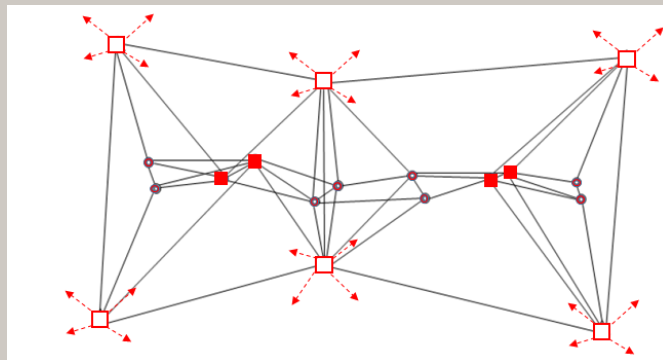


RAPPORT

Alternativ metod för anslutningsnät i plan

En studie av alternativa metoder för att koppla
Trafikverkets anslutningsnät i plan till överordnat
nationellt referenssystem



Trafikverket

Postadress: Röda Vägen 1, 781 89 Borlänge

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: Alternativ metod för anslutningsnät i plan

Författare: Horn Matti, UHjja

Dokumentdatum: 2022-03-18

Publikationsnummer: 2022:045

ISBN: 978-91-8045-030-0

Innehållsförteckning

Termer och begrepp.....	4
1 Introduktion	5
2.1 Syfte.....	6
2.2 Frågeställning.....	6
2.3 Avgränsning	6
2.4 Bakgrund.....	6
2.4.1 GNSS-observationer och –baslinjer	7
2.4.2 Nationell geodetisk infrastruktur	8
3. Metod	13
3.1 Traditionell metod	15
3.2 Beräkningstjänstmetoden	17
3.3 VRS-metoden	18
4. Resultat	21
5. Diskussion.....	28
5.1 Slutsatser	28
5.2 Risker	29
5.3 Framtid och utveckling.....	30
6. Referenser	31

Termer och begrepp

Term	Förklaring
Anslutningsnät	Stomnät som utgör regionala/lokala förtätningar av nationella referensnät, främst för vidare etablering av bruksnät.
Referenssystem	Samlingsnamn på system för lägesbestämning och positionsangivelser i en, två eller tre dimensioner, t ex höjdsystem samt 2- och 3-dimensionella koordinatsystem.
Realisering	Specifik uppsättning av punkter med koordinater/höjder i ett referensnät.
SWEREF 99	Den svenska realiseringen av det europeiska referenssystemet ETRS89, med epok 1999.
RH 2000	Rikets höjdsystem 2000. Det nya riksnätet i höjd och den svenska realiseringen av EVRS.
Geodetisk infrastruktur	Geodetiska referenssystem och de fysiska markeringar och/eller anläggningar (t ex fasta referensstationer) som används för att realisera dem
Närsamband	Relation mellan närliggande punkter i ett referensnät som bestäms via inbördes mätningar
SWEPOS	Det svenska nationella nätet av fasta referensstationer för GNSS-mätning. 21 av stationerna används för att definiera SWEREF 99.
Referensstation	Kontinuerligt observerande GNSS-utrustning som kan utgöra referens för relativ positionering, t ex RTK
RIX95	Rikstäckande stomnätsprojekt från 1995 och framåt. Syftade till att underlätta övergång från äldre lokala referenssystem till SWEREF 99 samt skapa fler lättillgängliga punkter för GNSS-mätning.
GNSS	Global Navigation Satellite Systems. Ett samlingsnamn för satellitbaserade navigations- och positioneringssystem.
Baslinje	Rymdvektor mellan två samtidigt observerande GNSS-utrustningar
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema. Ryskt satellitbaserat positioneringssystem.
Standardosäkerhet	Statistiskt spridningsmått som används som mått på osäkerhet och lägesosäkerhet.
VRS	Virtuell referensstation. Artificiell utgångspunkt som används vid mätning med nätverks-RTK
Lägesosäkerhet	Osäkerhet i positionsangivelse, kan även omfatta positioner beräknade ur mätdata.
Nätutjämning	Utjämning av stomnät, dvs lägesbestämning av stompunkter som ingår i nätet
Långsträckta objekt	Anläggningar som är smala och långa, t.ex. broar, tunnlar, järnvägar, rörledningar och liknande byggnadsverk inom samhällets infrastruktur.
Rinex	Receiver Independent Exchange Format; de facto-standard för mottagaroberoende överföring av GNSS-data.

1 Introduktion

Geodetisk infrastruktur är ett samlingsnamn som används för att beskriva geodetiska referenssystem, de fysiska markeringarna eller anläggningarna som realiserar referenssystemen samt tekniker och metoder kopplade till dess realisering.

Anslutningsnäten har en nyckelroll inom Trafikverkets geodetiska infrastruktur, då de skapar kopplingen mellan våra stomnät och de nationella realiseringarna.

Lantmäteriet ansvarar för den nationella geodetiska infrastrukturen, där bland annat realiseringen av SWEREF 99 och RH 2000 ingår och som nyttjas vid etablering av Trafikverkets geodetiska infrastruktur.

Kraven som ställs och vilka metoder som används för att bygga upp den geodetiska infrastrukturen påverkar dess egenskaper. Lägesosäkerheten i den geodetiska infrastrukturen påverkar tillsammans med den mätosäkerhet som är kopplade till insamlingen av den geografiska informationen den slutliga kvalitén i informationen.

Anslutningsnäten i plan för Trafikverkets järnvägsanläggning har en stark koppling till Lantmäteriets RIX 95-nät, då i stort sätt alla nät som etablerats nyttjat punkter ur RIX 95 nätet för att få en koppling mot överordnat nationellt referenssystem.

Lantmäteriet underhåller idag inte RIX 95-nätet, vilket medför att dess status ska ses som okänd (Alfredsson et al., 2019). Beroende av RIX 95-punkterna för etablering av anslutningsnät i plan är därför problematiskt för Trafikverket, och kommer i framtiden vara helt ohållbart. Med detta som utgångspunkt så finns ett stort behov av att undersöka alternativa metoder som kan användas för att etablera anslutningsnät i plan.

Det är viktigt att känna till att det inom alla realiserade referenssystem finns en osäkerhet och att det vid optimering för olika behov finns motsättningar som måste vägas mot varandra. När ett referenssystem exempelvis är optimerat för att hantera geografisk information enhetligt över hela Sveriges yta kommer uppgiften att säkerställa avståndet mellan spår och plattformkant aldrig kunna utföras med lika låg osäkerhet som i ett lokalt anpassat referenssystem.

Trafikverket ansvarar för mer än 1000 mil järnväg och kopplat till denna enorma sammanlänkade anläggning finns en ofattlig mängd geografisk information.

För att denna geografiska information ska kunna vara enhetlig över hela landet och samtidigt kunna uppfylla de krav som ställs på exempelvis lägesosäkerhet för en spårväxel krävs en geodetisk infrastruktur anpassad för dessa behov.

Tillgång till den geodetiska infrastrukturen är också en förutsättning för anläggningens alla skeden, från planering och genom hela förvaltningstiden.

Ansvar för att upprätthålla den geodetiska infrastrukturen för Trafikverkets järnvägsanläggningar ligger på avdelningen järnvägssystem och den består av ett stort antal fysiska markeringar i vår anläggning som ofta benämns stompunkter samt metoder och tekniker kopplat till de behov som finns inom Trafikverket.

Den geodetiska infrastrukturen för järnvägsanläggningen kan förenklat delas upp på följande sätt, höjdnäten och plannäten särskiljs, inom de respektive näten särskiljs även anslutningsnäten från bruksnäten.

Där bruksnäten består av de stompunkter som behövs för att samla in geografisk information om vår anläggning och där närsambandet mellan de ingående stompunkterna är av stor vikt.

Anslutningsnäten utgör länken till den nationella geodetiska infrastrukturen och säkerställer att Trafikverkets stornät blir enhetliga över hela landet.

Egenskaperna i den geodetiska infrastrukturen beror som nämnts ovan till viss del på metoderna som är kopplade till den. En förändring av dessa metoder riskerar att medföra effekter som gör att den befintliga geodetiska infrastrukturen inte stämmer överens med nya anslutningsnät som tillämpar förändrade metoder och då kan det uppstå ”skarvar” i den geodetiska infrastrukturen. Om dessa effekter är för stora kommer dessa skarvar även att påverka den fysiska anläggningen eller kräva specifik hantering för att inte påverka den.

I denna studie vill vi titta närmare på hur länken till den nationella geodetiska infrastrukturen är uppbyggd för järnvägsanläggningars anslutningsnät i plan och vilka effekter ett förändrat tillvägagångssätt kan ge.

2.1 Syfte

Syftet med studien är framförallt att inbringa större kunskap kring hur olika metoder för att upprätta anslutningsnät i plan påverkar Trafikverkets realisering av SWEREF 99.

Tanken är också att denna studie ska utgöra ett underlag inför eventuella framtida beslut om förändringar av Trafikverkets regelverk inom området geodetisk infrastruktur.

