beliggenhet kunne bestemmes med satellittbasert posisjonsbestemmelse. Videre peker rapporten på en rekke muligheter for utvikling/forbedringer og gir tilslutt en konklusjon i form av en anbefaling og tiltak.

Rapporten er utarbeidet av fagansvarlig geomatikk Jon Haugland med bistand fra senioringeniør geomatikk Tore Furru (begge Infrastrukturdivisjonen Teknisk avdeling) på oppdrag fra teknisk direktør Knut Darre Christiansen (Infrastrukturdivisjonen).

Oslo, 15. desember 2017

Jon Haugland

Sammendrag

Satellittbasert posisjonsbestemmelse har vært i bruk i flere tiår. De første systemene var først ment å være et navigasjonssystem som kunne angi koordinater i sanntid for militære formål. Etter hvert ble systemene tilgjengelig for sivile formål, først for profesjonell bruk og etter hvert har det i praksis blitt allemannseie.

De siste årene har det blitt stilt spørsmål om satellittbasert posisjonsbestemmelse kan benyttes i til jernbaneformål, herunder kontroll av sporets beliggenhet. Det er gjennomført flere undersøkelser og denne rapporten tar først og fremst utgangspunkt i et prosjekt på Rørosbanen i 2015-2016.

Rapporten gir først en kort informasjon om kontroll av sporets beliggenhet, der det blant annet gjengis de kravene som er fastsatt i Teknisk regelverk og Generiske arbeidsrutiner. Videre beskrives ulike aspekter ved kvalitet på kontroll- og målesystemer og det vises viktigheten av høy målenøyaktighet når det skal detekteres/kontrolleres parametere med små tallverdier.

Videre gir rapporten en kort innføring i satellittbaserte systemer for posisjonsbestemmelse og bakkebaserte systemer og tjenester for posisjonsforbedring.

Prosjektet på Rørosbanen blir gjennomgått og både resultatene og erfaringene blir presentert. Deretter beskrives ulike muligheter for utvikling og forbedring som er eller kan være nødvendig for at stedfesting av sporets beliggenhet med satellittbasert posisjonsbestemmelse kan være et reelt alternativ til eksisterende metoder.

Til slutt konkluderes det med at satellittbasert posisjonsbestemmelse kan tillates som metode for kontroll av sporets horisontale beliggenhet på baner med hastighet under 145 kilometer/time, dog med en rekke forutsetninger som både involverer Kartverket og Bane NOR.

Innhold

1 Innledning 9

2 Litt om kontroll av sporets beliggenhet 11

2.1 Behovet for kontroll med sporets beliggenhet 11
2.2 Krav i Teknisk regelverk og Generiske arbeidsrutiner 11
2.3 Metoder for kontroll av sporets beliggenhet 12

3 Litt om kvalitet for kontroll-/målesystemer 13

3.1 Kvalitet – presisjon, riktighet og nøyaktighet 13
3.2 Kvalitetsmål 14

4 Litt om satellittbasert posisjonsbestemmelse 15

4.1 Satellittbaserte systemer for posisjonsbestemmelse 15
4.2 Bakkebaserte støttesystemer og tjenester for posisjonsforbedring 16

5 Prosjekt på Rørosbanen 19

5.1 Prosjektstrekning 19
5.2 GNSS-basestasjoner i området 19
5.3 Målearbeid 20
5.4 Beregninger 21
5.5 Erfaringer 21
5.6 Konklusjon 22

6 Muligheter for utvikling og forbedring 23

6.1 Fortette avstanden mellom GNSS-basestasjoner 23
6.2 Redusere omfanget av vegetasjon som sperrer for satellittsignalene 24
6.3 Forbedre utrustningen som posisjonerer GNSS-antennen i/over sporet 24
6.4 Forbedre måle- og beregningsmetodene 25
6.5 Undersøkelser på Nordlandsbanen 26
6.6 Gjennomgå bestemmelser i Teknisk regelverk 26
6.7 Sikre nødvendig ressurser og kompetanse 26

7 Konklusjon (anbefaling og tiltak) 27

7.1 Anbefaling 27
7.2 Kortsiktige tiltak 27
7.3 Langsiktige tiltak 28

8 Kilder 29

1 Innledning

I februar 2012 gjennomførte Statens jernbanetilsyn (SJT) tilsyn av Jernbaneverket om spor, drenering og bruer. I tilsynsrapport nr. 03-12 skriver SJT at «Jernbaneverket har ikke den kontroll over sporets eksakte beliggenhet som teknisk regelverk krever». Som revisjonsbevis ble det blant annet vist til at det ikke var etablert merker for varig utfesting av linjen (VUL-merker) på alle strekninger som var gjenstand for tilsyn.

Jernbaneverket fikk etter hvert pålegg om å lukke avviket og utarbeidet vinteren 2013 en handlingsplan for etablering av varig utfesting av linjen. Ved etablering av VUL på elektrifiserte strekninger ble det i all hovedsak planlagt å feste VUL-merkene til KL-mastene/fundamentene eller på fjell. Antatt kostnad for hvert merke ble estimert til noen få hundre kroner. På ikke-elektrifiserte strekninger ble det planlagt å etablere egne fundamenter for VUL-merkene der disse ikke kunne festes til fjell eller andre objekter. Kostnaden for dette ble estimert til kr 10.000 for hvert fundament. De totale kostnadene for etablering av varig utfesting av linjen (uten nøytralisering av sporet) ble estimert til litt over 131 MNOK. På grunn av usikkerhet om kapasitet og produksjonsmetode for slike fundamenter ble det skissert en lang gjennomføringsperiode med sluttføring i 2020.

Ved Stai på Rørosbanen ble det i 2012-2013 undersøkt om satellittbasert posisjonsbestemmelse hadde tilfredsstillende nøyaktighet for å kunne måle inn spor med tanke på sporjustering og kontroll av sporets beliggenhet. For å forbedre nøyaktigheten ble det tatt i bruk Kartverkets posisjons-forbedrende tjeneste CPOS. Selv om det var en rekke utfordringer underveis i undersøkelsen ble dette ansett som en mulig metode. Dette ble særlig begrunnet med en forventet fremtidig økning i antall satellitter og dette ville forbedre både tilgjengeligheten og nøyaktigheten.

I 2015 og 2016 ble det gjennomført nok et prosjekt på Rørosbanen, denne gangen helt i sør mellom Hamar og Elverum/Rustad. Det var ønskelig å undersøke hvor nøyaktig satellittbasert posisjonsbestemmelse ville være ved optimal fortetting av avstanden mellom basestasjoner i Kartverkets posisjonsforbedrende tjeneste CPOS. Kartverket deltok derfor i prosjektet og etablerte to midlertidige basestasjoner og bidro i tillegg med verdifull faglig kompetanse og supplerende beregninger. Konklusjonen var at det er mulig å oppnå tilfredsstillende nøyaktighet under realistiske forhold og med overkommelig ressursbruk. Imidlertid forutsettes det fortetting av avstanden mellom basestasjonene, godt måleutstyr, gode måleforhold og gode måleprosedyrer.

I etterkant av det siste prosjektet på Rørosbanen har det vært et tydelig behov for å sammenfatte resultatene og erfaringene fra prosjektet, vurdere om kontroll av sporets beliggenhet med satellitt-basert posisjonsbestemmelse kan være et reelt alternativ til det nåværende VUL-systemet og hvilke tiltak som i så fall eventuelt må gjennomføres. Dersom denne metoden kan tas i bruk vil det kunne medføre betydelige kostnadsreduksjoner sammenliknet med etablering av tradisjonell VUL.

Det understrekes at denne rapporten kun behandler sporets horisontal beliggenhet, ikke sporets vertikale beliggenhet. Dette skyldes først og fremst at fordi det er den horisontal beliggenhet som er viktig å kontrollere med tanke på langsgående krefter i sporet.

For generell oppmåling i forbindelse med datafangst til planlegging og prosjektering henvises det til blant annet «Instruks for oppmålingsarbeider i Bane NOR» som del av kontraktdokumentene i «Rammeavtale for utredning, hovedplan og offentlig plan» og «Rammeavtale for detaljplan».

