



Noggrann höjdbestämning med den nya nationella geoidmodellen SWEN17_RH2000

Jonas Ågren, Christina Kempe, Lotti Jivall

Lantmäteriet,
Enheten för Geodetisk Infrastruktur,
Sektionen för Referenssystem

Introduktion

- En bra geoidmodell är en förutsättning för **höjdbestämmning med GNSS**,

$$H = h_{\text{GNSS}} - N_{\text{Geoidmodell}}$$

- Höjdnoggrannheten beror både på geoidmodellen och på GNSS-höjdmätningen,

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_{\text{GNSS}}^2 + \sigma_{\text{geoidmodell}}^2}$$

- Det är nu snart 9 år sedan den tidigare nationella geoidmodellen **SWEN08_RH2000** publicerades.
- Sedan dess har arbete pågått med att förbättra den, bland annat genom att göra omfattande **tyngdkraftsmätningar**, förbättra **GNSS/avvägningsobservationerna** och genom att beräkna en ny Nordisk geoidmodell, **NKG2015**, i internationellt samarbete.
- Lantmäteriet **släpper nu (i slutet av oktober 2017) den nya nationella geoidmodellen SWEN17_RH2000***, som har beräknats genom att specialanpassa NKG2015 till SWEREF 99 och RH 2000 över Sverige. Lansering kommer att ske under hösten.
- Syftet med denna presentation är att beskriva SWEN17_RH2000, jämföra med SWEN08_RH2000 och utvärdera standardosäkerheten.

*) Precis som tidigare släpper Lantmäteriet även en syskonmodell, SWEN17_RH70, som är anpassad till RHB 70. Denna behandlas ej här.

Innehåll

- Olika typer av geoidbestämning
- Tillbakablick: Den tidigare nationella geoidmodellen SWEN08_RH2000
- Nya tyngdkraftsmätningar i Sverige (Vänern, Fjällen, mm.)
- Den nya Nordiska gravimetriska geoidmodellen NKG2015
- Förbättrade GNSS/avvägningsobservationer
- Om beräkningen av SWEN17_RH2000
- Uppskattad standardosäkerhet
- Jämförelse mellan SWEN17_RH2000 och SWEN08_RH2000
- Utvärdering i tre Trafikverksprojekt
- Sammanfattning
- Extra: SWEN17_RH70, grid och interpolation

Olika typer av geoidbestämning

- **Gravimetrisk** geoidbestämning
 - Geoidhöjden beräknas ur tyngdkraftsobservationer, dynamiska satellitobservationer (GRACE, GOCE, ...), höjdmodell (DEM), djupmodell (batymetri), mm.
 - Komplicerad matematisk/fysikalisk metod (t.ex. KTH-metoden, utvecklad av Prof. Lars E Sjöberg m.fl. 1991, 2003, 2017).
 - Kontinuerlig yta (eller snarare ett grid), globalt anpassad nollnivå, inte justerad till de nationella referenssystemen.

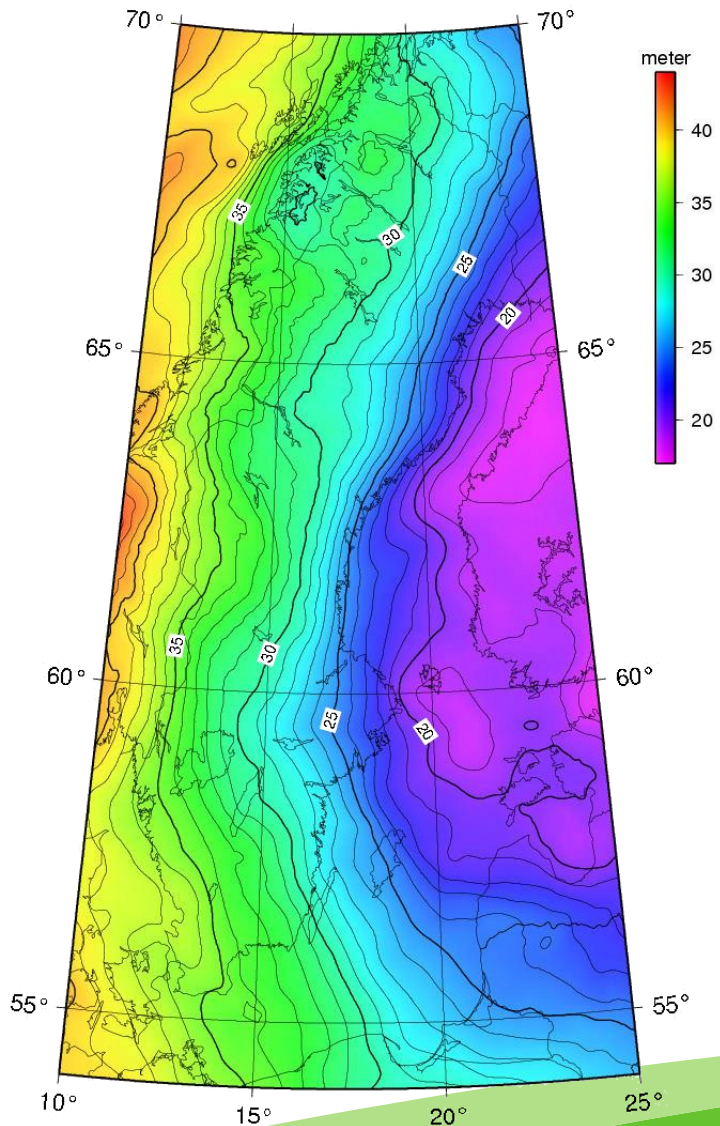
- **Geometrisk** geoidbestämning (**GNSS/avvägning**)

- Geoidhöjder bestäms genom GNSS-mätning på avvägda höjdfixar,

$$N_{GNSS/avvägning}(P) = h_{GNSS}(P) - H_{avvägning}(P)$$

- Punktvis bestämning, anpassad till de nationella referenssystemen.
- Vanligtvis beräknas **nationella geoidmodeller** genom att anpassa en gravimetrisk geoidmodell till ett större antal GNSS/avvägningsobservationer (om landet ifråga har ett avvägningsbaserat höjdsystem).
- Detta görs fördelaktigast genom att addera ett **skift** och en **jämn korrektionssyta** (eller **restfelsyta**) till den gravimetriska modellen (korrigerar för olika nollnivåer, långvågiga fel i höjdsystemet och i den gravimetriska geoidmodellen).

Tillbakablick: Den tidigare nationella geoidmodellen SWEN08_RH2000



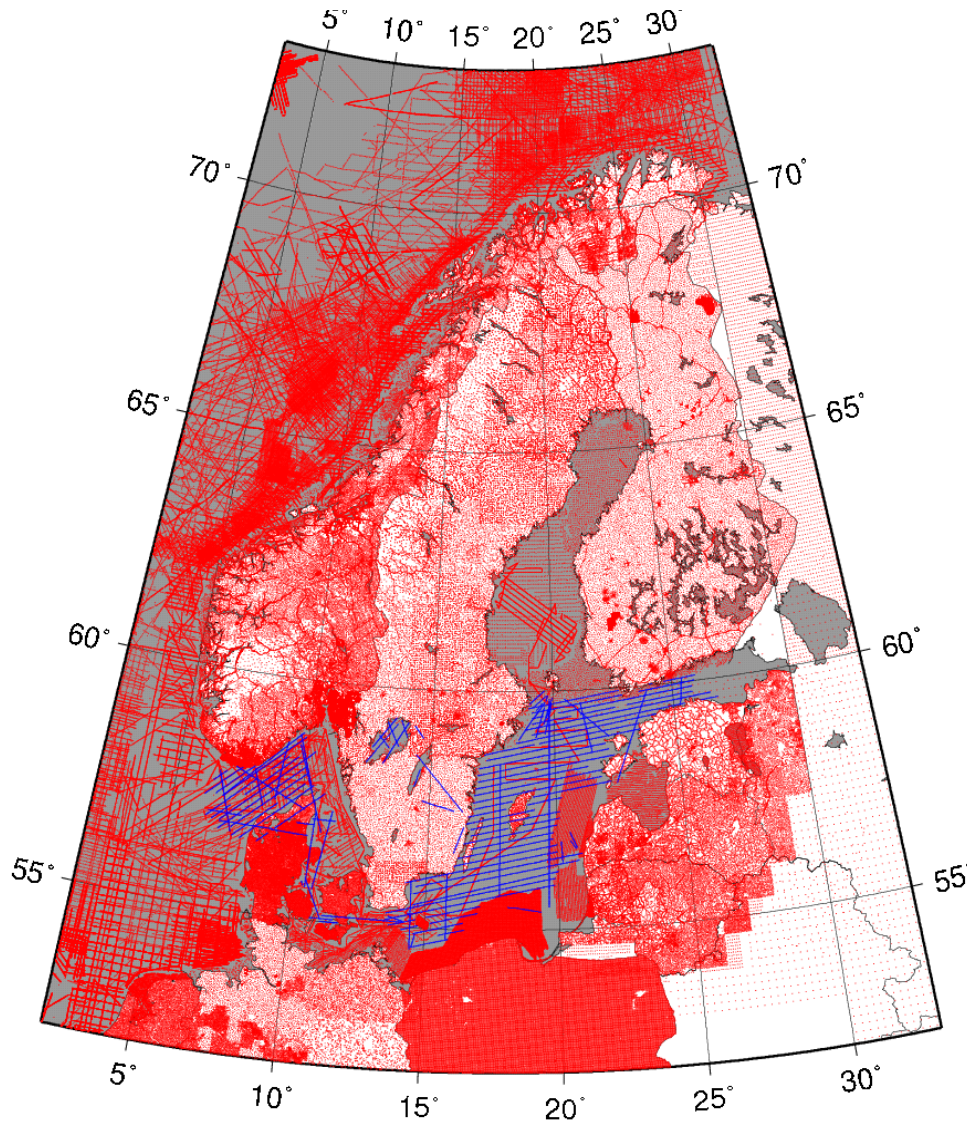
- Beräknad genom att anpassa den gravimetriska geoidmodellen **KTH08** till de svenska nationella referenssystemen **SWEREF 99** och **RH 2000**,
- Detta har gjorts genom att addera ett skift och en jämn restfelsyta baserad på jämförelse mot GNSS/avvägning:

$$N_{\text{SWEN08_RH2000}} = N_{\text{KTH08}} + \text{Skift} + \Delta N_{\text{Restfelsyta}} \left(+\Delta h_{\text{noll} \rightarrow \text{tidjordsfri}} \right)$$

- Restfelsytan beräknades med **Kollokation**.
- **GNSS/avvägning**: 25 SWEPOS, 181 SWEREF och **1364 RIX 95**.
- **Standardosäkerheten** (medelfelet, 1 sigma) för SWEN08_RH2000 är 10-15 mm i hela landet (utom i "de högsta fjällen i nordväst")
- Standardosäkerheten i **"de högsta fjällen i nordväst"** och till havs ligger förmodligen runt 5-10 cm. Mycket osäkert.

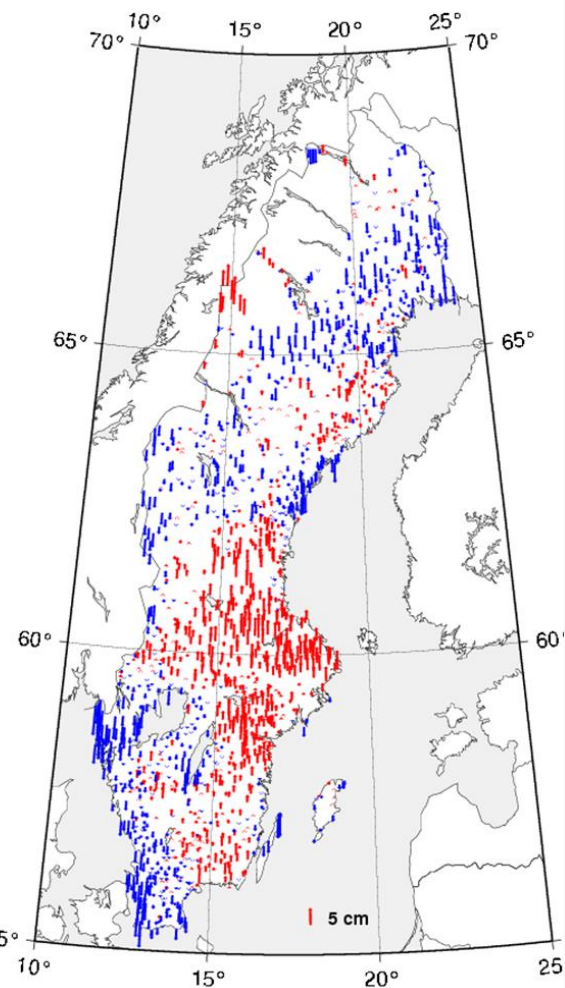
Tillbakablick: Tyngdkraftsdata för KTH08

270 204 observationer ur NKGs tyngdkrafts-databas (ver. 2004) användes för KTH08.

