

SLUTRAPPORT

Stomnät i Luften för anläggningsprojekt

FOI-projekt



Innehåll

Inledning.....	3
Begrepp.....	4
Bakgrund.....	5
Trafikverkets behov avseende stomnätslösning.....	5
Effektmål och nyttor.....	5
Projekt mål.....	5
Beräkningstjänsten.....	6
PA-NRTK.....	6
RUFRIIS	6
Automatisk granskning.....	7
Sammanställning av resultat.....	7
Tidigare arbete.....	7
Redovisning av delaktiviteter.....	9
Beräkningstjänsten.....	9
PA-NRTK.....	10
RUFRIIS	12
Automatisk granskning.....	13
Utvärdering av projekt mål.....	14
Beräkningstjänsten.....	14
PA-NRTK.....	15
RUFRIIS	16
Automatisk granskning.....	16
Referenser.....	17

Inledning

Följande rapport utgör slutrapporten för projektet, "*Stomnät i Luften för anläggningsprojekt*" (Stomnät i luften). Projektet är ett FOI¹-projekt som bedrivits i Trafikverkets regi, under 2010-2011, i samarbete med Lantmäteriverket, WSP Samhällsbyggnad, Kungliga Tekniska Högskolan avdelningen för geodesi samt Chalmers Tekniska Högskola via Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP).

Rapporten är indelad i tre avsnitt: bakgrund, sammanfattning och utvärdering av projektmål. *Bakgrund* avser ett inledande resonemang kring Trafikverket behov avseende stomnät, beskrivning av projektets olika delmål samt förklaring av syftet med projektet och dess delaktiviteter. Under *sammanfattning av resultat* är tidigare arbeten och projektets delresultat sammanställt och i *utvärdering av projektmål* återknyts resultatet till projektets mål. I det sista avsnittet finns även förslag till fortsatt arbete med olika delaktiviteter beskrivna.

Stomnät i luften äsyftar utveckling och anpassning av stomnät baserade på GNSS-teknik och relaterade mätmetoder för anläggningsprojekt som bedrivs i Trafikverkets regi. Stomnät i luften bygger framförallt på erfarenheter och frågeställningar från pilotprojektet BanaVäg i Väst, som påbörjades 2004, men även från motsvarande erfarenheter från senare etableringar av aktiva stomnätslösningar. SWEPOS som etablerats av Lantmäteriet, utgör grunden i de aktiva stomnät som Trafikverket använder. För att tillgodose Trafikverkets behov gällande RTK-mätning, statisk beräkning, distribution av korrektioner och säkerhet har SWEPOS-nätet projektanpassats för vart och ett av projekten. Konceptet projektanpassad nätverks-RTK går under akronymen PA-NRTK.

Stomnät i luften är uppdelat i fyra delaktiviteter:

1. Uppdatering av beräkningstjänsten
2. PA-NRTK
3. Realtidsuppdaterad fri station (RUFRIIS)
4. Automatisk granskning

Stomnät i luften för anläggningsprojekt är ett FOI-projekt under Trafikverkets portfölj 4: mer nytta för pengarna. Program, införande av BIM. Projektet är delfinansierat av: Trafikverket, Lantmäteriet och WSP Samhällsbyggnad.

¹ Forskning och innovation

Begrepp

Aktiva referensnät	referensnät som realiserar referenssystem i plan genom ett antal permanent monterade referensstationer
BIM	byggnadsinformationsmodeller
Enkelstations RTK	RTK-mätning med korrektioner från <i>en</i> referensstation
GNSS	Global Navigation Satellite Systems. Ett samlingsnamn för de globala satellitsystemen för positionering. Omfattar bland annat GPS, GLONASS och GALILEO
Enkelstations RTK-Nät	tjänst med flera fristående referensstationer i vilket enkelstations RTK-mätningar utförs
Nätverks RTK (NRTK)	nät med ett antal referensstationer för GNSS-mätning sammankopplade i en tjänst som yttäckande skattar inverkan från atmosfär och satellitbanfel. Informationen används för att reducera felkällornas inverkan vid RTK-mätning
Projektanpassad NRTK	NRTK som anpassats till Trafikverkets behov för investeringsprojekt. Går under akronymen PA-NRTK
Passiva referensnät	klassiskt stornät som realiserar referenssystemet genom markerade punkter på marken. Passiva referensnät kan realisera referenssystem både i plan och höjd
Referensstation	GNSS-mottagare som placerats över punkt med kända koordinater
RTK	Real-Time Kinematic, metod för realtidsmätning med GNSS som har en medelfel på 10 – 30 mm i plan
SWEPOS	Nationellt NRTK-nät som omfattar såväl data för RTK-mätning som en beräkningstjänst för efterberäkning av statistiskt mätta GNSS observationer

Bakgrund

Trafikverkets behov avseende stomnätslösning

Stomnät utgör gränssnittet mellan verkligheten och de kartor, ritningar och modeller som används inom Trafikverket vid planering, byggnation och förvaltning. Stomnäten har således en central roll inom all planerings-, investerings- och förvaltningsverksamhet. Trafikverket har som intention att i möjligaste mån själva upprätta och förvalta de stomnät som används i deras regi. Anledningen till denna ståndpunkt är att man vill:

- ha kontroll över de stomnät som anläggningarna byggs och kontrolleras från
- ha möjlighet att bestämma när och med vilken kvalitet stomnäten ska etableras
- förenkla i projekt där många aktörer arbetar parallellt.

Genom att ha den fullständiga kontrollen på stomnäten kan man även skapa förutsättningarna för smidiga övergångar mellan olika projektfaser.