2 Litt om kontroll av sporets beliggenhet

I Teknisk regelverk er sporets beliggenhet definert som «sporets plassering i et ytre referanse-system...», med andre ord angivelse av sporets nøyaktige posisjon i forhold til et referansesystem som er uavhengig av selve sporet. Sporets teoretiske beliggenhet er den beliggenhet et helsveist spor med korrekt nøytraltemperatur skal ha. Sporets faktiske beliggenhet er den beliggenhet sporet til enhver tid faktisk har. Dette må ikke forveksles med sporets geometri som er definert som «innbyrdes sammenheng mellom de to skinnestrengene og ujevnheter i hver av de to skinne-strengene…».

2.1 Behovet for kontroll med sporets beliggenhet

Kjennskap til og kontroll med sporets beliggenhet er først og fremst viktig for å ivareta sikkerheten, primært ved å unngå topphendelsene avsporing og sammenstøt tog-objekt. I et helsveist spor kan det oppstå store langsgående krefter som følge blant annet utilsiktet horisontal forflytning av sporet i kurver og/eller temperaturendringer i skinnene. Disse kreftene medfører en økt sannsynlighet for solslyng og skinnebrudd som igjen kan lede til avsporing. På steder der det er konstruksjoner nær sporet, for eksempel plattformer, kan den horisontale forflytningen av sporet også føre til sammenstøt mellom rullende materiell og den aktuelle konstruksjonen.

Sporet er kontinuerlig utsatt for ulike typer belastning og over tid kan dette medføre at kvaliteten på sporets geometri reduseres. Et av tiltakene for å forbedre sporets geometri er maskinell justering av sporet. Erfaring viser at sporets geometri ofte får en bedre kvalitet når justeringen støttes med informasjon om sporets teoretiske og faktiske beliggenhet.

2.2 Krav i Teknisk regelverk og Generiske arbeidsrutiner

I Teknisk regelverk er det satt krav til maksimalt tillatt avvik mellom sporets teoretiske og faktiske beliggenhet både toleransegrense for nyjustert spor og som vedlikeholdsgrense.

Tabell 2-1: Tillatt avvik i horisontal beliggenhet [Kilde: Bane NOR, Teknisk regelverk]

Kvalitetsklasse	Hastighet (km/h)	Kurveradius (m)	Avvik i horisontal beliggenhet (+/-mm)	
			Nyjustert spor	Vedlikeholdsgrense
K0	145 -		20	30
K1-K5	- 140	1000 -	40	60
		750 - 1000	40	40
		500 - 750	30	30
		350 - 500	20	20
		- 350	15	15

Vedlikeholdsgrensen ved mindre kurveradier gjenspeiler kravet til nøytraltemperatur (+/- 3°C) i forbindelse med de langsgående krefter som oppstår i skinnene ved flytting av sporet. Krav til nyjustert spor er fastsatt ut fra samme prinsipp og gjenspeiler relevant behov for toleranser for horisontal beliggenhet.

Dersom vedlikeholdsgrensen overskrides skal sporet justeres tilbake til riktig (teoretisk) beliggenhet ved første anledning. I tilfeller hvor det om våren oppdages at sporet har forskjøvet seg innover i kurven, skal dette arbeidet gis høy prioritet.

Kontroll av sporets beliggenhet er beskrevet i en egen generisk arbeidsrutine.

Tabell 2-2: Generisk arbeidsrutine for kontroll av sporets beliggenhet [Kilde: Bane NOR, Teknisk regelverk]

Generisk arbeidsrutine

KO-HOT-0000-01

Nr.: 5
5: Sporets beliggenhet for spor med R<400 m

BANE NOR

Aktivitetsnr:	RCM-ID	Arbeidsbeskrivelse	Type FV	Intervall	Myndighet snivå	Faggruppe	Sportilgan g	Kommentar	Dokument referanse:
1000	OB-VUL-SPORR400-UAJ-A	Innmåling av spor med kurveradius <400 m fra VUL-merke (VUL).	TK M	12	L	L	J	Sporets beliggenhet utenfor toleransene	JD532 kap. 13
1010	OB-VUL-SPORR400-UAJ-B	Innmåling av spor med kurveradius <400m fra geodetisk fastmerkenett (GVUL)	TK M	12	L	L	J	Sporets beliggenhet utenfor toleransene	JD532 kap. 13

I Generiske arbeidsrutine er det fastsatt hvor (strekninger med kurveradius under 400 m) og når (12 måneders intervall) sporets faktiske beliggenhet skal kontrolleres.

På Rørosbanen utgjør sirkelkurvene med radius under 400 m og de tilstøtende overgangskurvene totalt 72 kilometer av banens 385 kilometer.

2.3 Metoder for kontroll av sporets beliggenhet

I Bane NOR benyttes i dag to metoder for kontroll av sporets beliggenhet; VUL og GVUL.

Ved bruk av VUL (varig utfesting av linjen) blir sporets teoretiske beliggenhet definert som relativ beliggenhet (horisontal avstand) til egne VUL-merker langs banen. Disse VUL-merkene skal gis mest mulig stabil forankring (helst fjell), men på elektrifiserte strekninger blir de som regel festet på KL-mastene. Avstanden mellom VUL-merkene kan variere fra kun 30 meter og opp til 100 m. Sporets faktiske beliggenhet registreres ved å måle den horisontale avstanden fra sporet til VUL-merkene og sammenlikne disse målingene med tilsvarende verdier som representerer sporets teoretiske beliggenhet.

Ved bruk av GVUL (geodetisk varig utfesting av linjen) blir sporets teoretiske beliggenhet definert som en presis koordinatbestemt linjeberegning. For nye baner eller ved større linjeomlegginger vil linjeberegningen være et resultat av prosjekteringsarbeidet. På eksisterende baner etableres linjeberegningen basert på innmålt spor. Sporets faktiske beliggenhet registreres ved å måle inn sporets fra et eget fastmerkenett langs banen og sammenlikne innmålingene med linjeberegningen.

3 Litt om kvalitet for kontroll-/målesystemer

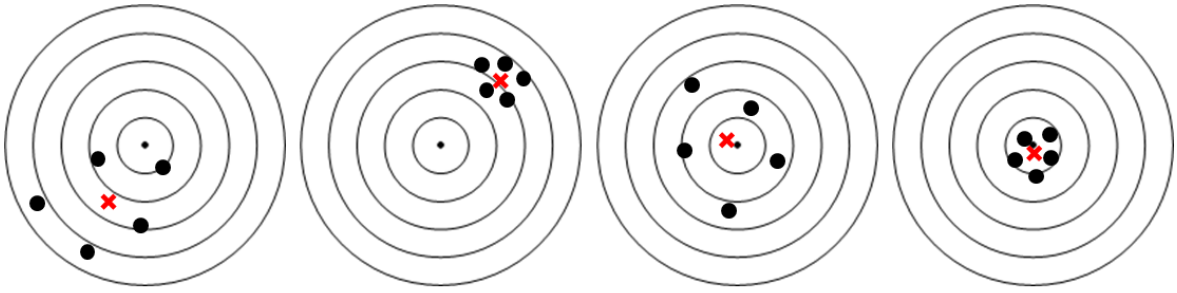
Det er nødvendig å kjenne kvaliteten til det kontroll-/målesystemet som benyttes for å kunne ta stilling til resultatet av det som er målt. Helt generelt må systemet ha høy kvalitet dersom det skal benyttes for å detektere/kontrollere parametere som har eller forventes å ha lav tallverdi.