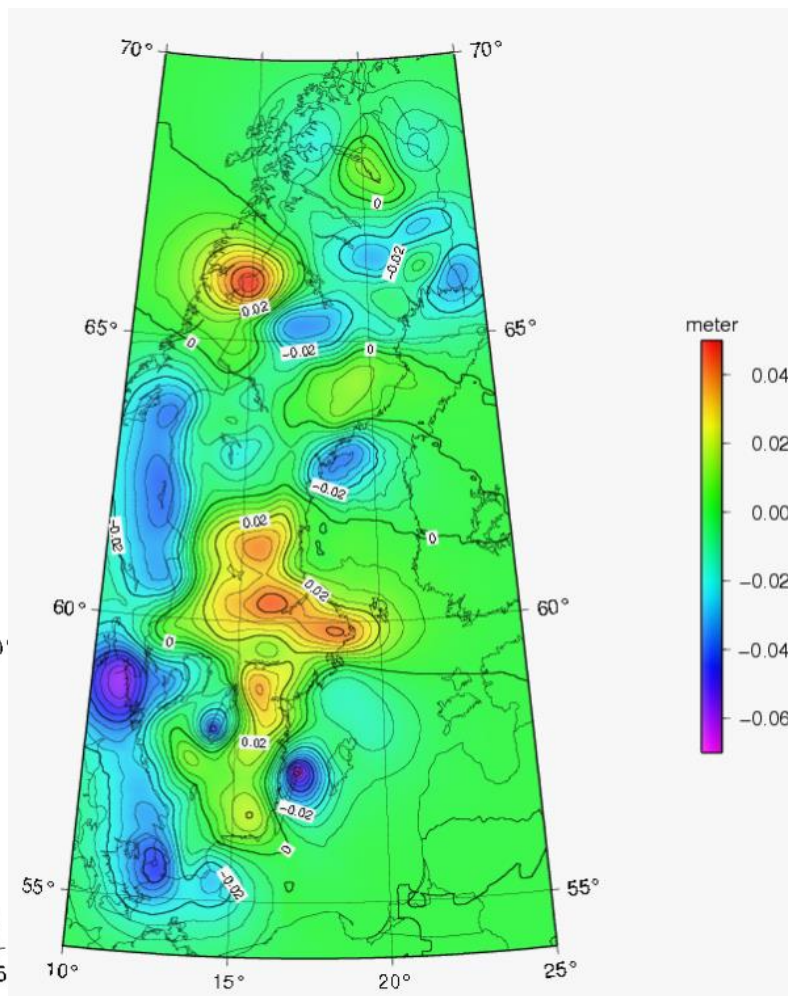


Anpassning av SWEN08_RH2000 till GNSS/avvägning

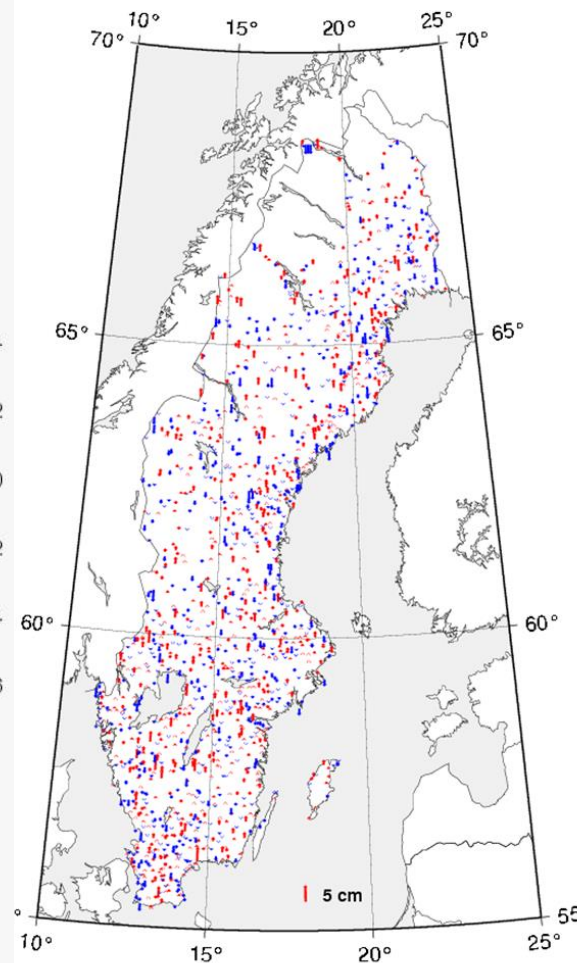
Residualer för KTH08
(efter ett skift)



Jämn restfelssyta
(skattad med Kollokation)



Residualer för
SWEN08_RH2000



Sammanfattning av aktiviteter för att förbättra den svenska geoidmodellen efter SWEN08_RH2000

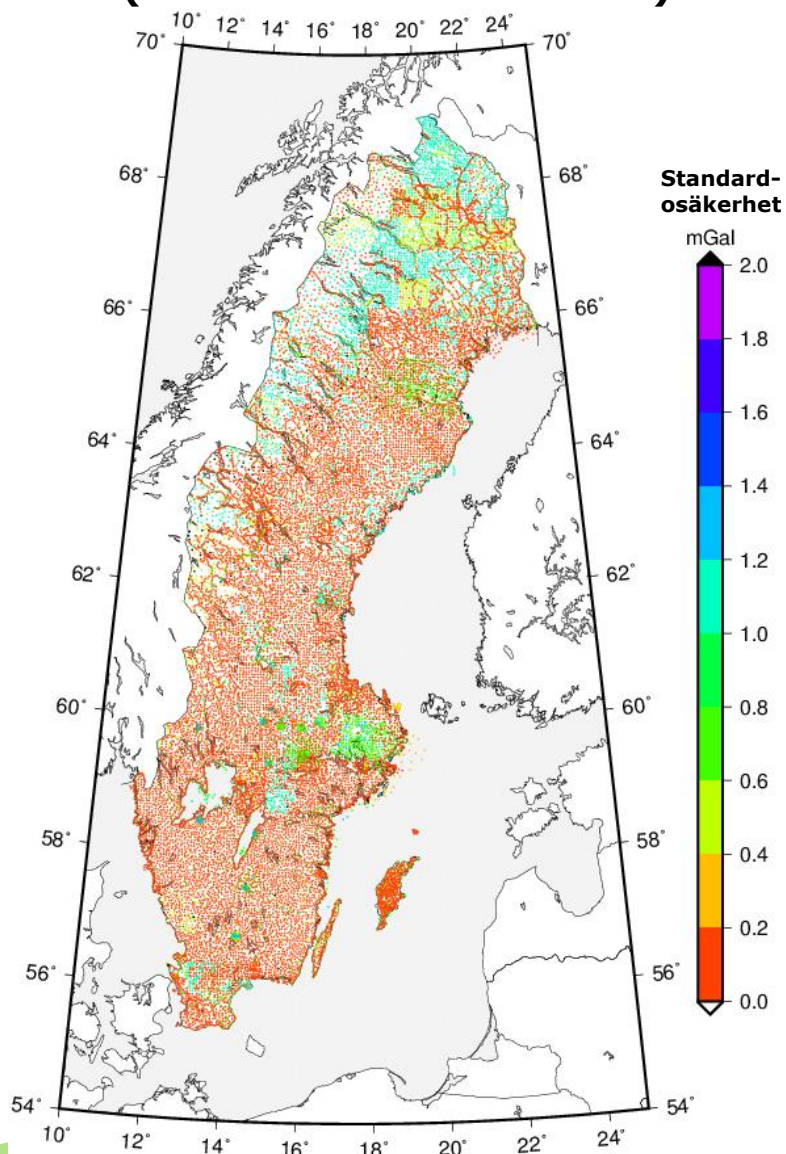
- Den svenska **detaljtyngdkraftsdatabasen** har kontrollerats och kompletterats med nya mätningar, framförallt i Fjällen och Vänern.
- En ny **Nordisk gravimetrisk geoidmodell (NKG2015)** har beräknats i internationellt samarbete med uppdaterade data och förbättrad metod (NKG = Nordiska Kommissionen för Geodesi).
- **GNSS/avvägningsobservationerna** har förbättrats. Kärnan i det nya datasetet är Lantmäteriets **SWEREF-punkter**, vars GNSS-höjd har bestämts med 48 timmars mätning med Chokeringantenner och state-of-the-art beräkning.
- Arbete med ett nytt nationellt tyngdkraftssystem **RG 2000 pågår**. (Trots att detta inte är färdigt har vi kunnat dra nytta av det som här gjorts för att ansluta de nya tyngdkraftsobservationerna till en kvalitetskontrollerad referens.)
- Lantmäteriet deltar aktivt i de delar av **FAMOS**-projektet som syftar till att förbättra geoidmodellen **till havs** i Östersjön. Bland annat har vi nyligen införskaffat en ny marin gravimeter.

Sammanfattning av aktiviteter för att förbättra den svenska geoidmodellen efter SWEN08_RH2000

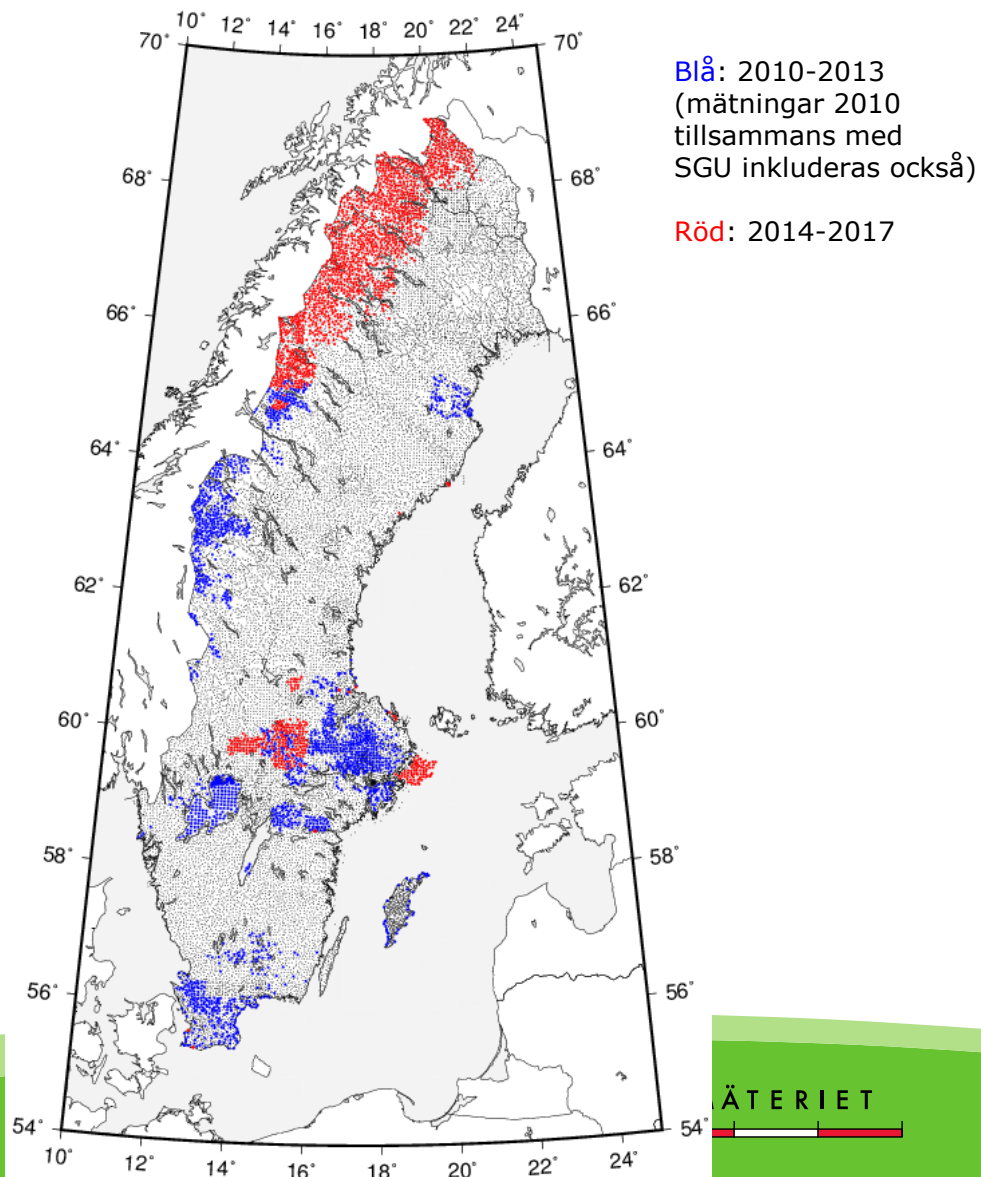
- Den svenska **detaljtyngdkraftsdatabasen** har kontrollerats och kompletterats med nya mätningar, framförallt i Fjällen och Vänern.
- En ny Nordisk gravimetrisk geoidmodell (NKG2015) har beräknats i internationellt samarbete med uppdaterade data och förbättrad metod (NKG = Nordiska Kommissionen för Geodesi).
- GNSS/avvägningsobservationerna har förbättrats. Kärnan i det nya datasetet är Lantmäteriets SWEREF-punkter, vars GNSS-höjd har bestämts med 48 timmars mätning med Chokeringantenner och state-of-the-art beräkning.

Lantmäteriets tyngdkraftsdatabas (detaljdata)

Vid tiden för beräkningen av
KTH08/SWEN08_RH2000
(ca 26 000 observationer)



Nymätt detaljmätning sedan 2010
(3441 observationer)



Metod för detaljmätning av tyngdkraft (sedan 2011)

- **Relativ** tyngdkraftsmätning med den relativa gravimetern **Scintrex CG5**.
- Anslutning på känd punkt (oftast bestämd med absolutgravimetern A10) morgon och kväll.
- Mätning med CG5 under 5 minuter.
- Höjd och horisontellt läge bestäms med **SWEPOS Nätverks RTK tjänst** (Virtuell RINEX i punkter med dålig mobiltäckning).



Foto: Andreas Engfeldt



Tyngdkraft på Vänern 2011

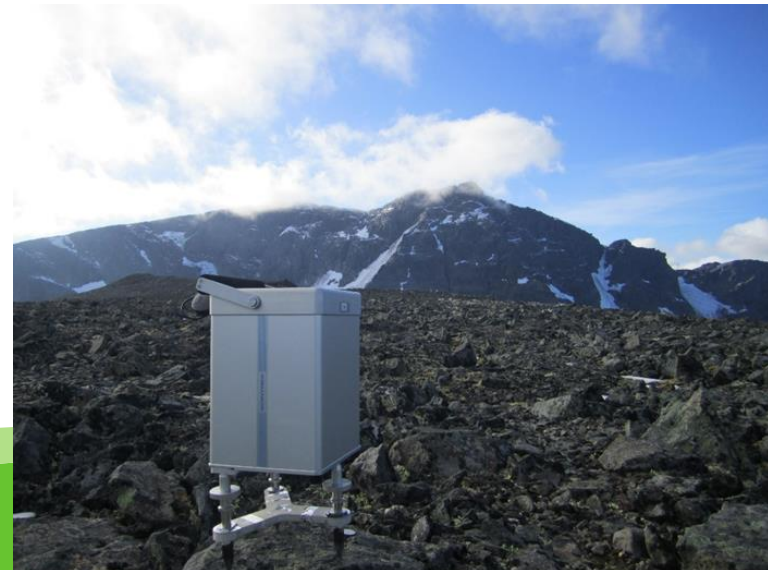


Tyngdkraftsmätning i Fjällen (2012-2016)



Foto: Andreas Engfeldt

- Startade i augusti 2012
- Helikopter för förflyttning mellan punkterna
- I övrigt samma mät-procedur som ovan.
- Konceptet fungerade bra.



Sammanfattning av aktiviteter för att förbättra den svenska geoidmodellen efter SWEN08_RH2000

- Den svenska detaljtyngdkraftsdatabasen har kontrollerats och kompletterats med nya mätningar, framförallt i Fjällen och Vänern.
- En ny **Nordisk gravimetrisk geoidmodell (NKG2015)** har beräknats i internationellt samarbete med uppdaterade data och förbättrad metod (NKG = Nordiska Kommissionen för Geodesi).
- GNSS/avvägningsobservationerna har förbättrats. Kärnan i det nya datasetet är Lantmäteriets SWEREF-punkter, vars GNSS-höjd har bestämts med 48 timmars mätning med Chokeringantenner och state-of-the-art beräkning.

