

RAPPORT

# Kompletterande studier kring detaljmätning vid datafångst i tidiga projektskeden



Dokumenttitel: Kompletterande studier kring detaljmätning vid datafångst i tidiga projektskeden  
Skapat av: Johan Vium Andersson  
Dokumentdatum: 2012-03-16  
Dokumenttyp: Rapport  
Publikationsnummer: 2012:208  
ISBN: 978-91-7467-404-0

Publiceringsdatum: 2012-10-16  
Utgivare: Trafikverket  
Kontaktperson: Joakim Fransson  
Uppdragsansvarig: Joakim Fransson

# Innehåll

1	Inledning .....	4
2	De nationella referenssystemen och deras realiseringar .....	5
2.1	Referenssystem .....	5
2.2	Tillgång till utgångspunkter.....	6
3	Utgångspunkter .....	8
3.1	Vid datafångst .....	8
3.2	Detalj- och kontrollmätning .....	9
4	Etablering av brukspunkter.....	10
4.1	Använda metoder.....	10
4.2	Alternativa metoder .....	11
4.2.1	Statisk GNSS-mätning med efterberäkning.....	11
4.2.2	RUFRIS .....	11
4.3	Fältmätning.....	12
4.3.1	Referensnät .....	12
4.3.2	RUFRIS .....	14
5	Sammanfattning.....	17
6	Referenser.....	19
6.1	Litteratur.....	19
6.2	Samtal .....	19
1	Differens mellan RUFRIS-koordinater och kända koordinater vid Avdala.	21
2	Etableringsskisser Avdala.....	22
3	Differens mellan RUFRIS-koordinater och kända koordinater vid Åstorp.	24
4	Etableringsskisser Åstorp .....	25
5	Differens mellan RUFRIS-koordinater och kända koordinater vid Krutbruket .....	27
6	Etableringsskisser Krutbruket.....	28

# 1 Inledning

Inom Trafikverkets sker löpande datafångst för att täcka investeringsverksamhetens behov av underlag för planering, projektering och byggnation. Datafångst sker nationellt och traditionellt genomförs upphandling projektvis där behoven uppstår i projekten. Arbetssättet är kostsamt och resultatet samlas i regel in sent i processen vilket leder till förseningar, framförallt i planering och projekteringsskeden. Inom Trafikverket förekommer regionala variationer i de produkter som upphandlas då upphandlingen inte alltid går via det expertstöd som finns tillgängligt inom verket. För att kringgå problematiken har, på senare år, en stor del av datafångsten inom Trafikverket centraliserats i större nationella datafångstprojekt. ÅP09, ÅP10 och ÅP GC (ÅP-projekten) är exempel på centraliserade datafångstprojekt där man på nationell nivå samordnat arbetet för att reducera kostnader och få standardiserade produkter med jämn kvalitet. Trafikverkets expertorganisation för mätningsteknik bedriver löpande utvecklingsarbete för att effektivisera datafångst och de produkter som tas fram. Syftet med utvecklingen är att på sikt minska kostnader för datafångst, korta ledtider samt förbättra produkternas kvalitet.

Följande rapport är en del av den löpande utvecklingen inom Trafikverket. Syftet med rapporten är att lyfta de problemsituationer man ställs inför vid användandet av de nationella referenssystemen för datafångst samt att studera en alternativ metod för stationsetablering som kan användas vid detalj- och kontrollmätning i projekten.

Rapporten inleds med en kort genomgång av de nationella referenssystemen och deras realiseringar. Därpå presenteras behovet i av utgångspunkter datafångstprojekten i för datafångst, detalj- och kontrollmätning. I efterföljande stycke beskrivs de mätningmetoder som använts i ÅP-projekten för etablering av brukspunkter för detalj- och kontrollmätning tillsammans med en alternativ stationsetableringsmetod kallad Realtidsuppdaterad fri station (RUFRIIS). Rapporten avslutas med en sammanfattning där resultatet från studien diskuteras.

## 2 De nationella referenssystemen och deras realiseringar

### 2.1 Referenssystem

I Sverige ansvarar Lantmäteriet för förvaltningen av den nationella geodetiska infrastrukturen. I den rollen har de definierat det nationella referenssystemet SWEREF 99 som utgör den officiella realiseringen av det europeiska referenssystemet ETRS 89. SWEREF 99 är ett tredimensionellt referenssystem (3D) som realiserar genom en *aktiv realisering* på 21 fundamentalstationer i SWEPOS-nätet. Det finns alltså inga fysiska punkter på marken som realiserar SWEREF 99. Koordinater i SWEREF 99 anges antingen som geodetiska koordinater ( $\phi, \lambda, h$ )<sup>1</sup> eller som kartesiska koordinater (X, Y, Z). Trots att SWEREF 99 är ett 3D-system så har Lantmäteriet valt att SWEREF 99 endast realiserar av det nationella referenssystemet i horisontalplanet, det vill säga i två dimensioner (2D), norr och öst. I höjddled realiserar referenssystemet *passivt*, det vill säga genom punkter som fysiskt markerats på marken. Samtliga höjdfixar ingående i den senaste riksavvägningen som har en inbördes korrekt höjdskillnad utgör realiseringen i höjddled. Höjdsystemet kallas RH2000. Lantmäteriets definition av referenssystemen innebär att vi i Sverige använder oss av ett referenssystem i två dimensioner i plan och ett endimensionellt i höjd (2D+1D).

Beslutet att aktivt realisera referenssystemet SWEREF 99 på SWEPOS-stationer är ett förhållandevis nytt beslut. Ågren och Engberg (2010) diskuterar behovet av en nationell geodetisk infrastruktur och dess förvaltning. I rapporten förs en diskussion kring realiseringens för- och nackdelar ur ett nationellt perspektiv.

Som en konsekvens av de förändringar som den aktiva realiseringen i plan medfört är att traditionellt använda riksnätspunkter och RIX 95-punkter för anslutning till överordnade referenssystem inte längre utgör realiseringen av referenssystemet<sup>2</sup>. Dessa punkter ska istället för att ses som felfria anslutningspunkter ses som punkter som har ett horisontellt medelfel på cirka 10 mm. Lokala variationer kan förekomma på grund av mättnings- och beräkningsfel i samband med etableringen, kontinuerliga geodynamiska rörelser, lokala rörelser samt sättningar och hävningar i de markerade punkterna.

