

RAPPORT  
Höjdmätning med RUFRIIS



**Trafikverket**

Postadress: Rödavägen 1, 781 89 Borlänge

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: Höjdmätning med RUFRIIS

Författare: Johan Vium Andersson

Dokumentdatum: 2017-09-06

Version: 1.0

Kontaktperson: Joakim Fransson

Publikationsnummer: 2017:186

# Innehåll

<b>1. INLEDNING</b> .....	<b>4</b>
<b>2. TIDIGARE STUDIER</b> .....	<b>4</b>
<b>3. UNDERLAG</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1. RUFRISS</b> .....	<b>5</b>
<b>3.2. Geoidmodeller</b> .....	<b>5</b>
<b>3.3. Avvägning</b> .....	<b>6</b>
<b>4. BERÄKNING</b> .....	<b>6</b>
<b>5. OSÄKERHETSANALYS</b> .....	<b>8</b>
<b>6. SLUTSATSER OCH FÖRSLAG TILL ANVÄNDNING AV RUFRISS FÖR HÖJDMÄTNING</b> .....	<b>8</b>
<b>7. PRESENTATIONER</b> .....	<b>9</b>
<b>8. REFERENSER</b> .....	<b>9</b>

# 1. Inledning

Satellitmätning, som effektiviserat all detaljmätning, har en i många fall acceptabel mätosäkerhet i plan men i höjd är saken en annan. I tidigare FoU-projekt Stomnät i luften har Trafikverket, som demonstration, visat på möjligheten att använda en kombination av satellit- och totalstationsmätning i en metod kallad RUFRIIS (Realtidsuppdaterad fri-station). Demonstrationsprojektet visade att RUFRIIS har en låg mätosäkerhet i både plan och höjd.

Följande projekt avser att utvärdera om RUFRIIS kan användas som alternativ till mätmetoder att etablera utgångspunkter i höjd. Syftet är att studera om metoden är tillräckligt stabil för att uppfylla den kravbild som avvägning har idag. Tidigare studier av RUFRIIS har utförts i en begränsad omfattning på enstaka punkter men här används ett större material för att få en bättre bild av den standardosäkerhet som kan förväntas.

Med en alternativ metod till avvägning öppnas möjligheten till kostnadsbesparingar i såväl produktions- som underhållsfasen av en infrastrukturanläggning. I projekt Ostlänken har en mängd RUFRIIS-stationer etablerats för att kontrollera det projekteringsunderlag som upprättats genom luftburen laserskanning. Ett material som kan komma väl till pass vid en utvärdering av metodens tillämpbarhet vid bestämning av höjd.

Följande studie visar att mätosäkerhet för etablering av ellipsoidhöjd har en standardosäkerhet på 4 - 6 mm i SWEPOS-nät med förtätningsgrad på 35 km. Rapporten visar också geoidmodellens kvalitet har en stor betydelse vid bestämning av höjd i RH2000.

## 2. Tidigare studier

Tidigare studier kopplade till RUFRIIS har i huvudsak utförts inom ramen för Trafikverkets forskningsprojekt Stomnät i Luften. Syftet i projektet var bland annat att hitta rationella metoder att gå mellan GNSS-baserade och traditionella mätmetoder. I (Horemuz, 2008) studerades teoretiskt mätosäkerhet vid stationsetablering och vid inmätning av detaljobjekt. (Horemuz, 2009) och (Horemuz, 2009) utvärderades mätosäkerheten i ett testfält samt för inmätning av spår. Metodens tillförlitlighet studerades av (Horemuz, 2011) samt korrelations inverkan vid RTK-mätning i (Horemuz, 2011). (Andersson, 2012) studerade vidare möjligheten att använda metoden i tidiga projekteringskedan. Underlaget från ovanstående rapporter sammanställdes till ett underlag till metodbeskrivning för RUFRIIS, (Andersson, 2011).

Utanför Trafikverkets regi har RUFRIIS som metod utvärderats i ett flertal examensarbeten. (Fridén & Persson, 2009) utvärderar realtidsuppdaterad etablering av fri-station baserat på 10 bakåtoobjekt. (Dannberg & Norrman, 2012), jämför stationsetablering med RUFRIIS mot statisk GNSS-mätning och finner resultatet

jämförbart, med en notering om att RUFRIIS går snabbare och ger ett resultat direkt i fält. (Berg & Gustafsson, 2014) konstaterar i sitt kandidatarbete att RUFRIIS-metoden är effektiv men svårtillämpad i de fall man har dåliga förutsättningar för RTK-mätning.