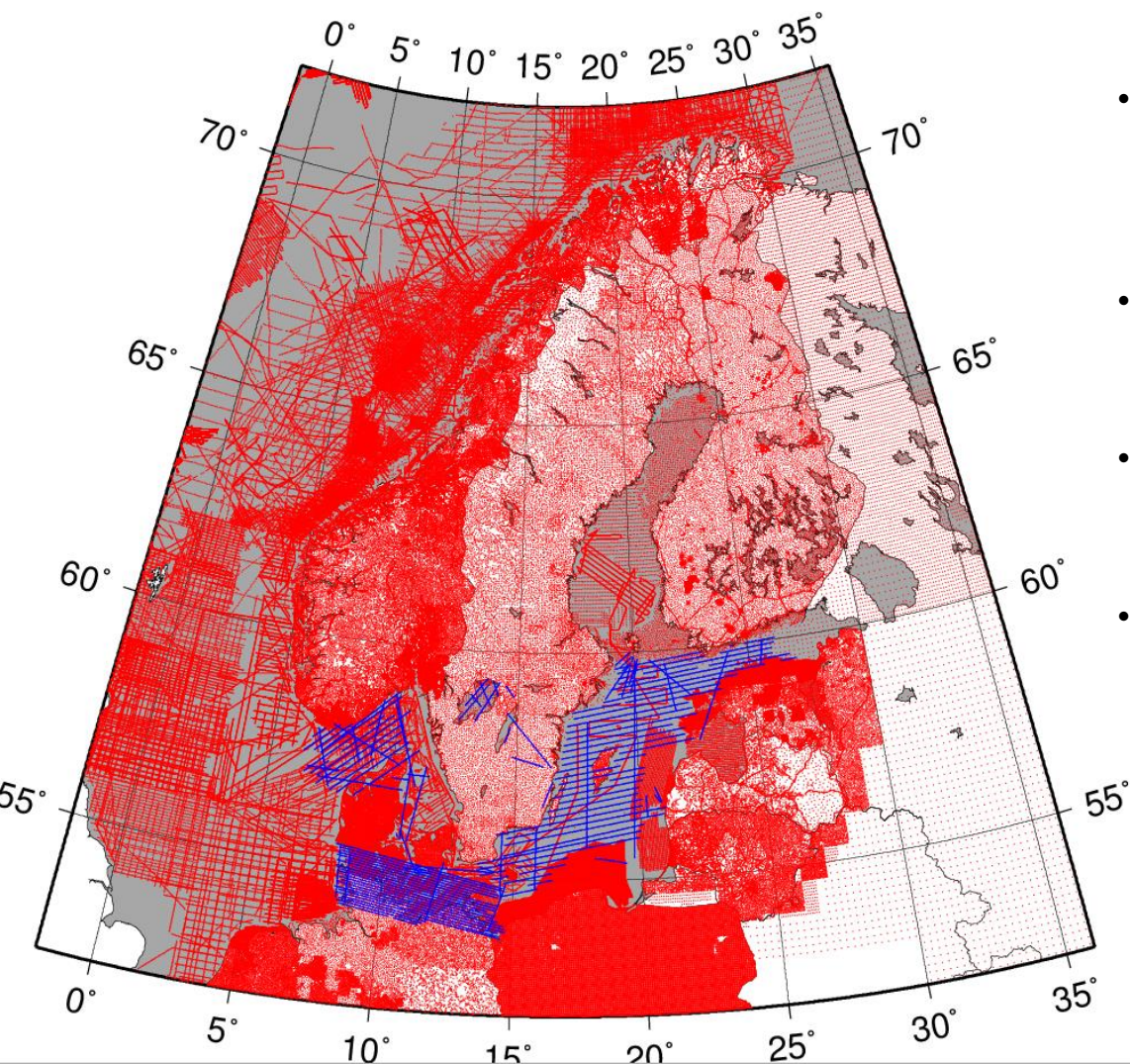
Den nya Nordiska gravimetriska geoidmodellen NKG2015



- Genom åren har ett antal **gravimetriska geoidmodeller** beräknats av den Nordiska Kommissionen för Geodesi (NKG), nämligen:
 - NKG1986 (Tscherning and Forsberg 1986)
 - NKG1989 (Forsberg 1990)
 - NKG1996 (Forsberg et al. 1996)
 - NKG2002
 - NKG2004
- **NKG2015-projektet** startade 2011 och syftade till att beräkna nästa officiella NKG- (kvasi)geoidmodell i Nordiskt/Baltiskt samarbete. Projektledare: Jonas Ågren
- Den slutgiltiga **NKG2015-modellen släpptes den 6 oktober 2016** (Ågren et al. 2016).
- Projektet har bestått av följande fyra delar:
 - **Specifikation** (bestämma vad göra, definitioner/konventioner om referenssystem, den permanent tidjorden, referensepok för landhöjningen, mm.)
 - **Uppdatering av data och databaser** (Tyngdkraftsdatabasen, DEM, GNSS/avvägning, Istjockleksmodell för de större norska glaciärerna)
 - **Beräkning** (fem beräkningscentra, jämförelse av olika beräkningsmetoder, kompletterande undersökningar rörande griddning av tyngdkraftsdata)
 - **Publicering** (pågår).

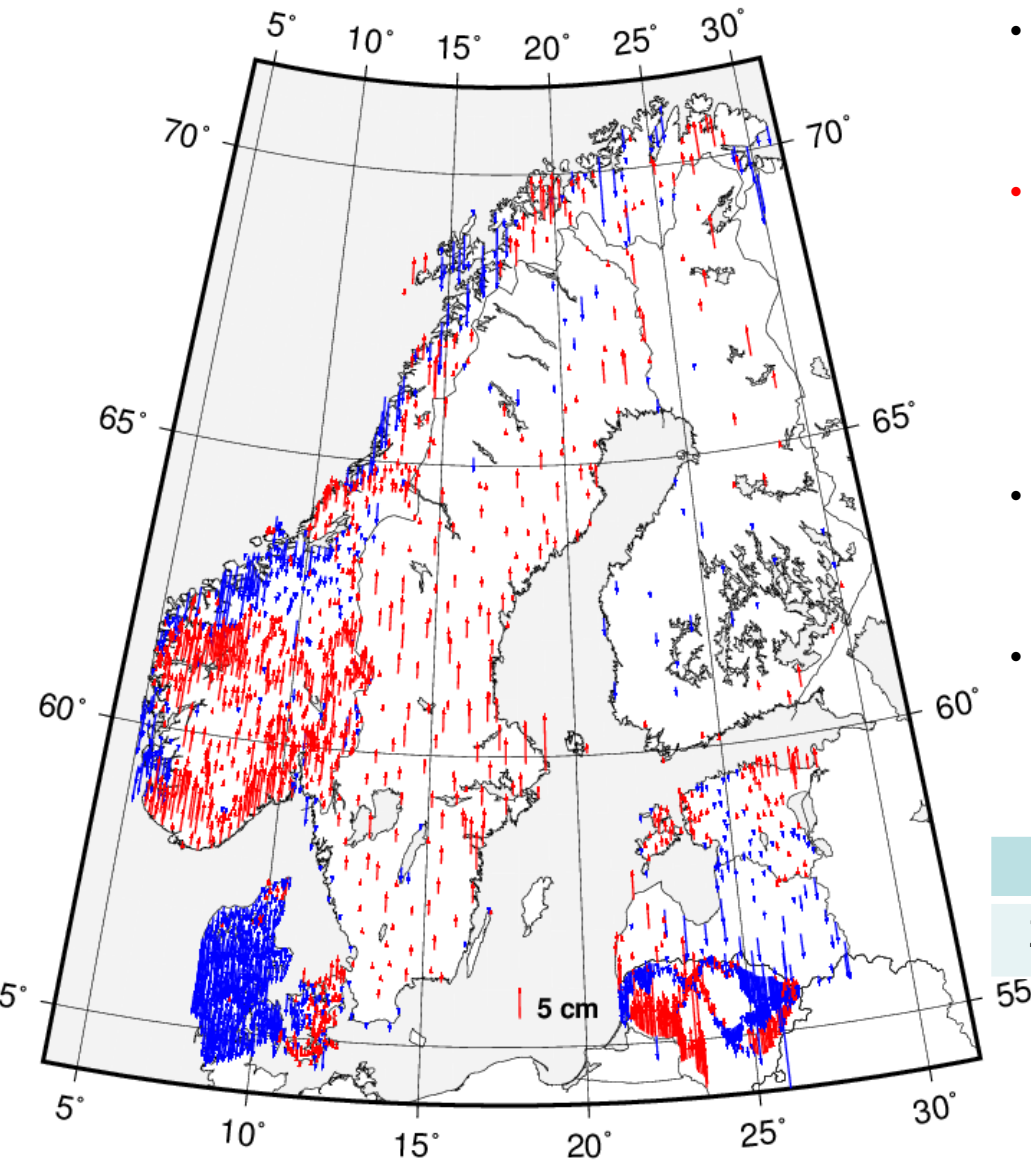


NKGs tyngdkraftsdatabas



- Databasen har **moderniserats** med en ny databashanterare, men med samma underliggande **80-character format** som förut.
- Tyngdkraftsdata **uppdaterade och kvalitetskontrollerade** i **alla** de Nordiska och Baltiska Länderna
- Horisontella positioner och höjder transformerade till de nationella ETRS89- och EVRS-realiseringsarna.
- Tyngdkraftsdata i IGSN71 eller modernt absoluttyngdkraftsbaserat system, ev. transformerade till **nolltidjord** och **epok 2000.0** (om möjligt/meningsfullt...).

Den slutgiltiga NKG2015-modellen



- The slutgiltiga gravimetriska modellen beräknades med **KTH-metoden** (Sjöberg, m.fl.).
- Den publicerade NKG2015-modellen beräknades sedan med ett skift (och permanent tidjordskorrektion) enligt

$$N_{NKG2015} = N_{gravimetrisk} + Skift + \Delta h_{noll \rightarrow tidjordsfri}$$

- Den **relativa standardosäkerheten** för NKG2015 har uppskattats till **ca 15-20 mm på land** (i "medel" över hela området).
- I flera länder och områden är den relativa osäkerheten högre än så (standard-osäkerhet runt **ca 10 mm**).

#	Min	Max	Mean	StdAvv
2538	-0.1740	0.1740	0.0000	0.0285

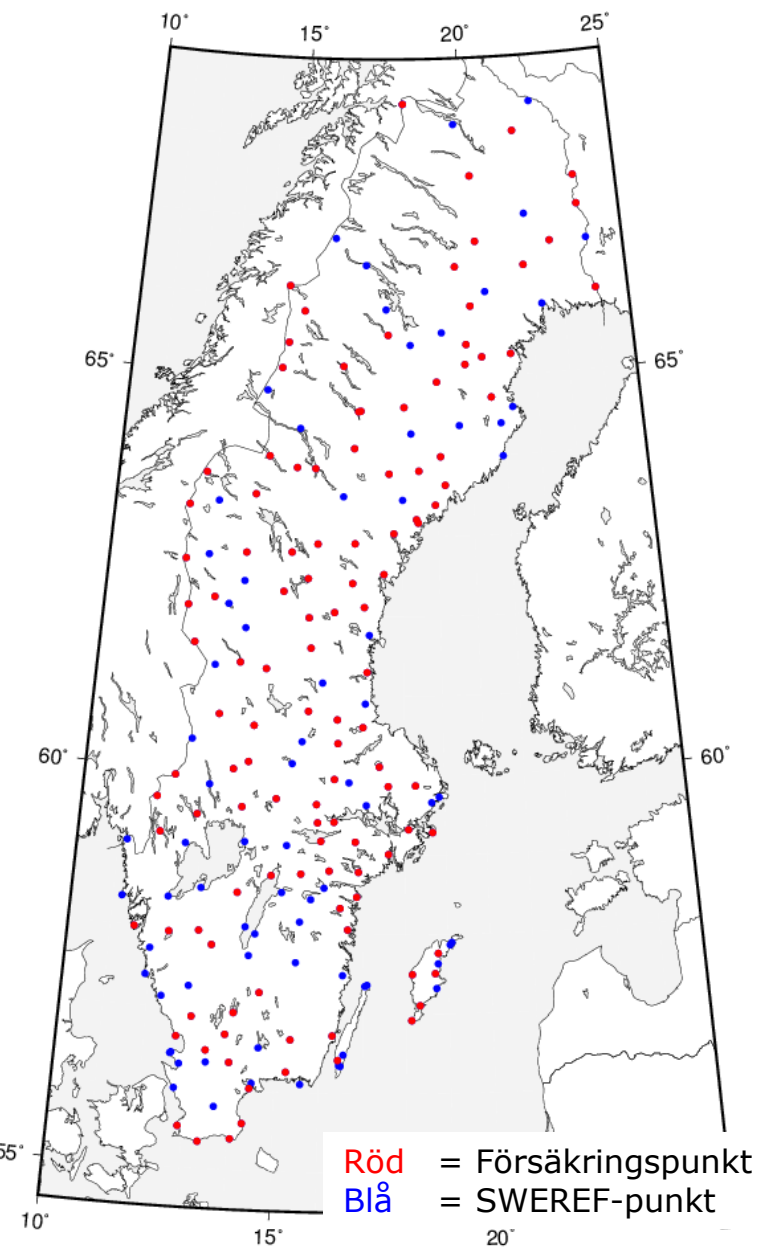
Jämförelse med andra gravimetriska geoidmodeller tillgängliga över hela Norden/Baltikum

Model	Standard deviation in 1-parameter fit (meter)							
	All	Denmark	Estonia	Finland	Latvia	Lithuania	Norway	Sweden
NKG2015	0.0285	0.0168	0.0147	0.0215	0.0246	0.0333	0.0285	0.0186
NKG1996	0.0907	0.0305	0.0356	0.0737	0.0240	0.0308	0.1078	0.0499
NKG2004	0.0908	0.0274	0.0362	0.0367	0.0782	0.0418	0.0698	0.0431
EGG08	0.0436	0.0198	0.0238	0.0201	0.0336	0.0389	0.0537	0.0253
EGM2008 to 2190	0.0468	0.0227	0.0361	0.0577	0.0285	0.0299	0.0597	0.0287
EIGEN-6C4 to 2190	0.0421	0.0216	0.0341	0.0436	0.0292	0.0366	0.0503	0.0283
EGG2015	0.0351	0.0169	0.0214	0.0209	0.0207	0.0321	0.0412	0.0225

Sammanfattning av aktiviteter för att förbättra den svenska geoidmodellen efter SWEN08_RH2000