Den passiva realiseringen i höjddled utgörs av de ca 50 000 höjdfixar som ingår i den senaste riksavvägningen som har en inbördes korrekt höjdskillnad, Ågren och Engberg (2010). Av dessa är 36 % markerade i berg, 54 % i jordfasta stenar, 6 % i husgrunder, broar eller liknande samt 4 % utgörs i underjordiska punkter, se vidare Lilje mfl. (2007). Eftersom cirka en tredjedel av höjdfixarna är placerade i berg, har man valt att inte realisera höjdsystemet i enstaka fixar utan i höjdfixar med godkända inbördes höjdskillnader. Avståndet mellan höjdfixarna i riksavvägningen är cirka 1 km och något kortare i tätorter samt i kuperad terräng.

Som nämnts ovan, är SWEREF 99 i grunden ett 3D-system men referenssystemen i plan och höjd är separerade i horisontal- och höjddled

---

<sup>1</sup> Longitud, latitud och höjd över ellipsoiden

<sup>2</sup> SWEREF 99

(2D+1D). Vid GNSS-mätning erhålls höjden över ellipsoiden<sup>3</sup> som ingår definitionen av SWEREF 99. Ellipsoidhöjden överensstämmer inte med de avvägda höjderna i RH2000 utan för att nå dit måste man kompensera mätta höjder med en geoidmodell. Den aktuella geoidmodellen som används i Sverige är SWENo8\_RH2000. Geoidmodellen är inte felfri utan har ett medelfel på cirka 10 – 15 mm vid kontroll mot det nationella höjdnätet där lokala (större och mindre) avvikelser kan förekomma.

## 2.2 Tillgång till utgångspunkter

Trafikverket har beslutat att ansluta all geografiskt relaterad data till de nationella referenssystemen. Detta medför att det finns ett behov av utgångspunkter i plan och höjd i alla datafångstprojekt. I ÅP-projekten används för anslutning i plan närbelägna SWEPOS-stationer eller RIX 95-punkter. Tillgängligheten till SWEPOS-stationer varierar beroende på var i landet man befinner sig. SWEPOS-stationerna är ojämnt fördelade över landet. Majoriteten av dem finns i södra Sverige och längs norrlandskusten. Här är avståndet mellan stationerna 5 till 70 kilometer. I inre Norrland är avstånden mellan stationerna i regel större. Alla SWEPOS-stationers koordinater monitoreras dagligen från driftledningscentralen i Gävle och man har mycket god kontroll på deras position och deras noggrannhet. Det horisontella medelfelet i klass B-stationerna är cirka 3 mm, Jämtnäs (2011). Tillgängligheten till RIX 95-punkter är i regel god; över 70 % av landets yta har ett medelavstånd mellan referensstationerna på 6,7 km och i övriga 30 % på 14,5 km. Förutsättningarna för GNSS-mätning är i regel bra på RIX 95-punkterna eftersom de etablerades för GNSS-mätning. Undantag finns som mest beror på vegetation då det är nästan 20 år sedan de etablerades. Motsvarande medelfel i RIX 95-punkterna är cirka 10 mm, *se föregående stycke*.

Tillgängligheten till avvägda höjdfixar begränsas av var riksavvägningarna är utförda, vilket i huvudsak skett längs landsväg och järnväg, men långtifrån alla väg och järnvägar täcks av de nationella avvägningstågen. För att ge en bild av hur tillgängligheten till höjdfixar varierar i datafångstprojekten ÅP09 och ÅP10 har den procentuella delen av datafångstprojekten som har tillgång till fixar sammanställts. Procentuell tillgång till fixar framgår av den översta horisontella raden i Tabell 1. På rad två framgår antalet procent av det totala antalet kilometer som har exempelvis 0 % tillgång till fixar och så vidare.

Tabell 1, tillgänglighet av höjdfixar längs de projekt som ingår i ÅP09 och ÅP10.

Procentuell tillgång till fixar	0 %	1 – 50 %	51 – 99 %	100 %
ÅP 09	7 %	10 %	35 %	48 %
ÅP 10	7 %	33 %	34%	26 %

Även om tillgängligheten är 100 % innebär inte detta att alla kontrollsektioner och höjdstöd är anslutna till dessa. Sammanfattas statistik från ÅP 10 så framgår

<sup>3</sup> GRS 80

det att ca 55 % av höjdstöden och kontrollsektionerna är mätta med RTK<sup>4</sup>-baserade höjder längs sträckor där det finns 100 % tillgänglighet av fixar.

Anledningarna till att man i fält tagit beslutet att mäta in kontrollsektionerna med RTK kan vara många. De vanligaste är att fixarna:

- är förstörda
- inte går att återfinna
- de är placerade på ställen där det inte rationellt går att bestämma plankoordinater för stationspunkterna med RTK
- de är placerade på ställen där det säkerhetsmässigt inte går att arbeta utan ”tungt skydd”

I ÅP09 och ÅP10 redogörs för de situationer där det finns höjdfixar men dessa inte använts, som avvikelser så att frågan lyfts med in i nästa projektfas.

---

<sup>4</sup> RTK, Real Time Kinematic, realtidspositionering med en noggrannhet på en eller några centimeter

## 3 Utgångspunkter

Vid mobil datafångst finns behov av utgångspunkter vid datafångstillfället för att georeferera sensorplattformen och vid inmätning av stöd- och kontrolltytor för att etablera brukspunkter. Mätningssatserna sker i regel vid olika tillfällen och med olika referenser. Följande stycke beskriver behovet inom datafångstprojekten.

### 3.1 Vid datafångst

Valet av utgångspunkter och deras placering vid datafångst påverkar resultatet från insamlingen. I ÅP-projekten används RIX 95-punkter och lokala SWEPOS-stationer som utgångspunkter. GNSS-observationer mätta vid dessa punkter och stationer har använts för georeferering av sensorplattformarna. Alla positioner vid datafångstillfället görs i det tredimensionella SWEREF99-systemet. För att erhålla koordinater i horisontalled måste man projicera de geodetiska koordinaterna och för att få höjder i RH2000<sup>5</sup> i höjddled används Lantmäteriets geoidmodell.

Eftersom man vid enkelstations-RTK har ett avståndsberoende fel så påverkas resultatet vid positionsbestämningen beroende på var man befinner sig i förhållande till referensstationen. För att reducera felets inverkan har exempelvis arbetsavstånd vid bilburen datafångst begränsats till 10 kilometer. De RIX95-punkter som väljs är företrädesvis avvägda i RH2000 för att få en lokal koppling till gällande höjdsystem. Tillgängligheten till höjdfixar är dock inte av avgörande betydelse för själva datafångsten då det inte är möjligt att relatera tröghetsplattformarna till dem.