Sättet att arbeta vid projektering, byggnation och förvaltning befinner sig i en ständig förbättringsfas. Idag lämnas de arbetsprocesser som bygger på tvådimensionellt ritningstänkande mot tredimensionella modeller och BIM-tänkande. För att möjliggöra rationell produktion med korta ledtider och kostnadseffektiv förvaltning krävs ett helhetstänkande och förståelse för alla steg i livscykeln hos ett anläggningsobjekt. Stomnät och dess utformning i olika projektfaser styrs av de behov som finns och är direkt avgörande för hur projekten kan använda sig av moderna arbetsmetoder. Med utgångspunkt i detta resonemang har arbetet med stomnät i luften initierats.

Effektmål och nyttor

De övergripande målen med projektet är att skapa en ökad kunskap om stomnät som levereras i form av RTK-korrekationer med tillhörande data för efterberäkning samt att dokumentera erfarenheter från pilotprojektet BanaVäg i Väst med syftet att utveckla framtida upphandling och drift av projektanpassade NRTK-system (PA-NRTK system).

Ett viktigt resultat är en koncept-idé för nyttjande av PA-NRTK som omfattar alla faser i anläggningens livscykelperspektiv: planering, projektering, byggande och förvaltning. Målsättningen är att minska ledtider mellan olika projektfaser, ge ett tydligt arbetsflöde samt skapa förutsättningar för en nationellt applicerbar lösning som inte bara ger en projektnytta utan även en Trafikverks- och samhällsnytta.

Det långsiktiga målet är att reducera kostnaderna och tillgängliggöra positionering med god kvalitet för mättningsverksamheten i anläggningsprojekt.

Projektmål

Projektet Stomnät i luften består av fyra delaktiviteter som var och en består av ett antal arbetspunkter. Dessa är framtagna utifrån de behov och frågeställningar som uppstått i pilotprojektet BanaVäg i Väst samt vid etablering av nya PA-NRTK system. Mer information om tidigare projekt finns i det

sammanfattande avsnittet nedan. Här följer frågeställningar som använts för att sätta upp projektmål samt projektmålen för var delaktivitet.

Vid sidan av de presenterade projektmålen var en målsättningen att sammanställa alla erfarenheter från pilotprojektet BanaVäg i Väst.

Beräkningstjänsten

För att underlätta etablering av nya anslutningspunkter ingår en beräkningstjänst i konceptet PA-NRTK. I befintlig version av beräkningstjänsten som baseras på det s.k. Bernprogrammet är det endast möjligt att koordinatbestämma en punkt i åt gången. Tillvägagångssättet vid etablering av nya anslutningspunkter överensstämmer inte med de krav som normalt ställs på ett anslutningsnät som etableras av Trafikverket. Ett önskemål från de intressenter som använder beräkningstjänsten är att anpassa densamma mot gällande krav för beräkning och redovisning samt att förenkla användargränssnittet på beräkningstjänstens hemsida. Önskemålen ovan utgör projektmål i Stomnät i luften tillsammans med en förstudie av förutsättningarna för att automatisera all typ av nätutjämning via en beräkningstjänst.

PA-NRTK

Från 2004 då det första PA-NRTK-systemet för Marieholmsförbindelsen och Partihallsförbindelsen etablerades har ett flertal projekt försetts med motsvarande stomnätlösning. Själva etableringsförfarandet för ett PA-NRTK är en relativt omfattande procedur. Rutiner som underlättar etableringsbeslut, etablering, driftsättning, upphandling och löpande uppföljning är nödvändigt. Följande mål har satts för utvecklingen av PA-NRTK inom ramen för Stomnät i luften:

- upprätta en metodbeskrivning för mottagningskontroll (inklusive dokumentationskrav) för verifiering av kvalitet i nät. Metodbeskrivningen gäller arbete som utförs av Trafikverket när systemet driftsätts, innan det börjar användas skarpt i ett projekt
- förenkla och nationellt standardisera arbetsprocessen genom att upprätta ett underlag som beskriver när PA-NRTK bör etableras
- besvara frågorna, hur prestandan i ett referensnät med GNSS-stationer påverkas av kombinationen av tätare och glesare referensnätverk, hur en optimal förtätning av referensnätverk bör utformas samt hur noggrannheten påverkas av projektområdes storlek
- skapa rutiner för kontroller av positioneringsnoggrannhet i ett PA-NRTK
- upprätta manualer för mätning i systemen
- skapa underlag för upphandling av tjänster
- upprätta strategier för distribution av korrektionsdata

RUFRIS

Stationsetableringsmetoden RUFRIS introducerades som en metod i pilotprojektet BanaVäg i Väst som en metod att på ett enkelt sätt byta mellan RTK-mätning till traditionell totalstationsmätning. Metoden bygger på etablering av fri station mot punkter som simultant mäts in med RTK och

totalstation². I tidigare projekt har metoden studerats ur precisions- och användarperspektiv. Målen med utvecklingsarbetet i Stomnät i luften är att studera:

- metodens repeterbarhet
- metodens kontrollerbarhet
- hur tidskorrelationen vid RTK-mätning påverkar skattningen av koordinater och orientering vid etablering av RUFRIIS
- praktisk studie i hur metoden fungerar i det rikstäckande SWEPOS-nätet som inte projekthanpassats.

Utifrån materialet upprättas en metodbeskrivning för etablering av RUFRIIS som kan användas vid upphandling samt för att påverka instrumentleverantörer att anpassa befintliga instrument för metoden.