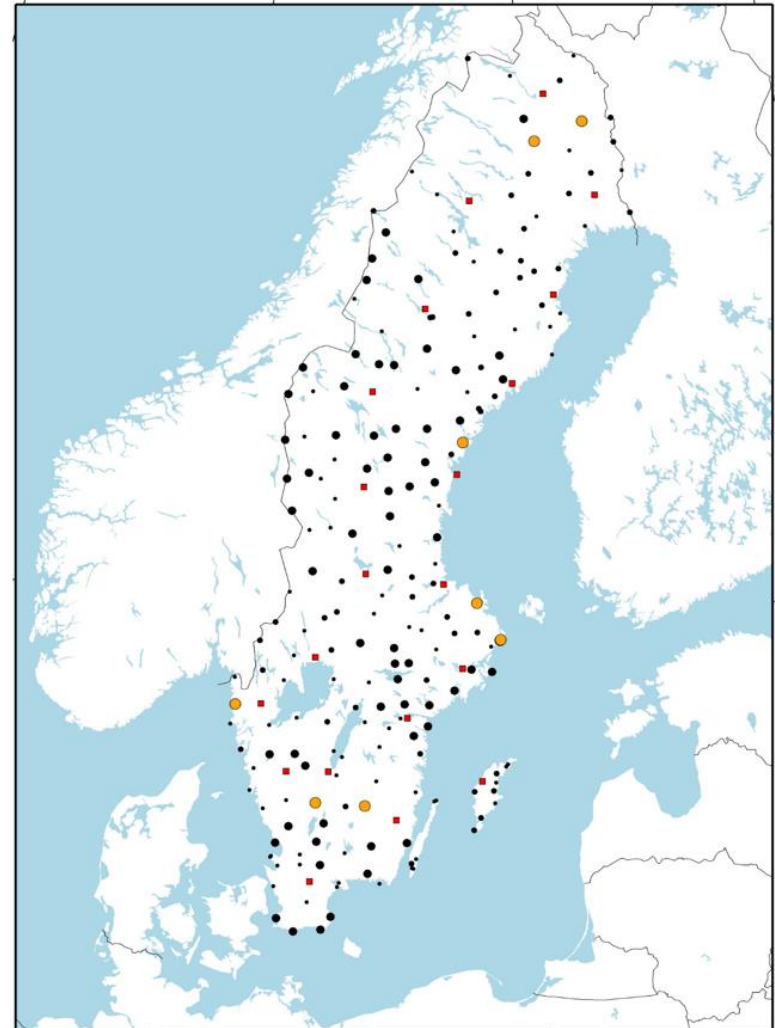
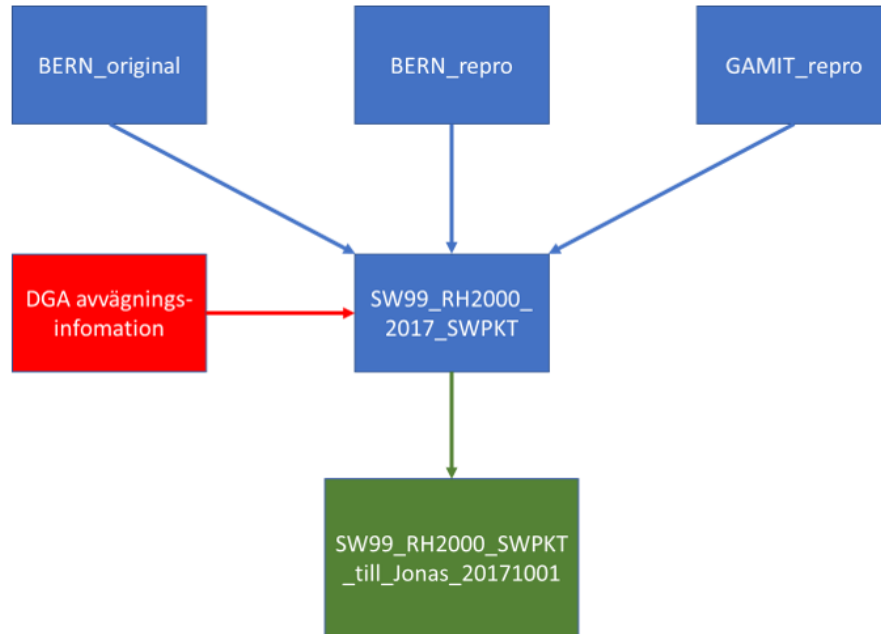
- Den svenska detaljtyngdkraftsdatabasen har kontrollerats och kompletterats med nya mätningar, framförallt i Fjällen och Vänern.
- En ny Nordisk gravimetrisk geoidmodell (NKG2015) har beräknats i internationellt samarbete med uppdaterade data och förbättrad metod (NKG = Nordiska Kommissionen för Geodesi).
- **GNSS/avvägningsobservationerna** har förbättrats. Kärnan i det nya datasetet är Lantmäteriets **SWEREF-punkter**, vars GNSS-höjd har bestämts med 48 timmars mätning med Chokeringantenner och state-of-the-art beräkning.

Förbättrad GNSS/avvägning (1)



- Kärnan är Lantmäteriets så kallade **SWEREF-punkter**, vilkas höjd över ellipsoiden bestämts med en mycket noggrann metod:
 - 2x24 timmars mätning med chokeringantenn, två uppställningar med olika antennhöjd.
 - Beräknas i Bernprogrammet med vid tidpunkten gällande "state-of-the-art"-metod (inkl. landhöjningskorrektion sedan 2008).
 - De allra flesta har nyligen omberäknats ytterligare en gång i Bernprogrammet (med 2008 års metod) och en gång i GAMIT.
- De **avvägda SWEREF-punkter** som är stabila och väl lämpade för GNSS valdes ut för beräkningen av SWEN17_RH2000 (**195** stycken).
- Av dessa är **119** stycken även så kallade **försäkringspunkter**, vilka mäts om vart 6:e år.
 - Majoriteten av försäkringspunkterna har hittills bestämts vid 3 olika tidpunkter.
 - Koordinater till SWEN17 genom (vägt) medelvärde av de olika beräkningarna och bestämningarna.

Förbättrad GNSS/avvägning (2)



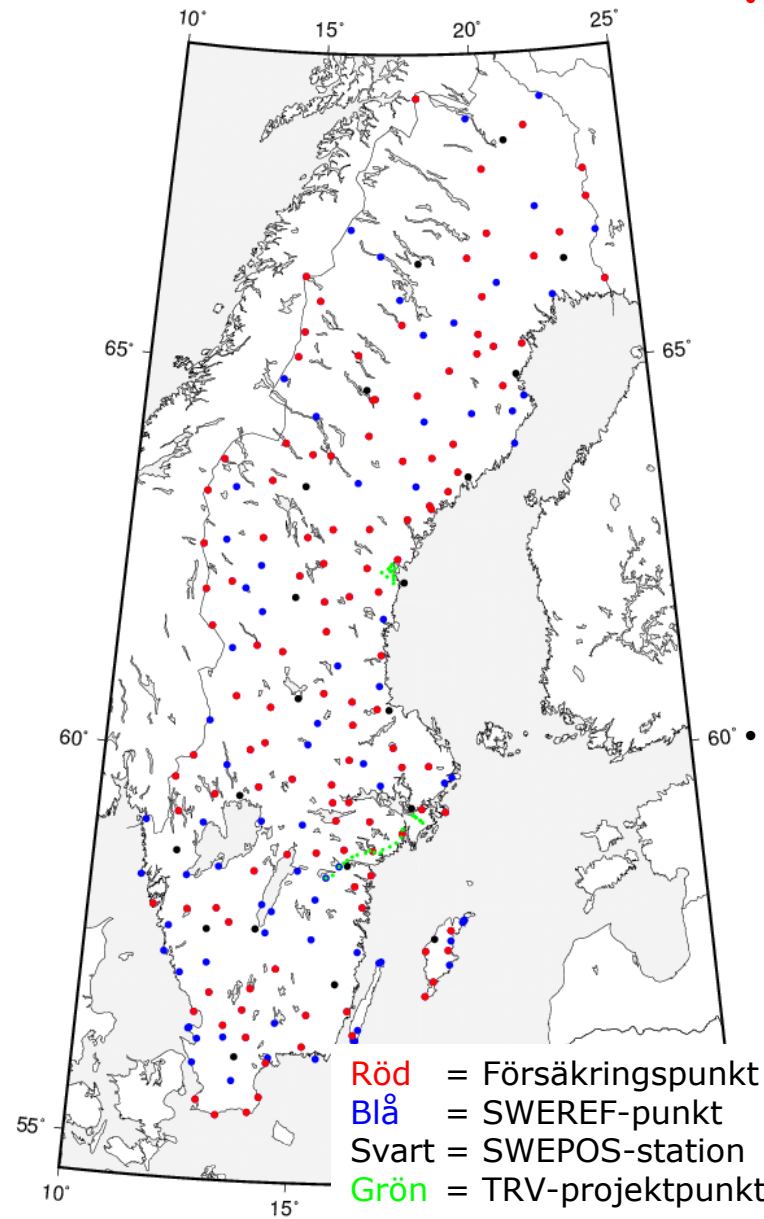
GNSS/avvägningspunkter för SWEN17. SWEREF-punkterna är representerade av svarta punkter, där de minsta är mätta ett år, de mellanstora två år och de största tre år. SWEPOS-stationerna representeras av röda fyrkanter. Borttagna punkter markerade med stora orange punkter.

Förbättrad GNSS/avvägning (3)

- 20 avvägda SWEPOS-stationer användes också för SWEN17_RH2000.
 - En **stationskalibreringskorrektion** har lagts på för att kompensera för att en chokeringantenn på en SWEPOS-pelare skiljer sig från samma antenn på stativ.
Korrekturen **+10 mm** adderades till SWEPOS-stationernas GNSS-höjd (baserat på Kempe et al. 2010)



- Dessutom har **35** punkter inkluderats som bestämts med de projektanpassade L1-baserade beräkningstjänsterna i Trafikverksprojekten Ostlänken, Sundsvall och Södertörn,
 - Har mätts med chokeringantenner i ca 4 timmar.
 - Denna typ av 4 timmars L1-bestämning har visat sig stämma mycket bra med ordinarie 48-timmars SWEREF-metodik (se förra bilden).
 - Vi kallar dessa punkter för **TRV-projektpunkt**.



Röd = Försäkringspunkt
Blå = SWEREF-punkt
Svart = SWEPOS-station
Grön = TRV-projektpunkt

LANTMÄTERIET

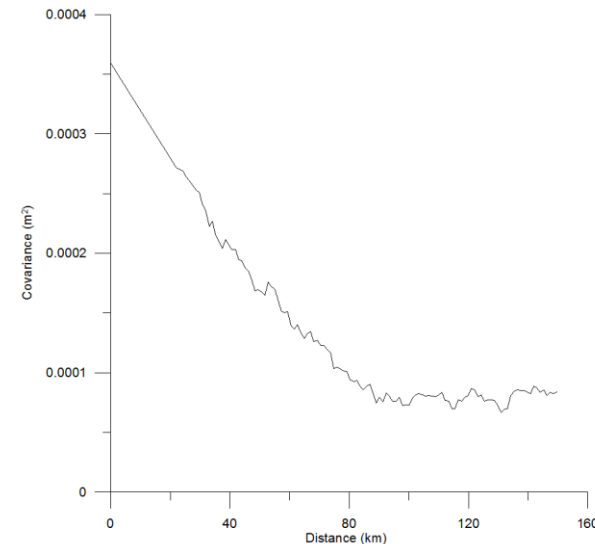


Om beräkningen av SWEN17_RH2000

Hur beräknades SWEN17_RH2000?

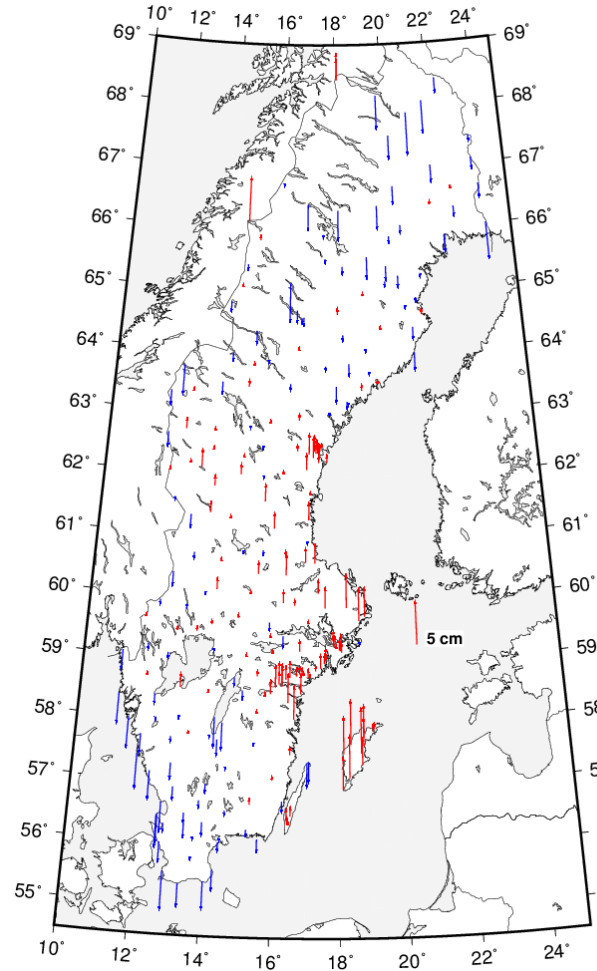
- SWEN17_RH2000 beräknades med en **liknande metod** som SWEN08_RH2000.
- Istället för KTH08 användes den gravimetriska modellen **NKG2015** (aningen modifierad inom **Sverige** med Lantmäteriets senaste data).
- Den jämna restfelsytan beräknades med **Kollokation** med en 2:a ordn. Gauss-Markov kovariansfunktion.
 - Korrelationslängden valdes empiriskt till 50 km.
 - Apriori-standardosäkerheterna sattes till:

Försäkring/SWEREF:	6 mm
SWEPOS/TRV:	10 mm
- Observera att NKG2015 **inte skiftades** innan restfelsytan beräknades. Med den valda kovariansfunktionen innebär det att SWEN17_RH2000 kommer att ansluta sig till NKG2015 strax utanför Sverige.
- För att inte slänga bort högfrekvent information i den gravimetriska modellen, användes samma upplösning som för NKG2015, nämligen **0.01 x 0.02 grader**. Det är ett **dubbelt så tätt som för SWEN08_RH2000**.
 - Ger en liten men signifikant förbättring i vissa områden (framförallt i Fjällen, Värmland och Höga Kusten).