Återfinnandet av befintliga punkter innebär alltid ett arbetsmoment som kan vara kostsamt både i tid och i pengar. Ett sätt att ta bort detta arbetsmoment är att använda virtuella referensstationer, så kallade VRS. VRS genereras genom att använda data från närliggande SWEPOS-stationer. Alla observationer som genereras för en VRS korrigeras för de felkällor som ger upphov till avståndsberoende fel. Švábenský (2008) visar att avståndet mellan sensorplattformen och VRS inte påverkar resultatet nämnvärt. Häkli (2006) å andra sidan visar att resultatet påverkas av avståndet till närmsta referensstation. Detta medför att man måste ta hänsyn till att man får olika resultat beroende på var i SWEPOS-trianglarna man befinner sig vid planering av datafångst. Bland fördelarna med att använda VRS kan nämnas att man inte behöver besöka en fysisk punkt vid datafångstillfället, en annan att referensstationerna i SWEPOS är placerade på platser med bra förutsättningar för GNSS-mätning vilket ger en god satellittillgänglighet även i VRS. I de tester som Švábenský (2008) utför, framgår att noggrannheten vid användandet av VRS för deformationsmätning är 2-4 gånger sämre än då en lokal referensstation används, vilket måste iaktas innan användning.

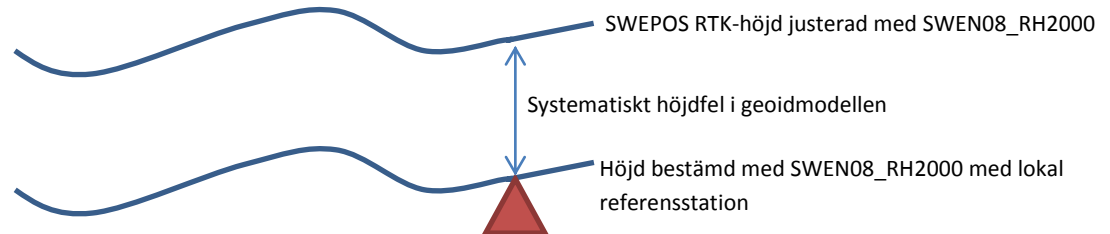
En avsevärd skillnad mellan de två ovan nämnda metoderna är att i den ena etableras en GNSS-referensmottagaren direkt över en fysisk punkt på marken med höjder i RH2000 och i den andra används en VRS. För att erhålla höjder i RH2000 vid användning av VRS används geoidmodellen SWEN08\_RH2000

---

<sup>5</sup> RH2000 i detta fall är behäftat med noggrannheten i den aktuella geoiden SWEN08\_RH2000.



som är en modell som inte helt överensstämmer mot de avvägda höjderna utan gör detta med ett medelfel på 15 till 20 mm, se vidare stycke 2. Då geoidmodellen används vid etablering av referensmottagare på en lokal punkt kompenseras mätta höjder för geoidens lokala lutningar<sup>6</sup>, se Figur 1.



Figur 1, skillnad mellan höjder som bestäms med utgång från VRS och fysiskt markerade punkter. I båda fallen används samma geoidmodell för att kompensera för geoidens lokala lutningar

### 3.2 Detalj- och kontrollmätning

För att ansluta insamlad data till gällande referenssystem samt kontrollera detsamma mäts i datafångstprojekten planstöd, höjdstöd och kontrolltytor in. Placeringar och utformning av stöd och kontroller varierar beroende på vald datafångstmetod, förutsättningar i det enskilda projektet samt på vad resultatet i slutändan kommer användas till.

Tillgängligheten till utgångspunkter är betydelsefull vid detalj- och kontrollmätning på samma sätt som vid datafångst. Utgångspunkterna används för etablering av brukspunkter som i sin tur används som utgångspunkter för detalj- och kontrollmätning. För att etablera brukspunkter i ÅP-projekten används i första hand SWEPOS-systemets RTK-tjänst. I vissa fall har samma utgångspunkter använts som beskrivs för datafångst i stycke 3.1.

Det som skiljer detalj- och kontrollmätningen från datafångstillfället är att vid detalj- och kontrollmätning används höjdfixar för att relatera och kontrollera datafångsten istället för de geoidbestämda höjderna som användes vid positioneringen vid datafångstillfället. I Tabell 1 framgår att tillgången till höjdfixar varierar längs de sträckor där datafångst sker och det är inte en självklarhet att de fixar som finns längs en sträcka är tillgängliga för mätning. I de fall höjdfixarna inte går att använda eller då de inte är tillgängliga, har utgångspunkter i höjd etablerats genom upprepad RTK-mätning mot SWEPOS. Metoden medför problem med bristande noggrannhet och dessutom systematiska fel vid användning av geoidmodellen SWEN08\_RH2000, se vidare stycke 2.1.

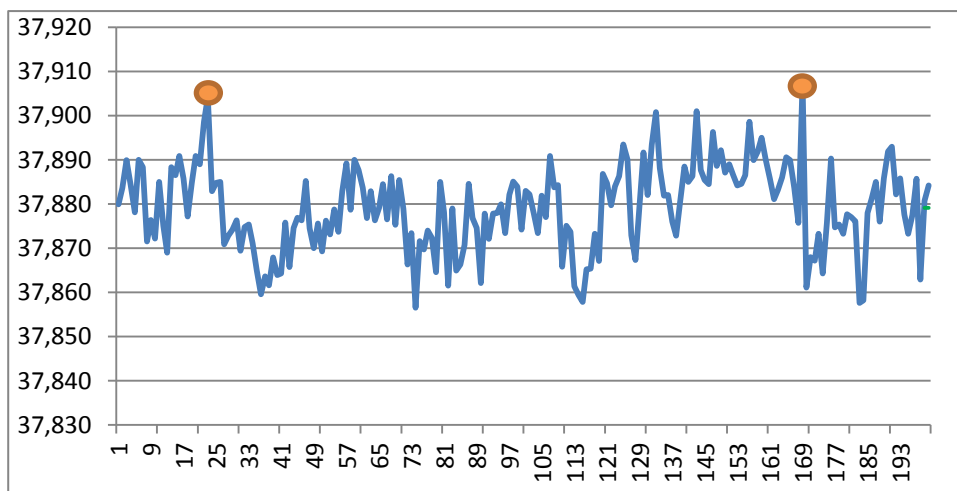
<sup>6</sup> Man bör notera att man genom att använda geoidmodellen vid RTK-mätning mot en fysiskt utplacerad referensmottagare för över alla systematiska fel i positioneringsberäkningen.

