

RAPPORT

# Pilotprojekt för användning av satellitbaserade positioneringssystem vid anläggningsbyggnad

Bana Väg i Väst

Slutrapport



Dokumenttitel: Pilotprojekt för användande av satellitbaserade stornät vid anläggningsbyggnad

Skapat av: Johan Vium Andersson

Dokumentdatum: 2013-03-10

Dokumenttyp: Rapport

DokumentID:

ISBN: 978-91-7467-482-8

Publikationsnummer: 2013:090

Version: 1.02

Publiceringsdatum: 2013-10-28

Utgivare: Trafikverket

Kontaktperson: Joakim Fransson

Uppdragsansvarig: Joakim Fransson

# Innehåll

Inledning.....	4
Sammanfattning .....	4
Bakgrund.....	5
Trafikverkets behov av stomnät .....	5
Utveckling av Projektanpassat Nätverks-RTK (PA-NRTK) .....	6
Stomnät för Bana Väg i Väst.....	7
Erfarenheter.....	8
Intervjuer .....	8
Etablering.....	9
Erfarenheter .....	10
Projektering.....	11
Användningsområden .....	11
Erfarenheter .....	11
Byggnation .....	12
Användningsområden .....	12
Erfarenheter .....	12
PA-NRTK och gällande regelverk .....	14
Trafikverksperspektiv .....	15
Samhällsperspektiv .....	16
Ekonomi.....	16
Litteraturförteckning .....	18
Intervjuade.....	19

# Inledning

Denna rapport utgör slutredovisningen av ett pilotprojekt för användet av satellitbaserade positioneringssystem som etablerats för anläggningsbyggnad enligt konceptet projekthanpassat nätverks-RTK (PA-NRTK). Pilotprojektet har bedrivits i Trafikverkets regi med syfte att utvärdera teknikens möjligheter och brister. Syftet med rapporten är att redovisa det arbete som gjorts inom ramen för projektet och därtill sammanfatta användarnas erfarenheter från etablering och användningen av systemet. Rapporten baseras på publicerat material i form av olika rapporter, arbetsmaterial från löpande uppföljningsarbete samt en serie telefonintervjuer som gjorts med olika aktörer i projektet.

## Sammanfattning

Projektet Bana Väg i Väst (BViv) har sedan 2006 utgjort pilotprojekt för storskalig användning av satellitbaserade positioneringssystem inom ramen för PA-NRTK. Syftet med pilotprojektet har varit att anpassa och utvärdera tekniken för projektering och byggnation av infrastrukturanläggningar inom Trafikverkets ansvarsområde. Projektet omfattar såväl väg- som järnvägsanläggningar längs den ca 75 kilometer långa sträckan mellan Göteborg och Trollhättan. Projektet omfattar 35 entreprenader varav nio av dessa var BEST-entreprenader och övriga markentreprenader. PA-NRTK har visat på stor framgång i pilotprojektet och bland projektets aktörer betraktas lösningen som en defakto-standard och därigenom som en självklarhet i kommande Trafikverksprojekt. Huvuddelen av mätningssarbetet i projektet som har baserats på satellitpositioneringsteknik visar att framgångsfaktorn som gäller för anläggningsbyggnad är kombinationen av:

- BIM-tänkandet och dess anläggningsmodeller
- Maskinstyrningssystem
- Projekthanpassade stomnät anpassade för moderna arbetsmetoder

Erfarenhetsåterförning har gjorts genom en serie telefonintervjuer med aktörer med olika roller i projektet. Resultatet visar att:

- man skapat en *trygghet* i projektet genom att tidigt och på ett ekonomiskt fördelaktigt sätt, ge alla aktörer i projektet en gemensamt beslutad bas att stå på
- systemet har öppnat för *fri rörlighet* som främjat produktivitet och samverkan mellan projektets aktörer och *förenklat informationsutbyte*
- *produktiviteten* i alla projektfaser ökat genom kortare ledtider och maskinstyrning som minskat behovet av mätningssingenjörer
- god tillgänglighet i både tid och rum har ökat möjligheten från beställarsidan att ställa *högre krav* på mätning, vilket gett beställaren ökad kontroll på de anläggningar som byggs och de massor som hanteras i projektet samt förutsättningar att få en billigare produkt som överensstämmer med projekterade handlingar

- ökade krav på mätning har påskyndat framtagning av nya *produktionsmetoder* som är billigare och av kvalitetssäkrat resultat
- beställaren kan arbeta mer som en *renodlad beställare* då man kan minska mängden resurser avsedda för ajourhållning av stomnät och istället fokusera på kontroller och uppföljning
- lösningen är *nationellt skalbar* och är, där den etableras, alla användare till gagn

Kostnadsbesparingarna för tekniklösningen är svår att skatta men studier i (1) visar att besparingarna på beställarsidan uppgår till ca 32 miljoner jämfört med en traditionell stomnätslösning. Vid sidan av detta ska beaktas att man har skapat förutsättningar för en effektiv produktion, dels med avseende på tid och kostnader, men även vad det gäller mätningskvalitet. Dessa förutsättningar har inte beaktats vid uppskattningen av besparingarna på beställarsidan.