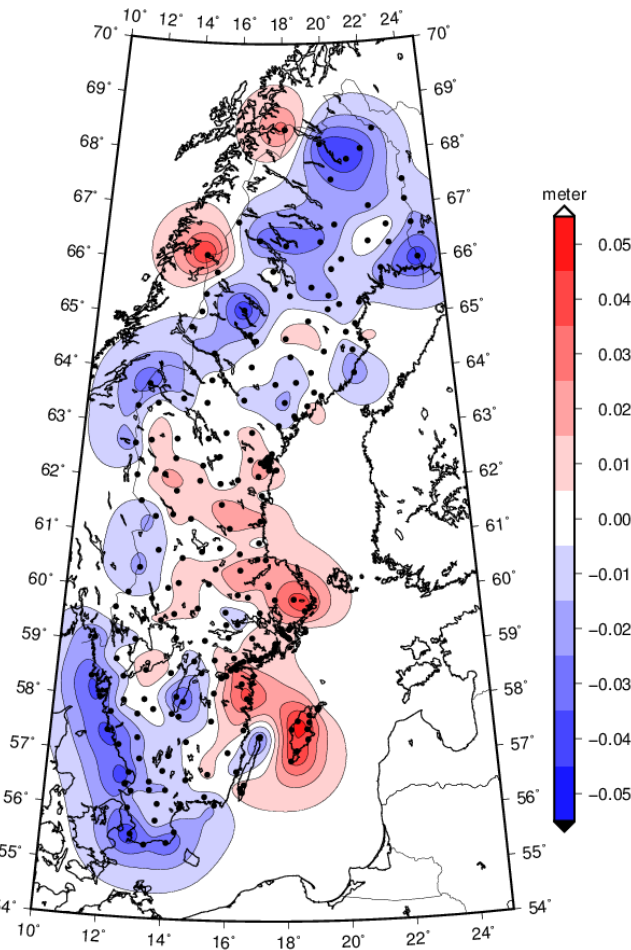


SWEN17_RH2000

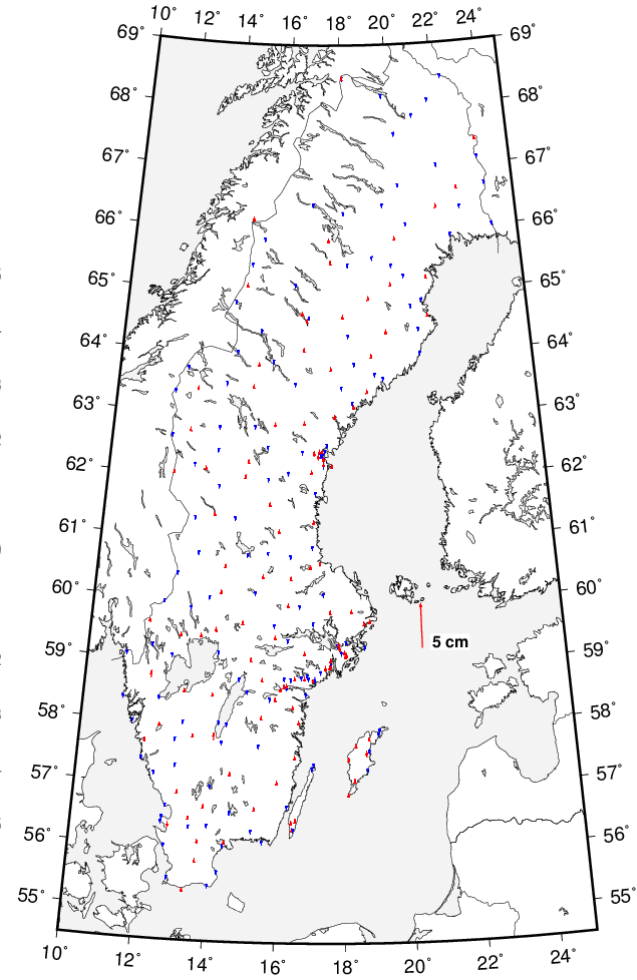
Residualer för NKG2015



Jämn restfelsyta
(skattad med Kollokation)



Residualer för
SWEN17_RH2000



#	Min	Max	Mean	StdAvv
250	-0.0487	0.0518	0.0001	0.0190

#	Min	Max	Mean	StdAvv
250	-0.0075	0.0093	0.0000	0.0030

Uppskattad standardosäkerhet

Korsvalidering (1)

- Korsvalidering innebär här att en GNSS/ avvägningsobservation i taget tas bort.

För varje borttagen observation beräknas en SWEN-modell exakt som förut men utan observationen ifråga.

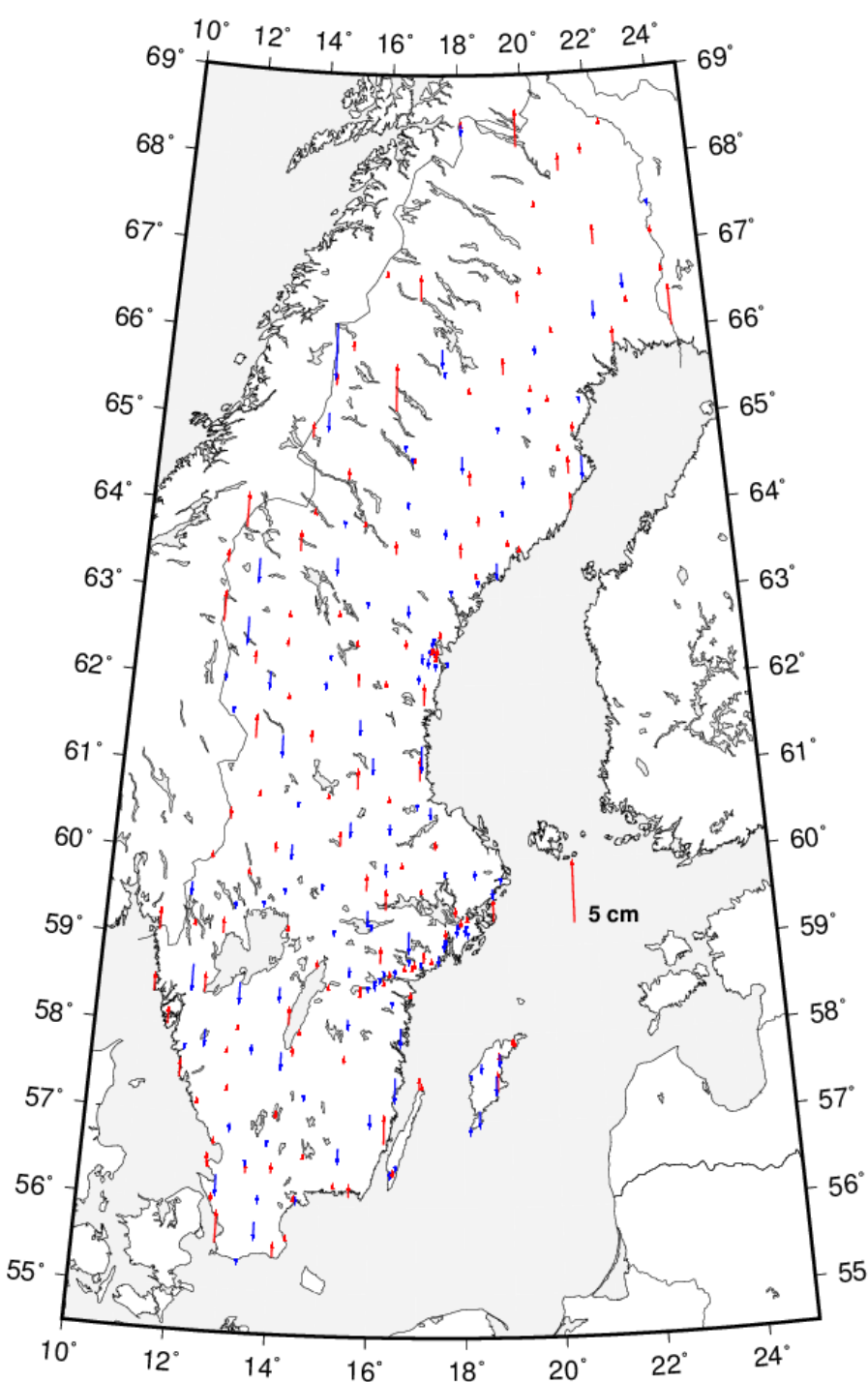
Genom att jämföra med den borttagna observationen fås en korsvalideringsresidual.

Detta upprepas för alla observationer, en i taget.

- Eftersom de borttagna observationerna inte är med och påverkar respektive modell fås en mer oberoende utvärdering.
- Genom att ta hänsyn till de borttagna punkternas osäkerhet, fås en bra uppskattning av geoidens osäkerhet.

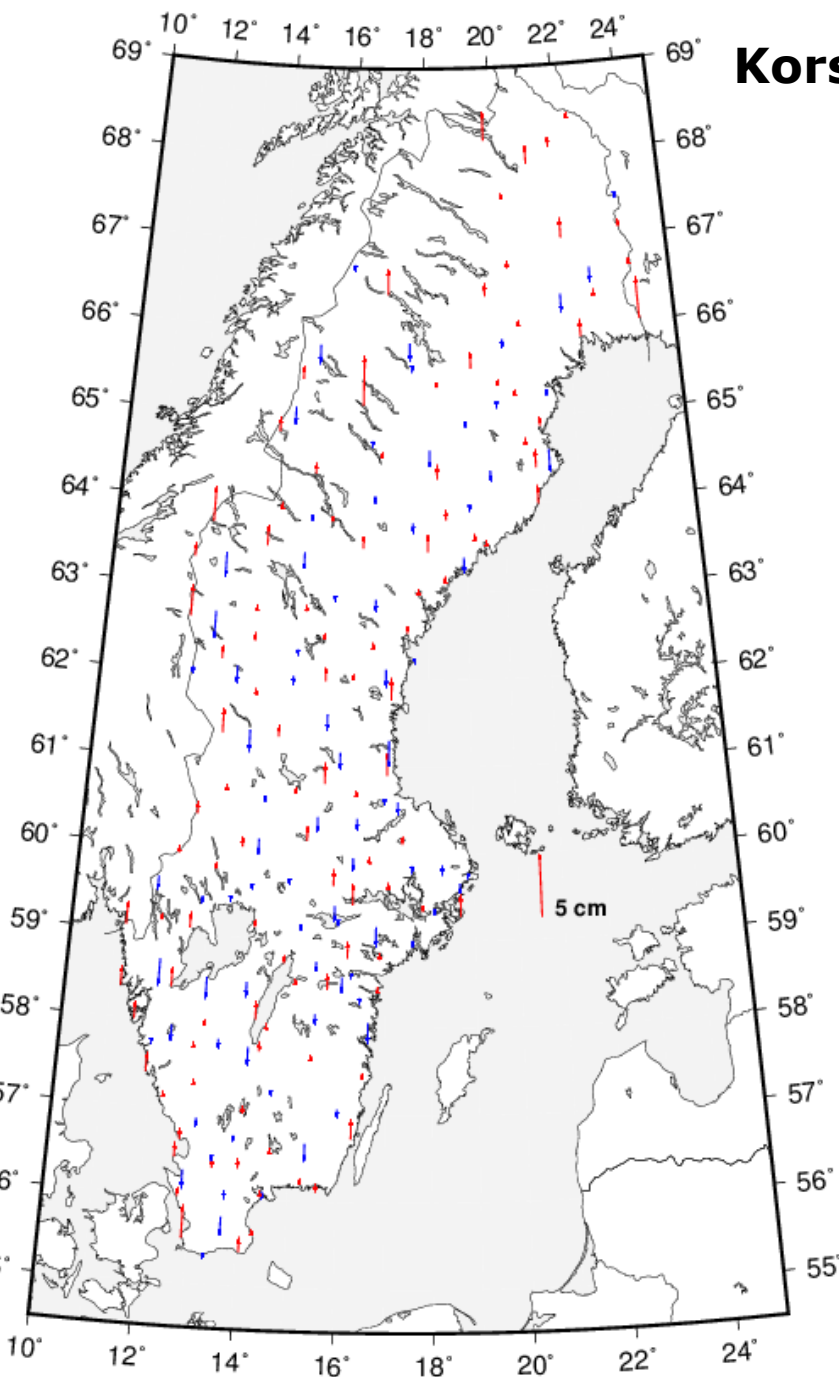
$$\sigma_{\text{geoidmodell}} = \sqrt{\sigma_{\text{cross.val.}}^2 - \sigma_{\text{GNSS}}^2 - \sigma_{\text{EXC AVV}}^2}$$

#	Min	Max	Mean	StdAvv
250	-0.0449	0.0376	0.0007	0.0108



LANTMÄTERIET





Korsvalidering (2): Utvald GNSS/avvägning

- Ett problem med att använda all GNSS/avvägning i korsvalideringen är att de ligger mkt tätt här och där.
- Dessutom randproblem, framförallt på Öland, Gotland och längs gränsen mot Norge längst upp i norr.
- För att få en mer **representativ skattning av osäkerheten** för hela landet valdes observationer ut enligt följande:
 - Bara punkter på fastlandet har tagits med.
 - Punkter närmare varandra än ca 5 km har tagits bort (har plockats så att en så god spridning som möjligt fås).
 - 2 problematiska punkter precis på gränsen mot Norge har inte tagits med.

#	Min	Max	Mean	StdAvv
192	-0.0220	0.0393	0.0013	0.0112

$$\sigma_{\text{SWEN17_RH2000}} = \sqrt{\sigma_{\text{cross.val.}}^2 - \sigma_{\text{GNSS}}^2 - \sigma_{\text{EXC AVV}}^2}$$

$$\approx \sqrt{11.2^2 - 5^2 - 3^2} = \mathbf{9.3 \text{ mm}}$$

$$\sigma_{\text{SWEN17_RH2000}} \approx \sqrt{11.2^2 - 7^2 - 3^2} = \mathbf{8.0 \text{ mm}}$$

LANTMÄTERIET



Uppskattad standardosäkerhet

- Standardosäkerheten (1 sigma) för SWEN17_RH2000 uppskattas till **8-10 mm på fastlandet, Öland och Gotland**. Dock,
 - Lite bättre i Trafikverksprojektsområdena (~5 mm, ?)
 - Lite sämre längst upp i norr *nära gränsen* mot Norge och i Vättern (~2-3 cm).
 - Troligen också lite sämre i de allra "högsta fjällen i nordväst" på grund av att det är svårare att modellera en gravimetrisk modell i stentuffa bergsområden (~2-4 cm).
 - Fortfarande sämre ute till **havs** (~2-3 cm i kustnära vatten, ~5-10? cm längre ut).
I EU-projektet FAMOS pågår arbete med att förbättra geoiden i Östersjön.