## 4 Etablering av brukspunkter

### 4.1 Använda metoder

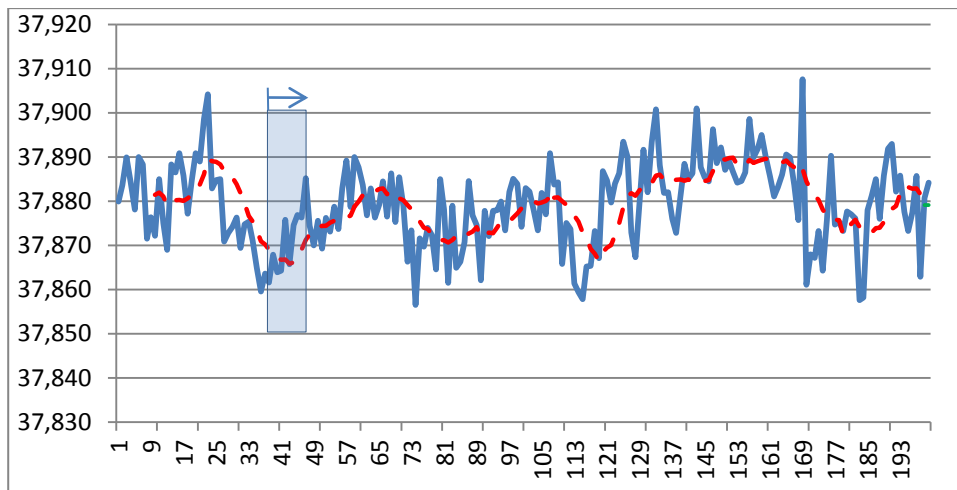
I ÅP-projekten etableras brukspunkter för inmätning av stöd i plan och höjd genom RTK-mätning mot SWEPOS RTK-tjänst. Inmätningen av stöden sker med totalstation från de utlagda brukspunkterna för att erhålla en god relativ noggrannhet vid inmätningen. För att etablera en totalstation krävs minst två brukspunkter per inmätningplats. Trigonometrisk höjdmätning mot närbelägna höjdfixar är huvudalternativet för bestämning av brukspunkternas höjd men då inte detta är möjligt används RTK-teknik för att bestämma höjden.

Den rutin som används i ÅP-projekten för att etablera brukspunkter bygger på upprepade RTK-mätningar. Mätningarna utförs vid två tillfällen separerade i tid och vid varje tillfälle mäts punkten flera gånger. Anledningar till att denna metod valts är både ur ett arbetsflödesperspektiv och ur ett tekniskt perspektiv. Ur ett tekniskt perspektiv är det nödvändigt att besöka en punkt vid flera tillfällen och bilda medelvärde. Detta är uppenbart om man tittar på en tidsserie med inmätta höjder som i Figur 2. Som framgår i figuren så är resultatet inte något normalfördelat vitt brus utan det finns en tydlig tidskorrelation i de mätta höjderna. I figuren finns två orangea ringar. De visar två extrempunkter i tidsserien. Om mätningarna endast utförs en gång, finns det en risk att man erhåller felaktiga koordinater på punkten.



Figur 2, variationen i skattad höjd över 50 minuters kinematisk mätning.

Risken att man mäter vid ytterligare en extrempunkt kvarstår dock. För att reducera risken för detta har mätningar gjorts med medelvärdesbildning över ett antal epoker vid varje tillfälle. Denna metod stöds av studier gjorda av Edwards mfl. (2006) som även de visar att de kortvariga fluktuationerna reduceras och att resultatet förbättras 10-20% vid medelvärdesbildning mellan två olika mätningstillfällen. Bäst är dock att mäta statistiskt men det är inte alltid arbetssättet är tillräckligt rationellt. Figur 3 visar samma höjder som i Figur 2, men här har även ett flytande medeltal på 10 epoker beräknats, där framgår klart det som konstaterades i studien att de kortsiktiga variationerna reduceras.



Figur 3, samma figur som ovan fast med ett beräknat flytande medelvärde, rödstreckad linje

Från de utlagda punktparen mäts stöd och kontrollsektioner in med totalstation som placeras över en av punkterna i paren och där den andra punkten utgör bakåtrikt. Avståndet mellan punkterna i paret kontrolleras med totalstationen vid stationsetableringstillfället.

Som alternativ till den metod som använts presenteras här andra metoder som både bygger på statisk GNSS-mätning samt kombinationer mellan RTK-mätning och traditionell totalstationsmätning.

## 4.2 Alternativa metoder

### 4.2.1 Statisk GNSS-mätning med efterberäkning

En alternativ metod för etablering av brukspunkter är att utföra statisk GNSS-mätning med efterberäkning. Detta är det traditionella sättet att etablera anslutningspunkter i investeringsprojekten. Att etablera anslutningspunkter är ett omfattande arbete som av kostnadsskäl inte utförs tidiga projektskedena. Metoden är tillämpbar för etablering av brukspunkter men faller på grund av kostnad.

### 4.2.2 RUFRRIS

Ett alternativ till de statistiska metoderna som presenterades ovan är stationsetableringsmetoden realtidsuppdaterad fri station (RUFRRIS). Metoden är främst framtagen för arbete i områden där inga stömnät på marken finns tillgängliga vilket väl överensstämmer med den situation som råder vid tidig datafångst. RUFRRIS-tekniken bygger på att en kombinerad mätstång, med GNSS-antenn och prisma, används för att kunna utföra samtida GNSS- och totalstationsmätningar. Vid fristationsetableringen sker inmätning av bakåtoobjekten med RTK, och parallellt mäts riktning, vertikalvinkel och längd mot samma objekt in med totalstationen. För att detta ska vara möjligt krävs att avståndet mellan GNSS-antennens referenspunkt (eller elektriska fascentrum) och prisma är känt och definierat i instrumentets konfiguration/mätprofil. Förfarandet upprepas till dess önskade antal bakåtoobjekt är inmätta och den fria stationens koordinater och orientering är bestämd. En fördel med RUFRRIS-

metoden gentemot de metoder som presenterats ovan är att centreringsfelet helt elimineras och att man i fält får en skattning av stationens koordinater samt orientering. En nackdel är att den på samma sätt som andra alla andra GNSS-metoder som mäter i ett 3D-system påverkas, av de fel som finns i geoidmodellen då man vill övergå till ett referenssystem som är 2D+1D.