Automatisk granskning

Granskning och kontroller är arbetsmoment som både är resurskrävande och som resulterar i ledder i projekten. Möjligheten till effektivisering och kostnadsbesparingar är stor om en förenkling av arbetsprocessen är genomförbar. Följande delaktivitet avser att i en förstudie undersöka möjligheten att "automatisera granskningsprocesser", det vill säga föreslå hur granskningsprocesser skall kunna utnyttja den tekniska infrastrukturen i en PA-NRTK-lösning och modern teknik.

Sammanställning av resultat

Följande sammanfattning omfattar dels resultatet från tidigare arbete, och dels redovisningar av de olika delaktiviteterna i projektet.

Tidigare arbete

I samband med inledande projektering av Marieholmsförbindelsen och dess första del etapp Partihallsförbindelsen i Göteborg 2003, lyftes frågan hur stomnäten för projekten skulle etableras. Området där projekten är, belägna är ur ett geotekniskt perspektiv, mycket instabilt och att etablera ett traditionellt stomnät på marken med dessa geotekniska förutsättningar bedömdes vara olämpligt. Flertalet entreprenörer hade vid tidpunkten börjat utvärdera maskinstyrning och maskinguidning för produktion. I en förstudie utvärderades olika stomnätstypers för- och nackdelar. Traditionella stomnät jämfördes mot enkelstations-RTK, lokala nätverks-RTK med flera enkla stationer, lokal nätverks-RTK-lösning, nationella nätverks-RTK-nät (typ SWEPOS) samt en projekthanpassning av det nationella nätverks-RTK systemet SWEPOS. Man fann att den mest fördelaktiga lösningen för projektet var en förtätning av SWEPOS i ett PA-NRTK-system. Anledningen till att denna lösning var mer attraktiv än de andra baseras bland annat på en grundfilosofi hos Trafikverket om att tänka större än just för det aktuella projektet. Man bör, om möjligt, titta på lösningsalternativ som ger nytta för Trafikverket och samhället i stort. Om nya lösningar upprättas bör dessa vara av sådan typ att de går att skala upp till en

² Längder, riktningar och zenitdistanser

nationell nivå för att erhålla ett enhetligt arbetssätt. Den stornätlösning som visade sig ge flest nyttor för projekten, Trafikverket och samhället i stort, var en projektanpassning av det nationella SWEPOS-nätet som etableras tillsammans med ett genomgående höjdnät, se vidare Andersson (2004). SWEPOS bestod för tillfället av ett nät med cirka 70 km mellan referensstationerna. Det framtagna konceptet fick namnet projektanpassad nätverks-RTK (PA-NRTK). PA-NRTK består idag något förenklat av:

- förtätning av SWEPOS-nätet till 8-12 km mellan referensstationerna
- RTK-korrekationer distribuerade via radio
- beräkningstjänst för beräkning av statistiskt mätta GNSS-observationer
- monitorstationer som övervakar systemet
- drift och support dygnet runt årets alla dagar
- underlag för riskhantering.

Två nya referensstationer etablerades för projekten men de kom vid tillfället i bruk i projektet på grund av omprioriteringar från Trafikverket. Alla resurser lades på det närliggande projektet BanaVäg i Väst som omfattar utbyggnad av dubbelspår och fyrfältsväg mellan Göteborg och Trollhättan (ca 75 km).

2005 etablerades PA-NRTK med tre nya referensstationer för sträckan Agnesberg-Älvängen. Detta projekt blev även utsett som pilotprojektet för tekniken inom ramen för verksamhetsnära utveckling. En utvecklingsaktivitet kopplad till pilotprojektet gick under projektnamnet "Utveckling av projektanpassad beräkningstjänst". I projektet studerades förutsättningarna för vidareutveckling av SWEPOS ordinarie beräkningstjänst till en projektanpassad sådan samt mätmetoder som förenklar övergången mellan RTK-baserade stornät och traditionella mätmetoder. Det var under detta arbete som tankar kring stationsetableringsmetoden RUFRIIS dök upp. I projektet utfördes såväl teoretiska studier som praktiska utvärderingar för att undersöka vad som påverkar precisionen vid stationsetablering av RUFRIIS och om metoden är jämförbar mot detaljmätning från anslutningspunkter, se: Horemuž (2008), Horemuž (2009a), Horemuž (2009b) samt Horemuž och Andersson (2011).

Användandet av PA-NRTK i projektet BanaVäg i Väst har blivit en stor framgång, då 95 % av produktionen av anläggningen utförs med GNSS-teknik. Genom användning av tekniken har produktionsstakten ökat och kvaliteten höjts. Tidigare traditionella och mer tidsödande arbetsmetoder, har utvecklats till helt automatiserade arbetsmetoder. Ett bra exempel på detta är de maskiner som tillverkar kalkcementpelare. Tidigare baserades dessa på manuell utsättning men är idag helt automatiserade. Införandet av PA-NRTK har även förändrat rollerna på byggarbetsplatserna. Maskinförarna har en bättre överblick över det arbete som ska utföras vilket givit dem en möjlighet att effektivare planera sitt arbete. Planeringsmöjligheten har gjort att maskinerna används mer effektivt, vilket inte bara leder till en kostnadsbesparing utan även till en reducerad miljöpåverkan. Rollen hos den traditionella mättingsingenjören har försvunnit då utsättningsarbetet nästan försvunnit helt. Mättingsingenjörens nya roll är att förse maskinerna med underlag för produktion samt att utföra kontrollmätningar. Idag (hösten 2011) ligger projektet BanaVäg i Väst i fas med, den från början snäva, tidsplanen. Positioneringssystemet är en bland många faktorer som bidragit till situationen.