- Kom ihåg att höjdosäkerheten beror både på geoidmodellen och på GNSS-höjdmätningen:

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_{GNSS}^2 + \sigma_{SWEN17_RH2000}^2}$$

- Exempel för nätverks-RTK (35 km SWEPOS-nät, HMK):

$$\sigma_{GNSS} = 14 - 18 \text{ mm}, \sigma_{SWEN17_RH2000} = 8 - 10 \text{ mm} \Rightarrow \sigma_H = 16 - 21 \text{ mm}$$

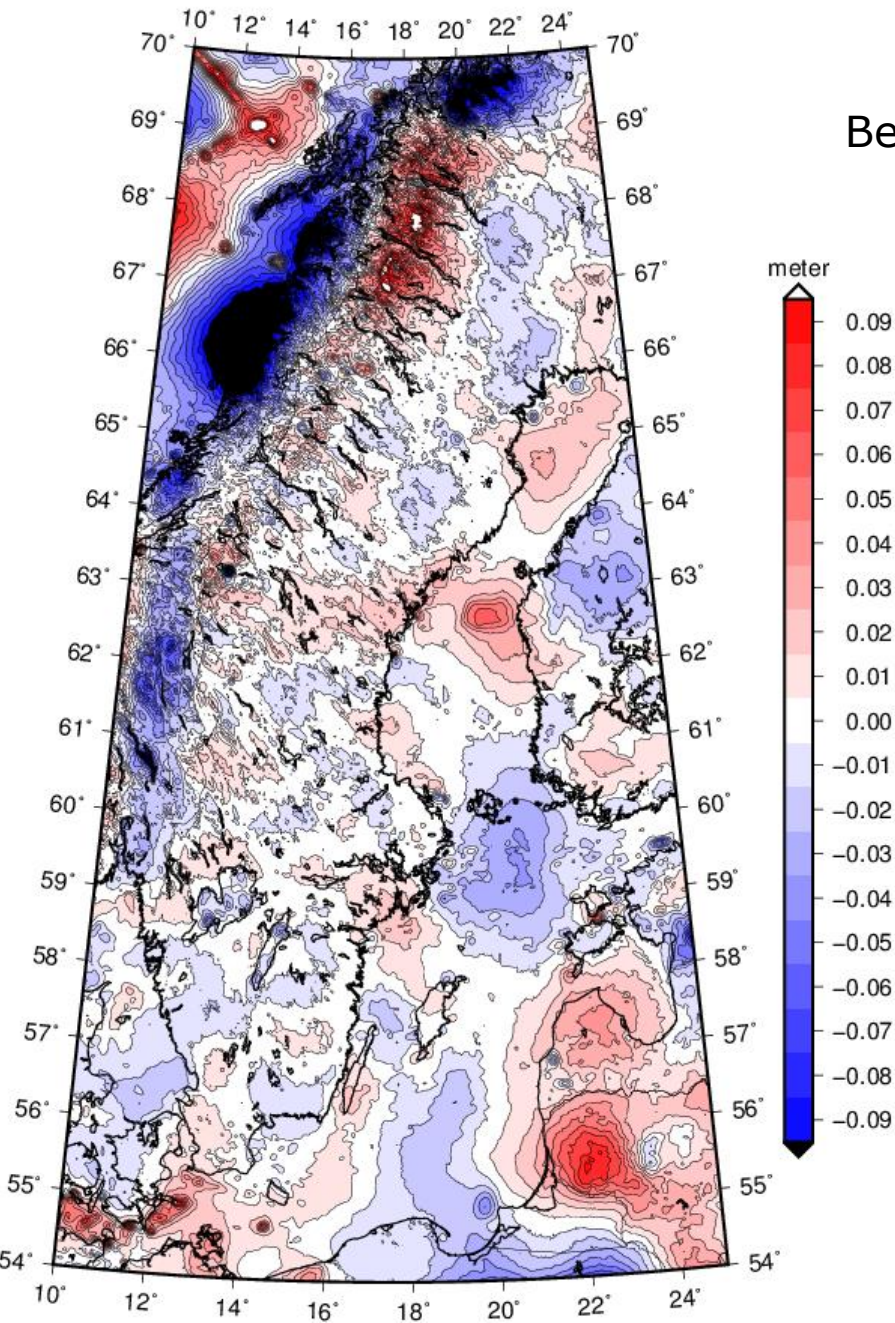
- För att nå bästa resultat vid **höjdmätning med GNSS** bör metoden vara **kompatibel** med de GNSS/avvägningsdata som användes vid beräkningen av SWEN17_RH2000 (dvs. med SWEREF/försäkrings-punkterna).

Jämförelse mellan SWEN17_RH2000 och SWEN08_RH2000

Skillnaden mellan SWEN17_RH2000 och SWEN08_RH2000 (1)

Beror framförallt på

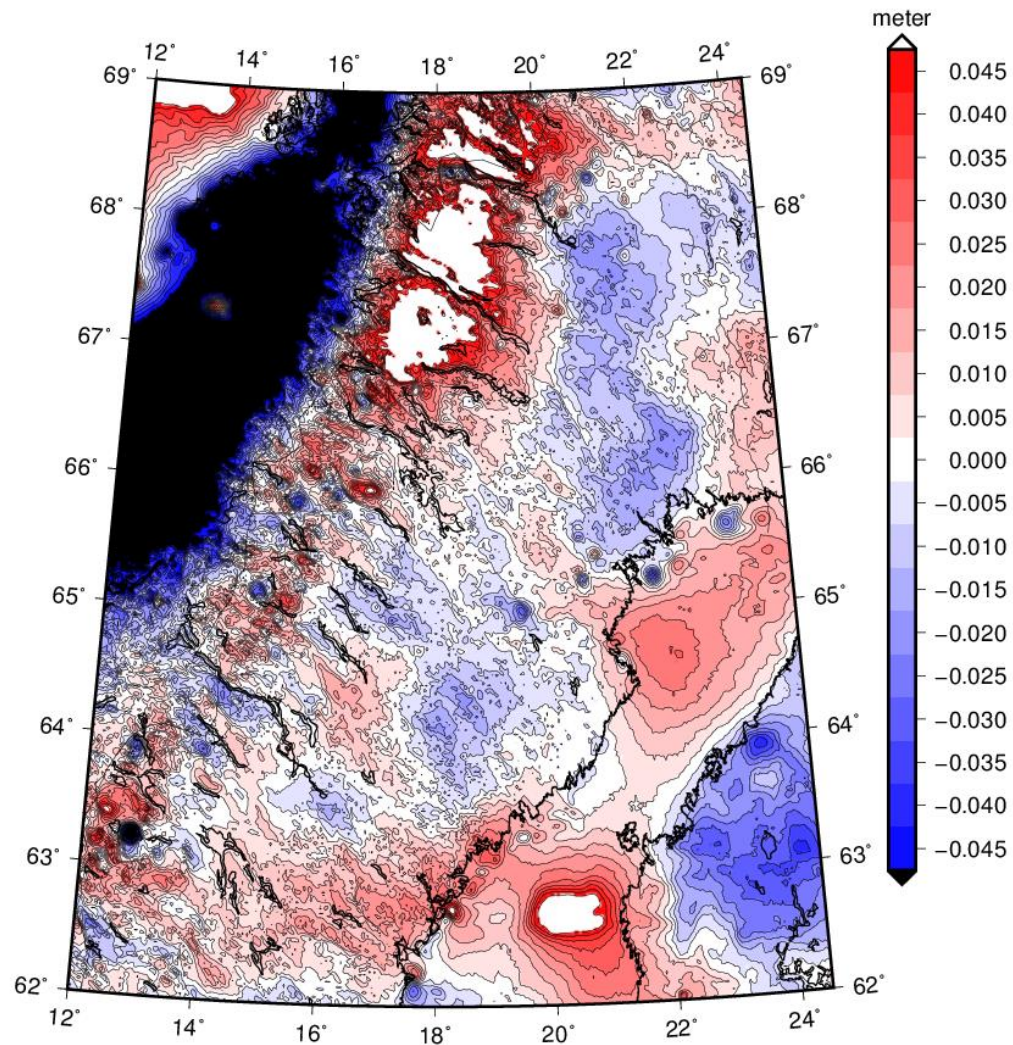
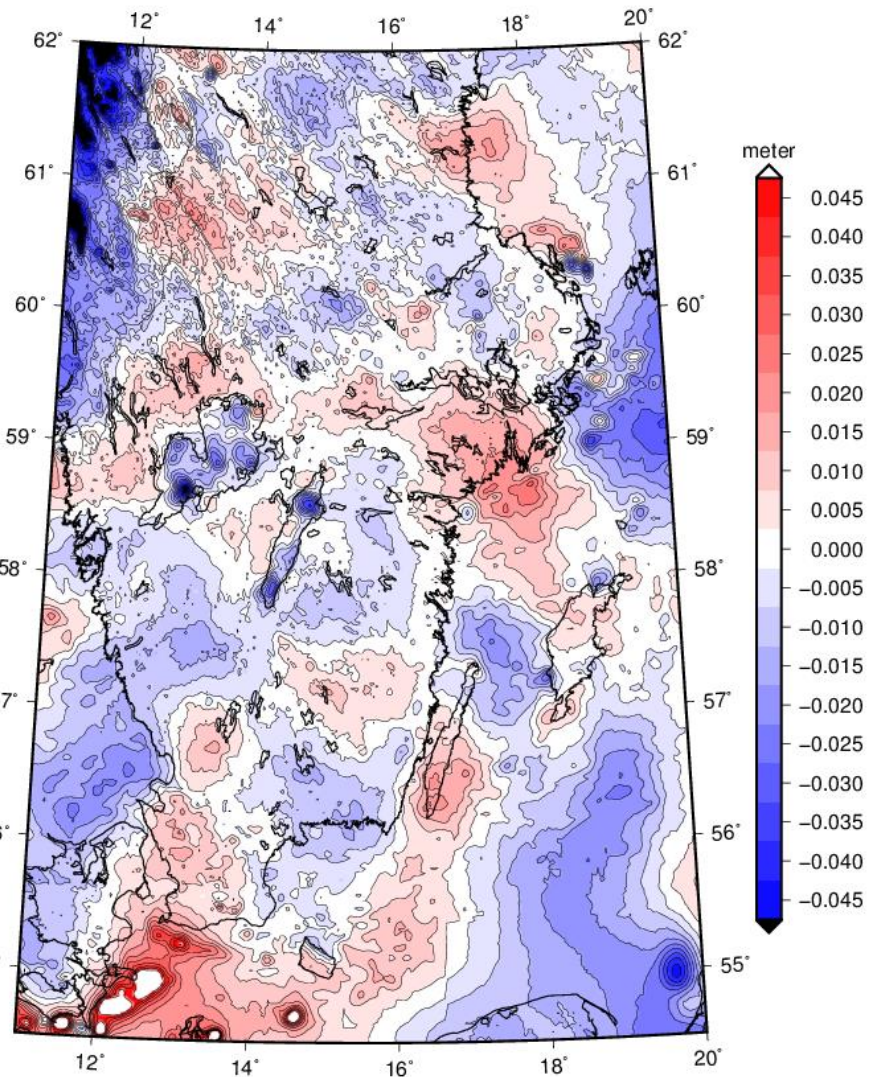
- Förbättrad GNSS/avvägning för SWEN17_RH2000:
 - **RIX95-nätet** (statisk GNSS...) används **inte** längre. Detta ger systematiska skillnader i Sverige. Jmf Ostlänken nedan.
- Förbättrad gravimetrisk modell (NKG2015):
 - Nya tyngdkraftsdata, både i Sverige (Fjällen, Vänern, etc.) och utanför Sverige.
 - De äldre data har kontrollerats och felsökts, grova fel har tagits bort.
 - Nya och bättre Globala geopotentialmodeller från GRACE och GOCE.
 - Höjdmodell (DEM) med högre upplösning.
 - Förbättrad metod i vissa avseenden.
 - All detta ger skillnader både i och utanför Sverige.



LANTMÄTERIET

1 cm ekvidistans

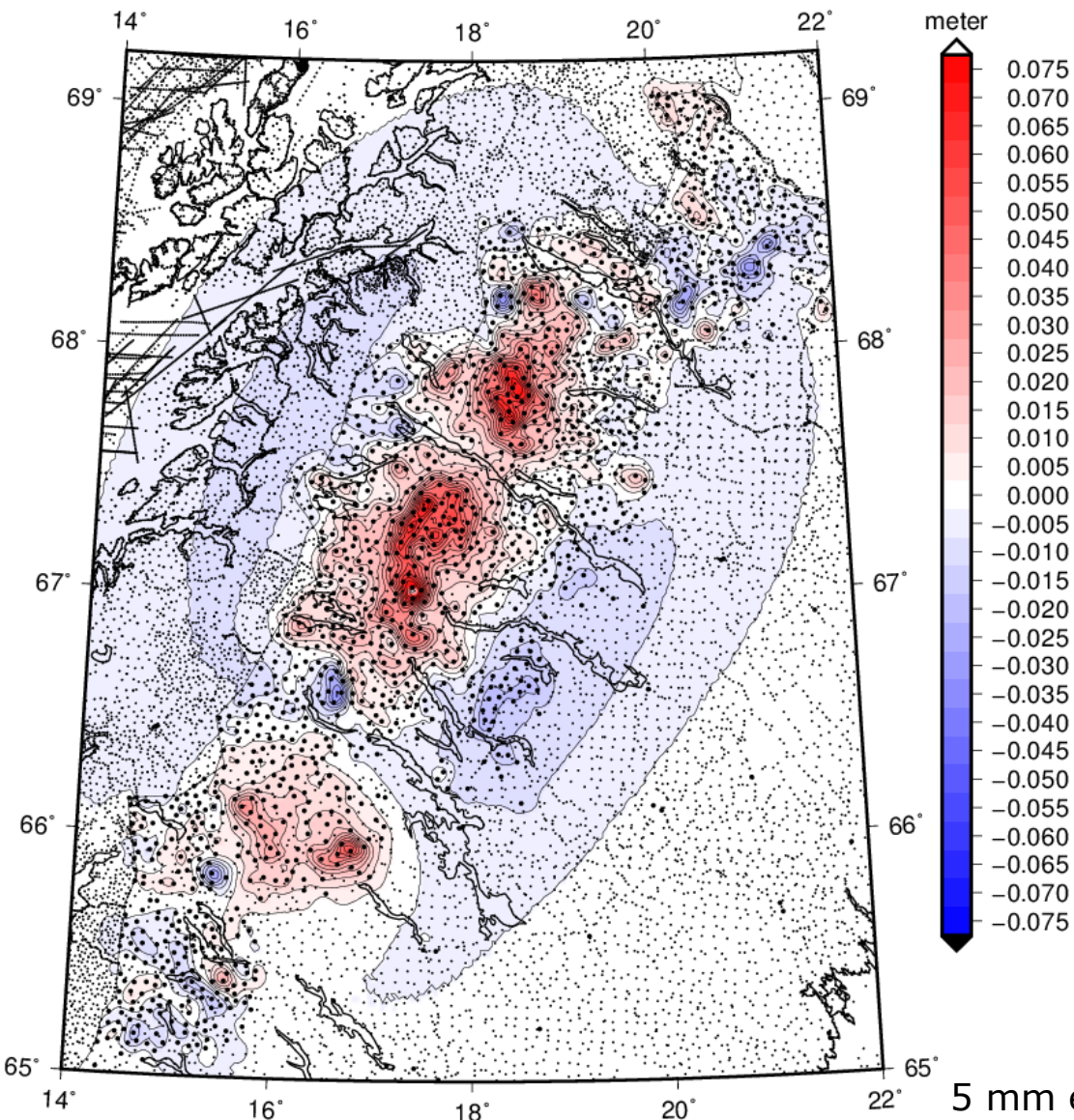
Skillnad mellan SWEN17_RH2000 och SWEN08_RH2000 (2)



LANTMÄTERIET

5 mm ekvidistans

Hur mycket betyder de nya tyngdkraftsdata för geoidmodellen i de "högsta fjällen i nordväst"?