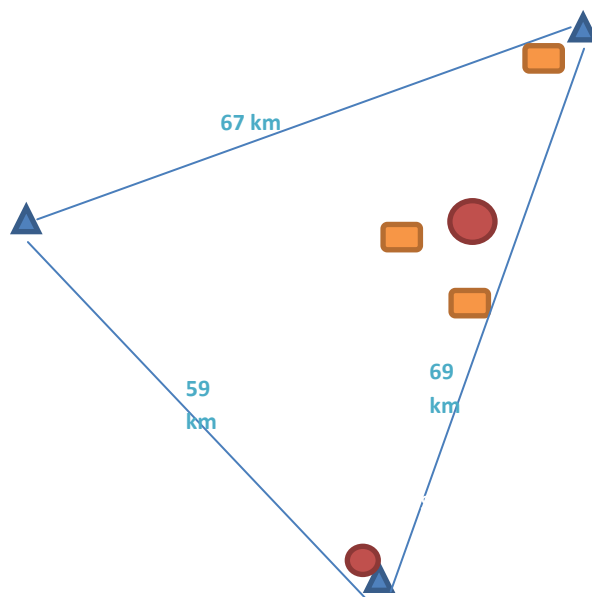
Metoden är utvärderad såväl teoretiskt som praktiskt inom ramen för investeringsprojektet Bana Väg i Väst och FOI-projektet Stomnät i Luften i områden med förtätat nätverks-RTK. Bland de teoretiska rapporterna finns Horemuž (2008) som utvärderar metodens precision med syfte att analysera hur många bakåtojekt (gemensamma punkter) som bör mätas in och hur de ska vara placerade i förhållande till varandra. Praktiska utvärderingar av precisionen är gjorda dels i ett testfält och dels i en produktionsmiljö, se Horemuž (2009a) och Horemuž (2009b). Resultatet från dessa studier visar att RUFRIIS-metoden såväl som traditionella metoder uppfyller absolutnoggrannhetskraven på 10 mm i plan och har relativnoggrannhet på 5 mm i produktionsmiljö. Vidare teoretiska studier av metodens kontrollerbarhet visar att kontrollerbarheten väl överensstämmer med det resultat som framgår i precisionsanalysen, se Horemuž (2011a). Som på visats är koordinater som skattas vid RTK-mätning tidskorrelerade. Horemuž (2011b) visar att tidskorrelationen har en mycket liten påverkan på RUFRIIS-stationsetableringen. Repeterbarheten i metoden studeras i Horemuž (2011c) där det framgår att metoden har en repeterbarhet vid återetablering av station, som är bättre än 2 mm vilket storleksmässigt är på nivå av centreringsfelet över punkt. Resultatet från de teoretiska och praktiska mätningarna är sammanställda i ett underlag till metodbeskrivning, se Andersson (2011).

Avståndet mellan referensstationerna i de nät där de praktiska och teoretiska utvärderingarna är gjorda, är 10 - 20 km. Syftet med det arbete som presenteras i denna rapport är att utvärdera hur RUFRIIS kan användas i det stora SWEPOS-nätet där avståndet mellan stationerna är 70 km.

## 4.3 Fältmätning

### 4.3.1 Referensnät

För att utvärdera RUFRIIS metodens egenskaper i SWEPOS-nätets 70 km-konfiguration har stationsetableringar utförts på 3 platser i Örebro län. Två av utvärderingsplatserna, Åtorp och Krutbruket, är placerade i mitten av en stortriangel och en, Avdala, något närmare en av triangelns referensstationer, se orange rektanglar i



Figur 4, placering av platser för utvärderingsmätningar i förhållande till referensstationer. Röda cirklar visar städer, blå trianglar referensstationer och orange rektanglar försöksområden

På samtliga utvärderingsplatser har ett referensnät etablerats. Varje referensnät består av fyra punkter varav en utgörs av en avvägd RIX95-punkt. De andra punkterna är högst tillfälligt markerade på enklaste sätt. Från RIX95-punkten är de andra punkterna utplacerade med ett inbördes avstånd på ca 50 m, så det maximala punktavståndet blir 150 m, se Figur 5.



Figur 5, nätsskiss över de referensnät som etablerats på var utvärderingsplats<sup>7</sup>

För att koordinatsätta punkterna i nätet genomfördes statistisk GNSS-mätning på RIX95-punkten och på 150m-punkten över 3 timmar. Baslinjen beräknades i LGO<sup>7</sup> där koordinaterna på RIX95-punkten låstes. Eftersom baslinjen är kort och observationstiden lång, bedömdes detta beräkningsätt vara bättre än att använda sig av beräkningstjänsten som SWEPOS upprättat.

Från de GNSS-bestämda punkterna mättes de övriga punkterna in med totalstation i två helsatser. Mätta längder och riktningar i vart nät framgår av Figur 5. Samtliga stationer och signaler etablerades med stativ och

<sup>7</sup> Leica Geo Office

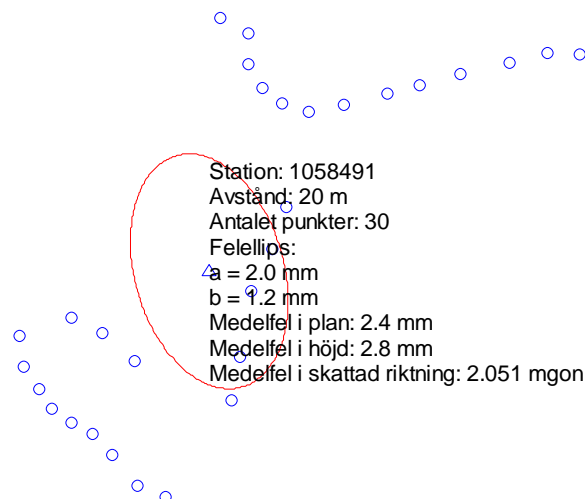
tvångscentrering. Utjämningsen utfördes i programvaran GEO. Samtliga punkter inom näten bedöms ha en relativ noggrannhet på 1 mm.

I höjd koordinat bestämdes alla tillfälliga punkter trigonometriskt. Den relativa höjdnoggrannheten bedöms maximalt vara 2 mm.

### 4.3.2 RUFRIIS

På varje utvärderingsplats etableras RUFRIIS över de två statistiskt mätta punkterna (RIX95 och 150m). Etableringen utfördes med 30 gemensamma punkter enligt underlaget till metodbeskrivning som upprättas av Andersson (2011). De gemensamma punkterna placerades kring totalstationen på sådant sätt att deras placering motsvarade den detaljmätning som normalt utförs i ÅP-projekten. För att utvärdera detaljmätningens noggrannheten vid varje stationsetablering mättes även samtliga punkter i referensnäten in. Totalt etablerades RUFRIIS fyra gånger det vill säga två gånger per punkt, undantaget vid Krutbruket där endast RUFRIIS etablerades över RIX95-punkten på grund av ett missförstånd.

RUFRIIS-beräkningen utfördes i MATLAB i det program som utvecklats på KTH, avdelningen för Geodesi. En mer detaljerad beskrivning av utjämningsprocessen och obekanta parametrar i densamma, finns redovisat i Horemuz (2008). Från programmet presenteras figurer i vilka punktkonfigurationen för var stationsetablering framgår tillsammans med information om medelavståndet till de gemensamma punkterna, information om felellipsens storlek, värden på medelfel för skattade stationskoordinater i plan och höjd samt för skattad stationsorientering, se Figur 6.