PA-NRTK har idag etablerats i Trafikverkets regi för: E45 Agnesberg- Älvängen, E45 Älvängen-Trollhättan, Marieholmsförbindelsen, Partihallsförbindelsen, Haparandabanan³, Kiruna-RTK och E4 förbifart Sundsvall. För följande projekt är en etablering initierad: Södertörnsleden, Förbifart Stockholm, E20 Alingsås – Vårgårda samt Västlänken i Göteborg.

I Trafikverkets pilotprojekt för PA-NRTK har, under etablerings- och uppföljningsarbetet, frågor berörande systemuppbyggnad, drift, ansvar, upphandling och mätmetoder fångats upp. De uppräknade "delfrågorna" har, tillsammans med underlag från tidigare utvecklingsprojekt och teknikutvecklingsdiskussioner med branschen, använts som underlag för initiering av utvecklingsetapp 2 för PA-NRTK. Detta har initierats som ett formellt FOI-projekt "Stomnät i luften för anläggningsprojekt" under Trafikverkets portfölj 4: Mer nytta för pengarna. Program, införande av BIM. Resultatet från utvecklingsetapp 2 redovisas i följande rapport.

Redovisning av delaktiviteter

Beräkningstjänsten

Att anlägga ett nytt anslutningsnät eller komplettera befintliga nät på traditionellt vis är både kostsamt för projekten och innebär i regel problem med långa ledtider. Problemen beror framför allt på en omfattande planerings-, mättnings-, beräknings- och redovisningsprocedur men också på de granskningsteg som ska genomföras innan näten är godkända för produktion. I projekt där inget traditionellt stomnät finns på marken, likt BanaVäg i Väst, är det nödvändigt att enkelt och effektivt kunna etablera nya anslutningspunkter. I SWEPOS finns en beräkningstjänst för beräkning av statistiskt mätta GNSS-observationer. Beräkningstjänsten använder endast data från klass A stationerna i SWEPOS, det vill säga den använder alltså inte data från de förtätade näten. För att förenkla etableringsproceduren för nya anslutningspunkter i BanaVäg i Väst har en projektanpassad beräkningstjänst upprättats. Skillnaden mot den nationella tjänsten är bland annat att den projektanpassade använder observationer från de närmastliggande referensstationerna.

Den projektanpassade beräkningstjänsten som används för produktion i BanaVäg i Väst även om den inte är fullt anpassad till de regler och krav som Trafikverket normalt ställer vid etablering av anslutningspunkter. För att anpassa tjänsten till gällande regler och krav inleddes ett arbete med mål att möjliggöra etablering av parpunkter och mindre anslutningsnät. I tidigare arbete utförde Jämnäs (2008) en marknadsundersökning av lämpliga programvaror för att tillgodose behovet och fann Leica Geo Office (LGO) vara ett lämpligt alternativ. von Malmborg(2011) sammanfattar de regler och krav som ställs i BVS och SIS-TS vid etablering av anslutningsnät inom Trafikverket. Jämnäs (2011) sammanfattar det arbete som av Lantmäteriet utförts inom ramen för Stomnät i luften. Arbetet omfattar beskrivning av hur en ny beräkningstjänst bör utformas, rutiner för beräkning och utjämning i LGO samt en sammanfattning av vidare utvecklingsbehov. För att utvärdera processen har

³ Endast kommersiellt internet, i form av GPRS-utsändning dvs. inget komplett PA-NRTK- system

en ett antal skriptbaserade rutiner som automatiskt utför beräkningar och sammanställer resultat i LGO tagits fram. Visst arbete kvarstår innan beräkningstjänsten kan tas i drift.

En automatiserad beräkningstjänst för statiska GNSS-observationer har i BanaVäg i Väst visat sig vara effektiv för etablering av nya anslutningspunkter. För att undersöka om samma effektivitetsvinst är möjlig vid etablering av andra typer av stomnät, har man inom Stomnät i luften initierat en förundersökning med syfte att lyfta frågan vidare. Andersson och Jämtnäs (2011) har i ett första steg studerat de observationstyper som är aktuella för de stomnät som etableras i Trafikverkets regi, de rutiner och arbetsflöden som följs vid etablering, samt möjligheterna att implementera dessa i LGO. Resultatet från studien visar de observationstyper som är aktuella för en beräkningstjänst, möjligheter och begränsningar vid användandet av LGO samt en lista med arbetspunkter som kan användas som underlag för vidare arbete med beräkningstjänsten.

PA-NRTK

Med underlag från det kontinuerliga uppföljningsarbetet i pilotprojektet BanaVäg i Väst har ett antal frågeställningar uppstått rörande etablering, drift och användning av PA-NRTK-systemen för produktion. Frågorna är både av mätningsteknisk och upphandlingsteknisk karaktär. Vissa av dem har resulterat i mål för delaktiviteter i Stomnät i Luften. Nedan följer en sammanställning av frågeställningarna och resultaten från respektive aktivitetspunkt.

En fråga som ständigt är aktuell vid val av stomnätslösning är *när* och *om* en förtätning av SWEPOS-nätet är aktuell för ett projekt. von Malmborg och Andersson (2011) har studerat det behov som finns angående mätning noggrannhet i olika projektfaser i traditionella investeringsprojekt och jämfört dessa med den noggrannhet man praktiskt erhållit i olika NRTK och PA-NRTK nät i Sverige. Det kan sammanfattas att NRTK-nät som förtätats med 10 km mellan referensstationerna med tillhörande beräkningstjänst täcker det behov som finns i ett investeringsprojekt för positionering i plan och till viss del i höjd. Då noggrannheten vid RTK-mätning inte räcker till etableras punkter genom statisk mätning med beräkningstjänsten. För att täcka det fullständiga behovet för höjdbestämmning bör ett genomgående höjdnät etableras i projekteringsfasen. NRTK-nät bör projekteringsfasen till ett PA-NRTK inför byggnationsfasen för att minimera de risker som finns vid användandet av aktiva stomnät.