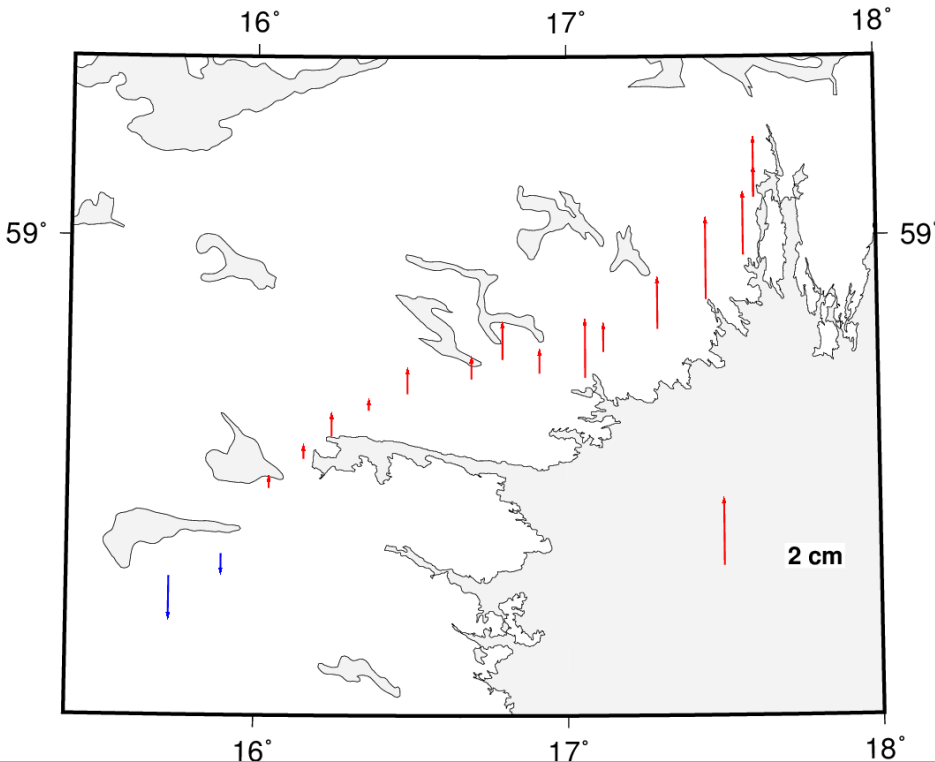


- Ovanstående jämförelse med SWEN08_RH2000 visar den totala effekten av en lång rad förbättringar/skillnader.
- Figuren till vänster visar skillnaden mellan att använda de nya CG5 tyngdkraftsdata (2014-2017) eller inte vid beräkningen av den gravimetriska geoidmodellen (NKG2015).
- Förbättringarna är helt klart signifikanta, upp till ca 8 cm.
- Mindre inverkan i resten av Sverige (flackare delar).

Utvärdering i tre Trafikverksprojekt

Utvärdering längs Ostlänken

GNSS/avvägningsresidualer för SWEN08_RH2000:



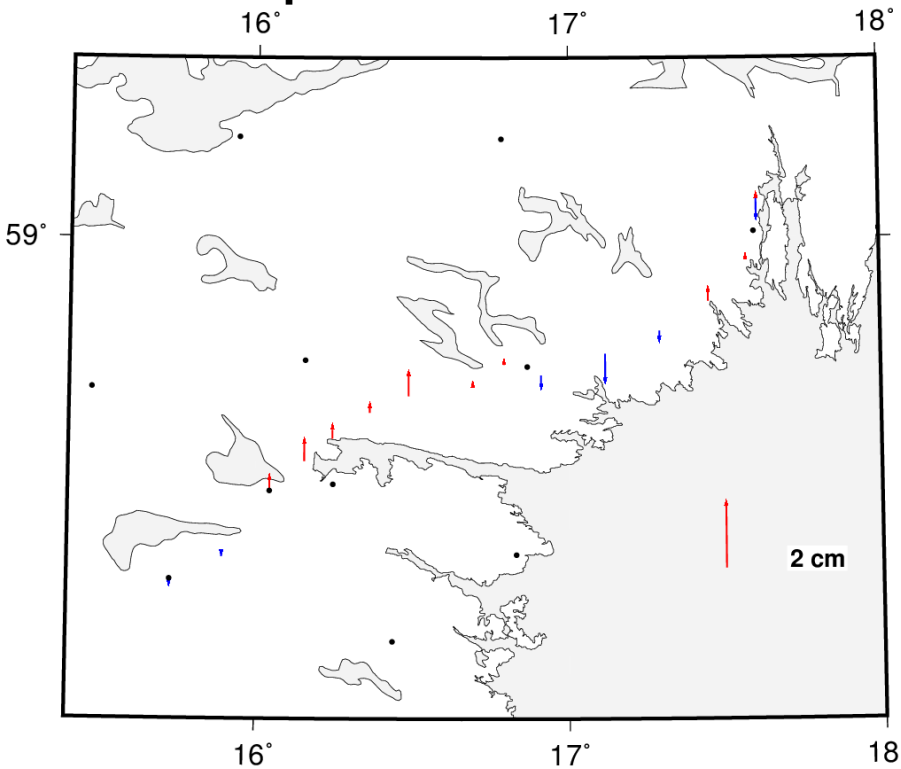
#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
17*	-0.0129	0.0241	0.0085	0.0090	0.0122

- I Trafikverksprojektet Ostlänken bestämdes 16 nya avvägda punkter med 4 timmars GNSS-mätning, chokeringantennerna och beräkning i projekthanpassad L1-beräkningstjänst.
- Dessutom bestämdes några få nya avvägda SWEREF-punkter (48 timmar, etc.)
- Vid jämförelse mot SWEN08_RH2000 erhöles en klar systematik; se bild till vänster.
- Om man tar den specificerade standardosäkerheten för SWEN08_RH2000 i beaktande (10-15 mm) är detta inte märkvärdigt.
- Under 2016 användes dessa observationer för att beräkna en förbättrad modell i området, SWEN08_OSTL.
- En SWEN17-version beräknad helt utan 4 timmars TRV-punkter stämmer mycket bra; direkt; se nästa bild.
- Men den slutgiltiga SWEN17_RH2000 beräknades ändå med alla TRV-punkter.

*) I figurerna visas residualer i 17 stycken TRV-punkter. Av dessa är 16 stycken observerade i 4 timmar och en i 48 timmar. Övriga 48-timmars TRV-punkter (4 stycken) har inkluderats bland SWEREF- och försäkringspunkterna.

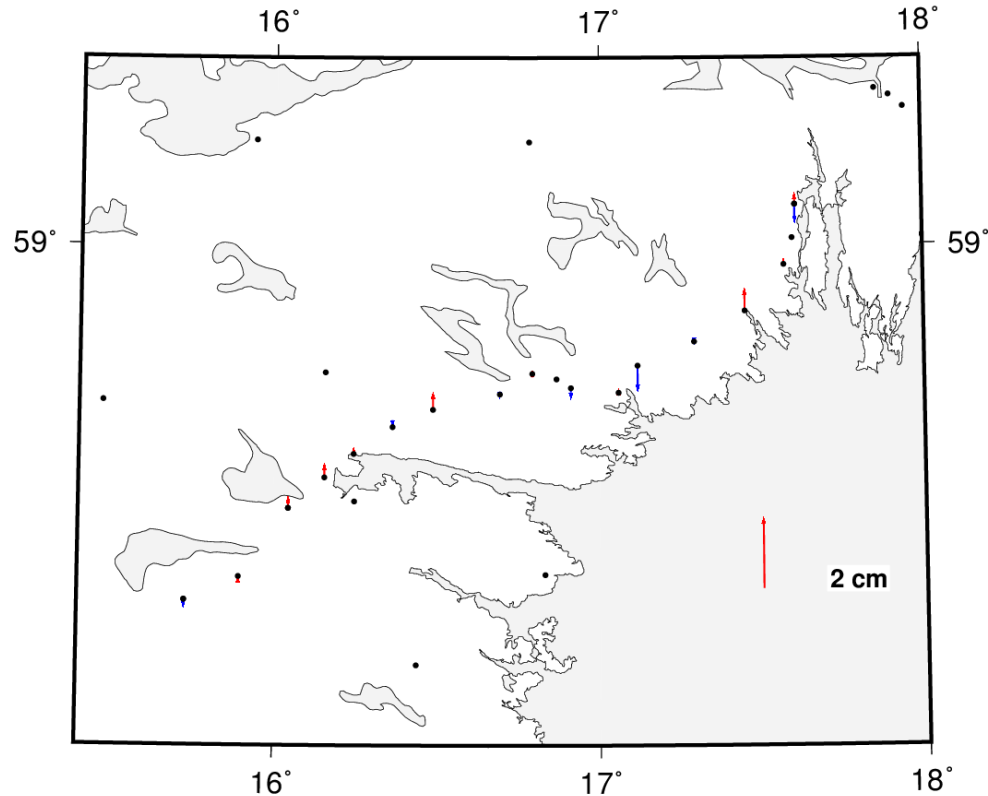
GNSS/avvägningsresidualer för SWEN17_RH2000 längs **Ostlänken**

**SWEN17-version beräknad
utan TRV-punkter:**



#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
17*	-0.0089	0.0079	0.0007	0.0047	0.0046

SWEN17_RH2000:

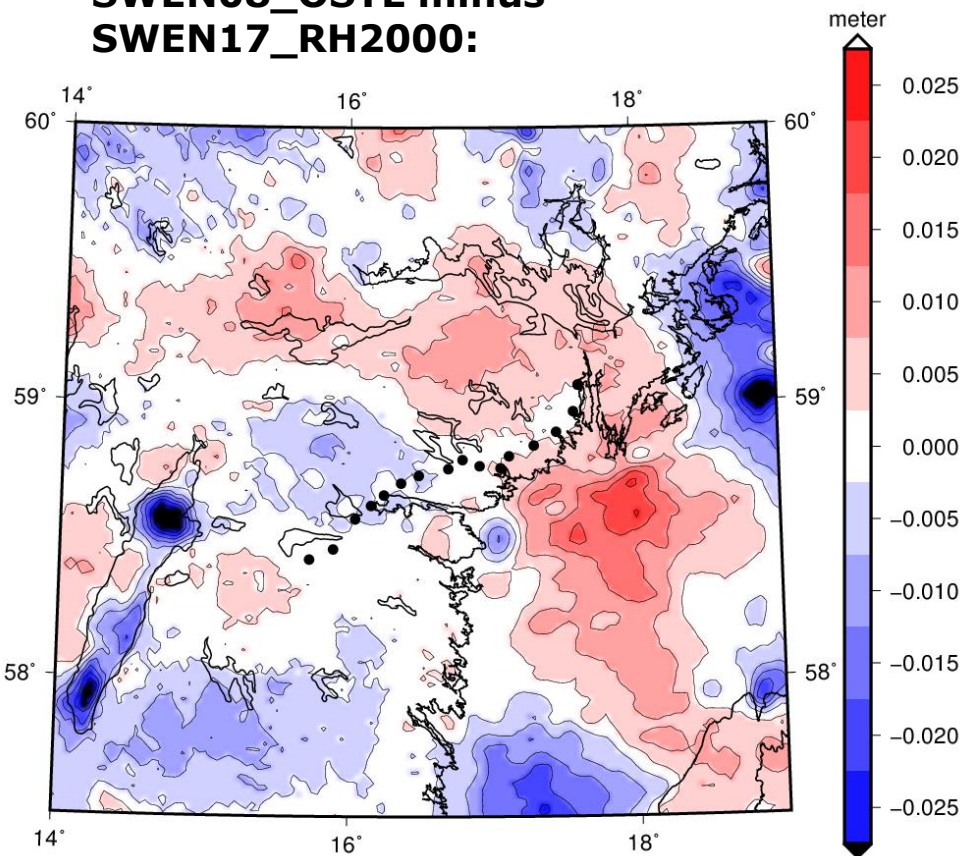


#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
17*	-0.0073	0.0064	0.0004	0.0036	0.0036

De svarta punkterna är GNSS/avvägningsobservationer som använts för att beräkna respektive modell.

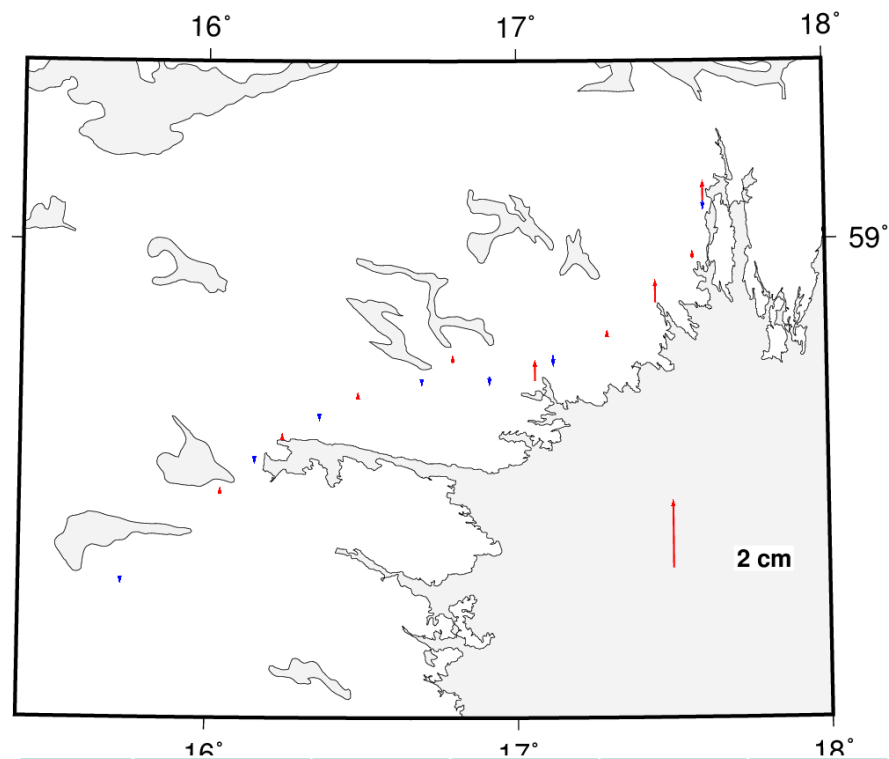
Skillnad mellan SWEN17_RH2000 och SWEN08_OSTL

**SWEN08_OSTL minus
SWEN17_RH2000:**



- SWEN08_OSTL stämmer mycket bra med SWEN17_RH2000 längs ostlänken, men betar sig som SWEN08_RH2000 en bit bort.