### 3. Underlag

#### 3.1. RUFRIIS

Projektet baseras på RUFRIIS-etableringar som har utförts vid kontroll av markmodeller i projekt Ostlänken. Totalt etablerades 97 stationer med RUFRIIS i projektet. Samtliga stationsetableringar är etablerade enligt Trafikverkets specifikation för etablering av RUFRIIS som tagits fram för projektet, dvs med minst 15 bakåtojekt, spridda minst 200 gon kring totalstationen och minst 20% av punkterna på ett avstånd som är dubbelt så stort som avståndet till detaljobjekten. Mätningarna påbörjades och avslutades mot ett och samma bakobjekt. Minst en av dessa punkter har markerats beständigt. Vid mätningstillfället har samtidig mätning av vinklar, längder och RTK utförts. Fullständig specifikation framgår av bilaga A. Stakkäppsstöd har använts i de fall förutsättningarna vid mätningen så kräver det, tex vi hård vind.

RTK-mätningen är gjord med SWEPOS nätverks-RTK. Avståndet mellan referensstationerna är 35 km i området. I Tabell 1 Mätosäkerhet i plan och höjd för SWEPOS 35 km nät. Täckningsfaktor  $k=2$  dvs 95%. Geoidmodellens standardosäkerhet ingår ej. Tabellvärden hämtade från tabell C.2.3.a och C.2.3.b

Tabell 1 Mätosäkerhet i plan och höjd för SWEPOS 35 km nät. Täckningsfaktor  $k=2$  dvs 95%. Geoidmodellens standardosäkerhet ingår ej. Tabellvärden hämtade från (Lantmäteriet, 2015) tabell C.2.3.a och C.2.3.b

	Plan (0 – 20 km)	Höjd (0 – 20 km)
Mätosäkerhet	15 – 20 mm (95%)	28 – 36 mm (95%)

#### 3.2. Geoidmodeller

Vid etablering av RUFRIIS erhålls totalstationens koordinater med fri-station baserat på RTK-mätta bakåtojekt. För att kunna jämföra höjder som är avvägda mot RTK-mätta krävs en geoidmodell. I Sverige har Lantmäteriet etablerat en nationell geoidmodell SWEN08\_RH2000. Denna geoidmodell har en standardosäkerhet på 10 – 15 mm, 68% (Ågren & Engberg, 2011).

I samband med etableringen av Pa-NRTK för projekt Ostlänken konstaterades systematiska avvikelser mellan avvägda och GNSS-bestämda höjder. För att minimera avvikelserna upprättades en ny geoidmodell för området SWEN08\_OSTL. Geoidmodellen upprättades genom att förbättra den nationella modellen, se vidare (Ågren & Ohlsson, 2016). Den nya geoidmodellen har i punkter med kända höjder en standardosäkerhet på 3 mm. Det är rimligt att anta att modellen har en standardosäkerhet på 3 – 5 mm i områden mellan de kända på grund av interpoleringen.

### 3.3. Avvägning

Vid etablering av anslutningsnätet i höjd för Ostlänken avvägdes även permanent markerade punkter för denna RUFRIIS studie. På så sätt erhöles ett samband mellan RUFRIIS-stationer och rikets höjdsystem. Avvägningen är gjord genom precisionsavvägning enligt SIS-TS 21143:2013 med en standardosäkerhet på 1 mm per kilometer. Osäkerheten i avvägda höjder bedöms vara 1-2 mm i förhållande till överordnat referenssystem RH2000

## 4. Beräkning

Totalt beräknades 97 RUFRIIS-stationer och 94 av dessa är etablerade över avvägda punkter. Detta medför att 94 stationer ingår i analysen. Beräkningen är gjord i en specialskriven kod för RUFRIIS, skriven i Matlab. Programmet beräknar stationskoordinater samt stationens orientering baserat på totalstationsobservationer och RTK-positioner. Utjämningsen sker i 3D till skillnad från andra programvaror som delar upp utjämningsen en i en plan och en höjdkomponent. (Khameneh, Horemuz, Jensen, & Andersson, 2017) beskriver det utförda beräkningsförloppet i detalj.