## Bakgrund

### Trafikverkets behov av stomnät

Inom Trafikverkets verksamhetsområden används dagligen information med geografisk koppling. Informationen förekommer i form av ritningar, kartor, modeller och databaser. Gemensamt för all geografisk information är att den är knuten till ett geodetiskt referenssystem som utgör ramverket för informationens lägesbeskrivning. Stomnät realiserar referenssystemen rent fysiskt och utgör länken mellan det planerade och befintliga därtill mellan det projekterade och byggda. Stomnäten möjliggör lägesbestämning av anläggningar i förhållande till omgivningen och anläggningsdelar i förhållande till varandra. Stomnäten används som referens vid kontroller och uppföljning av anläggningen under entreprenaden och efterföljande drift och utgör på så sätt även en länk mellan kontrakterat och utfört arbete. Referenssystems- och stomnätsfrågan är aktuell genom hela livscykeln för en anläggning och har, med ovanstående i åtanke, stor betydelse inte minst ur ett juridiskt perspektiv.

Inom Trafikverket är det vanligt att stomnäten upprättas och förvaltas i egen regi.

Tillvägagångssättet baseras på tidigare erfarenheter som visar att:

- utbytet av data förenklas inom och mellan projekt samt med övriga aktörer i samhället
- möjligheten erhålls att bestämma när och med vilken kvalitet stomnäten ska etableras
- oberoende kontroller och uppföljningsmätningar möjliggörs vilket gagnar kvalitet
- möjligheten öppnas att se till att stomnäten inte bara främjar det enskilda projektet utan även kan användas i hela anläggningens livscykel

De arbetsmetoder som används vid planering, projektering, byggnation och förvaltning befinner sig i ständig utveckling. Idag sker en övergång från tvådimensionellt ritningstänkande till modell och multidimensionellt BIM-tänkande<sup>1</sup>. För att möjliggöra rationell produktion med korta ledtider och samtidigt öppna för en kostnadseffektiv förvaltning krävs ett helhetstänkande och en tydlig bild av kopplingen mot referenssystemen. Stomnät och dess utformning i olika projektfaser styrs av de behov som finns och dess utformning är direkt avgörande för hur projekten kan hantera moderna arbetsmetoder.

## Utveckling av Projektanpassat Nätverks-RTK (PA-NRTK)

PA-NRTK utvecklades ursprungligen för projektet Marieholmsförbindelsen. Förutsättningarna för användning av ett traditionellt markerat stomnät var begränsat, dels av de geotekniska förutsättningar som råder längs Göta Älv, men även av projektets urbana placering, antalet aktörer och parallellt pågående projekt. Under början av 2000-talet hade produktionstekniken för anläggningsbyggnad börjat lämna de metoder som baserades på manuell utsättning med utgång på traditionellt markerade stomnät till modernare automatiserade arbetsmetoder som baseras på:

- anläggningsmodeller
- maskinstyrning
- mätning med satellitbaserade positioneringssystem (GNSS<sup>2</sup>)

Förändrade arbetsmetoder har medfört att de traditionella stomnäten, med markerade punkter, behöver kompletteras med stöd för GNSS-mätning för att tillmötesgå de nya arbetsmetoderna. Användningen av GNSS för mätning, vid tiden för förstudierna till BViV, var inte helt trivialt. Mätningarna och deras kvalitet påverkades av tillgänglig utrustning, mätningsavstånd och ett begränsat antal tillgängliga satelliter. Var entreprenör etablerade sina egna system för RTK-mätning<sup>3</sup>. I områden med flera parallella entreprenader uppstod ofta problem med frekvenskrockar vid distributionen av korrektioner från referensmottagarna på grund av ett begränsat frekvensutrymme för utsändning. Från beställarhåll upplevdes entreprenadernas egen etablerade system begränsa möjligheterna att utföra oberoende kontroller och röra sig fritt inom projekten.

PA-NRTK utvecklades som ett alternativ till entreprenörernas lösningar med fokus att:

- skapa ett stomnät som uppfyller Trafikverkets behov
- kringgå de lokala begränsningarna i projektet
- ge förutsättningar för nya produktionsmetoder

---

<sup>1</sup> Byggnads Informations Modell

<sup>2</sup> Global Navigation Satellite Systems, samlingsnamn för satellitbaserade positioneringssystem

<sup>3</sup> Real Time Kinematic, relativ realtidsmätning med GNSS med centimeternoggrannhet

- eliminera problemet med störningar i radiokommunikation
- hitta en nationellt skalbar lösning

I samband med utredningen av olika stomnätsalternativ för Marieforsförbindelsen ställdes flera lösningsalternativ mot varandra. Den lösningen som befanns vara försvarbar ur ett tekniskt, produktionsmässigt, ekonomiskt och driftsäkerhets perspektiv, var en förtätning av SWEPOS<sup>4</sup> tillsammans med ett förenklat traditionellt stomnät bestående av ett anslutningsnät i plan och ett genomgående bruksnät i höjd, se (1). Genom att använda SWEPOS som bas erhöles en lösning med nationell skalbarhet. Då lösningen var helt ny genomfördes ett omfattande riskanalyserbete för att identifiera och bemöta olika riskfaktorer, se (2).

Grundfilosofin med PA-NRTK är att användarna väljer mättningsmetod efter de toleranser som gäller i det aktuella arbetsmomentet. GNSS-mätning används i första hand, och det traditionella stomnätet och traditionella mättningsmetoder som ett komplement för kontroller och i arbetsmoment med höga toleranskrav. Som ett komplement till RTK-tjänsten finns även en webbaserad tjänst för efterberäkning av statistiskt mätt data. Tjänstens huvudsyfte är att möjliggöra enkel etablering av nya anslutningspunkter i plan, dvs. mer noggrant positionsbestämda punkter.