Under projektets gång ändrade delaktiviteten att "upprätta en metodbeskrivning för mottagningskontroll (inklusive dokumentationskrav) för verifiering av kvalitet i nät" karaktär. Istället för att fokusera på mottagning av PA-NRTK valdes att prioritera framtagandet av underlag som beskriver de arbetsmoment som genomgås vid etablering av PA-NRTK. Baserat på de erfarenheter som erhållits från tidigare etableringar och etableringsförsök av PA-NRTK har Hederos (2011a) gjort en samlad beskrivning av de arbetsmoment som ska genomföras av Trafikverket vid etablering av ett PA-NRTK. Dokumentet ska ge ett underlag till planering och bedömning om tidsåtgång från att projektet initieras till att systemet driftsätts, samt belysa den arbetsprocess som etableringen innebär. Dokumentet belyser också de resultat som bör uppnås och levereras vid varje genomförd aktivitet, inklusive förslag på ansvarig part.

Vid etablering av PA-NRTK förtätas befintligt SWEPOS-nätet med ytterligare referensstationer. Frågan var mottagarna ska placeras för att optimera positioneringsnoggrannheten, är en fråga som vid tidigare etableringar stått obesvarad. Mottagarna har placerats där man ansett dem vara lämpliga för sitt ändamål. Inom Stomnät i luften har frågan analyserats av Emardson och Jarlemark (2011) med mål att besvara frågorna: hur prestanda påverkas av kombinationen av tätare och glesare referensnätverk, hur optimal förtätning av referensnätverk bör utformas samt hur noggrannheten påverkas av projektområdets storlek. Simuleringar visar att den bästa placeringen av referensstationer för att minimera mätfelet, är intill vägbanan. Vid förtätning av ett nät erhålls bäst resultat då den högsta vikten ges till stationerna närmast linjeföringen. För små långsträckta anläggningsprojekt, runt 5 km, visar simuleringarna att det vertikala mätfelet orsakat av NRTK-systemet är 3 mm, medan ett förväntat totalt vertikalt mätfel är runt 8 mm när även bidraget från den lokala rovernottagaren är inräknat. För stora långsträckta anläggningsprojekt, runt 70 km, är motsvarande värden 5 mm respektive 9 mm. Vid små och stora förtätningar finns alltså mycket att vinna på i mättningsnoggrannhet om montering av rovern kan göras så att de lokala effekterna, till exempel från reflektioner och signalblockering, minimeras. Bidragen från de lokala effekterna kommer dock att variera stort beroende på framförallt placering och montering av rovernottagarens antenn. För regionala anläggningsprojekt visar simuleringarna att det vertikala mätfelet från NRTK-systemet är 10 mm, medan ett förväntat totalt vertikalt mätfel är runt 12 mm. De PA-NRTK-system som används av Trafikverket baseras på SWEPOS-systemet. För RTK-mätning i NRTK-nätet SWEPOS finns en manual riktad till nya och mindre erfarna användare, LMV Rapport 2006:2 utgåva 3. I Stomnät i luften har en anpassning av manualen gjorts så att den även omfattar Trafikverkets projektanpassning av SWEPOS, se Hederos (2011b). Rapporten belyser de övergripande skillnaderna mellan SWEPOS nätverks-RTK-tjänst och Trafikverkets PA-NRTK-tjänst. För mer fördjupad information om enskilt projektanpassat system hänvisas till de särskilda manualer som i samråd mellan Lantmäteriet och Trafikverket tas fram inför driftstagning av PA-NRTK. Dessa manualer beskriver mer detaljerat och projektspecifikt kommunikationsalternativ, referenssystem, områdesbegränsningar etcetera. Rapporten är främst inriktad på mätning och utsättning där GNSS-antennen är monterad på mätstång. Detta måste beaktas vid andra tillämpningar, exempelvis maskinstyrning.

En återkommande fråga vid upprättande av förfrågningsunderlag för konsult- och entreprenadupphandling där NRTK eller PA-NRTK finns etablerat, är utformningen av krav och rådstexter. För att nationellt likriktad upphandling har råd och rekommendationer upprättats för olika typer av mätningstekniska tjänster. Dessa omfattar mätningsteknisk kompetens, förfrågningsunderlag för konsult- och entreprenadupphandling, hantering av stomnät i plan och höjd på marken samt rekommendationer för framtagning av informationsmaterial. Tillsammans med detta finns förslagstexter som kan användas vid upprättande av uppdragsbeskrivningar, tekniska beskrivningar och vid AMA 10 upphandling, se Hederos (2011c).

En ständigt aktuell fråga vid RTK-mätning är valen av distributionskanal och dataformat för korrektionsmedlandet. Trafikverket har beslutat att inom

konceptet PA-NRTK gäller kommunikation via radiomodem och korrektioner via RTCM 3.0. Beslutet är baserat på de riskhanteringsanalyser som gjorts vid etablering av de tidiga projekten. Beslutet omprövas löpande för att tillgodose de behov som användarna av systemen har. Inom ramen för Stomnät i luften har ett dokument upprättats med strategier för utvecklingsarbete kring datadistributionsfrågan. von Malmborg och Hederos (2011) sammanfattar, "Fokus under de närmsta åren bör ligga på att i ett antal studier fördjupa kunskapen kring nya tekniker och möjligheter.