2.2 Frågeställning

Vilka följder och effekter kan förväntas vid förändring av metodiken för etablering av anslutningsnät i plan, från traditionella metoder med anslutning mot RIX 95, till alternativa metoder med anslutning mot SWEPOS.

2.3 Avgränsning

I studien analyseras de alternativa metoderna för anslutningsnät i plan endast med avseende till resultat från SWEPOS tjänster. Att studera vilken inverkan resultat från andra leverantörers tjänster eventuellt kan ha på metoderna ingår inte i denna studie.

För att analysera de alternativa metoderna jämförs koordinater beräknade med de alternativa metoderna mot koordinater beräknade med den traditionella metoden.

Ingående data i studien kommer uteslutande från mätning av anslutningsnät för Trafikverkets järnvägsanläggning. Metoderna som studeras är emellertid generella och bör vara tillämpliga i ett betydligt bredare sammanhang.

2.4 Bakgrund

Som tidigare nämnts så undersöker vi i denna studie olika metoder för mätning av anslutningsnät i plan.

Gemensamt för samtliga metoder som ingår i denna studie är att mätning sker med GNSS-teknik. Av denna anledning följer i nästkommande avsnitt en kort beskrivning

av några för denna studie grundläggande delar inom området GNSS-observationer och -baslinjer.

De olika metoderna som studeras nyttjar också olika delar av den nationella geodetiska infrastrukturen. För att tydliggöra skillnaderna i de ingående metoderna ges i kommande avsnitt även en kortare beskrivning av relevanta delar och tjänster i den nationella geodetiska infrastrukturen.

2.4.1 GNSS-observationer och –baslinjer

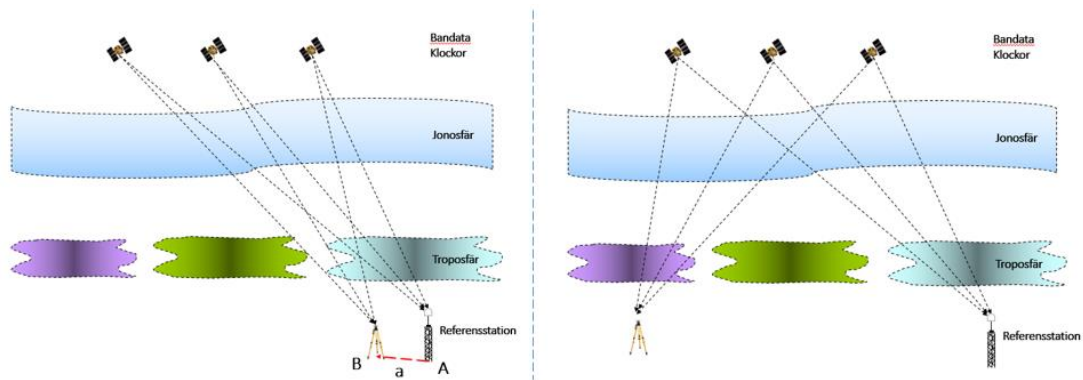
Satelliterna sänder ut signaler på olika frekvenser bland annat på frekvenserna som kallas L1 och L2. En grundförutsättning för att få låg osäkerhet vid positionsbestämning med GNSS är

att satellitsignalerna påverkas så lite som möjligt på deras väg från satelliterna till GNSS-mottagaren. Det är emellertid viktigt att notera att det på vägen mot antennen sker en påverkan från de för stunden aktuella förhållandena i jonosfären och troposfären. Denna påverkan varierar över tiden.

Om vi bestämmer positionen för en plats A ur mycket långa tidsserier av mätningar (flera dygn) kan vi bestämma positionen med låg osäkerhet. Om vi gör nya beräkningar av positionen för platsen A vid olika tidpunkter (ur kortare tidsserier, från några sekunder till någon timme) kommer det att finnas vissa skillnader i de nyberäknade koordinatvärdena. Eftersom vi ”vet” vilka koordinater platsen A har i den långa tidsserien, kan vi jämföra de vid en viss tid beräknade koordinatvärdena med de kända koordinaterna. Skillnaderna i koordinatvärden är den ”felpåverkan” som gäller vid den aktuella tiden. Med andra ord har vi ett sätt att beräkna hur stor påverkan olika faktorer har på våra GNSS-mätningar i den aktuella platsen över tid.

Det här kan vi använda oss av när vi önskar lägesbestämma nya platser med låg osäkerhet. Detta gör vi genom att relatera mätningar på den nya platsen till samtidiga mätningar på platsen A. En viktig förutsättning är att satellitsignalerna som når antennen vid den nya platsen B färdas genom ungefär samma jonosfär och troposfär som de som når antennen vid platsen A (se figur x, vänstra bilden). Platsen B bör alltså inte vara alltför långt bort från platsen A. Om vi befinner oss längre bort från referensstationen A färdas emellertid de satellitsignaler som når vår antenn genom en annan jonosfär och troposfär än de som når referensstationens antenn (se figur 1, högra bilden). Följaktligen kommer satellitsignalerna att påverkas olika. Det innebär att vi har en avståndsberoende påverkan på vårt resultat som beror på avståndet från vår referensmottagare.

Genom att kombinera samtidiga mätningar från en referensstation med mätningar från en annan plats i en beräkning kan vi bestämma baslinjen mellan platsen A och platsen B med låg osäkerhet, dvs. baslinje a i figur 1. Vi kan sedan kombinera de kända koordinaterna för platsen A (koordinaterna N och E) med information om baslinjen a (ΔN , ΔE) för att få fram koordinaterna för platsen B.



Figur 1. Jonosfärens och troposfärens inverkan på satellitsignalerna och hur den varierar beroende på avståndet till referensstationerna.

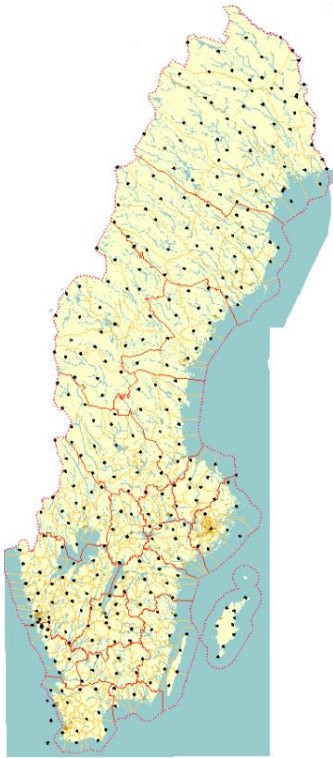
Sammanfattningsvis kan sägas att för att få så låg osäkerhet som möjligt vid positionsbestämning med GNSS mäter vi relativt en väl bestämd referensstation och utför en beräkning av baslinjen mellan den kända referensstationen och platsen vi önskar bestämma koordinaterna för.

2.4.2 Nationell geodetisk infrastruktur

Lantmäteriet förvaltar och utvecklar den nationella geodetiska infrastrukturen. Utöver att säkerställa en nationell enlighet ingår även att säkerställa samband och enlighet med den europeiska och internationella geodetiska infrastrukturen.

I den nationella geodetiska infrastrukturen ingår förutom referenssystemen SWEREF 99 och RH 2000 också nationella modeller för geoidhöjder och landhöjning, tyngdkraftssystemet RG 2000 samt förvaltningen av SWEPOS.

Stompunkterna i RIX 95-nätet ingår inte längre i Lantmäteriets förvaltning. Endast ett mindre urval på omkring 300 stycken (se figur 2) av de ursprungliga RIX 95-punkterna utgör idag försäkringspunkter för SWEREF 99 och ingår därför i förvaltningen av den nationella geodetiska infrastrukturen (Lantmäteriet 2020).



Figur 2. Översiktssbild som visar de cirka 300 ursprungliga RIX 95 punkterna som utgör försäkringspunkter för SWEREF 99. (Bildkälla: Lantmäteriet)

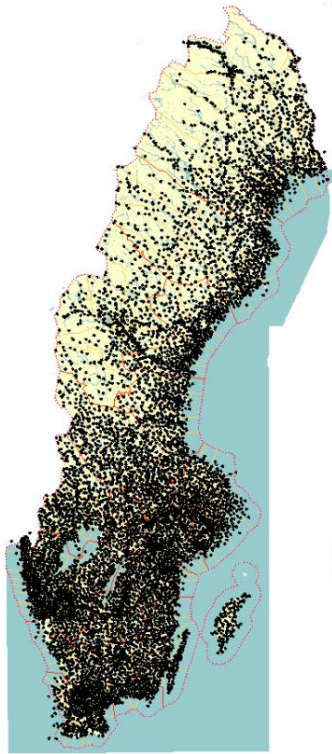
2.4.2.1 RIX95

RIX 95-projektet startades 1995 med syftet att förtäta det vid tiden befintliga geodetiska riksnätet i plan. GNSS-tekniken var då i sin linda och möjliggjorde en helt annan nätutformning än vad tidigare tekniker tillåtit.

Det befintliga riksnätet vid denna tid tillkom genom rikstrianguleringen som pågick mellan åren 1967 och 1982 och nyttjade längdmätningsteknik, vilket medförde ett behov av optisk sikt mellan punkterna. Kravet på optisk sikt styrde till stor del placeringen av punkterna till bergstoppar, vilket medförde att punkterna var svåråtkomliga och det krävdes relativt stora arbetsinsatser för att nyttja dem.