### **Stomnät för Bana Väg i Väst**

På grund av omprioriteringar sköts Marieforsförbindelsen på framtiden och fokus flyttades till det intilliggande projektet BViV som avsåg fyrfältsväg och dubbelspår de 75 kilometrarna mellan Göteborg och Trollhättan. Projektet BViV hade till mångt och mycket samma förutsättningar som Marieforsförbindelsen och utsågs därför till pilotprojekt för PA-NRTK.

Etableringen av PA-NRTK för BViV skedde som ett samverkansprojekt mellan dåvarande Vägverket och Banverket med stöd av systemleverantören SWEPOS. Etableringen utfördes i två etapper med totalt nio nya referensstationer, se Figur 1. Den södra etappen, Mariefors-Älvängen, etablerades under 2006 och systemet var driftfärdigt under vintern 2006-2007. Den norra etappen<sup>5</sup>, Älvängen-Trollhättan, etablerades under 2009 och var driftfärdigt 2010. Projektet BViV var, för båda etapperna, redan i gång och PA-NRTK började därmed användas under den senare delen av projekteringsfasen. Förtätningen av SWEPOS i projektet medför att noggrannheten<sup>6</sup> vid RTK-mätning nedbringas till 11 mm i plan och 13 mm i höjd, se(2). Då PA-NRTK är en del av SWEPOS sker all drift, kontroll och beräkning av korrektionsdata i en driftcentral belägen i Gävle. Från referensstationerna i projektet skickas mottagen satellitdata till driftcentralen, där den kontrolleras och sedan distribueras tillbaka och ut till användarna, (2).

<sup>4</sup> SWEPOS utgör ett nationellt nät av referensstationer för GNSS-mätning som upprättats av Lantmäteriet.

<sup>5</sup> PA-NRTK för norra etappen är enbart etablerad för vägprojekt.

<sup>6</sup> 1 sigma nivå (68%)



Figur 1, förtätningen av SWEPOS för PA-NRTK gjordes med 9 nya referensstationer i två etapper, Marieholm-Älvängen, och Älvängen-Trollhättan. De gula trianglarna visar befintliga SWEPOS stationer vid etableringstillfället. Idag finns det betydligt fler i området kring Göteborg.

## Erfarenheter

### Intervjuer

För att få en samlad bild och erfarenhetsåterföring av hur PA-NRTK använts har en serie telefonintervjuer genomförts. Intervjuserien som utfördes i slutet av 2012 är utformad som en kvantitativ intervjuserie med ett strategiskt urval. Frågorna i intervjuserien är semistrukturerade vilket innebär att fördefinierade frågor har ställts. Förklarande följdfrågor har använts vid behov. De intervjuade, totalt 25 personer, är användare inom Trafikverkets organisation och hos kontrakterade projektörer och entreprenörer. Även aktörer från instrumentleverantörer, systemleverantörer samt kommuner har intervjuats. En sammanställning av de personer som intervjuats finns i slutet av rapporten.

Resultatet från intervjuerna är sammanställt med utgångspunkt i aktörernas erfarenheter från etablering, projektering och byggnation. Frågorna fokuserar på:



- ekonomi
- produktivitet
- avtalsfrågor
- regelverk

För att systematisera intervjuerna var aktörerna indelade i grupper med avseende på deras projektroll. Frågorna som ställs är valda utifrån olika perspektiv som beror på aktörernas roll i projektet. Följande tre perspektiv har använts för att få en bedömning av PA-NRTK:

- projektetperspektiv, hur har PA-NRTK påverkat aktörerna i projektet i det egna arbetet, dess deletapper och dess entreprenader
- Trafikverksperspektiv, hur påverkar PA-NRTK Trafikverkets verksamhet med avseende på fokusfrågorna ovan.
- samhällsperspektiv, hur bidrar konceptet till samhällsutvecklingen.

Det senare perspektivet är valt då Trafikverket är en samhällsbyggande myndighet som aktivt deltar i utvecklingen av samhällsfunktioner. I Tabell 1 framgår ett schema som grupperar intervjuade aktörer i olika projektroller. De gröna fälten visar ur vilka perspektiv frågorna ställts till var projektroll. Svaren från intervjuerien, har sedan sammanställts, analyserats och omformats till löptext kring, från intervjuerna, gemensamma nyckelord.

	Projekt	Trafikverk	Samhälle
Projektledare BVIV			
Projektledare deletapp			
Mättningsansvarig BVIV			
Byggledare Mät deletapp			
Teknisk specialist TrV			
Mättningsansvarig entreprenör			
Maskinförare			
Mätansvarig projektör			
Systemleverantör			
Instrumentleverantör			
Kommun			