Figur 6, exempel på en figur från MATLAB programmet som utvecklats på KTH. De blå ringarna visar placeringen av gemensamma punkter och den röda ellipsen utgör felellipsen för stationsetableringen. Texten presenterar stationsnummer med medelavståndet till de gemensamma punkterna, antalet gemensamma punkter, felellipsens storlek längs huvudaxlarna samt medelfel i plan, höjd och stationsorientering

Resultatet från varje beräkning med tillhörande figurer finns presenterade i bilaga 1. I Tabell 2 är resultatet presenterat från en jämförelse mellan de koordinater som beräknats med RUFRIIS och de som bestämts genom statistisk mätning. Medelavvikelsen i plan omräknat till radiellt fel är maximalt 8 mm och i höjd maximalt 16 mm. Precisionen i RUFRIIS-metoden är bättre än 6 mm radiellt i plan och 10 mm i höjd. Det bör kommenteras att det är svårt att förhålla sig till medelavvikelsens verkliga storlek i plan och höjd, både i de horisontella RIX95-koordinaterna och i de avvägda höjderna och den använda geoidmodellen, finns fel som beror på mätnings- och beräkningsmetoder samt sättningar och rörelser i punktmarkeringarna.

*Tabell 2, sammanställning av skillnaden i stationskoordinater etablerade med RUFRIIS och traditionellt genom statistiskmätning. dN, dE och dH visar medelavvikelsen i norr (N), öst (E) och höjd (H) komponenten och Std visar precisionen i densamma.*

Punkt	dN	dE	dH	Std N	Std E	Std H
Avdala	-0,006	0,002	-0,016	0,002	0,001	0,004
Åstorp	-0,003	-0,004	-0,005	0,003	0,005	0,010
Krutbruket	-0,006	-0,005	0,005	0,000	0,000	0,003

I Tabell 3 finns motsvarande medel- och standardavvikelser presenterade för de inmätta detaljpunkterna. Avvikelserna, både i plan och höjd, är på alla punkter utom vid Krutbruket på samma nivå som vid stationsetableringen, detta trots att avståndet till detaljpunkterna är betydligt större än till de gemensamma punkterna som används vid etableringen av RUFRIIS. Detta strider mot vad som rekommenderas i metodbeskrivningen. Vid stationen i Krutbruket är dock det statistiska underlaget mycket begränsat men resultatet är ett bra exempel på vad som kan ske då man mäter in punkter långt bort från en RUFRIIS-station som etablerats med korta avstånd till de gemensamma punkterna. Vid stationsetableringen i Krutbruket var medelavståndet till de gemensamma punkterna i RUFRIIS etableringen endast 14m respektive 24m. Rekommendationen att mäta in minst 20% av punkterna på ett avstånd som är lika långt bort som det maximala detaljmätningensavståndet kvarstår därför i metodbeskrivningen.

*Tabell 3, sammanställning av resultatet från en jämförelse mellan detaljmätta punkter från RUFRIIS etablerade stationer och utjämnade stationskoordinater. dN, dE och dH visar medelavvikelsen i norr (N), öst (E) och höjd (H) komponenten och Std visar precisionen i densamma.*

Punkt	dN	dE	dH	Std N	Std E	Std H
Avdala	-0,008	0,004	-0,016	0,003	0,006	0,004
Åstorp	0,001	-0,002	-0,006	0,008	0,004	0,009
Krutbruket	-0,015	-0,020	0,009	0,005	0,007	0,003

Resultatet från utvärderingsmätningarna visar att RUFRIIS-metoden ger en hög precision även vid mätningar i det glesa SWEPOS-nätet. Metoden har en precision absolut bättre än 10 mm i plan då stationsetableringen utförs på de sätt som gjorts i testen, det vill säga med 30 gemensamma punkter. Medelfelet i plan och höjd kan bero på RUFRIIS-etableringen, men också på fel relaterade till bestämningen av koordinaterna i RIX 95 vilka enligt Lantmäteriet har ett medelfel på 10 mm. Medelfelet i höjd kan dessutom bero på ett flertal faktorer där en kan vara att geoidmodellen inte överensstämmer med de avvägda höjderna. Medelfelet i geoidmodellen är, enligt Lantmäteriet, 10 mm till 15 mm.



## 5 Sammanfattning

Vid all datafångst inom Trafikverket sker anslutning mot de nationella referenssystemen i plan och höjd. Realiseringen av referenssystemen och mätningssättet styr tillvägagångssättet i och resultaten från datafångstprojekten. Vid GNSS-mätning som exempelvis används för positionering vid datafångst erhålls koordinater i SWEREF 99 som är ett 3D-system. De nationella referenssystemen är uppdelade i ett horisontellt 2D-system<sup>8</sup> och 1D-system<sup>9</sup> i höjddled. För att omvandla geodetiska SWEREF 99 koordinater till det nationella systemet krävs tillgång till en geoidmodell. Lantmäteriet använder geoidmodellen SWENO8\_RH2000 för att bestämma RH2000 höjder från GNSS-mätningarna. Man måste observera att dessa GNSS-bestämda höjder inte har samma kvalitet som de som bestäms från avvägningar. Medelfelet i geoidmodellen är 10 mm -15 mm och därtill ska medelfelet vid GNSS-mätning läggas.

Höjder hämtade från lokala höjdfixar är huvudalternativet vid etablering av höjdstöd och kontrolltytor vid datafångst. Tillgången till höjdfixar längs de sträckor som är aktuella för datafångst varierar avsevärt, se Tabell 1. Även om tillgängligheten är god, är det inte säkert att höjdfixarna går att använda för mätning. Noggrannhetsskillnaden mellan GNSS-mätta och avvägda höjder, ställer till problem i de projekt där inte alla stöd och kontrollsektioner etableras i höjd gentemot höjdfixar. I de fall man tvingas används GNSS-bestämda höjder, bör man så tydligt som möjligt få in denna information i projekten så att man kan hantera problemen i ett senare skede. Förslagsvis så för man in informationen vid upphandling av nästa skede, det vill säga texterna i UB- eller TB-mät. Vidare så bör man i de fall då höjdfixar inte finns tillgängliga eller inte går att använda markera permanenta punkter som mäts in i samband med stöden och kontrollsektionerna. Tillvägagångssättet gör att det i ett senare projektskede då det finns större resurser för mätningsteknik, kan avväga och räkna om koordinater på de totalstationsinmätta punkterna.