I och med användandet av GNSS-teknik fanns inte längre behovet av optisk sikt mellan punkterna. Placeringen av punkterna kunde därför istället till viss del väljas utifrån de behov som fanns i kommuner, myndigheter och infrastrukturprojekt.

RIX 95-projektet pågick fram till 2006 och resulterade bland annat i ett rikstäckande nät bestående av 9026 fysiskt markerade punkter med kända koordinater i SWEREF 99 (Andersson et al., 2015), se figur 3. Under 2020 var enligt Lantmäteriet standardosäkerheten i plan för kvarvarande och oskadade RIX 95-punkter cirka 10 millimeter (Lantmäteriet 2020).



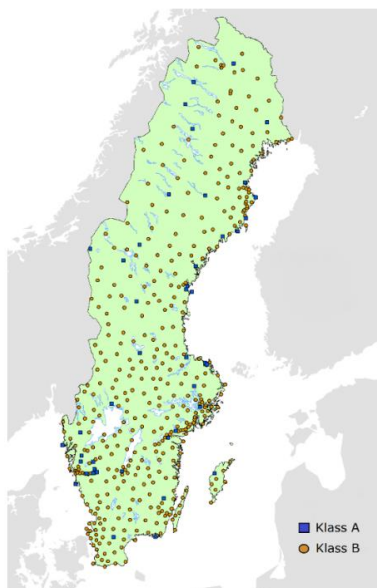
Figur 3. Översiktsbild som visar samtliga punkter i det ursprungliga RIX 95-nätet för SWEREF 99. (Bildkälla: Lantmäteriet)

2.4.2.2 SWEPOS

SWEPOS är ett nationellt aktivt referensnät av fasta referensstationer för GNSS-mätning. Nätets densitet varierar över landet (se figur 4). Denna nationella variation uttrycks ofta som SWEPOS förtättningsgrad i olika områden och brukar delas i följande tre grupper:

- 70 km-nät: Förtätning av det ursprungliga SWEPOS-nätet av klass A-stationer. Typavståndet mellan referensstationer i denna del av SWEPOS är 70 kilometer.
- 35 km-nät: Under 2010 påbörjades ytterligare förtättningsarbeten med en stor del av 70 km-nätet för att möjliggöra tillämpningar med krav på lägre mätosäkerhet. Typavståndet mellan referensstationer i denna del av SWEPOS är 35 kilometer.
- 10 km-nät: Geografiskt begränsade områden främst kopplade till förtättningsarbeten som skett i samband med stora anläggningsprojekt. Typavståndet mellan referensstationer i denna del av SWEPOS är 10 kilometer.

SWEPOS-nätet är uppbyggt med en hierarki av referensstationer, bestående av klass A-stationer och klass B-stationer. En avgörande skillnad mellan dessa stationer är deras stabilitet över tid. Antennfundament för klass A-stationer består av pelare eller fackverksmast på fast berggrund, medan de för klass B-stationerna till stor del är monterade på befintliga byggnader (Alfredsson et al., 2019).



Figur 4. Översiktsbild av de fasta referensstationer i SWEPOS-nätet under september 2019 (bildkälla: Lantmäteriet).

Inom klass A-stationerna finns också 21 stycken så kallade fundamentalstationer (se figur 5) som definierar och realiserar det nationella referenssystemet SWEREF 99.

Eftersom SWEREF 99 definieras av fundamentalstationerna betraktas dessa som felfria, medan alla övriga fasta referensstationer i SWEPOS har en lägesosäkerhet i SWEREF 99 kopplat till sig.

Fundamentalstationerna används därtill för att övervaka de övriga SWEPOS-stationernas stabilitet.



Figur 5. Översiktsbild av fundamentalstationerna i SWEPOS-nätet (bildkälla: Lantmäteriet).

Kopplat till SWEPOS finns ett antal olika tjänster som möjliggör relativa GNSS mätningar direkt i SWEREF 99. Två av dessa tjänster, SWEPOS beräkningstjänst och generering av virtuella referensstationer används i denna studie och beskrivs mer i detalj i efterföljande avsnitt.

2.4.2.3 Beräkningstjänsten

Beräkningstjänsten är en e-tjänst som Lantmäteriet tillhandahåller via SWEPOS, vilken möjliggör efterberäkning av statiska GNSS-mätningar. Användaren laddar upp sina mätningar i rinex-format. Beräkningstjänsten utför sedan en s.k. multistationsberäkning av uppladdad observationsdata med utgång från referensdata från omgivande referensstationer.

Vid observationstider på minst 2 timmar och godkända parametrar (enligt specifikation från SWEPOS beräkningstjänst) förväntas en standardosäkerhet (68% konfidensnivå) på c:a 10 mm i plan och 15-20 mm i höjd om man använder Dorne Margolin T-antenn. Standardosäkerheten är högre (sämre) för andra antenner.

Beräkningstjänsten är i första hand avsedd för mättider på två timmar eller mer. För kortare observationstider än två timmar är resultatet på decimeternivå snarare än centimeternivå. Kortare observationstider än 30 minuter hanteras inte alls i beräkningstjänsten.

När man använder SWEPOS beräkningstjänst beräknas en punkt i taget och det krävs observationer på både L1 och L2, frekvenserna kombineras sedan i beräkningstjänsten. Om man som användare önskar beräkna flera punkter får man göra det punkt för punkt. Att utjämna samtliga punkter i en gemensam nätutjämning är inte möjligt. Detta innebär att relationer mellan nypunkter inte säkerställs genom direkta mätningar (dvs. genom beräkning av baslinjer mellan nypunkterna).

Varje punkt beräknas i en multistationsutjämning med hjälp av referensdata från SWEPOS fundamental- och klass A-stationer. Det innebär att flera av referensstationerna som ingår i beräkningen ligger på ett stort avstånd från punkten som bestäms.

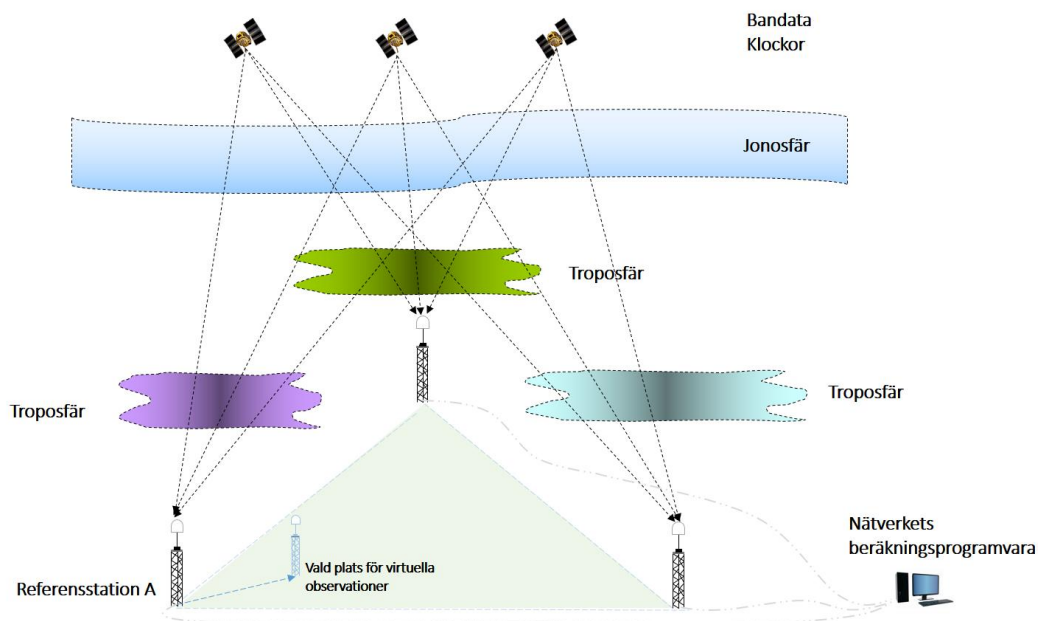
2.4.2.4 Virtuella referensstationer

Virtuell Rinex-data genereras av en programvara för ett nätverk av fasta GNSS-referensstationer. Det beräknas för en användarbestämd plats och tidsperiod. Med hjälp av den information som finns i mätningarna från de fasta GNSS-referensstationerna utför programvaran följande:

- beräknar inverkan från atmosfären på satellitsignalerna och beräknar osäkerheten i banddata. Detta görs genom att beräkna periodobekanta för de kända baslinjerna inom nätverket.
- genererar nätverksbaserade korrektioner för en given position i nätverket.
- tillämpar korrektionerna för den angivna platsen.
- förflyttar ("skiftar") observationerna från den närmast belägna fasta referensstationen till den givna platsen.

Baserat på kännedom om flertalet parametrar som påverkar lägesosäkerheten kan programvaran därmed beräkna virtuella observationer för valfri plats inom den yta som täcks av nätverket.

För att beställa virtuell rinex-data anger användaren en position inom den yta som täcks av nätverket. Programvaran beräknar sedan virtuella data för den positionen.