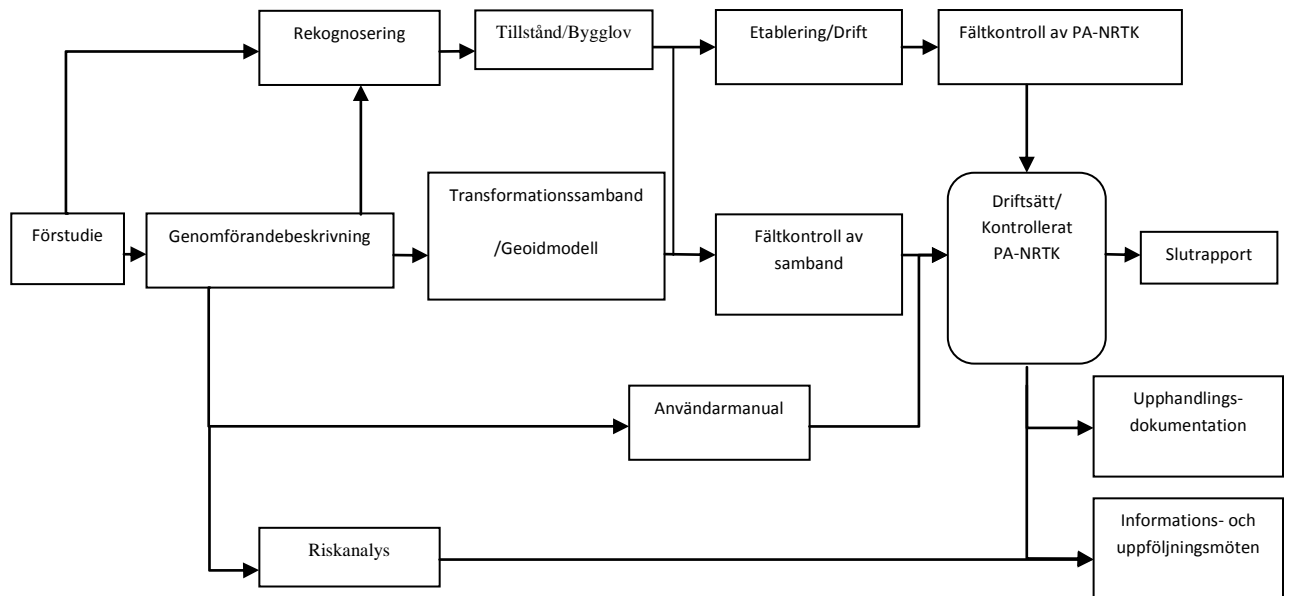
Tabell 1. Schemat visar hur frågorna riktas ur olika perspektiv mot olika projektroller. De gröna fälten indikerar att frågor inom detta perspektiv ställts till aktörer inom rollen.

## Etablering

PA-NRTK etablerades för att få en stomnätlösning som uppfyllde krav om varaktighet, tillgänglighet och tillförlitlighet. Vidare skulle positionerings-förfarandet vara gemensamt för alla aktörer och tillämpligt vid majoriteten av arbetsmomenten vid utsättning, inmätning och maskinguidning för markberedning och markanläggningar. I samband med etableringen utfördes ett omfattande riskanalys- och

riskminimeringsarbete, och vid driftsättning av systemet utvärderades och kontrollerades RTK-tjänsten, beräkningstjänsten samt radiotäckningen i området.

Arbetsprocessen för etablering av PA-NRTK beskrivs i (3) som bygger på Trafikverkets samlade erfarenheter från etablering inklusive BViV. I etableringsarbetet ingår planering och samordning, rekognosering och tillstånd, etablering, kontroller av upprättade transformationssamband, fältkontroller, upprättande av användarmanualer, upphandlingsdokumentation, informationsmaterial, driftsättning och sammanställning av allt arbete i en slutrapport.



Figur 2 Flödesschema etablering av PA-NRTK, ur Hederos (2011)

Risakanalysen utförs i ett tidigt skede under i etableringsprocessen och uppdateras löpande över tid allteftersom risker reduceras eller elimineras. Detta sker genom förebyggande arbete eller fångas upp genom utformning av innehållet i förfrågningsunderlagen. I (2) beskrivs riskhanteringen för BViV.

## Erfarenheter

I projektorganisationen för BViV har systemlösningen och det tidiga och övergripande etableringsarbetet ökat medvetenheten kring referenssystemsfrågor och mätningsteknik, vilket underlättat dialogen i projektet. För att maximera nyttan av ett PA-NRTK bör etableringen påbörjas i ett så tidigt projektskede som möjligt. Genom etableringen skapas ett geodetiskt samband och en kvalitetssäkring genom projektprocessen, då alla användare utgår fram samma referenssystem.

Etableringstiden påverkas av en rad faktorer som exempelvis projektområdets storlek och komplexitet. De inverkar direkt på antalet referensstationer och deras placering. Erfarenheter från etableringsförloppet vid BViV är att etablering av referensstation i befintlig byggnad är att föredra, då det enbart kräver tillstånd från fastighetsägaren och att närhet till el-, tele- och data-kommunikation är säkrad. Vid markbaserad etablering monteras utrustningen i en till referensstationen tillhörande teknikbod,

vilket kräver bygglov, och det kan krävas framdragning av kabel för el, tele och data. Vid upprättande av tidsplan och budget är det därför viktigt att ha utrymme för handläggning av bygglov och för kostnader för tillkommande ledningsarbete då det inte alltid finns byggnader i projektområdet som lämpar sig för etablering.

De värden som presenterats i etableringsrapporter och användarmanualer avseende noggrannhet vid RTK-mätning har i vissa fall misstolkats av användarna som felaktigheter vid en enstaka observation, och inte som medelfel. Detta tyder på att användarmanual och andra rapporter, där noggrannhetsbegrepp hanterats, måste förtydligas och användarna informeras om hur man tolkar informationen.

Dialogen med projektets och branschens aktörer är av största vikt vid etablering, dels för att förankra tekniklösningen men även ur ett implementeringsperspektiv då system- och instrumentleverantörer utgör viktiga informationskanaler till slutanvändarna. I dialogen fick aktörerna tillgång till etableringsrapporten och systembeskrivning gällande PA-NRTK, samt handlingar gällande etablerat passivt stornät.