3.1 Kvalitet – presisjon, riktighet og nøyaktighet

Når kvaliteten til et målesystem skal beskrives blir ofte begrepene/termene presisjon, riktighet og nøyaktighet benyttet. Det er ikke uvanlig at betydningen av begrepene blandes sammen. De tre begrepene/termene kan defineres på følgende måte:

- Presisjon: Grad av overenstemmelse mellom uavhengige målinger
- Riktighet: Grad av overenstemmelse mellom gjennomsnittet av en måleserie og sann verdi
- Nøyaktighet: Grad av overenstemmelse mellom én måling og sann verdi

Figur 3-1: Sammenhengen mellom presisjon, riktighet og nøyaktighet

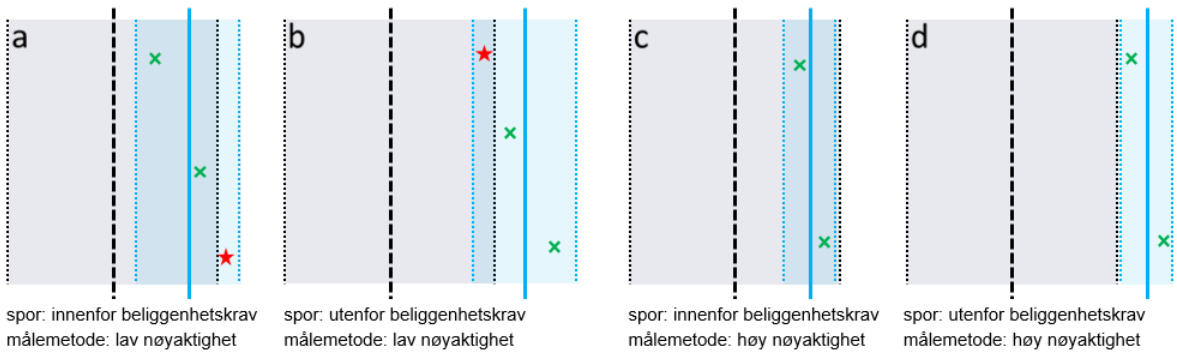


Svart prikk angir treff for hvert skudd. Rødt kryss viser middeltreffpunkt (gjennomsnitt).

En utfordring med lav målekvalitet er at det medfører økt sannsynlighet for feil konklusjon:

- økt sannsynlighet for falsk påvisning av feil (det blir påstått feil som ikke er reelle), som igjen kan føre til at det gjennomføres unødvendige korrektive tiltak
- økt sannsynlighet for manglende påvisning av feil (det blir ikke oppdaget reelle feil), som igjen kan føre til at det ikke gjennomføres nødvendige korrektive tiltak

Figur 3-2: Virkning av lav og høy målekvalitet



Svart stiplet strek angir sporets teoretiske beliggenhet og grått felt angir tillat avvik. Blå hel strek angir sporets faktiske beliggenhet og blått felt angir målesystemets målekvalitet. Grønne kryss og røde stjerner angir hva målingene påstår er sporets beliggenhet og representerer henholdsvis riktig og feil konklusjonen om sporets faktiske beliggenhet er innenfor eller utenfor tillatt avvik.

I situasjon a) viser én av målingene at sporet ligger utenfor tillatt avvik selv om dette ikke er reelt. I situasjon b) viser én av målingene at sporet ligger innenfor tillatt avvik selv om dette ikke er reelt.

For å redusere sannsynligheten for uriktig konklusjon må kvaliteten på målesystemet være vesentlig bedre enn verdien av den parameteren som skal kontrolleres.

3.2 Kvalitetsmål

For å kunne vurdere kvaliteten på et resultat må det velges ett (eller flere) kvalitetsmål, det vil si statistiske indikatorer. Under beskrives kort to av de mest vanligste kvalitetsmålene innen geomatikkfaget. For inngående beskrivelse henvises det til faglitteratur innen statistikk og geomatikk.

3.2.1 Standardavvik

Standardavvik angir spredningen for en gruppe målte/beregnede verdier sammenliknet med gjennomsnittet for de samme verdiene. Dette regnes som det viktigste målet for spredning innen matematikken/statistikken. Beregning av standardavvik forutsetter imidlertid uavhengige og normalfordelte observasjoner og er mindre egnet for små datasett.

3.2.2 Punktdeformasjon

Punktdeformasjon angir virkningen på koordinatene til et punkt på grunn av mulig gjenværende grov feil i observasjonsmaterialet. Disse observasjonene har først blitt testet statistisk for grove feil, men det kan forekomme at slike feil ikke lar seg påvise og dermed likevel inngår som en del av datagrunnlaget.

Dette er et relativt nytt kvalitetsmål og blir særlig brukt innen geomatikkfaget. Punktdeformasjon anses å være et mer konservativt kvalitetsmål enn standardavvik. I tillegg til at det tas hensyn til mulige grove feil blir observasjonene tillagt ulik vekt/betydning hvis de er av ulik kvalitet.

For å kunne beregne punktdeformasjon må det fastsette en feilslutningssannsynlighet, det vil si hvor stor sannsynlighet det er for at konklusjonen blir feil under en statistisk test. Det mest vanlige er å velge 5 %, men i de tilfellene der det tillattes noe større sannsynlighet for feil konklusjon kan 10 % være et godt alternativ.

4 Litt om satellittbasert posisjonsbestemmelse

Satellittbasert posisjonsbestemmelse hadde sin spede barndom i 1990-årene med få brukere. I dag er det nærmest allemannseie som følge av smarttelefoner og nettbrett. Nøyaktigheten i posisjoneringen kan variere fra flere titalls meter til mm/cm-nivå avhengig av blant annet mottakernes kvalitet og metode for beregning.

4.1 Satellittbaserte systemer for posisjonsbestemmelse

GNSS (Global Navigation Satellite System) er en fellesbetegnelse for satellittbaserte systemer for navigasjon og posisjonering. Det mest kjente er amerikanske GPS, men det finnes flere andre systemer som er i bruk eller er under utvikling.

4.1.1 Generelt

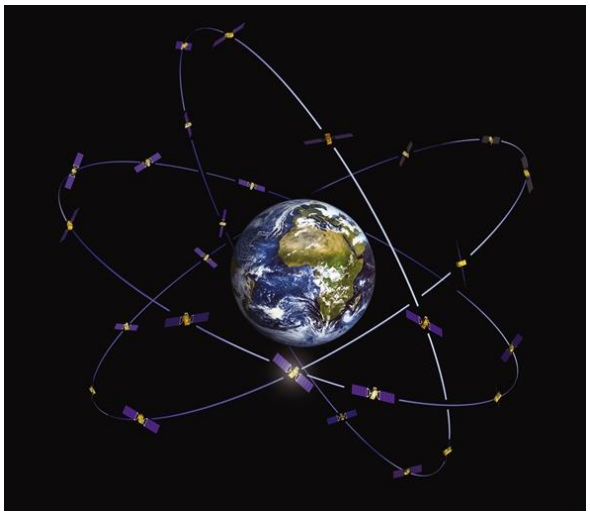
Alle GNSS består av et romsegment, et kontrollsegment og et brukersegment.

Romsegmentet består av om lag 30 satellitter i tilnærmet sirkulære baner, som regel 19.000 - 24.000 kilometer over jordoverflaten. Satellittene sender kontinuerlig signaler på bestemte/avtalte bølgelengder for avstandsbestemmelse samt informasjon om blant annet satellittens bane til brukerne.

Kontrollsegmentet består av en eller flere kontrollsentraler og et antall bakkestasjoner som har forbindelse med satellittene. Bakkestasjonene samler inn data fra satellittene og kontroll-sentralen(e) bruker dette til å overvåke satellittenes tilstand og baner. Bakkestasjonene sender også opp data fra kontrollsentralen(e) til satellittene som videresender dataene til brukerne.

Brukersegmentet omfatter GNSS-utstyr (antenne/mottaker), som mottar og lagrer signaler fra satellittene. Disse dataene blir brukt for å beregne mottakernes posisjon. GNSS-utstyret kan være alt fra enkle bærbare enheter (i mobiltelefoner/nettbrett) til kostbare geodetiske mottakere til bruk i oppmålingsarbeider.