Figur 6. Princip för virtuella observationer. Nätverkets programvara förflyttar observationerna från den närmast belägna referensstationen, med hjälp av aktuell information om felkällor från nätverket, till den valda platsen.

3. Metod

Studien bygger på data som samlats in mellan åren 2016 och 2020 i Trafikverkets projekt som bedriver underhåll av stommäten längs järnvägen.

I studien ingår data från nio olika anslutningsnät i plan, se tabell 1 nedan för mer information kring nätens storlek och ålder.

Tabell 1: Information om anslutningsnäten som ingår i denna studie.

Område	Bandel	Mätt (År)	Längd (km)
Boden - Gällivare	118	2016-2017	78
Härnösand - Långsele	232	2019	45
Gävle - Ockelbo	243	2018	35
Avesta - Borlänge	333	2019	48
Laxå - Kil	382-383	2018	117
Göteborg - Älvängen	634	2020	27
Halmstad - Hyltebruk	733-735	2018	65
Lammhult - Nässjö	813	2016	85
Helsingborg -Teckomatorp	904-926	2018	35

Under 2020 anlätade Trafikverket Scior Geomanagement för att beräkna och analysera data från ovan nämnda anslutningsnät.

Uppdraget var ursprungligen att beräkna anslutningsnäten enligt gällande krav och metodik med anslutning till omgärdande RIX 95-punkter; detta förfarande kallar vi i studien traditionell metod för beräkning av anslutningsnät i plan. Ytterligare beskrivning kring tillvägagångssättet ges i avsnitt 2.1.

Anslutningsnäten skulle därefter beräknas med en alternativ metodik och resultatet från de olika beräkningarna skulle jämföras och analyseras.

Den alternativa metoden för uppdraget utgjordes inledningsvis av en metod som studerats av Metria på uppdrag av Trafikverket under 2014. I det uppdraget utvärderade Metria en alternativ metod för anslutningsnät i plan genom att jämföra ”traditionellt beräknade anslutningsnät” med beräkningar där anslutningsnäten beräknades med kända koordinater från beräkningstjänsten. Jämförelsen genomfördes på fem olika sträckor i landet. Resultaten var på många sätt väldigt lovande men påvisade samtidigt behovet av vidare utredning innan ett beslut kan tas om eventuellt införande (Freij, 2014). Denna metod benämns i denna studie som beräkningstjänstmetoden och en beskrivning av metoden återfinns under avsnitt 2.2.

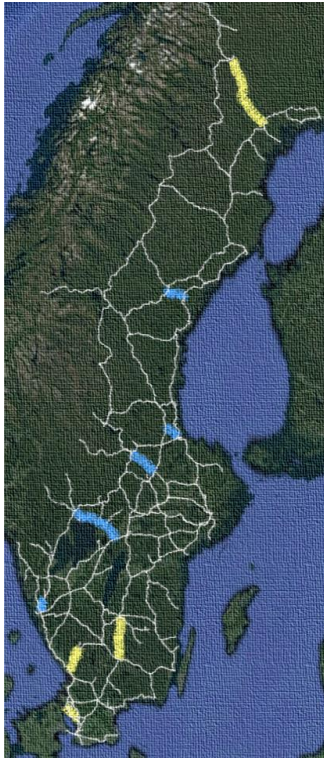
Under uppdragets gång utvecklades ytterligare en alternativ metod för beräkning av anslutningsnät i plan. Metoden involverar virtuella referensstationer för anslutning mot SWEREF 99 och gavs namnet VRS-metoden. Efter ett initialt test av denna metod beslutades det att även analys av denna metod skulle ingå i uppdraget. VRS-metoden beskrivs vidare under avsnitt 2.3.

Fem av de ovan nämnda anslutningsnäten har beräknats och analyserats med både VRS-metoden och beräkningstjänstmetoden, men när det kommer till anslutningsnäten på bandelarna 118, 733-735, 813 och 904-926 har endast beräkningstjänstmetoden studerats.

Anledningen till att beräkning och analys av VRS-metoden endast utförts på en delmängd är som tidigare nämnts en följd av att metoden inte ingick i det ursprungliga uppdraget utan tillkom i ett senare skede. Av denna anledning fanns tyvärr inte möjligheten att ta med samtliga anslutningsnät.

De alternativa metoderna utvärderas genom att jämföra koordinater beräknade med de alternativa metoderna mot koordinater beräknade med traditionell metod för att på så vis studera effekterna på anslutningspunkternas position.

Figur 7 visar den geografiska utbredningen för de ingående anslutningsnäten. Gula ytor representerar näten som endast beräknats och analyserats med beräkningstjänstmetoden, medan de blå ytorna representerar näten som analyserats med båda metoderna. I bilden ser vi även att det ursprungliga urvalet har en relativt god geografisk fördelning över hela landet, men också att urvalet för VRS-metoden har en betydligt mer centrerad geografisk fördelning.



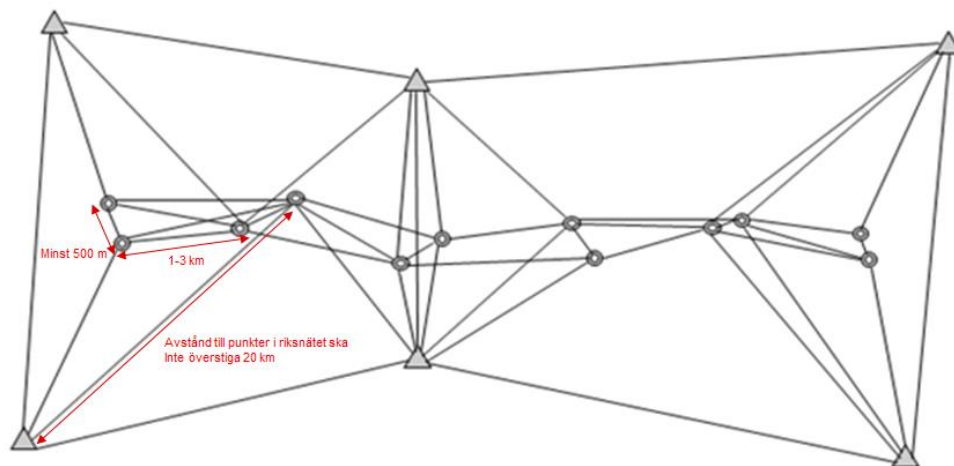
Figur 7: Översiktssbild som visar de i studien ingående anslutningsnäten och deras geografiska utbredning. Guldfärgade ytor representerar nät som endast har analyserat effekterna av beräkningstjänstmetoden, medan de blåfärgade ytorna representerar nät där båda metoderna har studerats.

3.1 Traditionell metod

Historiskt har anslutningsnäten in plan för järnvägsanläggningen utformas enligt nättypen par- eller trippelpunktsnät som beskrivs närmare i SIS-TS 21143:2016.

Utformningen är speciellt framtagen för etablering av geodetisk infrastruktur längs med långsträckta objekt. Näten byggs upp genom markering av punktpar med jämna intervall längs med anläggningen (se figur 8). Vid tunnelpåslag utökas punktparet ytterligare en punkt, därav benämningen par- eller trippelpunktsnät.

Dessa par- och trippelpunkter utgör anläggningens nya anslutningsnät och är placerade nära in på anläggningen, detta för att det ska finns optisk sikt mot kommande punkter i bruksnät för anläggningen.



Förklaring

- △ Punkt i riksnätet
- Ny punkt i anslutningsnätet

Figur 8: Skiss av parpunkttnät enligt SIS-TS 21143:2016. I bilden framgår även vissa av de strikta krav som finns på configurationen av nätet.

Som tidigare nämnts påverkar kraven som ställs på configuration, mätning och beräkning nätets egenskaper. Trafikverket har behov av att anslutningsnätets egenskaper är enhetliga längs hela järnvägsanläggningen, därför ställs ett antal specifika krav på utformning, mätning och beräkning.

När det kommer till krav på utformningen gäller att par- eller trippelpunkttnäten ska utformas av fysiskt markerade punktpar, där avståndet sinsemellan är minst 500 meter. Dessa punktpar ska placeras så att de omgärdar järnvägsanläggningen och med ett intervall på 1 till 3 kilometer längs järnvägsanläggningen. Avståndet från RIX 95-punkter till punkter som ingår i det nya anslutningsnätet för anläggningen ska inte överstiga 20 kilometer.

Mätning av näten sker genom statisk mätning med GNSS-teknik, där punkter med kända koordinater (RIX 95-punkterna samt punkter i angränsande stomnät för järnvägen) mäts parallellt med punkter i det nya anslutningsnätet enligt en vald sessionsplanering (för mer information kring sessionsplanering se HMK stommätning, avsnitt 5.1.4). (Lantmäteriet, 2020). I kraven framgår även att observationstiden ska vara minst 30 min plus 3 minuter/kilometer beräknat på den längsta baslinjen samt att en terrester kontroll av längderna mellan punkterna som delar par ska utföras.