För att maximera nyttan med en etablering har Trafikverket redan från början försökt att involvera berörda kommuner och erbjuda dem möjligheten att nyttja systemet för kommunala behov. Tyvärr har intresset av att delta i etableringen från kommunerna längs med Göta Älvdalen varit svalt. Vid kontakt med berörda kommuner har de däremot varit mycket positiva till den förbättrade mätningsnoggrannhet med RTK i området som förtätningen renderat.

## **Projektering**

### **Användningsområden**

Under projekteringsfasen användes PA-NRTK till projekteringsmätning, dvs. detaljinmätning för komplettering och kontroll av tillhandahållet underlag och för utsättning. Beräkningstjänsten har använts etablering av nya anslutningspunkter i plan.

På grund av toleranskrav har all inmätning av befintligt spårläge samt sättnings- och rörelsemätning utförts från det passiva stornätet.

### **Erfarenheter**

Merparten av projekteringsmätningarna är utförda med RTK-teknik med utgång från PA-NRTK. Den generella inställningen från de intervjuade är att tillhandahållandet av PA-NRTK vid projektstart har skapat en trygghet i projektet då stornät och referenssystem har kvalitetssäkrats och gjorts gemensamma för samtliga användare genom hela projektet.

Erfarenheterna från projekteringsfasen är mycket positiva. Även om PA-NRTK inte är nödvändig i denna fas, då i stort sett samma mätningsnoggrannhet erhålls vid användande av egen referensstation, är de projekterande konsulterna eniga om att

lösningen är smidig att använda. Ett etablerat PA-NRTK inklusive en passiv stomnätslösning kortar ned tiden vid igångsättning och ökar tillgängligheten och rörligheten.

Vidare upplevdes tillgängligheten till PA-NRTK god över hela projektområdet. I skog och annan terräng där det kan uppstå radioskugga eller satellitskugga, löstes situationen genom att använda traditionella mätningmetoder från de fysiskt markerade stomnäten alternativt tillfälliga punkter etablerade med beräkningstjänsten.

De fysiskt markerade stompunkterna har även använts för löpande kontroller vid RTK-mätning samt som utgångspunkter vid mätning med höga toleranskrav. De intervjuade från projekteringsfasen betonar vikten och nödvändigheten av att PA-NRTK kombineras med ett traditionellt stomnät med markerade punkter så att dagliga kontroller av systemet och utrustningen kan göras fortlöpande.

De intervjuade tycker generellt att tillhandahållet informationsmaterial om PA-NRTK samt användarmanual var tydligt och innehållsrikt. Användarmanualen kan förenklas, förslagsvis genom att upprätta en mer fältinriktad manual och komplettera med ett tillhörande dokument med mer fördjupad information.

## **Byggnation**

### **Användningsområden**

Projektet BViV var indelat i ca 35 entreprenader varav sex stycken var BEST-entreprenader och övriga markentreprenader. Byggnationsfasen utgör den projektfas där stomnäten används av flest aktörer samtidigt. På beställarsidan används systemet av mätningansvariga och byggledare mät, för detaljmätning, uppföljning och kontroller. Entreprenörer använde systemen för utsättning, inmätning och maskinstyrning. I projektet var flertalet maskiner utrustade med maskinstyrningssystem. Vid normal produktion var antalet utrustade maskiner ca 100 stycken och vid produktionstoppar var antalet det dubbla.

### **Erfarenheter**

Den allmänna erfarenheten från de intervjuade, oavsett nivå och roll i projektet, är att tillgången till PA-NRTK medför att alla har samma grundförutsättningar. Detta har haft till följd att en tydligare medvetenhet skapats kring referenssystemsfrågor och mätningsteknik än i tidigare projekt. Sannolikt beror det på det arbete och den dialog som genomförts vid etableringen av PA-NRTK. Användare från entreprenadsidan ser positivt på att nyttja ett gemensamt system och slippa etablera egen referens för RTK-mätning. Uppstartstiden blir kortare och problemet med frekvenskrockar, som tidigare förekom på byggarbetsplatserna, försvinner. På samma sätt är de gränseffekter som tidigare upplevdes mellan entreprenader borta. Intervjuerna visar på fördelarna med den fria rörligheten i långsträckta projekt där man skarvlöst kan arbeta över gränserna

mellan parallellt pågående entreprenader. Från byggledarhåll har detta lyfts fram som en förutsättning då de arbetar över hela projektet.

Gemensamma grundförutsättningar, ökad medvetenhet och borttagna gränseffekter har bidragit till att öka och underlätta dialogen i entreprenaderna vilket har haft en positiv inverkan på samverkan och produktivitet. Överlag har diskussioner mätningssingenjörer emellan vid entreprenadgränser varit kring utrustning och mätmetoder, till skillnad från tidigare skapade tvister kring referenssystem vid entreprenadgränser och radiofrekvenser.

Huvuddelen av mätningssarbetet gjordes med GNSS och RTK-teknik men vid mer toleransbetonade arbeten eller där det rent praktiskt inte är möjligt att använda GNSS-teknik användes de traditionellt markerade punkterna. Exempel på sådana situationer är mätning vid byggnation av byggnadsverk, vid statistisk acceptansk kontroll, i tunnlar samt vid arbetet inom BEST-entreprenaderna. De traditionellt markerade punkterna har, precis som vid projekteringen, utgjort en referens vid kontroll av olika typer av positioneringsutrustning och maskinstyrningssystem.