Bilde 4-1: Eksempel på GNSS rom- og brukersegment [Kilde: galileognss.eu og leica-geosystems.com]





I prinsippet finnes det to hovedmetoder for måling med GNSS. Den ene metoden omtales som enkeltpunkbestemmelse der det kun er én mottakers posisjon som bestemmes. Den andre metoden omtales ofte som differensiell (relativ) måling og der bestemmes mottakerens posisjon ved også å beregne avstand og retning til én eller flere andre mottakere som har kjent posisjon. Sistnevnte metode gir mulighet til å eliminere en rekke feilkilder da disse som regel har tilnærmet

samme påvirkning på observasjonene i alle mottakerne. Dette gjør at differensiell måling gir bedre nøyaktighet enn enkeltpunktbestemmelse.

Utover dette finnes det ulike observasjonstyper (kode og fase) og beregningsstrategier (sanntid og i ettertid) som får betydning for posisjonsnøyaktigheten. Dessuten vil måling over lengre tid gi bedre nøyaktighet enn kortvarige måleserier.

De fleste moderne geodetiske mottakere er designet/klargjort for flere GNSS. Disse mottakerne kan dermed motta signaler fra svært mange satellitter. Dette medfører ikke nødvendigvis bedre nøyaktighet, men det gjør målingene mer robuste. Sannsynligheten øker for at det kan oppnås gode resultater selv om flere av satellittene ikke er tilgjengelige på grunn av vegetasjon og topografi.

4.1.2 De ulike globale systemene

Det er i dag 4 globale GNSS som er erklært operative, selv om 2 av disse fortsatt er under utvikling/etablering.

GPS (Global Positioning System) er amerikansk. Systemet har vært fullt operativt siden 1995. Satellittene går i baner som bringer dem opp til 55 grader nordlig bredde (Bornholm).

GLONASS (Globalnaja navigatsionnaja sputnikovaja sistema – Globalt navigasjonssatellittsystem) er russisk. Systemet ble erklært fullt operativt i 1996, men hadde gjennom mange år utfordringer med få satellitter. Systemet ble igjen erklært fullt operativt i 2011. Satellittene går i baner som bringer dem opp til 65 grader nordlig bredde (Namskogan).

Galileo (oppkalt etter den italienske vitenskapsmannen Galileo Galilei, 1564-1642) er europeisk og driftes av ESA (den europeiske romfartsorganisasjonen). Systemet er tilgjengelig for brukerne, men vil ikke være ferdig utbygd før i 2020. Satellittene går i baner som bringer dem opp til 56 grader nordlig bredde (Helsingborg/Helsingør).

BeiDou (oppkalt etter stjernetegnet Karlsvogna) er kinesisk. Systemet er tilgjengelig for brukerne, men vil ikke være ferdig utbygd før i 2020. Satellittene går i baner som bringer dem opp til 55 grader nordlig bredde (Bornholm).

4.2 Bakkebaserte støttesystemer og tjenester for posisjonsforbedring

Som følge av at enkeltpunktbestemmelse er beheftet med en del unøyaktigheter er det utarbeidet en rekke bakkebaserte støttesystemer som forbedrer nøyaktigheten. Systemene leverer tjenester som gjør at det er mulig å gjennomfør differensielle målinger selv med kun én GNSS-utrustning. For å kunne bruke tjenestene i slike systemer kreves det som regel et abonnement.

4.2.1 Generelt

Bakkebasert støttesystem for posisjonsforbedringer består gjerne av fire komponenter; et nettverk av GNSS-basestasjoner, et kontrollsenter, sanntids trådløs datakommunikasjon samt brukernes GNSS-utrustning (inkludert en datakommunikasjonsenhet).

GNSS-basestasjonene mottar signaler fra GNSS-satellittene og oversender observasjonsdata til kontrollsenteret som overvåker basestasjonenes posisjon og tilstand. De ulike systemene har litt forskjellig strategi for beregning av posisjonsforbedrende korreksjonsdata. De mest vanlige variantene er at enten beregner kontrollsenteret korreksjonsdata og oversende dette til brukerens GNSS-utrustning eller så mottar brukerens utrustningen observasjonsdata fra omkringliggende basestasjoner og bruker dette til selv å beregne korreksjonsdata.

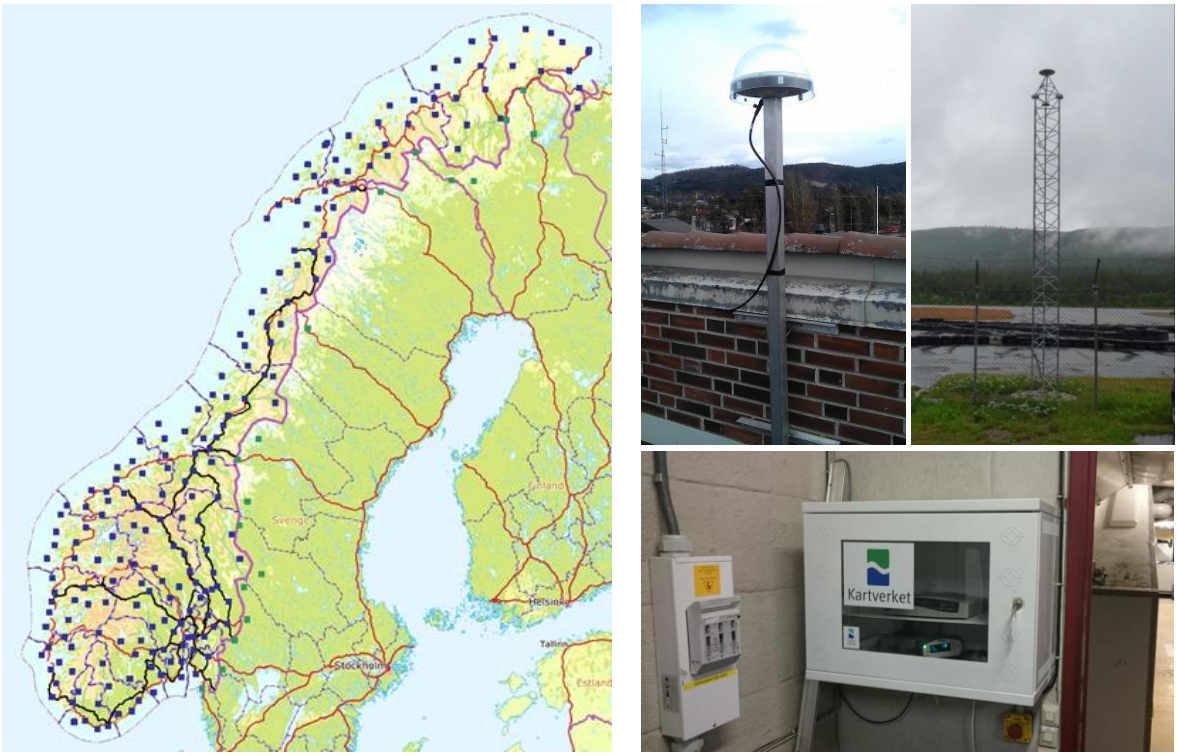
4.2.2 CPOS

Kartverket (Statens kartverk) har etablert et bakkebasert system for posisjonsforbedring som leverer to tjenester, henholdsvis DPOS (desimeterposisjon) og CPOS (centimeterposisjon). I det

videre er kun CPOS omtalt, da det er dette systemet som er aktuelt i forbindelse med stedfesting av sporets beliggenhet.

Det er etablert litt over 200 GNSS-basestasjoner som i utgangspunktet er plassert med innbyrdes avstand om lag 70 kilometer. I enkelte områder med høy befolkningstetthet er denne avstanden halvert til om lag 35 kilometer. Kontrollsenteret ligger ved Kartverkets hovedkontor på Hønefoss.

Bilde 4-2: GNSS-basestasjoner [Kilde: Kartverket]



Kart til venstre: Kartverkets GNSS-basestasjoner (blå firkant) samt svenske og finske GNSS-basestasjonene i grenseområdene (grønn firkant). Bilder øverst til høyre: GNSS-antenne på bygning og i mast. Bilde nederst til høyre: GNSS-mottaker

CPOS-tjenestene er tilgjengelig via mobiltelefoni (GSM/4G) og internett. Systemet mottar informasjon om posisjonen til brukerens GNSS-utrustning og beregner posisjonsforbedrende korreksjonsdata for det området der brukeren er. Dataene sendes til GNSS-utstyret som oppfatter dette som om det er data fra en fysisk basestasjon like ved. Dataene brukes så til å beregne posisjonen med forbedret nøyaktighet.