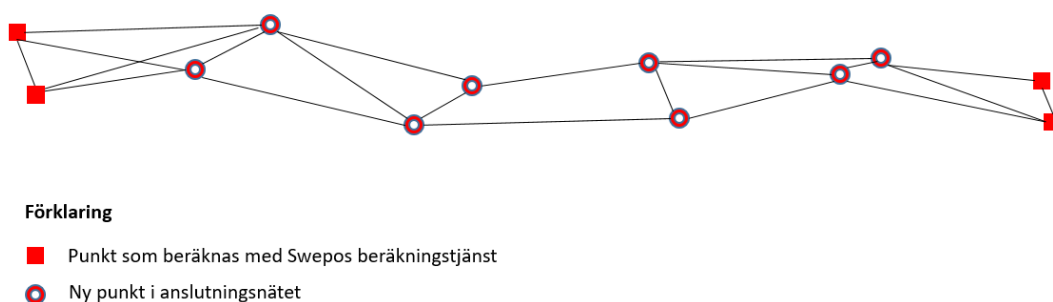
Slutligen så finns det ett antal krav kopplade till beräkning och kontroller av GNSS-observationer. Mätningarna ska först kontrolleras för att säkerställa att de håller önskad kvalitet, vilket görs till exempel genom att studera slutningsfelen i slingor som bildats av baslinjerna. När det säkerställts att mätningarna uppfyller önskad kvalitet kontrolleras de kända punkterna (RIX 95-punkterna samt punkter i angränsande stomnät för järnvägen) genom inpassning av den fria utjämnningen på de kända punkternas koordinater. I detta beräkningssteg studeras spänningar som eventuellt kan förekomma mellan de kända punkterna. När det väl säkerställts att dessa inte överskrider en hanterbar nivå beräknas slutligen det nya anslutningsnätet genom fastutjämnning mot RIX 95-punkterna samt eventuella befintliga stompunkter.

I denna kravbild sker endast små förändringar i och med användandet av de alternativa metoderna som beskrivs längre fram.

Beräkningsdelens kravbild förblir oförändrad i de alternativa metoderna, mätningsdelens kravbild kommer att påverkas, dels genom att mätning över RIX 95-punkter utesluts, dels genom att beräkningstjänstmetoden medför förlängd observationstid för ett antal utvalda punktpar. Kraven på utformning av de nya anslutningspunkterna förblir den samma, däremot förändras till viss del konfigurationen av de kända punkterna.

3.2 Beräkningstjänstmetoden

Beräkningstjänstmetoden är inte beroende av GNSS-observationer på RIX 95-punkter. Det nya anslutningsnätet för järnvägsanläggningen utformas på samma sätt vid traditionell metod med undantaget att omgärdande RIX 95-punkter inte tas med, istället förlängs observationstiden för var femte anslutningspar till minst 3 timmar (se figur 9 nedan).



Figur 9: Skiss av anslutningsnät i plan enligt beräkningstjänstmetoden.

Observationsfilerna i Rinex-format från de förlängda mätningarna vid vart femte anslutningspar laddas upp till SWEPOS beräkningstjänst (se figur 10).

I beräkningstjänsten har användaren möjlighet att välja vilken beräkningstjänst som ska användas vid beräkning. I denna studie har den ordinarie beräkningstjänsten använts uteslutande.

Därefter kan användaren välja vilka filer som ska beräknas (max 10 filer åt gången) samt kontrollera att filerna inte innehåller felaktigheter med hjälp av en inbyggd kontrollfunktion.

Slutligen ska användare ange i vilket referenssystem som resultatredovisningen ska ske samt huruvida GLONASS-observationer ska inkluderas i beräkningen. I denna studie har inga GLONASS-observationer inkluderats vid beräkning av anslutningspar.

I resultatfilen från beräkningstjänsten finns koordinater för den beräknade punkten i önskat referenssystem samt ett kvalitetstal och gränsvärden för utvärdering av resultatet.

Koordinaterna i resultatet från beräkningstjänsten ersätter RIX 95-punkterna som kända i den slutliga fasta utjämningen av det nya anslutningsnätet i plan. I övrigt sker beräkningen på samma sätt som vid traditionell metod.

Beställ beräkning

Läs handledningen innan du använder tjänsten första gången.

- ### 1. Val av beräkningstjänst

Välj beräkningstjänst:

Ordinarie Beräkningstjänst
▼
- ### 2. Ladda upp Rinex

Välj filer på din dator för uppladdning till ditt Swepos-konto. Det är möjligt att ladda upp max 10 filer åt gången. Endast observationsfiler i Rinex-format är tillåtna (. [åå]o för Rinex 2 och .rnx för Rinex 3).

Välj filer att ladda upp:

Välj fil...
Välj filer
↑
- ### 3. Kontrollera Rinex-fil

Innan du beställer ett nytt jobb behöver din Rinex-fil kontrolleras. Markera en Rinex-fil och klicka "Kontrollera fil". I rutan "Resultat av Rinex-kontroll" kan du se om eventuella felaktigheter finns i filen.

Inga filer hittades

🔍 Kontrollera fil

🗑️ Ta bort fil
- ### 4. Resultat av Rinex-kontrollen

Välj en fil i steg tre att kontrollera.
- ### 5. Beställ nytt beräkningsjobb

Markera en godkänd fil i listan ovan och välj ett referenssystem för resultatredovisningen innan du beställer beräkning.

Välj referenssystem:

SWEREF 99 TM
▼

Beställ beräkning
 Inkludera Glonass i beräkningen ?

Du kan följa jobbets status på Mina sidor.

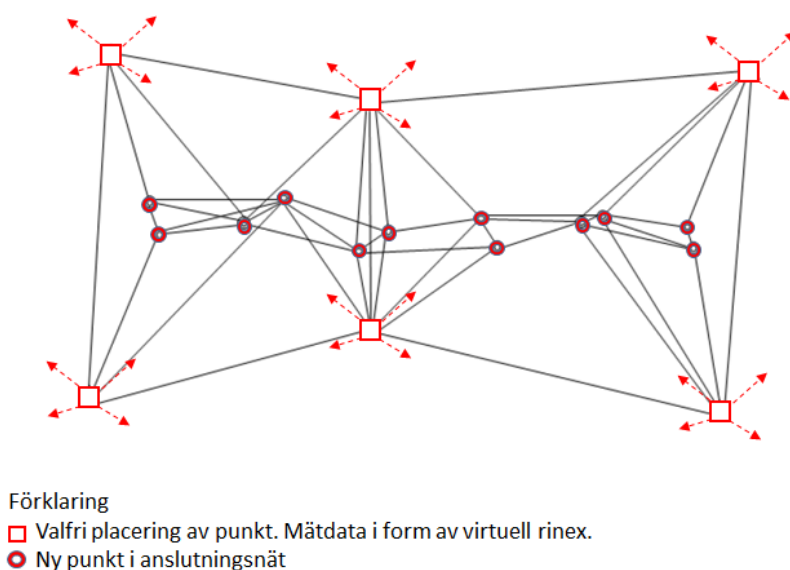
Figur 10: Skärmdokument av SWEPOS tjänsteportal för beräkningstjänsten (bildkälla: Lantmäteriet).

3.3 VRS-metoden

VRS-metoden är precis som beräkningstjänstmetoden inte beroende av observationer på RIX 95-punkter. Vidare finns inget behov av förlängda observationstider vid var femte anslutningspar.

De nya anslutningspunkterna för järnvägsanläggningen kan utformas på samma sätt som för den traditionella metoden, men i denna metod så ersätts RIX 95-punkterna med virtuella referensstationer. De virtuella referensstationerna väljs så att de omgärdar de nya

anslutningspunkterna och uppfyller avståndskravet på max 20 kilometer till punkter ingående i anslutningsnätet (se figur 11).



Figur 11: Skiss av anslutningsnät i plan enligt VRS-metoden.

Eftersom de virtuella referensstationerna placeras relativt nära punkterna i det nya anslutningsnätet i denna metod medför det betydligt kortare baslinjelängderna jämfört med baslinjelängderna som erhålls vid användning av beräkningstjänstmetoden. De kortare baslinjelängderna möjliggör användning av rena L1-observationer i utjämningsberäkningen. L1-observationerna är behäftade med lägre brus än de kombinerade L1 och L2-observationer som används vid beräkningar i SWEPOS beräkningstjänst.

Virtuella referensstationer kan beställas via SWEPOS tjänsteportal (se figur 12). Användaren anger start och sluttid för observationen. Dessa tider ska uttryckas i koordinerad universell tid (UTC).

Därefter anges positionen för den virtuella referensstationen, vilket ska göras i SWEREF 99 med geocentriska kartesiska koordinater.

Slutligen väljer användaren vilket loggningsintervall den virtuella referensstationen ska använda samt anger filnamn och filtyp. Samtliga virtuella referensstationer som ingår i denna studie har använt loggningsintervallet 15 sekunder.

Beställningen levereras från SWEPOS i form av en observationsfil, en navigationsfil för GPS, en navigationsfil för GLONASS och en textfil som innehåller en sammanfattning av beställningen.

Koordinaterna för de virtuella referensstationerna ersätter RIX 95-punkterna som kända i den slutliga fasta utjämningsberäkningen av det nya anslutningsnätet i plan. I övrigt sker beräkningen på samma sätt som vid traditionell metod.