Införandet av satellitbaserad maskinstyrning ger en ökad produktivitet hos entreprenörerna. Det är tydligt tidsbesparande för maskinföraren att inte vara beroende av utsättning, det ger en större frihet i planeringen av det maskinella arbetet och möjlighet till egenkontroll. Det finns inget som talar för att produktiviteten påverkas åt något håll vid användandet av PA-NRTK jämfört med lokal referens, däremot upplever användarna att PA-NRTK är anpassat efter projektets behov och är att föredra ur ett produktionsperspektiv.

PA-NRTK är tillgängligt dygnet runt oberoende av väder- och siktförhållanden, geografiskt över hela projektområdet. Tillgängligheten öppnar inte bara upp för fri rörlighet utan även för industriell produktion med skiftarbeten. För BViV har skiftarbeten förekommit men inte på regelbunden basis, användarna har istället utnyttjat systemet till att förlänga arbetsdagarna i de fall tidsplanen så krävt.

En tydlig vinst med PA-NRTK är att projektledningen kan arbeta mer som en renodlad beställare och fokusera på kontroller och uppföljning istället för att lägga resurser på underhåll av stomnät. Med PA-NRTK har det blivit enklare och billigare att mäta vilket gjort att beställaren kan ställa högre krav på omfattningen av entreprenörernas kontroller samt själva utföra kontroller till en rimlig kostnad, något som leder till en bättre slutprodukt.

Flera av de intervjuade bedömer att ett traditionellt stomnät i plan, i form av anslutnings- och bruksnät, skulle varit ett alternativ, men att det lätt uppstår oklarheter om ansvar och referenssystem om varje aktör etablerar egna referensstationer för RTK-mätning. Det finns alltid en överhängande fara att beställaren tappar kontrollen över stomnätet, vilket försvårar arbetet och ökar kostnaderna i projektet. Entreprenörer har uttryckt sig positivt till att det nu finns ett gemensamt positioneringssystem med möjlighet att samgranska anläggningen med beställaren utifrån en situation där alla har samma förutsättningar.

Trafikverkets egen mätningsskompetens på byggledarsidan, har fungerat som bollplank gällande de mätningstekniska frågor som uppstått i konsultuppdragen och entreprenaderna. Aktörerna i projektet uppfattar denna organisation som en förutsättning för en effektiv hantering av mätningsspörsmål. Genom de frågor som ställs och de problem som uppstår framgår det dock att det råder en kunskapsbrist hos användarna, avseende mätning med RTK-teknik. Ofta begår användarna misstag på grund av att de inte är tillräckligt inlästa på tillhandahållna handlingar. En känsla hos beställarorganisationen är att konsulter och entreprenörer ibland tar för lätt på de geodetiska kunskapskrav en mätningssingenjör måste besitta.

## **PA-NRTK och gällande regelverk**

Syftet med pilotprojektet för användning av PA-NRTK var att testa och utvärdera en ny lösning avseende realisering av stornät för anläggningsprojekt. PA-NRTK har möjliggjort arbetsmetoder som inte överensstämmer med de regelverk som normalt används inom Trafikverket. För projektering och byggnation av väganläggningen hanterades detta vid upphandling i de tekniska beskrivningar som togs fram för projektet. För projektering och byggnation av järnvägsanläggningar är kraven på efterlevnad av gällande föreskrifter högre, vilket medförde att projektledningen fick ansöka om dispenser.

För att utnyttja de produktionsmetoder som PA-NRTK medför avseende nyetablering av anslutningspunkter samt RTK-mätning, gjordes ett antal dispensansökningar från BVS 1584.10 (tidigare BVH 584.10) som innehåller föreskrifter för geodetiska mätningssarbeten inom Trafikverkets järnvägsanläggningar. Dispenserna omfattar dels användningen av beräkningstjänsten, (4), och dels toleranskraven vid detaljmätning inom spåranläggning (5).

Dispensen avseende beräkningstjänsten beror på att denna är baserad på en beräkningsmetodik som regelverket inte är anpassat för. Dispensen grundar sig på ett digert underlag som baseras både på teoretiska och empiriska utvärderingar, se (6), (7) och (8).

Dispensen gällande toleranskrav för detaljmätning beror på en önskan att använda RTK-teknik vid detaljmätning av ett antal utpekade objektstyper inom spårområdet, för att effektivisera arbetet. Dispensen gällde i detta fall sänkta noggrannhetskrav för ovan nämnda objektstyper

Båda dispenserna godkändes och har föranlett stora kostnadsbesparingar i projektet, se vidare Ekonomi nedan. Dock tog ärendena lång tid vilket skapade oro i projektet.

För att underlätta i framtida projekt bör kraven klargöras, redan vid upphandling hur PA-NRTK får användas, och hur fortlöpande kontroller ska genomföras så att efterfrågad kvalitet uppnås. För närvarande pågår ett arbete med att skapa ett enat regelverk för Trafikverket.

## Trafikverksperspektiv

Genom pilotprojektet har en mängd erfarenheter vunnits och mervärden skapats för Trafikverket. Bland dem finns ökade kunskaper om hur man etablerar, använder och sköter driften av PA-NRTK-system i olika projektskeenden, men även hur man handlar upp olika användargrupper då systemet finns tillgängligt. Tekniklösningen är framtagen genom ett tätt samarbete mellan Trafikverket och Lantmäteriet vilket gjort att man skapat nya kontaktytor och en god inblick i varandras verksamheter.