Områden som framförallt bör studeras är överföringsformatet av korrektionsmeddelande, RTCM 3.1 samt hur olika typer av kommersiellt internet fungerar i praktiken. Beroende på utfallet från dessa studier kan i ett senare steg skarpa tester i entreprenad utföras". Strategidokumentet omfattar kortsiktiga strategier som bör utföras inom två år och långsiktiga strategier som bör utföras inom 3-5 år. De kortsiktiga avser säkerställande av distributionskanaler för detaljmätning och maskinstyrning samt utvärdering av dataformat och de långsiktiga avser implementation av ny teknik samt övervakning av teknikutvecklingen inom området.

RUFRIS

Stationsetableringsmetoden RUFRIS introducerades som ett mer fältmässigt sätt att etablera stationskoordinater än statisk GNSS-mätning. RUFRIS-metoden bygger på fri stationsetablering baserat på simultana mätningar med RTK-teknik och totalstation. I tidigare projekt utreddes metodens precision både ur ett teoretiskt och ur ett praktiskt perspektiv. Precision är inte den enda egenskapen som bör utvärderas vid introduktion av en ny mätmetod. Egenskaper som repeterbarhet, tillförlitlighet och eventuella tidskorrelationer måste också beaktas.

För att utvärdera RUFRIS-metodens repeterbarhet utfördes mätningar under september och oktober 2009. Mätningarna är utförda i spärmiljö längs projektet BanaVäg i Väst. RUFRIS etablerades vid sju olika tillfällen och på tre olika punkter. Repeterbarhet kan uttryckas som spridning av koordinater runt deras medelvärde. I vårt fall beräknades spridningen ur upprepade stationsetableringar med hänsyn av RUFRIS-metoden. Repeterbarheten är bättre än 2 mm i horisontella koordinater och bättre än 3 mm i höjddled. Sämre repeterbarhet i höjddled kan förklaras dels med instrumenthöjdmätning (lägre precision jämfört med centrering) och dels med lägre noggrannhet i RTK-höjdmätning. Beräkningar och resultat finns sammanställda i Horemuz (2011a).

För att skatta stationskoordinater och stationens orientering med RUFRIS-metoden används minsta-kvadratmetoden. För att erhålla ett resultat med högsta möjliga riktighet förutsätts att observationernas systematiska och grova fel har reducerats till ett minimum före utjämning. Traditionellt kontrolleras dessa förutsättningar genom tillförlitlighetsanalyser som påvisar på mätningarnas känslighet för grova fel. Horemuz (2011b) har utfört tillförlitlighetsanalyser för RUFRIS-metoden för att studera hur konfiguration och antalet gemensamma punkter påverkar kontrollerbarheten. De kontrollerbarhetsmått som används är: genomsnittlig kontrollerbarhet (k-tal), enskilda mätningens k-tal samt inre- och yttre tillförlitlighet som visar minsta upptäckbara fel samt felets inverkan på det slutgiltiga resultatet. Studien visar

att man inte kan skilja på om ett grovt fel uppstår i koordinater från RTK-mätningar eller i totalstationsobservationer. Detta medför att om ett grovt fel uppstår ska samtliga observationer till en gemensampunkt tas bort från utjämnningen. Horemuž konstaterar även en stor korrelation mellan resultatet i tidigare precisionsstudier och dessa kontrollerbarhetsstudier: geometri som ger högre precision ger också bättre kontrollerbarhet. Alla kontrollerbarhetsmått följer samma mönster: kontrollerbarheten ökar med antalet gemensamma punkter och sektorns storlek. Ökningen är signifikant till ca 10 – 20 gemensamma punkter, liten över 30 punkter. Studien resulterar i ett antal punkter som man bör ta hänsyn till vid etablering av RUFIS. Dessa erfarenheter är beaktade vid framtagandet av metodbeskrivningen för RUFIS, se Andersson (2011).

Att koordinater bestämda med RTK är starkt korrelerade i tid är ett välkänt fenomen. Korrelationen beror på ett antal systematiska effekter som inte går att eliminera helt, såsom: jonosfäriska och troposfäriska fel, flervägsfel hos referens- och rovernottagare, samt klockfel och fel i satellitkoordinater. De senare två felkällorna är försumbara vid RTK-mätning. För att utreda korrelationens inverkan vid etablering vid RUFIS har hypotesen att tidskorrelationerna i RTK-bestämda koordinater bryts ner genom att man förflyttar GNSS-antenn testats. Grundargumentet för antagandet är att flervägsfel blir mer slumpmässiga och att man dessutom kan få olika satellitkonfigurationer på olika punkter. Studien visar att vissa korrelationer bryts ner om man förflyttar GNSS-antennen. Nedbrytningen är tydligare om mätningen sker i inhomogen miljö, det vill säga satellitkonfigurationen och flervägsfelet är olika på olika punkter. Resultatet visar att hypotesen som ställts är sann, vilket innebär att man inte behöver sprida RTK-mätningarna i tid för stationsetablering med RUFIS. För att få noggrannare stationsetablering, är det viktigt att ha en god kvalitet på RTK-mätningarna. Se vidare Horemuž (2011c) för en fullständig rapport.

Med underlag från teoretiska och praktiska studier avseende precision, repeterbarhet, tillförlitlighet, korrelation samt praktiska utvärderingsmätningar, har ett underlag till en metodbeskrivning för RUFIS-metoden tagits fram. Syftet med underlaget är att skapa förutsättningar för att ta fram en metodbeskrivning som kan användas vid upphandling av tjänster inom Trafikverkets regi. Underlaget omfattar alla steg från förberedelser, stationsetablering, beräkning samt dokumentering av en RUFIS-station, se vidare Andersson (2011).