Tabell 4-1: Forventet nøyaktighet for CPOS [kilde: kartverket.no]

Koordinatdimensjon	Avstand mellom GNSS-basestasjoner	
	ca 35 km	ca 70 km
Grunnriss EUREF89	8 mm	14 mm
Høyde EUREF89	17 mm	30 mm
Høyde NN2000	20 mm	36 mm

Basert på Kartverkets analyser av målinger utført med CPOS etter standarden Satellittbasert posisjonsbestemmelse. Tallene i tabellen gjelder for 67% av tilfellene (1 standardavvik) og må dobles for å gjelde for 95% av tilfellene (2 standardavvik).

Fram til nå har CPOS-tjenesten kun tatt i bruk observasjonsdata fra GPS og GLONASS, men det pågår et arbeid med å også kunne bruke data fra Galileo og BeiDou. I følge Kartverket vil dette trolig være implementert i løpet av første kvartal 2018.

5 Prosjekt på Rørosbanen

I 2015 og 2016 gjennomførte Jernbaneverket og Kartverket et samarbeidsprosjekt for å undersøk hvilken kvalitet det var mulig å oppnå for stedfesting av jernbanespor i horisontalplanet ved hjelp av GNSS-målinger støttet med CPOS-tjenesten under realistiske forhold.

Bilde 5-1: Prosjektstrekning [Kilde: Bane NOR, Banekart]



Blå strek viser prosjektstrekning (blå stiplet strek viser strekning som etter hvert ble tatt ut av prosjektet). Røde prikker viser eksisterende GNSS-basestasjoner og røde stjerner viser GNSS-basestasjoner som ble oppretter i forbindelse med prosjektet.

5.1 Prosjektstrekning

Prosjektet skulle i utgangspunktet bli gjennomført på Rørosbanen mellom Hamar og Rustad (om lag 50 kilometer). Imidlertid var det ikke gjennomført rydding av vegetasjon på den nordre strekningen mellom Grundset nord og Rustad (om lag 9 kilometer). På denne strekningen sto høy skog tett inn mot sporet og det var derfor utfordrende å få gjennomført målinger. Denne strekningen ble derfor etter hvert tatt ut av prosjektet.

5.2 GNSS-basestasjoner i området

I området der prosjektet ble gjennomført var det i utgangspunktet kun etablert én GNSS-basestasjon ved Løten. De omkringliggende basestasjonene var ved Rena, Flisa, Skreia og Moelv, det vil si at avstanden fra disse til Løten var 30-43 kilometer. Det ble derfor etablert 2 nye basestasjoner ved Hamar og Elverum. På strekningen mellom Hamar og Elverum ble avstanden mellom basestasjonene dermed 13-14 kilometer og langs banen på denne strekningen var største avstand til nærmeste basestasjon litt over 8 kilometer (ved Ilseng). På strekningen mellom Elverum

og Rustad (Rena) var avstanden mellom basestasjonene om lag 30 kilometer og største avstand til nærmeste basestasjon var litt over 7 kilometer ved Grundset nord (og litt under 16 km ved Rustad).

Bilde 5-2: Nye GNSS-basestasjoner ved Hamar og Elverum [Kilde: Statens kartverk]



5.3 Målearbeid

Målearbeidene ble utført sommeren 2016 av to målelag satt sammen av seks ansatte og tre studenter. Det ble benyttet eget GNSS-utstyr (antenne og mottaker/målebok av type Leica) og egen målebukk (GEOSP) for å posisjonere GNSS-antennen i spormidt. Korreksjonsdata fra CPOS-tjenesten ble distribuert via Jernbaneverkets GSM-R-system til en GSM-R-telefon som igjen hadde forbindelse med GNSS-mottakeren.

Bilde 5-3: GNSS-antenne på målebukk [Kilde: Jernbaneverket]



Totalt ble det målt inn i underkant av 900 punkter i sporet. Avstanden mellom sporpunktene var i gjennomsnitt 60 meter med unntak for Løren stasjon der avstanden var 10 meter. Hvert sporpunkt ble nøye avmerket på begge skinnestrenger slik at målebukken med GNSS-antennen kunne plasseres på samme sted ved flere besøk/målinger.

Hvert sporpunkt ble oppsøkt og målt 2-4 ganger. Ved hver måling ble det utført 3 fortløpende delmålinger á 10 sekunder. Mellom målinger i samme punkt var det minimum 45 minutters tidsforskyvning for at GNSS-satellittenes konstellasjon skulle endre seg så mye at målingene kunne anses som uavhengige/ukorrelerte. For punkter med mer enn 2 målinger ble som regel minst én av målingene utført en annen dag enn de øvrige målingene.

5.4 Beregninger

Beregningene av sporpunktenes posisjon (koordinater) ble gjort både i sanntid og i ettertid ved å bruke de innsamlede observasjonsdataene. Jernbaneverket gjennomførte en rekke beregninger av både standardavvik og punktdeformasjon for alle sporpunktene. Resultater fra dette arbeidet er dessverre ikke dokumentert i rapporten fra prosjektet. Imidlertid er det i flere presentasjoner og foredrag vist til at det under gode måleforhold og 3-4 målinger er mulig å oppnå relativt gode resultater med standardavvik i intervallet 3-6 mm og punktdeformasjoner i intervallet 7-15 mm ved 5 % feilslutningssannsynlighet.

Geodesidivisjonen i Kartverket gjennomførte supplerende beregninger for 285 sporpunkter på strekningen mellom Hamar og Løten. Denne strekningen ble valgt fordi den ble ansett som representativ for strekninger med gode måleforhold og alle punktene ble målt 4 ganger. Først ble det beregnet punktdeformasjon med 5 og 33 % feilslutningssannsynlighet for henholdsvis 2, 3 og 4 målinger. Resultat fra disse beregningene er dokumentert i prosjektrapporten. Deretter ble det i tillegg gjennomført tilsvarende beregninger med 10 % feilslutningssannsynlighet. Resultatet av alle disse beregningene er sammenstilt i tabellen under.

Tabell 5-1: Beregnet punktdeformasjon for 285 sporpunkter mellom Hamar og Løten

Feilslutnings-sannsynlighet	Antall målinger	Punktdeformasjon - andel punkter (%)					
		≤ 5 mm	≤ 10 mm	≤ 15 mm	≤ 20 mm	≤ 25 mm	≤ 40 mm
33 %	2	8,4	64,2	93,7	98,6	100,0	
	3	48,8	94,4	100,0			
	4	75,4	99,6	100,0			
10 %	2		32,3	77,9	96,1	98,9	100,0
	3	16,5	84,6	97,9	100,0		
	4	44,6	97,5	100,0			
5 %	2		20,4	64,2	92,6	97,5	100,0
	3	7,4	77,2	97,5	99,3	100,0	
	4	28,8	94,0	100,0			

Punktdeformasjonenes verdi ble betydelig redusert ved en økning fra 2 til 3 målinger og ytterligere noe redusert ved 4 målinger. Ved 10 % feilslutningssannsynlighet og 3 målinger var 85 % av punkt-deformasjonene på 10 mm eller mindre. Ved 10 % feilslutningssannsynlighet og 4 målinger var 94 % av punkdeformasjonene 10 mm eller mindre.

5.5 Erfaringer

Selv om alle sporpunktene var tydelig merket på begge skinnestrengene var det likevel utfordrende å plassere målebukken på nøyaktig samme sted ved hvert besøk / hver måling. Dette gjaldt både langs og på tvers av sporet. Videre var det viktig å kompensere for overhøyde ved at den øvre armen på målebukken ble juster slik at den var horisontal. For å kontrollere dette var det kun påmontert en enkel rørlibelle. Feil plassering av målebukken over merkene i sporene kunne få innvirkning på det samlede måleresultatet både langs og på tvers av sporet. Feil i justering for overhøyde kunne påvirke det samlede måleresultatet på tvers av sporet. Selv noen få millimeter feil var tilstrekkelig til å påvirke sluttresultatet.