Många av de erfarenheter som identifieras ur ett projektperspektiv överensstämmer med de som ses ur ett Trafikverksperspektiv. Gemensamt är att man ser positivitet på att frågor avseende stomnätsrealisering och mätningsteknik lyfts tidigt i projekten. Detta ger en gemensam och beslutad bas att utgå ifrån, vilket löser många av de diskussioner som kommer längre fram i projekten. Den ökade produktiviteten ger minskad projektkostnad och den förenklade arbetsmetodiken som PA-NRTK medför, ger ökat fokus på kontroll och uppföljning vilket i slutändan ger Trafikverket bättre produkter.

De ökade kraven har föranlett nya förbättrade produktionsmetoder. Ett bra exempel på detta är de borrhjor som används för att borra kalkcementpelare, maskiner som inledningsvis inte var försedda med maskinstyrningssystem. Kontrollkraven från beställaren gjorde att maskinerna försågs med maskinstyrningssystem vilket resulterade i, inte bara högre kvalitet, utan också i en bättre och effektivare produktionsmetod som kommer Trafikverket till gagn i framtida projekt .

I pilotprojektet pågick löpande uppföljning av erfarenheter från användningen av PA-NRTK. Regelbundet samlades aktörer från projektet, Trafikverket och SWEPOS för att lyfta problem och utbyta erfarenheter och potentiella utvecklingsområden kanaliserades ut i utredningar. Inledningsvis bedrevs arbetet inom ramen för verksamhetsnära utveckling men senare formaliserades det till FOI-projektet "Stomnät i Luften". Forskningsprojektet bedrevs i samarbete mellan Trafikverket, Lantmäteriet, WSP, Kungliga Tekniska Högskolan, Chalmers Tekniska Högskola och SP (Sveriges Tekniska Forskningsinstitut). Bland resultaten från FOI-projektet finns rutiner för när och hur man etablerar systemen, upphandlingsunderlag, underlag för förbättring av beräkningstjänsten samt stationsetablerings-metoden RUFRI<sup>7</sup> som kombinerar traditionell och modern mätningsteknik. Samtliga resultat från FOI-projektet är material som förenklar etablering och drift PA-NRTK i framtida projekt.

Pilotprojektet har väckt stor uppmärksamhet inom mätningsbranschen och är ett av de första projekten internationellt som har antagit tekniklösningen. Projektet har uppmärksammats i presentationer på konferenser, i examensarbeten, genom studiebesök och studieresor, i såväl populärvetenskapliga som vetenskapliga artiklar och olika projektspecifika publikationer. Tekniklösningen har dragit till sig besökare från Hebei-provinsen i Kina som kommit enbart för att studera användandet av nätverks-RTK i Sverige.

---

<sup>7</sup> RUFRI<sub>S</sub>, Realtidsuppdaterad fri-station

## Samhällsperspektiv

Som tidigare nämnts i bakgrundsbeskrivningen, har den nationella skalbarheten som erhålls genom att använda SWEPOS som bas i PA-NRTK, varit en grundläggande tanke hos Trafikverket vid utvecklingen av konceptet. Genom samverkan med Lantmäteriet har Trafikverket medverkat till att bygga en nationell geodetisk infrastruktur för satellitbaserad positioneringsteknik och bidragit till att skapa enhetliga nationella lösningar som förenklar utbyte av data. Historiskt sett har Vägverket och Banverket, nuvarande Trafikverket, medverkat i nationellt övergripande mätningstekniska projekt som exempelvis etablering av RIX 95 och etableringen av SWEPOS (initialt och förtätningsprojekt). Då förtätningarna av referensstationerna ligger i linje med Lantmäteriets strategi angående förfining av det befintliga SWEPOS-nätet kommer flera av referensstationerna att finnas kvar när projektet avslutas, vilket kommer hela samhället till nytta även i framtiden.

Hos angränsande kommuner längs projektområdet, används dagligen RTK-teknik för mätning och positionering. Intervjuade mätningssingenjörer har märkt en tydlig förbättring av prestandan vid RTK-mätning sedan systemet etablerades för BVIV. Initialiseringstiden för mottagarna har gått ner och man erhåller en högre mätningssnoggrannhet än tidigare. Kommunerna ställer sig positiva till en framtida dialog om driften av systemet även om det idag inte finns några pengar avsatta för detta.

Trafikverkets krav att PA-NRTK ska vara tillgängligt dygnet runt och året runt har förändrat SWEPOS organisation och medfört att även den ordinarie SWEPOS-tjänsten fått ökad tillgänglighet i tid, med andra ord en nationell förbättring.

## Ekonomi

Besparingen med PA-NRTK i förhållande till en traditionell stomnätslösning skattas till ca 39 miljoner kronor. Detta ska jämföras med den samlade kostnaden för etablering, drift och underhåll på ca sju miljoner kronor, vilket ger en slutgiltig besparing på ca 32 miljoner kronor. Denna siffra ska betraktas mot bakgrund att man enligt (9) "har skapat förutsättningar för en effektiv produktion, dels med avseende på tid och kostnader, men även vad det gäller mätningens kvalitet".

Att utvärdera den inverkan som PA-NRTK gjort på projektet ur ett ekonomiskt perspektiv är inte helt trivialt, men intervjuade aktörer är överens om att systemet har påverkat projektet positivt ur ett Trafikverksperspektiv. Aktörerna är också överens om att de stora vinsterna finns i byggskedet då man kombinerar PA-NRTK och maskinstyrning med anläggningsmodeller och BIM. Kombinationen förenklar planering, kortar ledtider i produktionen och minskar arbetsinsatsen för utsättning och kontroller. Tillgängligheten av PA-NRTK har föranlett låga å-priser då det varit lättare att identifiera kostnaden för mätningens insatsen i vart och ett av objekten.