Beställ Virtuell rinex

Positionen anges som SWEREF 99 Kartesiska (geocentriska) koordinater.

Alla tider anges i UTC. Vid svensk normaltid, dra av 1 timme för att få UTC-tid. Vid svensk sommartid, dra av 2 timmar för att få UTC-tid.

Det går att lägga till flera punkter i samma beställning.

Lantmäteriet erbjuder:
Gratisjänst för koordinattransformation

Startdatum:	Starttid:	Slutdatum:	Sluttid:
<input type="text" value="Startdatum"/>	<input type="text" value="Starttid"/>	<input type="text" value="Slutdatum"/>	<input type="text" value="Sluttid"/>
X: <input type="text" value="X"/>	Y: <input type="text" value="Y"/>	Z: <input type="text" value="Z"/>	
Intervall (s):	Filnamn:	Filtyp:	
<input type="text" value="15"/> ▼	<input type="text" value="Filnamn"/>	<input type="text" value="Rinex 2.11"/> ▼	

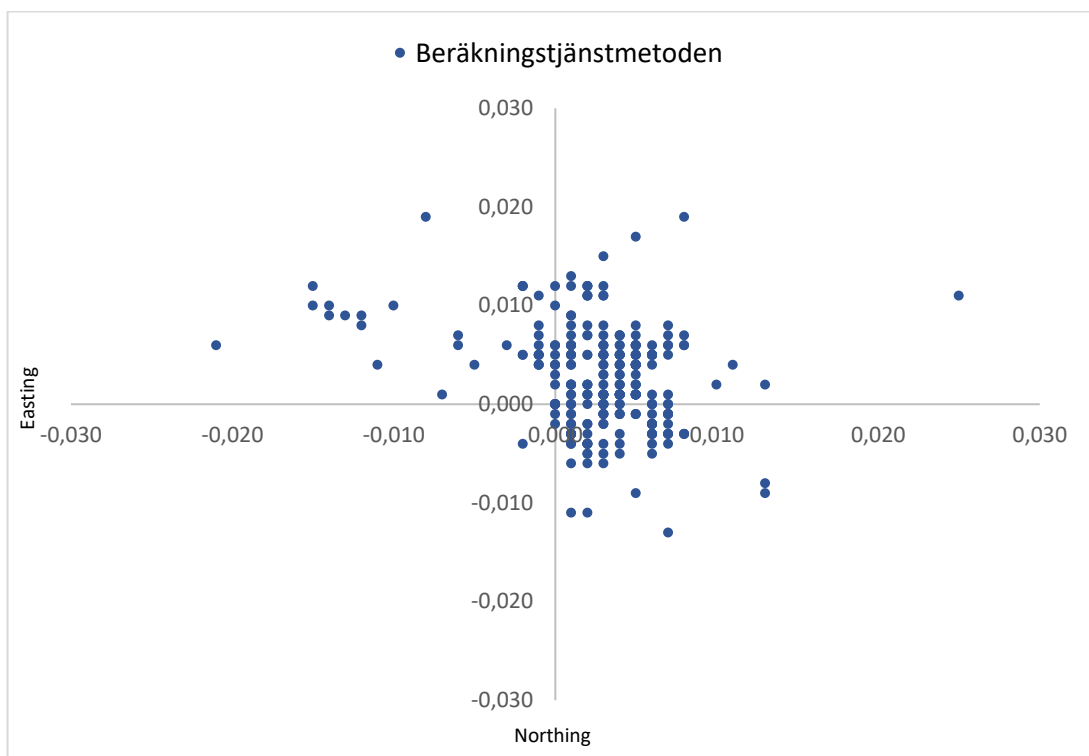
Inga punkter tillagda

Figur 12: Skärmbild av SWEPOS tjänsteportal för beställning av virtuell rinex (bildkälla: Lantmäteriet).

4. Resultat

I den här studien har koordinater beräknats för anslutningspunkter längs nio olika bandelar. Koordinater har beräknats med traditionell metod, beräkningstjänstmetoden och VRS-metoden. Eftersom det är viktigt att bibehålla samstämmigheten med tidigare upprättade lägen utgör koordinatvärden från den traditionella metoden referensvärden i den här studien.

Resultat från jämförelsen mellan beräkningstjänstmetoden och den traditionella metoden återges i figur 13, där koordinatdifferenserna mellan metoderna plottats. Resultaten i figur 13 baseras på beräkning av 288 anslutningspunkter.



Figur 13. Koordinatskillnaderna mellan metoderna i form av ett spridningsdiagram. Resultat från jämförelse mellan traditionell metod och beräkningstjänstmetoden. Resultaten baseras på de 288 anslutningspunkter som beräknats med båda metoderna.

I tabell 2 redovisas bland annat medelvärde avvikelse och standardosäkerhet för de beräknade koordinatdifferenserna. Resultaten i tabell 2 baseras på beräkning av 288 anslutningspunkter med traditionell metod respektive beräkningstjänstmetoden.

Tabell 2: Resultat från jämförelse mellan traditionell metod och beräkningstjänstmetoden. Resultaten baseras på de 288 anslutningspunkter som beräknats med båda metoderna.

	N	E	Radiellt
Medelvärde avvikelse	0,003	0,003	0,007
Standardosäkerhet	0,005	0,004	0,004
Min	-0,013	-0,021	-
Max	0,019	0,025	-
Gap	0,032	0,046	-

där

Medelvärde avvikelse	- medelvärdet av de 288 beräknade avvikelseerna för traditionell metod minus beräkningstjänstmetoden
Standardosäkerhet	- standardosäkerhet för avvikelseerna
Radiellt	- medelvärdet av de 288 radiella avvikelseerna för traditionell metod minus VRS-metoden
Min	- minsta värdet av samtliga 288 beräknade avvikelseerna för traditionell metod minus VRS-metoden
Max	- största värdet av samtliga 288 beräknade avvikelseerna för traditionell metod minus VRS-metoden
Gap	- skillnad (Max – Min)

Eftersom VRS-metoden inte har kunnat appliceras på samtliga 288 anslutningspunkter, utan endast på ett mindre urval om 168 anslutningspunkter har samma jämförelse mellan beräkningstjänstmetoden och traditionell metod utförts på detta urval. Resultat från jämförelsen som utförts på de anslutningspunkter som också ingår i analysen av VRS-metoden återfinns i tabell 3.

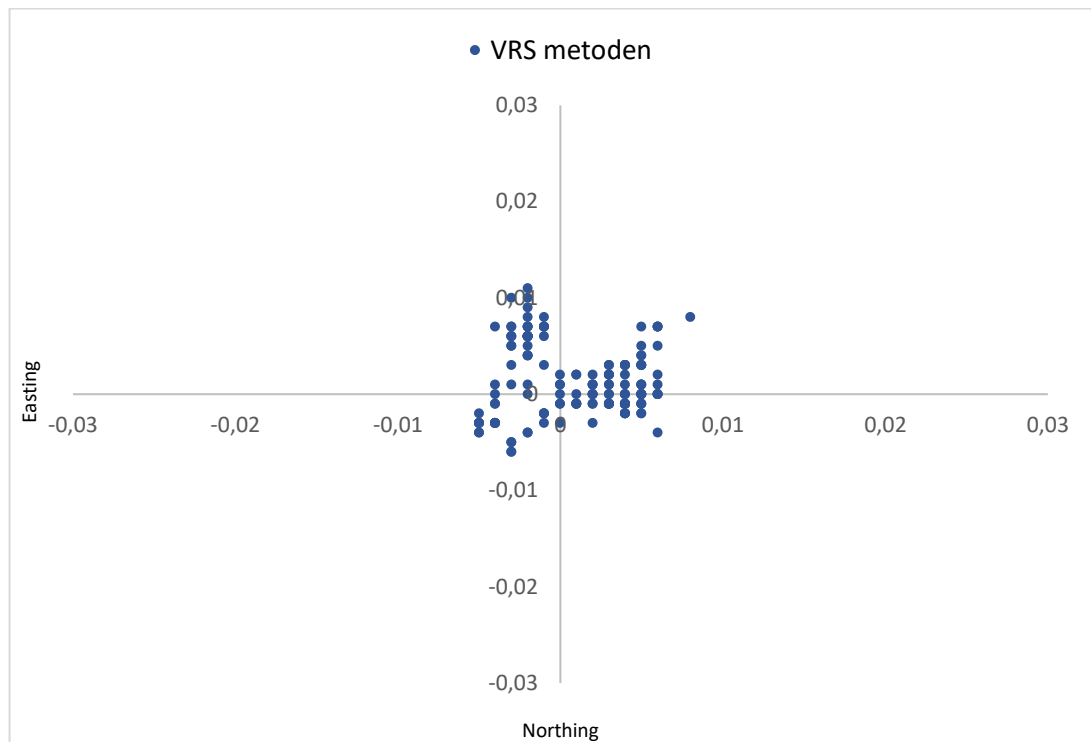
Tabell 3. Resultat från jämförelse mellan traditionell metod och beräkningstjänstmetoden. Resultaten baseras på ett urval som har begränsats till de 168 anslutningspunkter som också har beräknats med VRS-metoden.