I de områdene der det var høy vegetasjon (skog) tett inn mot sporet var det store utfordringer med å få gjennomført målingene. Vegetasjonen sperret for signaler fra flere av satellittene og dette medførte at mottakeren ikke mottok signaler fra et tilstrekkelig antall satellitter eller at

konstellasjonen for de tilgjengelige satellittene ga en ugunstig geometri. I de tilfellene der målingene lot seg gjennomføre ble beregnet punktdeformasjon (og standardavvik) betydelig større enn i de øvrige områdene.

Både standardavvik og punktdeformasjon ble beregnet som nord-komponent, øst-komponent og samlet for horisontalplanet. Et gjennomgående resultat var at nord-komponenten var betydelig større enn øst-komponenten, gjerne 1,5-3 ganger større. Dette tydet på at sluttberegningene i all hovedsak hadde vesentlig bedre kvalitet i øst-vest-retning enn i nord-sør-retning, men at dette ikke kommer frem ved vurdering av kvalitet samlet i horisontalplanet. Dette samsvarer godt med de erfaringer som andre har gjort ved gjennomført denne type GNSS-målinger. Resultatet var heller ikke overraskende, da GNSS-systemenes design tilsier at en slik forskjell vil være tiltagende ved økende nordlige (og sørlige) breddegrader.

Fremdrift for feltarbeidene varierte en god del, avhengig av blant annet tilgang til spor, tetthet mellom sporpunktene som ble målt inn og hvor mange ganger et sporpunkt ble besøkt/målt. I tillegg ble det erfart at den mest optimale sammensetningen av et målelag var to landmålere og én sikkerhetsvakt. Et slikt målelag kunne i gjennomsnitt dekke en strekning på inntil 2,5 kilometer på et skift ved 2 gangers besøk/måling av sporpunkter med om lag 50 meters mellomrom.

5.6 Konklusjon

Beregningene som ble utført i prosjektet viste at det under gode måleforhold var mulig å oppnå en stedfestingskvalitet som med 90 % sannsynlighet var 10 mm eller bedre for mer enn 85 % av sporpunktene.

For å oppnå dette var det nødvendig med fortetting av Kartverkets nåværende nettverk av GNSS-basestasjoner, høykvalitets måleutstyr, gode felt-/måleprosedyrer og gode måleforhold (i form av lite vegetasjon som sperrer for signalene fra satellittene. Videre var det nødvendig med minst 3 besøk/målinger på hvert enkelt sporpunkt.

6 Muligheter for utvikling og forbedring

Erfaringene fra prosjektet på Rørosbanen viser at det er nødvendig med utvikling og forbedring av en rekke faktorer for at stedfesting av sporet med GNSS skal bli et reelt alternativ. Under er det beskrevet flere mulige tiltak, uten at dette må anses som uttømmende.

6.1 Fortette avstanden mellom GNSS-basestasjoner

I Kartverkets nåværende nettverk av GNSS-basestasjoner er den innbyrdes avstanden mellom disse om lag 70 kilometer, men i enkelte områder er avstanden halvert til om lag 35 kilometer. Avstand fra egen GNSS-mottaker til nærmeste basestasjon er av stor betydning for stedfestings-kvaliteten. I følge Kartverket vil fortetting til innbyrdes avstand 15-20 kilometer trolig være ideelt og en ytterligere fortetting vil neppe gi vesentlige bidrag til forbedring av stedfestingsnøyaktigheten.

Det er i første rekke ønskelig å finne alternativer til å etablere VUL på ikke-elektrifiserte baner. I praksis betyr dette (fra sør til nord) Solørbanen, Rørosbanen, Raumabanen, Nordlandsbanen og Meråkerbanen. I tabellen under er det gitt et grovt anslag på hvor mange basestasjoner som må etableres på de ulike banene basert på banelengde, eksisterende basestasjoner og en ønsket avstand mellom basestasjonene på 15-20 kilometer. De 2 basestasjonene som er allerede er etablert på Hamar og Elverum er regnet som eksisterende, men de må oppgraderes noe dersom de skal bli permanente. Raumabanen Bjorli-Åndalsnes er utelatt, da denne strekningen anses som uegnet for denne type GNSS-måling på grunn av topografien og banens beliggenhet.

Tabell 6-1: Antall GNSS-basestasjoner (behov, i dag og nye) på ikke-elektrifiserte strekninger

Strekning	Lengde	Ant GNSS-basestasjoner		
	(km)	behov	i dag	nye
Solørbanen Kongsvinger - Elverum	95	7	3	4
Rørosbanen Hamar - Støren	385	23	8	15
Raumabanen Dombås - Bjorli	56	4	2	2
Nordlandsbanen Trondheim - Bodø	727	42	13	29
Meråkerbanen Hell - Storlien	70	5	2	3
	1333	81	28	53

Tabellen viser at det vil være nødvendig å etablere 50-55 nye basestasjoner. Disse basestasjonene bør etableres på en stabil bygning eller i 3-4 meter høy mast på fjell, det må tilgang til stabil strømforsyning og helst tilgang til telelinje og det er ønskelig å kunne installere deler av utrustningen inne i et temperert rom. Kartverket har gitt uttrykk for at det er rimelig av Bane NOR dekker en vesentlig del av kostnadene (80 %) for etablering, drift og fremtidig oppgradering.

Etableringskostnadene for hver basestasjon er i gjennomsnitt kr 200.000 (Kartverkets estimat). Kostnadene vil imidlertid kunne variere mye, primært avhengig av om antennemasten kan festes direkte til en stabil konstruksjon, på fjell eller om det må etableres stabilt fundament i løsmasse for antennemasten. Dette gir en samlet investeringskostnad på 10-11 MNOK (8-9 MNOK for Bane NOR). Eventuelle kostnader med å etablere stabil strømforsyning komme i tillegg.

Driftskostnadene for hver basestasjon er om lag kr 60.000 pr år (Kartverkets estimat). Dette gir samlet årlig driftskostnad på litt over 3 MNOK (litt over 2,5 MNOK for Bane NOR).

Deler av utrustningen i hver basestasjon, primært mottakerenheten, må skiftes ut med 5-6 års mellomrom. Kostnadene ved dette er anslått til om lag 75 % av investeringskostnadene, det vil 7-8 MNOK (6-7 MNOK for Bane NOR) hvert 5-6 år.

6.2 Redusere omfanget av vegetasjon som sperrer for satellittsignalene

En viktig forutsetning for å kunne gjennomføre GNSS-målinger er at omfanget av objekter som sperrer for signalene fra GNSS-satellittene reduseres så mye som mulig. På nordlige breddegrader er satellittene i all hovedsak på den midtre og nedre del av himmelhvelvingen. For å få best mulig forhold for målinger bør det derfor ikke være objekter som stikker opp mer enn 15 grader over horisonten. Dette betyr at det ved 15 og 30 meters avstand fra sporet bør det ikke være objekter som har høyde mer enn henholdsvis 4 og 8 meter over sporet.

Et viktig bidrag til å oppnå dette er å rydde vegetasjon langs banene. I følge Teknisk regelverk skal det gjennomføres vegetasjonskontroll av hensyn til togframføring, sikkerhet for omgivelsene og de reisendes opplevelser. Imidlertid vil rydding av vegetasjon av et slikt omfang som er ideelt for GNSS-målinger trolig være mer omfattende enn det som angitt i Teknisk regelverk.

Mange steder vil bratte/høye fjellsider, skjæringer i fjell og løsmasse og ikke minst vil tunneler/ kulverter sperre for signalene. I slike områder må det vurderes andre metoder for å registrere sporets faktiske beliggenhet, for eksempel det tradisjonelle VUL-systemet.