Stationsetableringsmetoden realtiduppdaterad fri station (RUFRIIS) har utvärderats som en alternativ metod för inmätning av stöd och kontrollsektioner i SWEPOS-nätet med 70 km avstånd mellan referensstationerna. Metoden tillåter användaren att mäta in de punkter som ingår i stöden eller kontrollsektionerna samtidigt som totalstationens koordinater och orientering skattas. Tillvägagångssättet innebär att endast ett besök krävs vid varje mätplats. Resultatet från utvärderingen visar att metoden ger samma resultat som vid statisk mätning vid användning av SWEPOS-beräkningstjänst med en till tre timmars observationstid. Resultatet visar inget tydligt avståndsberoende till närmsta referensstation även om det är att förvänta.

Medelavvikelsen i metoden är i plan bättre än 10 mm och i höjd maximalt 18 mm. Precisionen skattades till 6 mm i plan och 10 mm i höjd. Det bör noteras att vid de stationsetableringar som gav den största medelavvikelsen var precisionen 4 mm (4 etableringar) vilket tyder på att det finns ett systematiskt fel vid mätningen. En trolig felkälla är SWENO8\_RH2000 geoidens avvikelse mot de avvägda höjderna eller eventuellt instrumenthöjdsfel. Det senare är

---

<sup>8</sup> Projicerade SWEREF 99 koordinater

<sup>9</sup> RH2000

mindre troligt då en mätstång med fast höjd använts och samma stång vid alla utvärderingsplatser.

Det bör kommenteras att, materialet vid utvärderingen är för begränsat för att dra några större slutsatser men tillsammans med de tidigare studierna av RUFRIIS-metoden är det möjligt att förmoda att metoden är användbar för inmätning av stöd och kontrollsektioner i datafångstprojekt med nationell spridning. När höjder inte kan hämtas från närbelägna höjdfixar bör en fysisk punkt markeras som vid senare tillfälle kan avvägas, på så sätt kan mätningarna användas för att höja kvaliteten av insamlad data i ett senare skede i ett investeringsprojekt.

## 6 Referenser

### 6.1 Litteratur

- Andersson, J. V., (2011), Metodbeskrivning RUFRIIS, WSP Samhällsbyggnad
- Edwards S., Clarke P., Goebell S., Penna N., (2006), An examination of commercial network, School of Civil Engineering and Geosciences, The Survey association
- 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
- Häkli P. (2006), Quality of Virtual Data Generated from the GNSS Reference Station Network, XXIII FIG Congress Munich, Germany, October 8 - 13, 2006
- Lilje M., Eriksson P.-O. Olsson P.-A., Svensson R., Ågren J., (2007), RH 2000 och riksavvägningen, LMV-rapport 2007:14
- Švábenský, O., Employment of Virtual Refererence Stations in Deformation Surveys of Railway Track, INGENEO 2008 4th International Conference on Engenering Surveying, Bratislava, Slovakia, October 23-24, 2008
- Ågren J., Engberg L. E.,(2010) Om behovet av nationell geodetisk infrastruktur och dess förvaltning i framtiden, LMV-rapport 2010:11

### 6.2 Samtal

- Lars Jämtnäs (2011) , diskussioner kring utveckling av beräkningstjänsten

# Innehåll

1	Differens mellan RUFRIIS-koordinater och kända koordinater vid Avdala.	21
2	Differens mellan RUFRIIS-koordinater och kända koordinater vid Åstorp.	24
3	Differens mellan RUFRIIS-koordinater och kända koordinater vid Krutbruket .....	27

# 1 Differens mellan RUFRIIS-kordinater och kända kordinater vid Avdala

RUFRIIS + INMÄTNING				Mot LGO				
Pnr	N	E	H		N	E	H	
1058491a	6592353,631	166877,332	37,871	RUFRIIS		-0,007	0,003	-0,013
50	6592405,367	166882,812	37,092	INM		-0,006	0,002	-0,012
100	6592434,163	166936,938	36,569	INM		-0,006	0,001	-0,011
150	6592490,694	166974,507	37,302	INM		-0,005	0,000	-0,011
1058491b	6592353,628	166877,331	37,862	RUFRIIS		-0,010	0,002	-0,022
50	6592405,364	166882,809	37,083	INM		-0,009	-0,001	-0,021
100	6592434,163	166936,934	36,560	INM		-0,007	-0,003	-0,020
150	6592490,695	166974,500	37,293	INM		-0,004	-0,006	-0,020
150a	6592490,694	166974,509	38,918	RUFRIIS		-0,005	0,002	-0,013
50	6592405,359	166882,818	38,709	INM		-0,014	0,008	-0,013
100	6592434,161	166936,944	38,185	INM		-0,008	0,007	-0,013
1058491	6592353,624	166877,343	37,870	INM		-0,013	0,014	-0,014
150b	6592490,696	166974,510	38,914	RUFRIIS		-0,003	0,003	-0,017
50	6592405,364	166882,816	38,705	INM		-0,009	0,006	-0,017
100	6592434,164	166936,943	38,181	INM		-0,005	0,006	-0,017
1058491	6592353,629	166877,339	37,866	INM		-0,008	0,011	-0,018
			Stn etabl	Medel		-0,006	0,002	-0,016
				Std		0,002	0,001	0,004
			Detaljmätning	Medel		-0,008	0,004	-0,016