Studien hur RUFIS kan användas vid detaljmätning utanför områden med PA-NRTK har lyfts ur projektet på grund av omprioriteringar.

Automatisk granskning

Delaktivitet har utgått från projektet, se utvärdering av projektmål där förslag på upplägg för vidare arbete framgår.

Utvärdering av projektmål

Följande avsnitt omfattar en sammanställning av de mål som uppnåtts i projektet samt listor med förslag till fortsatta aktiviteter. Aktivitetslistorna har använts som underlag för Trafikverkets verksamhetsplanering 2012.

Ett projektmål som helt lämnats till det fortsatta arbetet är utvärderingen av pilotprojektet BanaVäg i Väst. För att komma igång med detta bör ett projekt initieras som dels omfattar sammanställning av redan förekommande material men även intervjuer med olika typer av användargrupper.

Beräkningstjänsten

Projektmålen med vidareutvecklingen av beräkningstjänsten var att beskriva en metod som anpassats till Trafikverkets behov avseende etablering av parpunkter och mindre anslutningsnät enligt Trafikverkets gällande regler och krav. Därtill att studera de observationstyper som är aktuella för en beräkningstjänst som omfattar alla typer av stamnät som används inom Trafikverket regi. Målen nås genom att byta beräkningsmotor, utveckla ett gränssnitt för dataleveranser till beräkningstjänsten, beskriva och specificera ut- och indata, beräkningsmetodik utifrån krav i gällande regelverk samt undersöka de observationer som används inom Trafikverket för etablering av stamnät. Resultatet omfattar:

- ett dokument som beskriver gällande krav och regler som ska följas vid etablering av nya anslutningsnät i Trafikverkets regi, von Malmborg (2011)
- ett antal skriptbaserade rutiner upprättades av Lantmäteriet som automatiskt utför beräkningar i LGO enligt resultatet i von Malmborg (2011). Implementationsarbetet är beskrivet i Jämnäs (2011) där även eventuella avsteg från gällande regler och krav rapporteras
- exempel på hur en behovsanpassad resultatredovisning skulle kunna utformas i en webblösning
- en förstudie av de observationer som kan vara aktuella för en vidareutveckling av beräkningstjänsten mot en tjänst som hanterar alla typer av stamnät, se Andersson och Jämnäs (2011).

Eftersom resultatet är i en serie skriptbaserade rutiner har vissa frågor inte lyfts vidare inom projektet. Exempelvis lyftes inte frågan kring användargränssnitt för beräkningstjänsten. I nedanstående lista framgår rekommenderade punkter för vidare arbete med beräkningstjänsten.

1. Beräkningstjänsten bör färdigställas. Jämnäs (2011) har sammanställt de aktiviteter som kvarstår för att färdigställa tjänsten
2. En brist i den nya versionen av beräkningstjänsten är att det inte är möjligt att använda observationer från andra kända punkter än SWEPOS stationernas. Närsambandskravet som ställs vid etablering av nya anslutningspunkter i SIS-TS⁴ 21143:2009 kan därmed inte uppfyllas. Bristen har identifierats i Andersson och Jämnäs (2011) och föreslås vara ett spår för nästa steg i utvecklingen av beräkningstjänsten.

⁴ SIS-TS - Teknisk Specifikation upprättad av SIS (Swedish Standard Institute)

3. Förutsättningarna för att nå en beräkningstjänst som täcker alla stomnätstyper som etableras i Trafikverkets regi bör studeras vidare. Förslagsvis görs detta genom fördjupade studier kring automatiserade beräkningsprocesser, automatiseringens för- och nackdelar, integrationsproblematiken i LGO, hur kombinerade utjämnningar förhåller sig till gällande regelverk samt hur användargränsnittet ska se ut.

PA-NRTK

Målet med vidareutveckling av PA-NRTK-konceptet är att:

- upprätta metodbeskrivning för mottagningskontroll av PA-NRTK
- förenkla och nationellt standardisera arbetsprocessen genom att upprätta ett underlag som beskriver när PA-NRTK etableras
- besvara på frågan hur referensstationerna i ett PA-NRTK system ska placeras för att nå ett optimalt resultat ur precisionsperspektiv
- skapa rutiner för kontroller av positioneringsnoggrannhet i ett PA-NRTK
- upprätta manualer för mätning i systemen, skapa underlag för upphandling av tjänster
- upprätta strategier för distribution av korrektionsdata.

En av arbetspunkterna under PA-NRTK ändrade karaktär under arbetets gång och en utgick på grund av omprioriteringar. Metodbeskrivning för mottagningskontroll av PA-NRTK nät förändrades till fördel för en utredning med syfte att sammanställa de arbetsmoment som ska utföras vid etablering av PA-NRTK-system. Resultatet finns redovisat i Hederos (2011a). Frågan om metodbeskrivning för mottagningskontroll lyfts till vidare utvecklingsarbete. Metoder för kontroll av PA-NRTK-system utgick från Stomnät i luften på grund av omprioriteringar mot andra delaktiviteter. Metoder för kontroll är en viktig fråga som bör utredas vidare och den bör lyftas vidare som en punkt för vidare utveckling.