6.3 Forbedre utrustningen som posisjonerer GNSS-antennen i/over sporet

En viktig erfaring fra prosjektet på Rørosbanen var at målebukken som GNSS-antennen var festet ikke var ideelt utformet. Målebukken opplevdes som noe ustabil og det var ikke alltid like enkelt å plassere den korrekt på tvers av sporet og samtidig korrigere for overhøyde. Det er nærliggende å anta at dette kan ha hatt negativ påvirkning på beregnede punktdeformasjoner.

Det synes nødvendig å forbedre det utrustningen som benyttes for å plassere GNSS-antennen i sporet. Utrustningen må være stabil/solid, men samtidig ikke så tung og omfangsrik at den blir vanskelig å håndtere. Det er særlig viktig å kunne kompensere/korrigere for variasjoner i sporvidde og overhøyde slik at registreringene forholder seg til samme referanse (nøyaktig spormidt eller et nærmere definert punkt på ene skinnestrengen) ved alle målinger. Dette kan enten gjøres fysisk eller matematisk, og i sistnevnte tilfelle må det beregnes korrigeringsdata basert på registreringer av sporvidde og overhøyde samt informasjon om sporets retning. Det bør også ses nærmere på om utrustningen bør utformes som en enkel tralle som kan skyves/trilles bortover sporet.

Bilde 6-1: Måletralle for GNSS-målinger [Kilde: railway-tecnology.com og trimble.com]





På litt lengre sikt bør det ses nærmere på om det kan anskaffes/utvikles en skinnegående autonom selvkjørende drone som kan programmeres til gjennomføre måling ved nærmere angitte sporpunkter og/eller med gitt avstand mellom målepunktene.

6.4 Forbedre måle- og beregningsmetodene

6.4.1 Bruk av referanselinje (linjeberegning)

I prosjektet på Rørosbanen ble alle sporpunkter som ble målt inn merket med malingsstriper på begge skinnehoder. Det viste seg å være vanskelig å plassere målebukken korrekt på punktene i sporets lengderetning og dette har sannsynligvis fått negativ innvirkning på de beregnede punktdeformasjonene. En mer presis posisjonering av måleutstyret ville bidratt til bedre resultater. Dette kan til en viss grad oppnås med mer presis merking på skinnene eller ved å benytte en målebukk med annen konstruksjon, men feilkilden vil neppe kunne elimineres helt.

En mulig måte å redusere betydningen av feilkilden kan være å legge mindre vekt på å måle inn det samme punktet hver gang, men heller rette oppmerksomheten mot sporets sidebeliggenhet i forhold til en teoretisk referanselinje (linjeberegning). Dette kan gjøres ved å gjennomføre flere målinger på tilnærmet samme punkt, beregne sideavviket fra referanselinjen for hver måling, analysere variasjonen i sideavvikenes størrelse og beregne et gjennomsnitt for sideavvik. Denne verdien representerer da sporet faktiske beliggenhet på det aktuelle punktet.

Det vil være en fordel om referanselinjen samsvarer eksakt med sporets teoretiske beliggenhet, men erfaring viser at det svært ofte er vanskelig å tilpasse en slik linje helt nøyaktig til et eksisterende spor slik at det ikke blir noen sideavvik. Det er derfor en mulighet å håndtere dette på en måte som har mange likhetstrekk med VUL-systemet: Sporets teoretiske beliggenhet defineres som beregnet horisontal avstand (basert på gjennomsnitt fra flere målinger) fra referanselinjen. Sporets faktiske beliggenhet registreres ved å gjøre målinger og beregninger som beskrevet over og deretter sammenliknes disse med tilsvarende verdier for sporets teoretiske beliggenhet.

6.4.2 Vurdere hvor tett sporet bør registreres/måles inn

I Rørosbaneprosjektet ble det målt inn sporpunkter for om lag hver 60. meter. Så lang avstand mellom punktene gjør det vanskelig å ha god kontroll med sporets beliggenhet mellom disse punktene. Ved bruk av GVUL skal sporet måles inn for hver 10. meter og da oppnås bedre kontroll. Samtidig vil dette medføre at registreringsarbeidet tar lengre tid. Imidlertid er det mulig at kortere avstand mellom registreringene kan medføre at det ikke er nødvendig å måle så mange ganger ved hvert punkt. Dermed vil ikke nødvendigvis den samlede tidsbruken øke for å gjennomføre målingene.

Det kan derfor være aktuelt å få ekstern bistand for å undersøke nærmere om det finnes relevante filtreringsalgoritmer som kan gjøre nytte av mange spormålinger og identifisere om det er noen av disse som avviker signifikant fra de andre. Slike avvik kan indikere at de påviste målingene ikke har tilfredsstillende kvalitet og/eller at sporets beliggenhet ikke er som forventet. I slike tilfeller kan det være nødvendig å foreta ytterligere målinger.

6.4.3 Presis etterprosessering

I tillegg til CPOS-tjenesten (og DPOS-tjenesten) har Kartverket utarbeidet en tjeneste for presis etterprosessering av posisjoneringsdata (ETPOS). Ved å kombinere egne GNSS-observasjoner med data fra ETPOS-tjenesten er det mulig å oppnå meget høy nøyaktighet på beregnet posisjon. Presis etterprosessering vil imidlertid være neppe være egnet i de situasjonene hvor det er behov for beregningsresultater på kort varsel og det vil kreve spesiell kompetanse. Metoden er likevel interessant, i det minste for de situasjoner det tid ikke er en kritisk faktor. Det kan være interessant å undersøke dette nærmere i samarbeidet med for eksempel Kartverket for å avklare om presis etterprosessering kan være nyttig.

6.4.4 Supplerende observasjonsmetoder

For ytterligere å forbedre kvaliteten på måleresultatene kan det være aktuelt å benytte 3 måletraller samtidig med 50-100 m avstand. Hver tralle har GNSS-utrustning og i tillegg har den midterste

trallen måleutrustning som gjør at den måler retning og avstand til trallene foran og bak. Dette vil gi et tillegg i det totale observasjonsmateriealet og det er nærliggende å anta at dette vil gi kan være et bidrag til å forbedre nøyaktigheten i beregningene.

En annen målemetode som kan undersøkes nærmere er treghetsnavigasjon. Ved bruk av denne målemetoden registreres akselerasjon og rotasjon i tre dimensjoner og det gjør det mulig å beregne posisjoner når utgangspunktet og den opprinnelige bevegelsesretningen er kjent i tre dimensjoner. Kombinasjon av GNSS og treghetsnavigasjon er allerede i bruk i en rekke sammenhenger og gir mer nøyaktig resultat en målemetodene hver for seg.

Supplerende observasjonsmetoder vil gi et positivt bidrag i observasjonsmaterialet og det kan medføre at behovet for gjentagende målinger på samme strekning reduseres. Samtidig vil det gjøre måle- og beregningsarbeidet mer omfattende/komplisert og kostnadene for anskaffelse og drift/ vedlikehold av måleutrustningen vil øke. Det vil være nødvendig med bistand fra ekstern ekspertise for å avklare potensialet i slike observasjoner.

6.5 Undersøkelser på Nordlandsbanen

En av utfordringene med GNSS er at de fleste GNSS-satellittene går i baner som ikke bringer satellittene lenger nord enn til søndre halvdel av Danmark. Det eneste unntaket er GLONASS der satellittene kommer så langt nord som til Namsskogan. I Norge er derfor satellittene hovedsakelig på den midtre og nedre del av himmelhvelvingen. Det vil være best satellitt-tilgjengelighet mot sørvest, sør og sørøst, men på grunn av høye satellittbaner vil satellittene også være tilgjengelig i de øvrige himmelretningene. Satellittene mot sør og nord får henholdsvis mindre og større høyde over horisonten ved økende breddegrader.

Det er usikkert i hvilken grad denne forskjellen i satellitt-tilgjengeligheten vil påvirke nøyaktigheten i horisontalplanet ved GNSS-målinger. Dette bør derfor undersøkes nærmere, for eksempel ved å gjennomføre en mindre målekampanje på nordre del av Nordlandsbanen.