Vid beräkningen har två olika geoidmodeller använts. SWEN08\_RH2000 är Sveriges nationella geoidmodell som tagits fram för GNSS-mätning av Lantmäteriet. SWEN08\_OSTL är en projektanpassad modell framtagen specifikt framtagen för projekt Ostlänken.

Statistik på uppmätta höjdskillnader mellan RUFRIIS bestämda och avvägda höjder finns sammanställt i Tabell 2. Medelvärdet vid användning av SWEN08\_RH2000 visar att det finns en systematiskt höjdavvikelsen på 6 mm. Höjdavvikelsen är inte en konstant för hela Ostlänken utan den systematiska avvikelsen representerar ett lutande plan, se Figur 1.

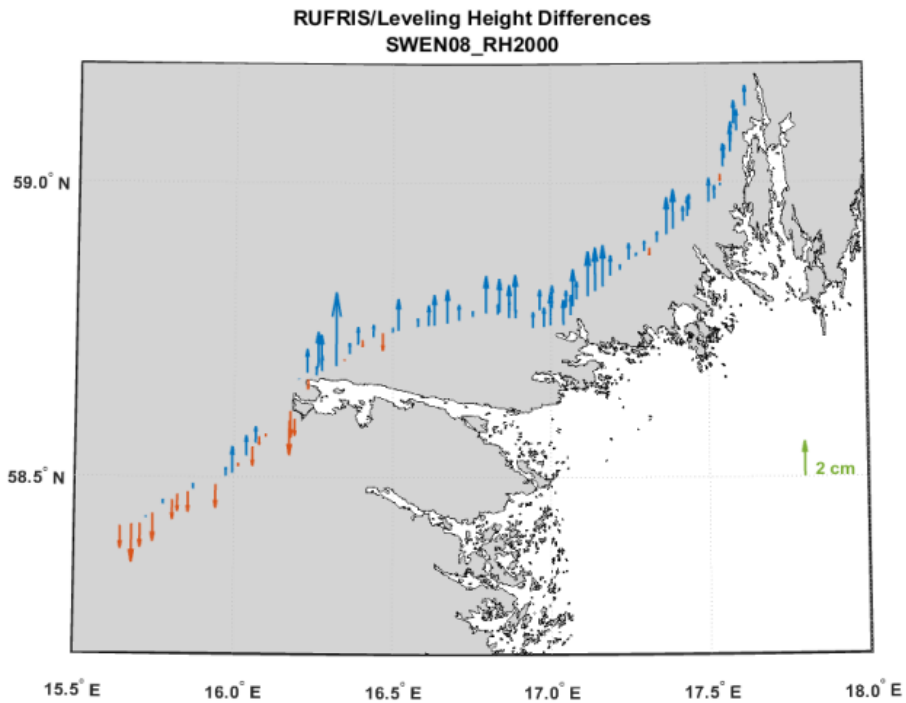
Den systematiska höjdavvikelsen är reducerad vid användning av den projektanpassade geoidmodellen. Medelvärdet för avvikelsen mellan avvägd höjd och RUFRIIS bestämd höjd är 0 mm och standardosäkerheten är 7 mm.

Det ska noteras att vid beräkningarna signalerades en höjdskillnad som ett grovt fel . Avvikelsen från avvägt värde för denna station är 32 mm. Det grova felet kan mycket troligt relateras till en felaktig stansning av signal eller instrument höjd vid mätningstillfället. I Tabell 2 framgår resultatet med och utan det grova felet.