Med utgång från det material som framställts under aktiviteten PA-NRTK föreslås följande aktiviteter:

1. Implementera färdigt material i linjeverksamheten. Avseende:
 - Etablering av projektanpassat nätverks-RTK (PA-NRTK) enligt Trafikverkets koncept, Hederos (2011a)
 - Studie över hur befintliga och framtida NRTK är tillräckliga för mätningens arbeten och maskinstyrning i olika projektfaser, von Malmborg och Andersson (2011)
 - Trafikverksanpassade tillägg för Projektanpassad NätverksRTK-tjänst gällande Kortmanual för mätning med SWEPOS NätverksRTK-tjänst, Hederos (2011b)
 - Upphandling av mätningstekniska tjänster, Hederos, S. (2011c)
 - Optimering av referensstationskonfiguration, Emardson och Jarlemark (2011)

2. Gå vidare med utredning av kanaler för datadistribution utifrån de rekommendationer som framgår av listorna i strategidokumentet för datadistribution, von Malmberg (2011)
3. Upprätta metodbeskrivning för mottagningskontroll av PA-NRTK då den levererats (från leverantören)
4. Vidareutveckla de kontrollmetoder som används för PA-NRTK system

RUFRIS

Målsättningen med vidareutveckling av RUFRIS var att skapa ett tillräckligt stort teoretiskt och praktiskt underlag för att upprätta en metodbeskrivning som kan användas vid upphandling. Dessutom finns målet att praktiskt utvärdera metoden i NRTK-nät som inte förtätats med PA-NRTK. I tidigare arbete har metodens precision studerats och i detta studeras repeterbarhet, tillförlitlighet och inverkan från RTK-positionernas tidskorrelation vid etablering av RUFRIS. Delaktiviteten att utvärdera RUFRIS-metodens egenskaper för mätning i NRTK-nät som inte projekthanpassats uteblev på grund av omprioriteringar i projektet. Med undantag för detta är samtliga projektmål är uppfyllda. Metodens precision, repeterbarhet, tillförlitlighet och inverkan från korrelation är kontrollerad. Underlaget är använt för att skapa ett underlag för metodbeskrivning, se Andersson (2011). Underlaget från studien har även använts i dialoger med instrumenttillverkare för utveckling av instrument. Följande aktiviteter föreslås för vidareutveckling av metoden:

1. utvärdera RUFRIS för mätning i nät som inte projekthanpassats⁵
2. i samarbete med instrumenttillverkare utveckla ett prototypinstrument
3. utvärdera underlaget för metodbeskrivning i något eller några skarpa projekt
4. implementera metoden i linjeverksamheten och i gällande branschgemensamma upphandlingsdokument

Automatisk granskning

Delaktiviteten automatisk granskning avser en utredning om förutsättningar för att korta ledtider i projekten genom att automatisera av de granskningsprocesser som normalt förekommer i anläggningsprojekten. Aktiviteten är inte påbörjad inom ramen för projektet "Stomnät i Luften för anläggningsprojekt". Aktiviteten är dock fortfarande aktuell då möjlighet till effektivare produktion finns. Kommande utvecklingsarbete bör omfatta en förstudie med mål att identifiera de arbetsprocesser där granskning sker och ge förslag på hur dessa kan automatiseras.

⁵ Studien är påbörjad

Referenser

- Andersson, J. V., (2004), Projektanpassat RTK-nät för Marieholmsförbindelsen, WSP Samhällsbyggnad
- Andersson, J. V., (2011), Metodbeskrivning RUFRIIS, WSP Samhällsbyggnad
- Andersson, J. V., Jämtnäs, L., (2011), PM Integration av geodetiska observationer i beräkningstjänsten, WSP Samhällsbyggnad, Lantmäteriverket
- Emardson, R., Jarlemark, P.,(2011), Optimering av referensstationskonfiguration, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP)
- Hederos, S., (2011a), Etablering av projektanpassat nätverks-RTK (PA-NRTK) enligt Trafikverkets koncept, WSP Samhällsbyggnad
- Hederos, S., (2011b), Trafikverksanpassade tillägg för Projektanpassad NätverksRTK-tjänst gällande Kortmanual för mätning med SWEPOS NätverksRTK-tjänst, WSP Samhällsbyggnad
- Hederos, S., (2011c), Upphandling av mätningstekniska tjänster, WSP Samhällsbyggnad
- Horemuž, M., (2008), Realtidsuppdaterad fri station, Precisionsanalys, KTH
- Horemuž, M., (2009a), Detaljmätning utan klassiskt stomnät, Testmätningar plan A, databearbetning och analys, KTH
- Horemuž, M., (2009b), Detaljmätning utan klassiskt stomnät, Testmätningar plan B, databearbetning och analys, KTH
- Horemuž, M.,(2011a), Testmätningar BanaVäg i Väst-bearbetning, KTH
- Horemuž, M.,(2011b), Realtidsuppdaterad fri station Tillförlitlighetsanalys, KTH
- Horemuž, M., (2011c), Stomnät i luften för anläggningsprojekt, Projektanpassat Nätverks-RTK, Korrelationsanalys vid RUFRIIS, KTH
- Horemuž M. and Andersson J. V. (2011) Analysis of the precision in free station establishment by RTK GPS, Survey Review, 43, 323, pp.679-686.
- Jämtnäs, L., (2008), Marknadsinventering av programvaror för utveckling av projektanpassad beräkningstjänst, version (2008-04-01), Lantmäteriet
- Jämtnäs, L., (2011), Automatisk beräkning av GNSS-stomnät – en ny projektanpassad lösning baserad på Leica Geo Office, Lantmäteriet
- Malmberg, H. v., (2011) Krav avseende beräkning och redovisning utifrån SIS-TS och BVS, WSP Samhällsbyggnad
- Malmberg, H. v., Hederos, S., (2011), Strategi för datadistribution, WSP Samhällsbyggnad
- Malmberg, H. v., Andersson, J. V. (2011), Studie över hur befintliga och framtida NRTK är tillräckliga för mätningens arbeten och maskinstyrning i olika projektfaser, WSP Samhällsbyggnad