	N	E	Radiellt
Medelvärde avvikelser	0,004	0,003	0,007
Standardosäkerhet	0,004	0,005	0,004
Min	-0,011	-0,021	-
Max	0,019	0,025	-
Gap	0,030	0,046	-

där

Medelvärde avvikelser	- medelvärdet av de 168 beräknade avvikelserna för traditionell metod minus beräkningstjänstmetoden
Standardosäkerhet	- standardosäkerhet för avvikelserna
Radiellt	- medelvärdet av de 168 radiella avvikelserna för traditionell metod minus VRS-metoden
Min	- minsta värdet av samtliga 168 beräknade avvikelser för traditionell metod minus VRS-metoden
Max	- största värdet av samtliga 168 beräknade avvikelser för traditionell metod minus VRS-metoden
Gap	- skillnad (Max – Min)

Resultat från jämförelsen mellan VRS-metoden och den traditionella metoden återges i figur 14, där koordinatdifferenserna mellan metoderna plottats. Resultaten i figur 14 baseras på beräkning av 168 anslutningspunkter.



Figur 14. Koordinatkillnaderna mellan metoderna i form av ett spridningsdiagram. Resultat från jämförelse mellan traditionell metod och VRS-metoden. Resultaten baseras på de 168 anslutningspunkter som beräknats med båda metoderna.

I tabell 4 redovisas bland annat medelvärde och standardosäkerhet för de beräknade koordinatdifferenserna. Resultaten i tabell 4 baseras på 168 anslutningspunkter och innefattar samma urval av anslutningspunkter som används i jämförelsen ovan (tabell 3).

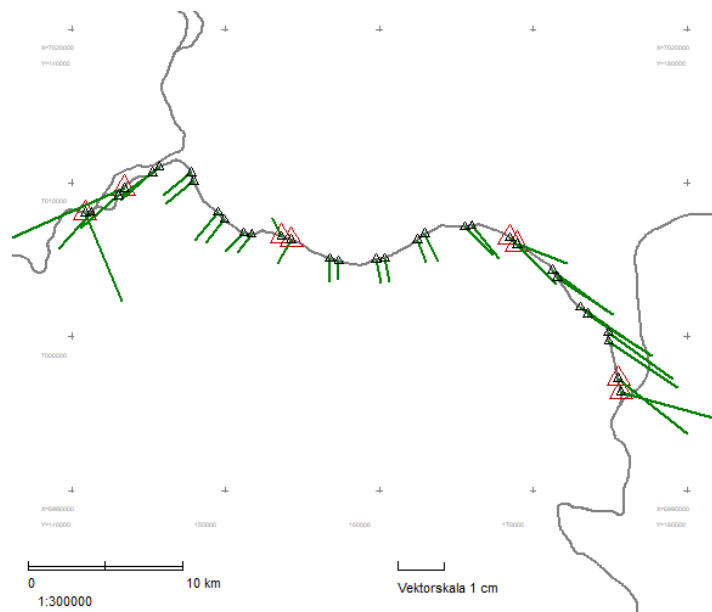
Tabell 4. Resultat från jämförelse mellan traditionell metod och VRS-metoden. Resultaten baseras på de 168 anslutningspunkter som beräknats med båda metoderna.

	N	E	Radiellt
Medelvärde avvikelser	0,001	0,001	0,005
Standardosäkerhet	0,004	0,003	0,002
Min	-0,006	-0,005	-
Max	0,011	0,008	-
Gap	0,017	0,013	-

där

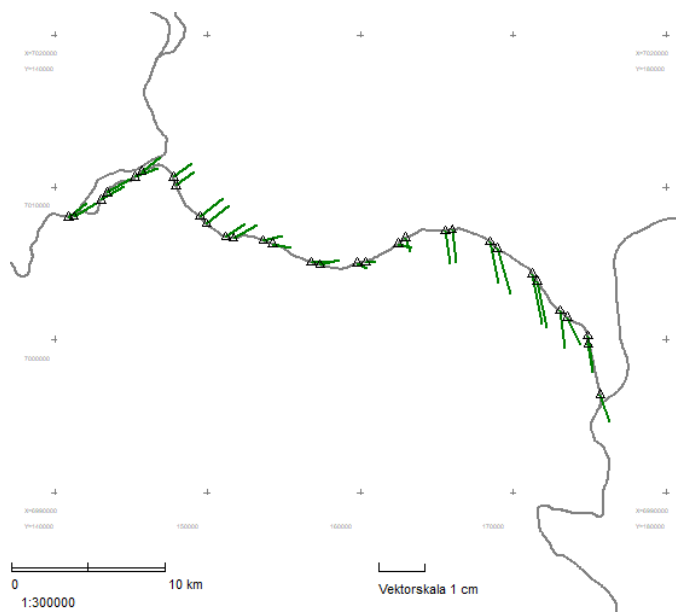
Medelvärde avvikelser	- medelvärdet av de 168 beräknade avvikelserna för traditionell metod minus VRS-metoden
Standardosäkerhet	- standardosäkerhet för avvikelserna
Radiellt	- medelvärdet av de 168 radiella avvikelserna för traditionell metod minus VRS-metoden
Min	- minsta värdet av samtliga 168 beräknade avvikelser för traditionell metod minus VRS-metoden
Max	- största värdet av samtliga 168 beräknade avvikelser för traditionell metod minus VRS-metoden
Gap	- skillnad (Max – Min)

Genom att plotta anslutningspunkternas felvektor längs järnvägssträckan får vi förutom en uppfattning om deras storlek också en uppfattning om deras riktning. I figur 15 har felvektorerna för anslutningspunkterna som beräknats med beräkningstjänstmetoden plottats längs bandel 232 (Ådalsbanan) som sträcker sig mellan Härnösand och Långsele.



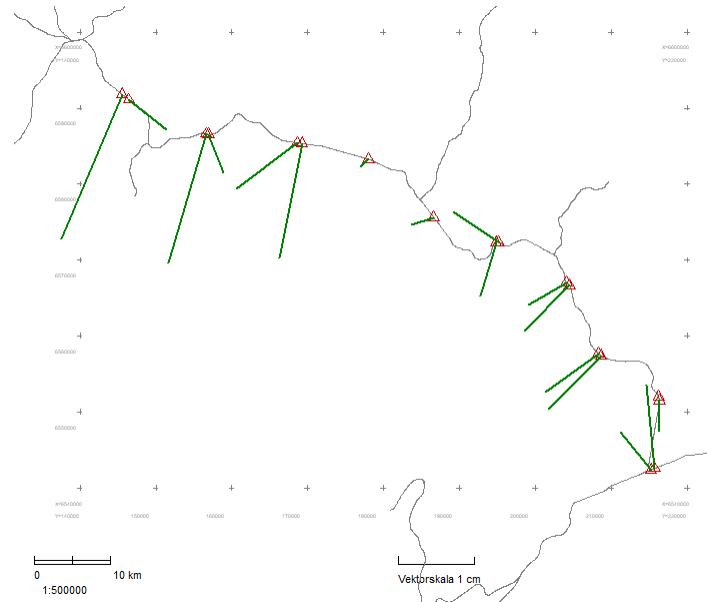
Figur 15: Anslutningspunkternas felvektorer för beräkningstjänstmetoden plottade längs bandel 232. Trianglarna representerar punkter i anslutningsnätet och de röda trianglarna representerar punktparen som beräknats med beräkningstjänsten.

I figur 16 nedan har felvektorerna för anslutningspunkterna som beräknats med VRS-metoden plottats på samma vis längs bandel 232 (Ådalsbanan) som sträcker sig mellan Härnösand och Långsele.



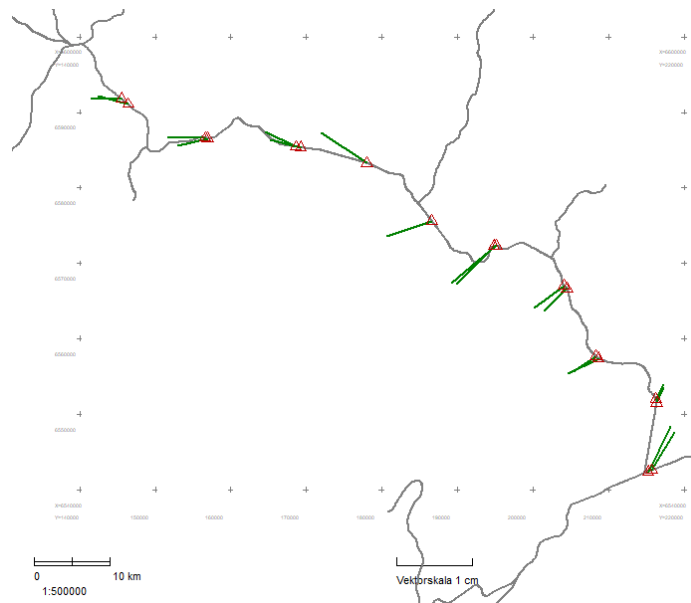
Figur 16: Anslutningspunkternas felvektorer för VRS-metoden plottade längs bandel 232. Trianglarna representerar punkter i anslutningsnätet.