6.6 Gjennomgå bestemmelser i Teknisk regelverk

Dersom GNSS-målinger tillates som metode for utfesting av sporets beliggenhet er det nødvendig med en gjennomgang og oppdatering av bestemmelsene i Teknisk regelverk. De nåværende bestemmelser for VUL og GVUL er i all hovedsak ikke relevante for denne type målinger og det må derfor utarbeides egne bestemmelser som sikrer tilfredsstillende nøyaktighet.

6.7 Sikre nødvendig ressurser og kompetanse

Dagens VUL-system har den store fordelen at det, i utgangspunktet, er enkelt og det kreves minimalt med spesialutstyr eller opplæring. Bruk av GNSS-målinger vil kreve mer avansert (og kostbart) utstyr. I tillegg vil måle- og beregningsarbeidet samt vurdering av resultatene bli mer komplisert. Dette arbeidet må derfor gjøres av kyndig personell.

Det vil være nødvendig med en nærmere vurdering av hvilken kompetanse som er nødvendig for å utføre dette arbeidet på en forsvarlig måte. Videre må det avklares om dette er arbeid som skal utføres av egne medarbeidere eller om dette er en tjeneste som kan/skal kjøpes av eksterne på samme måte som ved bruk av GVUL. Dersom arbeidene skal utføres av egne medarbeidere bør det også ses nærmere på hvor mange som skal utføre dette arbeidet og deres organisatoriske tilhørighet.

7 Konklusjon (anbefaling og tiltak)

Med utgangspunkt i de erfaringene som er gjort gjennom prosjektet på Rørosbanen og angitte mulige tiltak til forbedring og utvikling er det kommet fram til en konklusjon i form av en anbefaling og opplisting av flere kortsiktige og langsiktige tiltak. Det understrekes at anbefalingen hviler på en rekke forutsetninger. Listene over aktuelle tiltak er ikke nødvendigvis utfyllende, da det er vanskelig å ha oversikt over alle problemstillinger som vil oppstå underveis.

7.1 Anbefaling

Satellittbasert posisjonsbestemmelse kan tillates som metode for utfesting av linjen / kontroll av sporets horisontale beliggenhet på baner med hastighet under 145 kilometer/time (kvalitetsklasse K1-K5) under følgende forutsetninger:

- Kartverkets nettverk av GNSS-basestasjoner må være fortettet slik at avstanden fra ethvert punkt på banen til nærmeste basestasjon ikke overskrider 10 kilometer
- Korreksjonsdata fra Kartverkets CPOS-tjeneste må distribueres via GSM-R eller annen
- Vegetasjonskontroll må gjennomføres etter bestemmelsene i Teknisk regelverk for å sikre best mulig forhold for observasjon/registrering av signaler fra GNSS-satellittene
- Krav til blant annet målenøyaktighet må fastsettes i Teknisk regelverk
- GNSS-utrustningen må være av meget høy kvalitet og benytte signaler/observasjonsdata fra alle operative GNSS
- Utrustningen som skal posisjonere GNSS-antennen i/over sporet må være utformet på en slik måte at den ikke har negativ innvirkning på resultatet av arbeidene
- Måle- og beregningsprosedyre må være utarbeidet/utformet slik at arbeidene blir utført og dokumentert på en slik måte at fastsatte nøyaktighetskrav tilfredsstilles
- Personell som skal utføre arbeidene må ha tilfredsstillende opplæring/kompetanse

7.2 Kortsiktige tiltak

For å tilfredsstille kravene om årlig kontroll av kurver med liten kurveradius (på ikke-elektrifiserte baner) bør følgende kortsiktige tiltak gjennomføres:

- Kartlegge hvilke strekninger som har sirkelkurver (med tilstøtende overgangskurver) med radius under 400 m og som ikke har utfesting av linjen i henhold til kravene i Teknisk regelverk
- Samarbeide med Kartverket om å fortette avstanden mellom GNSS-basestasjonene på overnevnte strekninger (alternativt på lengre/alle aktuelle strekninger dersom dette vil være hensiktsmessig)
- Gjennomføre et testprosjekt på Nordlandsbanen for å undersøke om det er mulig å oppnå tilfredsstillende nøyaktighet på nordlige breddegrader
- Sikre en varlig løsning for distribusjon av korreksjonsdata fra Kartverkets CPOS-tjeneste via GSM-R
- Gjennomføre vegetasjonskontroll etter bestemmelsene i Teknisk regelverk på overnevnte strekninger
- Fastsette (tekniske) krav til utrustningen som skal brukes for å posisjonere GNSS-antennen i/over sporet (og anskaffe dette dersom arbeidene skal utføres av egne medarbeidere)
- Fastsette krav til GNSS-utrustningen skal benyttes (og anskaffe dette dersom arbeidene skal utføres av egne medarbeidere)
- Fastsette nødvendige kvalitetskrav og oppdatere Teknisk regelverk
- Utarbeide måle- og beregningsprosedyrer

- Avklare om måle- og beregningsarbeidene skal utføres av egne medarbeidere eller eksterne (kjøp av oppmålingstjenester)
- Dersom arbeidene skal utføres av egne medarbeidere: Avklare kompetansebehov, sikre at det det er tilgjengelig medarbeidere med tilfredsstillende kompetanse (rekruttering og/eller etterutdanning) samt anskaffe nødvendig utrustning
- Dersom arbeidene skal utføres av eksterne: Anskaffe oppmålingstjenester

7.3 Langsiktige tiltak

For å utvikle bruk av satellittbasert posisjonsbestemmelse ytterligere bør følgende langsiktige tiltak vurderes/gjennomføres:

- Samarbeide med Kartverket om å fortette avstanden mellom GNSS-basestasjonene på eventuelle gjenværende strekninger
- Gjennomføre vegetasjonskontroll etter bestemmelsene i Teknisk regelverk på eventuelle gjenværende strekninger
- Vurdere muligheten for bruk av presis etterprosessering
- Vurdere muligheten for bruk av supplerende observasjonsmetoder
- Vurdere muligheten for bruk av skinnegående autonom/selvkjørende drone

8 Kilder

Skriftlig

Bane NOR (2017). Sikkerhetshåndboken. STY-601417 Anbefalt praksis: topphendelser til bruk i risikovurdering

Jernbaneverket (2013). Plan for varig utfesting av linjen

Jernbaneverket (2014). Innmåling av spor - Stai (prosjektrapport)

Jernbaneverket / Bane NOR (2017). Stedfesting av jernbanespor ved bruk av satellittbasert måleutstyr (prosjektrapport)

Kartverket (2009). Standarder for geografisk informasjon: Satellittbasert posisjonsbestemmelse

Kartverket (2015). Standarder for geografisk informasjon: Geodatakvalitet

Kartverket (2017). Standarder for geografisk informasjon: Posisjonstjenester i sanntid

Statens jernbanetilsyn (2012). Tilsynsrapport nr 03-12. Tilsynsmøter om spor, drenering og broer

Sæther, Sigmund. Lysark fra presentasjoner

Internett

www.gps.gov - amerikanske myndigheters nettsted for informasjon om GPS

www.glonass-iac.ru – nettsted med informasjon om GLONASS, drevet av et russisk forsknings-institutt etter avtale med den russiske romfartsorganisasjonen Roscosmos

www.esa.int/our_activities/navigation/galileo - den europeiske romfartsorganisasjonen ESAs nettsted for informasjon om Galileo

www.galileognss.eu – nettside med informasjon om Galileo, drevet av blant annet European Space Agency (ESA) og European GNSS Agency (GSA)

www.gsa.europa.eu – den europeiske GNSS-organisasjonens GSAs nettside

www.beidou.gov.cn - kinesiske myndigheters nettsted for informasjon om BeiDou

www.kartverket.no/posisjonstjenester/cpos - Statens kartverks nettsted for informasjon om CPOS

trv.banenor.no - Bane NORs Teknisk regelverk

snl.no – Store norske leksikon

Muntlig

Eggen, Arne Jostein – Bane NOR

Furru, Tore – Bane NOR

Sæther, Sigmund – Bane NOR / pensjonist

Bratheim, Per Christian - Kartverket

Vestøl, Olav - Kartverket