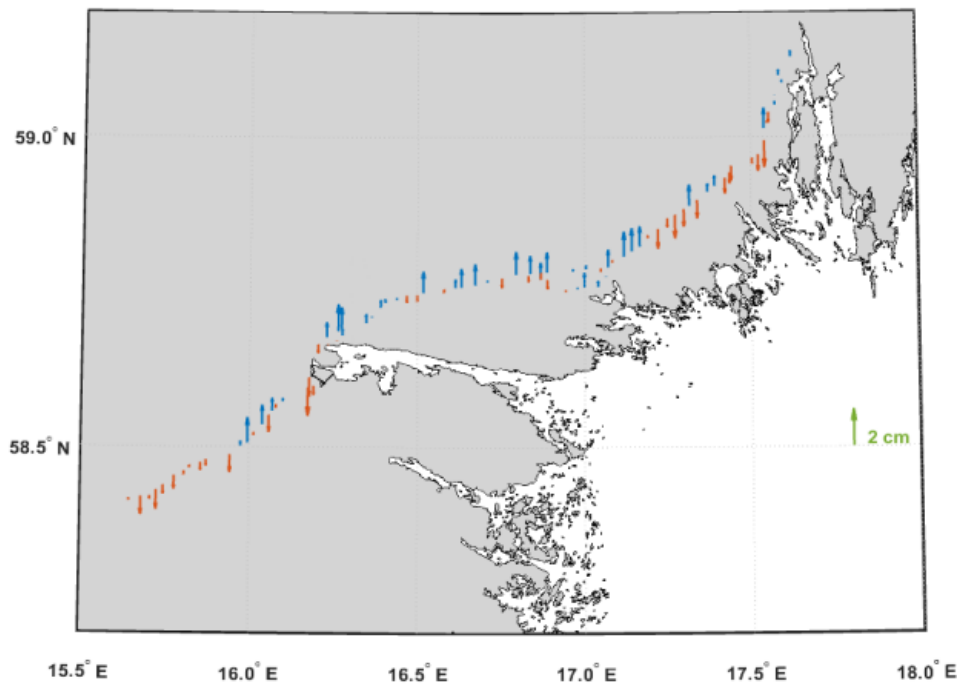
Tabell 2, statistisk analys av skillnaden mellan beräknade RUFRIIS höjder och avvägda höjder, från (Khameneh, Horemuz, Jensen, & Andersson, 2017).

	SWEN08_RH2000		SWEN08_OSTL	
	Alla observationer	Utan grova fel	Alla observationer	Utan grova fel

medelvärde	7 mm	6 m	1 mm	0 mm
standardosäkerhet	12 mm	11 m	9 mm	7 mm



Figur 1 residualer mellan beräknade RUFRIS bestämda höjder och avvägda höjder baserat på SWEN08\_RH2000



Figur 2 residualer mellan beräknade RUFRIS bestämda höjder och avvägda höjder baserat på SWEN08\_OSTL

## 5. Osäkerhetsanalys

I resultatet från ovanstående studie framgår att man kan bestämma RUFRIIS stationer med en standardosäkerhet i höjd på  $u(h_{resultat}) = 7 \text{ mm}$  inom projektområdet för Ostlänken. Resultatet bygger på att det finns en projektanpassad geoidmodell med låg standardosäkerhet. RUFRIIS-metodens standardosäkerhet vid etablering av ellipsoidhöjd där geoidmodellen inte är tillgänglig är något lägre. Detta visas av följande formelsamband:

$$u(h_{resultat})^2 = u(h_{RUFRIIS})^2 + u(h_{avv})^2 + u(h_{geoid})^2$$

Där  $u(h_{resultat})$  är den standardosäkerhet som skattats för RUFRIIS-etablering för projekt Ostlänken,  $u(h_{RUFRIIS})$  är standardosäkerheten för RUFRIIS-etablering,  $u(h_{avv})$  standardosäkerheten vid avvägning och  $u(h_{geoid})$  är standardosäkerheten i geoidmodellen. Skrivs formelsambandet om så erhålls en skattning av standardosäkerheten för RUFRIIS-etablering enligt

$$u(h_{RUFRIIS})^2 = u(h_{resultat})^2 - u(h_{avv})^2 - u(h_{geoid})^2$$

Om man då antar att standardosäkerheten i avvägda höjder är 1-2 mm, standardosäkerheten i den projektanpassade geoidmodellen är 3 – 5 mm, erhålls en standardosäkerhet vid höjdbestämning av en RUFRIIS på 4 – 6 mm. Resultatet överensstämmer väl med det teoretiska värde som (Horemuz, 2008) bestämde vid simulering och överensstämmer väl med det praktiska resultat som presenteras av (Horemuz, 2009).

## 6. Slutsatser och förslag till användning av RUFRIIS för höjdmätning

På frågan om RUFRIIS kan ersätta traditionell avvägning så är svaret i vissa fall ja och andra nej. RUFRIIS är helt klart ett alternativ till traditionell avvägning då avståndet till markerade höjdfixar i rikets höjdsystem är längre än 7-9 km då mätosäkerheten i mätmetoderna då är lika stora. RUFRIIS är också ett alternativ då kraven på absolut koppling till överordnat referenssystem inte är så hårt eller då osäkerheten vid mätningarna tillåter det.