Trafikverkets mätningorganisation i projektet har uppskattat inverkan från PA-NRTK utifrån perspektivet "merkostnader om man inte hade systemet", som sammanfattas enligt (9):

- PA-NRTK har varit helt avgörande för att i den, för projektet geotekniskt besvärliga miljön, kunna bedriva en kostnadseffektiv produktion, samt gett förutsättningar för att hålla tidsramar. Utan systemet uppskattas beställarsidans organisation behöva utökas med fyra personer, vilket motsvarar en kostnad på fyra miljoner kronor per år. Systemet leder sålunda till en besparing på 30 miljoner kronor
- Dispensen avseende etablering av anslutningspunkter med beräkningstjänsten ger en årlig besparing på ca en miljon kronor vilket ger en total besparing på ca fem miljoner
- Dispensen avseende toleranser för inmätning av objekt inom spårrområde uppskattas spara tre till fyra miljoner kronor

# Litteraturförteckning

1. **Andersson, Johan Vium.** *Projektanpassat RTK-nät för Marieholmsförbindelsen.* Göteborg : Trafikverket, 2004.
2. **Vägverket.** *E45 Norge/Vänerbanan, Delen Marieholm-Älvängen, Planering och etablering av Projektanpassat Nätverks RTK.* Göteborg : Vägverket, 2007.
3. **Hederos, Sara.** *Etablering av projektanpassat nätverks-RTK (PA-NRTK) enligt Trafikverkets koncept.* Göteborg : Trafikverket, 2011.
4. **Rydell, Ola.** *Projektet Bana Väg i Väst Dispensansökan BVS 1584.10.* Göteborg : Trafikverket, Bana Väg i Väst, 2010.
5. **Smedberg, Roger.** *Ansökan om avsteg gällande BVS 1584.10 avseende detaljmätning av spåranläggning, dispensansökan BViV .* Göteborg : Trafikverket, Bana Väg i Väst, 2010.
6. **Lotti Jivall, Bengt Andersson.** *Användning av den projektanpassade beräkningstjänsten för bestämning av parpunkter.* Gävle : Lantmäteriet, 2007.
7. **Andersson, Johan Vium.** *PM, Sammanfattning av beräkningsprestanda i PA-NRTK.* Göteborg : Trafikverket, Bana Väg i Väst, 2010.
8. —. *PM, Empirisk jämförelse av olika metoder för etablering av anslutningspunkter.* Göteborg : Trafikverket, Bana Väg i Väst, 2010.
9. **Smedberg, Roger.** *Bana Väg i Väst, Effektivisering i projektet. Teknikområde mät, internt brev BViV.* Göteborg : Trafikverket, Bana Väg i Väst, 2011.

## Intervjuade

Namn	Roll	Entreprenad, Deletapp	Organisation
Bo Björklund	projektansvarig BViV	Övergripande	Trafikverket
Sara Distner	projektansvarig BViV	Övergripande	Trafikverket
Mats Granath	Projektledare deletapp	Nol-Älvängen	Trafikverket
Lydia Lehtonen	Projektledare deletapp	Torpa-Stenröset	Trafikverket
Roger Smedberg	Mättningsansvarig BViV	Övergripande	Trafikverket/ Konsult Konsult ICR projektmetning HB
Linné Christer	Byggladare mät	E33, Nödinge-Nol	Trafikverket / Konsult CL mätning AB
Lillevars Valdemar	Byggladare mät	Torpa-Stenröset	Trafikverket / Konsult Vectura AB
Lennart Andersson	Byggladare mät	E24, Nol-Älvängen	Trafikverket / Konsult, Geocon AB
Lars Andersson	Byggladare mät	Torpa-Stenröset	Trafikverket / Konsult Vectura AB
Per Isaksson	Teknisk specialist Trafikverket	Övergripande	Trafikverket
Michael Skoglund	Teknisk specialist Trafikverket	Övergripande	Trafikverket
Jesper Klarqvist	Mättningsansvarig projektör	E24, Nol-Älvängen	WSP Samhällsbyggnad AB
Svante Johansson	Mättningsansvarig projektör	E33 Nödinge-Nol	COWI AB, Tellur AB
Markus Höök	Mättningsansvarig entreprenör	E24, Nol-Älvängen	SVEVIA

Anders Magnander	Mättningsansvarig entreprenör	E33, Nödinge-Nol	SKANSKA AB
---------------------	----------------------------------	------------------	------------

### Maskinförare

Namn	Maskin	Typ
Adrian Blackedal	Grävmaskin	Åkerman H10
Stefan Eriksson	Bandschaktare	CAT D6
Sven-Gunnar Åhman	Väghyvel	Mattsson
Andreas Gustavsson	Grävmaskin	Hitachi 250

### Instrumentleverantör

Namn	Roll	Företag
Romeo Capaldi	Försäljare	Toposition
Tomas Larsson	Teknik & supportansvarig	SiTech
Joakim Bjering	Försäljare	Scanlaser

### Systemleverantör

Namn	Roll	Organisation
Peter Wiklund	Övergripande	Lantmäteriet /SWEPOS

### Kommun

Namn	Organisation
Agne Mårtensson	Kungälv kommun
Alexander Winkler	Göteborgs kommun