För att bättre kunna studera hur skillnader i anslutningsparen uttrycker sig mellan de två alternativa metoderna valde vi att endast plotta felvektorer för dessa punkter längs bandel 382 och 383 (Värmlandsbanan) som sträcker sig mellan Laxå och Kil. I figur 17 har felvektorerna för beräkningstjänstparen plottats.



Figur 17: Beräkningstjänstparens felvektorer längs bandel 382 och 383. De röda triangelarna representerar anslutningspunkter i punktparen som beräknats med beräkningstjänsten.

I figur 18 har samma urval av anslutningspunkter som i figur 17 använts, men här plottas felvektorerna för VRS-metoden.



Figur 18: VRS-metodens felvektorer längs bandel 382 och 383. De röda triangelarna representerar anslutningspunkter i punktparen som beräknats med beräkningstjänsten.

5. Diskussion

5.1 Slutsatser

För Trafikverket är det viktigt att hitta en ny metod som ger jämförbara resultat med dagens metod.

Resultaten från denna studie visar att de alternativa metodernas resultat stämmer väl överens med de resultat som erhålls med den traditionella metoden för anslutningsnät i plan. De har dessutom en stor fördel i förhållande till den traditionella metoden när det kommer till hur tidseffektiva metoderna är. Eftersom det inte krävs mätning på RIX 95-punkter kommer de alternativa metoderna inte behöva resurser för planering, rekognosering eller mätning av dessa punkter.

I en jämförelse av VRS-metoden mot dagens metod ser vi att koordinatmedelskillnaden är 1 mm i N-koordinaten och 1 mm i E-koordinaten. Standardosäkerheten i dessa koordinatmedelskillnader är 4 mm (N-koordinaten) och 3 mm (E-koordinaten), vilket innebär följande konfidensintervall (95% konfidensgrad):

$$N_{VRS}: 0,001 \pm 0,008 \text{ m (95\%)}$$

$$E_{VRS}: 0,001 \pm 0,006 \text{ m (95\%)}$$

För Beräkningstjänsten har vi motsvarande:

$$N_{Ber.tjänst}: 0,004 \pm 0,008 \text{ m (95\%)}$$

$$E_{Ber.tjänst}: 0,003 \pm 0,010 \text{ m (95\%)}$$

Resultaten visar att VRS-metoden ger mindre koordinatskillnader i förhållande till traditionell metod jämfört med beräkningstjänstmetoden (Tabell 3 och 4). Dessutom är spridningen mellan koordinatskillnaderna och det så kallade GAP-värdet (skillnad max-min) lägre för VRS-metoden. Samtliga resultat talar alltså till VRS-metodens fördel.

Utöver att VRS-metodens resultat har en bättre överensstämmelse med befintlig metod, så finns även ett antal andra fördelar med metoden.

- Den kräver inga förlängda observationstider i fält vid punkterna som utgör kopplingen till riksnätet.
- Den nyttjar inte fysiska markeringar för kopplingen mot riksnätet, vilket medför att inga centreringsfel finns vid dessa kopplingspunkter.
- Observationsdata från de virtuella referensstationerna är inte beroende av användarens bedömning av mätmiljö.
- Den använder L1-observationerna i utjämningsberäkningen.

Vi kan konstatera att vi har en större osäkerhet för beräkningstjänstmetoden. Osäkerheten beror delvis på de avståndsberoende felet vi har vid bestämningen av baslinjerna mellan punkterna i vart femte punktpar (de som utgör kopplingen till riksnätet) i förhållande till SWEPOS referensstationer.

När det gäller beräkningstjänstmetoden finns också en klar nackdel i att det kan finnas klara skillnader mellan punkterna i ett punktpar, exempelvis vinkelräta felvektorer (Figur 15 och 17).

Anledningen till det är att de kända punkterna i punktparen som utgör kopplingen mot SWEREF 99 i beräkningstjänstmetoden bestäms med SWEPOS beräkningstjänst, där varje punkt beräknas enskilt och relationerna mellan punkterna i paren inte säkerställs med denna metod.

Vikten av att minimera skillnader mellan närliggande punkter är stor, eftersom inbördes relationer i näten alltid premieras över yttre relationer inom stomnäten för järnvägen.

Att denna effekt inte återfinns för VRS-metoden beror på att samtliga anslutningspunkter har utjämnats mot de virtuella stationerna som omgärdar nätet och resultatet blir ett mer homogent anslutningsnät.

Utifrån ovanstående slutsatser förordar vi VRS-metoden.

5.2 Risker

Precis som med Trafikverkets nuvarande beroende av RIX 95 medför också de båda alternativa metoderna ett beroende av Lantmäteriets tjänster. Dock bör dessa alternativa metoder till skillnad från den traditionella metoden i större utsträckning kunna tillgodogöra sig de förbättringar som ständigt sker i utvecklingen av SWEPOS.

När det gäller VRS-metoden så är det svårt att få fullständig insyn i hur genereringen av virtuella referensstationer går till, det är till viss del förknippat med företagshemligheter hos programleverantörerna. Denna brist på insyn måste beaktas vid tillämpning av metoden och kontroller av eventuella grova fel i de virtuella referensstationerna måste utföras.

Framtida förändringar av marknaden riskerar dock att påverka förutsättningarna för de studerade metoderna. Exempelvis skulle en framtida marknad med flera olika kommersiella aktörer som tillhandahåller beräkningstjänster och virtuella referensstationer kunna medföra en risk för diskrepanser mellan resultaten från olika tjänster.

Även förändringar i Lantmäteriets tjänster skulle potentiellt kunna påverka resultaten för de studerade metoderna. Vad händer exempelvis om Lantmäteriet byter mjukvaruleverantör?

För järnvägens geodetiska infrastruktur är det viktigt att det finns en långsiktighet i metoderna som tillämpas. Därför behöver bland annat följande risker bedömas och hanteras inför ett eventuellt införande:

- Är SWEPOS tjänster säkrade över tid?
- Vad händer om fler aktörer dyker upp på marknaden?
- Vad händer om SWEPOS bolagiseras?
- Kan andra aktörer än dagens leverantör erbjuda dessa tjänster?
- Kommer andra leverantörer i så fall att leverera en produkt (virtuell rinex) som är konsistent med den som SWEPOS levererar?
- Kan vi användare lita på att SWEPOS kommer att leverera något som är konsistent inom överskådlig tid framöver?
- Hur kan vi säkerställa tillgång till virtuell rinex över tiden?

5.3 Framtid och utveckling

Det finns fortfarande ett behov av att utöka underlaget när det gäller VRS-metoden, för att bättre kunna säkerställa repeterbarheten i metodens resultat. Det krävs en relativt liten arbetsinsats för att få ett anslutningsnät beräknat med VRS-metoden vid en etablering av ett traditionellt anslutningsnät i plan. Därför bör, när så är möjligt, detta utföras för att få ett större framtida beslutsunderlag.

Det finns också ett behov av att utveckla en tydlig och effektiv metodik för hur eventuella grova fel i de genererade virtuella referensstationerna kan upptäckas. Optimalt vore om denna kontroll kunde ske innan filerna skickas till användarna. Något som vore intressant att undersöka i framtida studier är hur SWEPOS beräkningstjänst kan användas för att kontrollera de virtuella referensstationerna.

Det skulle även vara intressant med en framtida studie som analyserar hur placeringen av de virtuella referensstationerna påverkar resultatet samt möjlighet till optimering av dess placeringar.

Om Trafikverket i framtiden ska välja att tillämpa VRS-metoden ser vi också ett behov av utveckling när det gäller användarvänligheten på SWEPOS webbsida för beställning av virtuell rinex.

Idag ska exempelvis positionerna för de virtuella referensstationerna anges med geocentriska koordinater vid beställning. Det behöver vara möjligt att använda plana koordinater i SWEREF 99 TM eller aktuell lokal projektionszon i SWEREF 99. Som tjänsten är utformad i dag måste dessutom de virtuella referensstationerna beställas en och en, här bör möjlighet att ladda upp en lista finnas.

6. Referenser

Alfredsson A, Alm L, Dahlström F, Jivall L, Kempe C, Wiklund P. (2019). *Förvaltning av de nationella geodetiska referensnäten*, Lantmäterirapport 2019:1. Lantmäteriet, Gävle.

Andersson B, Alfredsson A, Nordqvist A, Kilström R. (2015). *RIX 95-projektet – slutrapport*, Lantmäterirapport 2015:4. Lantmäteriet, Gävle.

Freij L. (2014). *Alternativ anslutning till överordnat nät analys och metodbeskrivning*. Metria, Gävle.

Lantmäteriet. (2020). *HMK Geodetisk infrastruktur*. Lantmäteriet, Gävle.

Lantmäteriet. (2020). *HMK Stommätning*. Lantmäteriet, Gävle.

Svenska institutet för standarder (2016). *Byggmätning - Geodetisk mätning, beräkning och redovisning av byggnadsverk och infrastruktur*, Teknisk specifikation SIS-TS 21143:2016. SIS förlag AB, Stockholm.

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda Vägen 1.
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 020-600 650

trafikverket.se