Om RUFRIIS används i projekt där höjdfixar finns tillgängliga ska höjdskillnaden först kontrolleras mellan RUFRIIS bestämda höjder och avvägda och eventuella systematiska effekter som orsakas av geoidmodellen tas bort.

Följande studie visar att tidigare framtagen metodbeskrivning för etablering av RUFRIIS möjliggör en höjdbestämning med standardosäkerhet på 4-6 mm. Utvärderingen är gjord i ett SWEPOS-nät med förtättningsgrad på 35 km.

För att uppnå resultatet i studien ska:



- all utrustning vara kalibrerad och kontrollerad innan fältmätning
- mätningar utföras enligt RUFRIIS metodbeskrivning, dvs minst 15 bakåtojekt, 200 gons spridning och 20% av punkterna placerade minst 150 meter bort från stationen
- förutsättningar för RTK-mätning finnas på platsen, dvs fri sikt till satelliter och en god satellitgeometri
- vid mätning i RH 2000 standardosäkerheten i geoidmodellen beaktas då resultatet kommer påverkas.

## 7. Presentationer

Inom ramen för projektet har metoden RUFRIIS presenterats internt Trafikverket oktober 2016.

Resultatet från forskningsprojektet har presenterats på kartdagarna i Örebro, RUFRIIS SOM EN ALTERNATIV METOD TILL AVVÄGNING, M.Amin Alizadeh-Khameneh, WSP

Resultatet har presenterats på International Conference on Localization and GNSS ICL\_GNSS 2017 som hölls på universitet i Nottingham i slutet av juni 2017.

En vetenskaplig rapport har publicerats, se (Khameneh, Horemuz, Jensen, & Andersson, 2017), (inte ännu utgiven).

## 8. Referenser

Andersson, J. V. (2011). *Underlag till Metodbeskrivning RUFRIIS*. Borlänge: Trafikverket.

Andersson, J. V. (2012). *Kompletterande studier kring detaljmätning vid datafångst i tidiga projektskeden*. Stockholm: Trafikverket.

Berg, O., & Gustafsson, K. (2014). *Den praktiska användningen av realtidsuppdaterad fri station*. Stockholm: KTH.

Dannberg, S., & Norrman, M. (2012). *RUFRIIS vs Trepunktsmetoden*. Trollhättan: Högskolan Väst.

Fridén, A., & Persson, A.-K. (2009). *Realtidsuppdaterad etablering av fri-station*. Gävle: Lantmäteriet.

Horemuz, M. (2008). *Realtidsuppdaterad fri station, Precisionsanalys*. Stockholm: KTH.

Horemuz, M. (2009). *Detaljämätning utan klassiskt stomnät, Testmätningar plan A, databearbetning och analys*. Stockholm: KTH.

Horemuz, M. (2009). *Detaljämätning utan klassiskt stomnät, Testmätningar plan B, databearbetning och analys*. Stockholm: KTH.

Horemuz, M. (2011). *Stomnät i luften för anläggningsprojekt, Projektanpassat Nätverks-RTK, Korrelationsanalys vid RUFRIIS*. Stockholm: KTH.

- Horemuz, M. (2011). *Realtidsuppdaterad fri station Tillförlitlighetsanalys*. Stockholm: KTH.
- Horemuz, M., & Andersson, J. V. (2011). Analysis of the precision in free station establishment by RTK . *Analysis of the precision in free station establishment by RTK* , Vol 43 No 323.
- Khameneh, A. A., Horemuz, M., Jensen, A., & Andersson, J. V. (2017). Investigation of the RUFRIIS Method with GNSS Total Station for Leveling. *ICL 2017* (ss. -). Nottingham: IEEE.
- Lantmäteriet. (2015). Geodesi: GNSS-baserad detaljmätning. i L. Jämnäs. Gävle: Lantmäteriet.
- Lantmäteriet. (2015). *HMK- GNSS*. Gävle: Lantmäteriet .
- Ågren, J., & Engberg, L. E. (2011). *Om behovet av nationell geodetisk infrastruktur och dess förvaltning i framtiden*. Gävle: Lantmäteriet.
- Ågren, J., & Ohlsson, K. (2016). *SWEN08\_OSTL, en specialanpassad geoidmodell för Ostlänksprojektet*. Gävle: Lantmäteriet.