Std

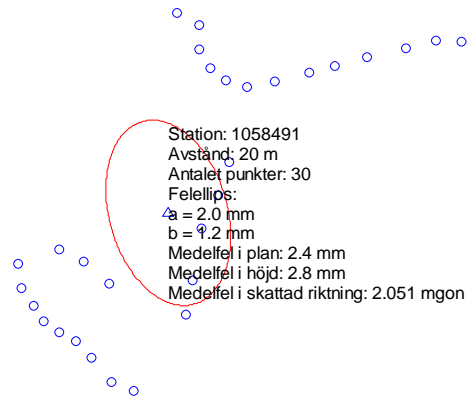
0,003

0,006

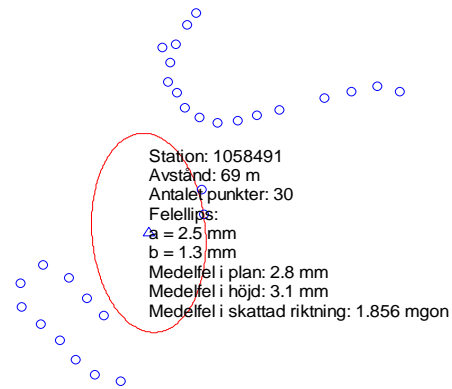
0,004

## 2 Etableringsskisser Avdala

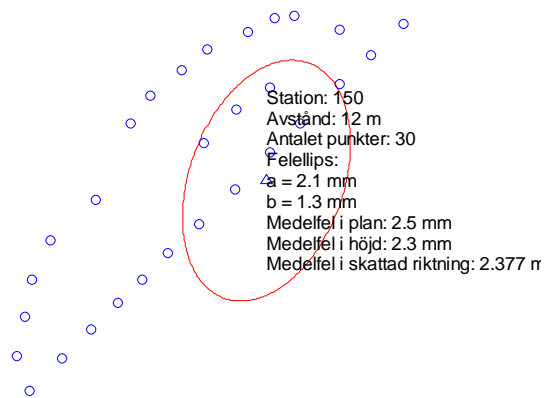
Station: 1058491a



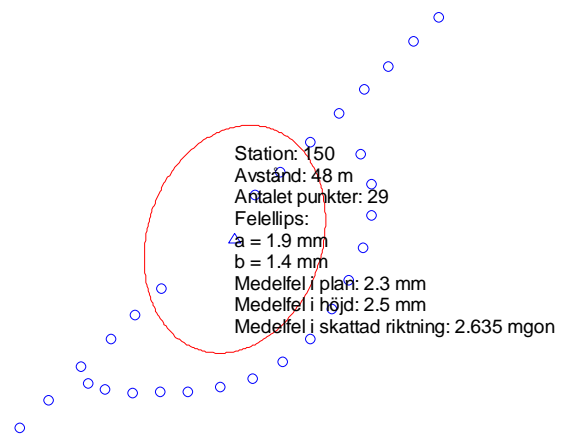
Station: 1058491b



Station: 150a



Station: 150b



### 3 Differens mellan RUFRIIS-kordinater och kända kordinater vid Åstorp

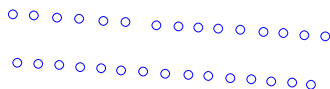
RUFRIIS + INMÄTNING				Mot LGO		
Pnr	N	E	H	N	E	H
1053090a	6569706,033	150904,783	43,291	0,002	-0,011	-0,010
50	6569646,847	150913,483	43,980	0,003	-0,003	-0,011
100	6569627,980	150977,129	43,935	0,011	-0,001	-0,010
150	6569637,831	151043,382	44,312	0,018	0,000	-0,008
1053090b	6569706,026	150904,791	43,282	-0,004	-0,003	-0,019
50	6569646,840	150913,482	43,971	-0,004	-0,004	-0,020
100	6569627,963	150977,126	43,926	-0,006	-0,004	-0,019
150	6569637,804	151043,380	42,762	-0,009	-0,002	-0,016
150a	6569637,805	151043,385	45,868	-0,008	0,003	0,008
50	6569646,848	150913,489	45,537	0,004	0,003	0,005
100	6569627,967	150977,132	45,491	-0,002	0,002	0,005
1053090	6569706,037	150904,801	43,307	0,006	0,008	0,006
150b	6569637,810	151043,377	45,860	-0,003	-0,005	0,000
50	6569646,840	150913,480	45,528	-0,004	-0,006	-0,004
100	6569627,965	150977,125	45,483	-0,004	-0,005	-0,003
1053090	6569706,028	150904,787	43,298	-0,003	-0,007	-0,003
		Stn etabl	Medel	-0,003	-0,004	-0,005
			Std	0,003	0,005	0,010
		Detaljmätning	Medel	0,001	-0,002	-0,006
			Std	0,008	0,004	0,009



## 4 Etableringsskisser Åstorp

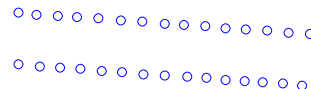
Station: 1053090a

Station: 1053090  
Avstånd: 75 m  
Antalet punkter: 30  
Fellellips:  
 $a = 5.0$  mm  
 $b = 2.0$  mm  
Medelfel i plan: 5.4 mm  
Medelfel i höjd: 2.0 mm  
Medelfel i skattad riktning: 3.210 mgon

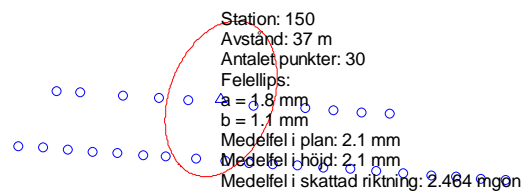


Station: 1053090b

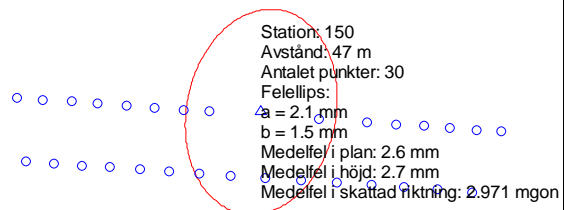
Station: 1053090  
Avstånd: 76 m  
Antalet punkter: 30  
Fellellips:  
 $a = 5.4$  mm  
 $b = 2.0$  mm  
Medelfel i plan: 5.7 mm  
Medelfel i höjd: 2.1 mm  
Medelfel i skattad riktning: 3.556 mgon



Station: 150a



Station: 150b



## 5 Differens mellan RUFRIIS-kordinater och kända kordinater vid Krutbruket

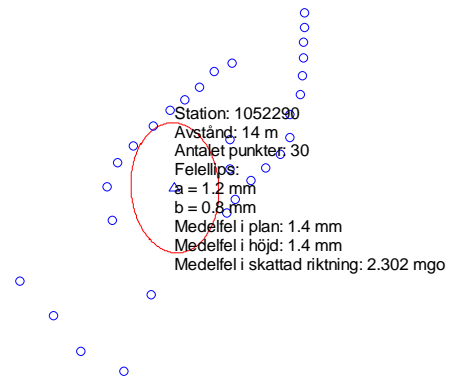
RUFRIIS + INMÄTNING

Mot LGO

Pnr	N	E	H				
1052290	6563268,185	158890,301	42,768		-0,006	-0,005	0,009
50	6563268,666	158845,082	42,055				
100	6563180,726	158949,162	38,794				
150	6563140,155	158996,075	36,878		-0,010	-0,014	0,012
1052290	6563268,186	158890,300	42,761		-0,006	-0,005	0,002
50	6563268,672	158845,081	42,048				
100	6563180,720	158949,151	38,787				
150	6563140,145	158996,061	36,871		-0,020	-0,027	0,005
			Stn etabl	Medel	-0,006	-0,005	0,005
				Std	0,000	0,000	0,003
			Detaljmätning	Medel	-0,015	-0,020	0,009
				Std	0,005	0,007	0,003

## 6 Etableringsskisser Krutbruket

Station: 1052290a



Station: 1052290b