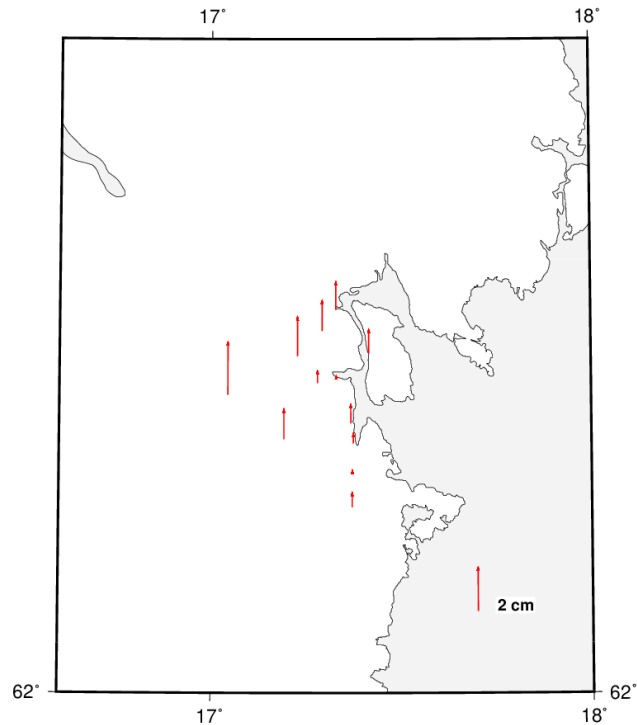
**GNSS/avvägningsresidualer för
SWEN08_OSTL:**



#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
17*	-0.0033	0.0068	0.0009	0.0031	0.0032

Utvärdering i Sundsvall

GNSS/avvägningsresidualer för SWEN08_RH2000:

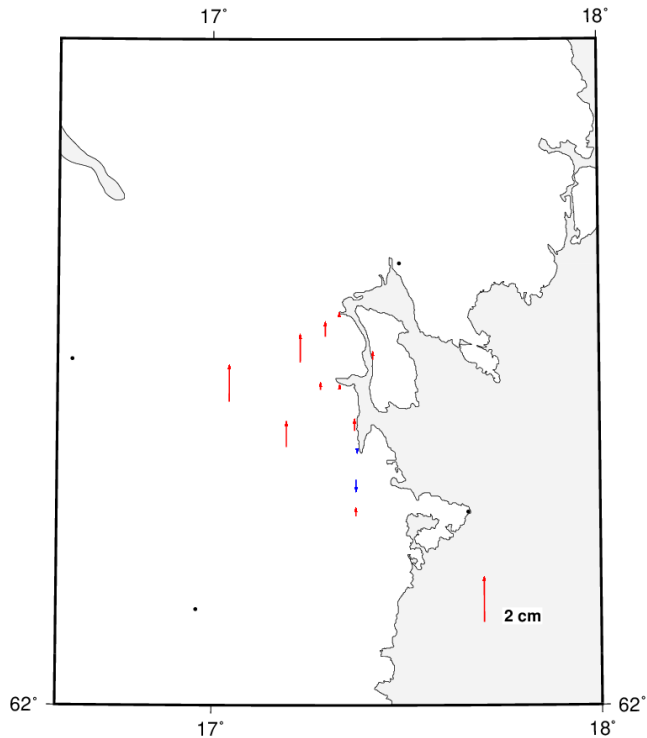


*) I figurerna visas residualer i 12 stycken TRV-punkter som har bestämts med den L1-baserade beräkningstjänsten och 4 timmars observationstid.

#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
12*	0.0010	0.0241	0.0103	0.0068	0.0122

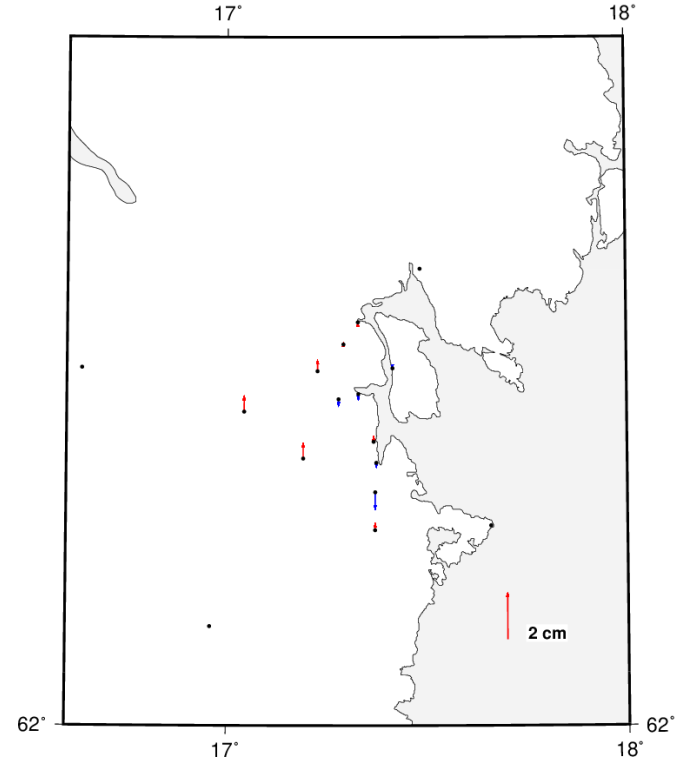
GNSS/avvägningsresidualer för SWEN17_RH2000 i **Sundsvall**

SWEN17-version beräknad
utan TRV-punkter:



#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
12*	-0.0054	0.0163	0.0048	0.0062	0.0076

SWEN17_RH2000:

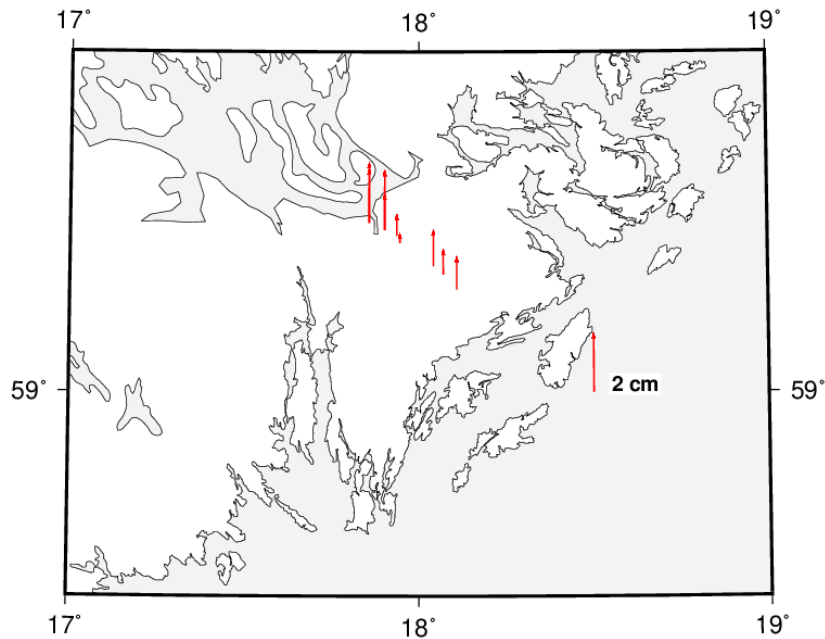


#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
12*	-0.0075	0.0069	0.0008	0.0044	0.0042

De svarta punkterna är GNSS/avvägningsobservationer som använts för att beräkna respektive modell.

Utvärdering i **Södertörn**

GNSS/avvägningsresidualer för SWEN08_RH2000:



*) I figurerna visas residualer i 7 stycken TRV-punkter som har bestämts med den L1-baserade beräkningstjänsten och 4 timmars observationstid.

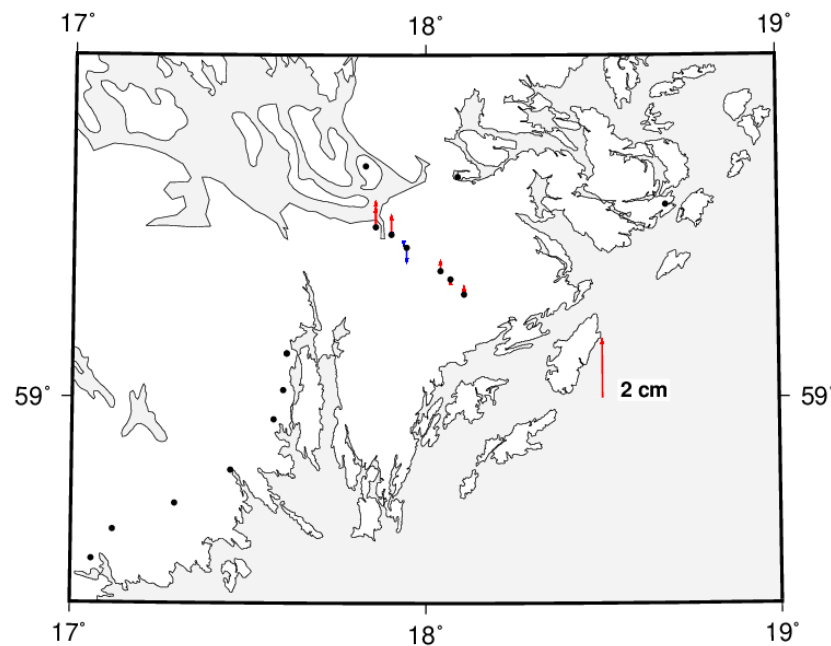
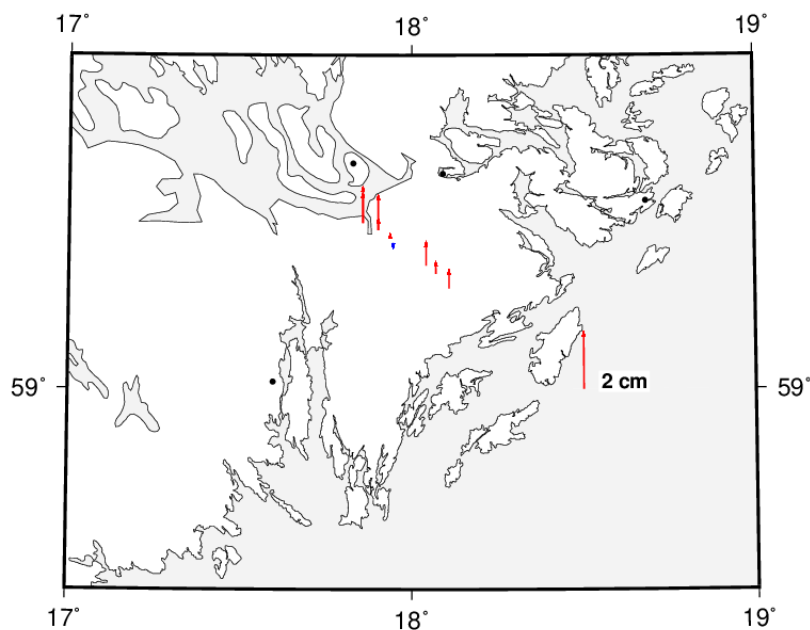
Två av punkterna har mätts två gånger

#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
9*	0.0034	0.0205	0.0128	0.0060	0.0140

GNSS/avvägningsresidualer för SWEN17_RH2000 i **Södertörn**

**SWEN17-version beräknad
utan TRV-punkter:**

SWEN17_RH2000:

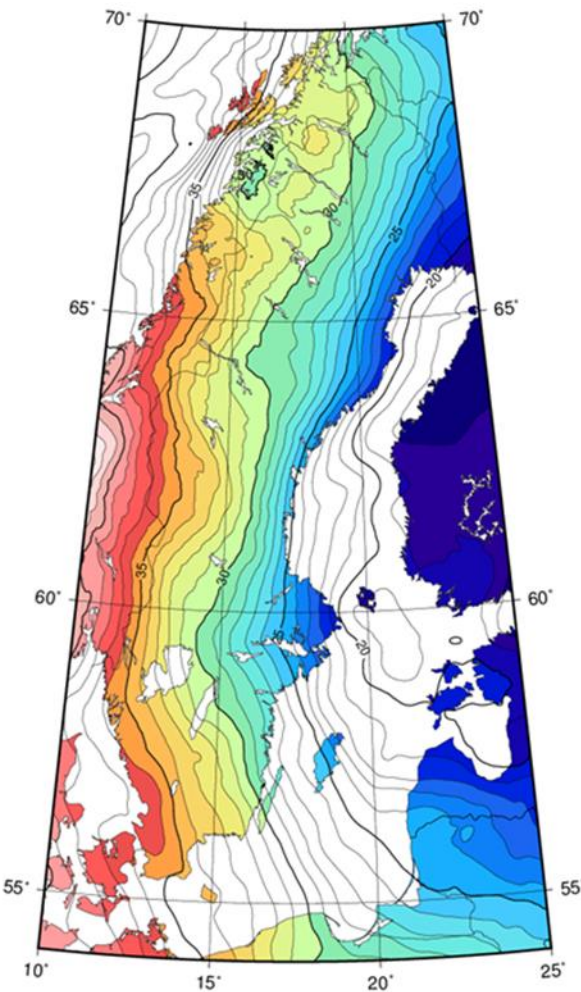


#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
9*	-0.0023	0.0127	0.0066	0.0051	0.0082

#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
9*	-0.0054	0.0091	0.0024	0.0049	0.0052

De svarta punkterna är GNSS/avvägningsobservationer som använts för att beräkna respektive modell.

Sammanfattning

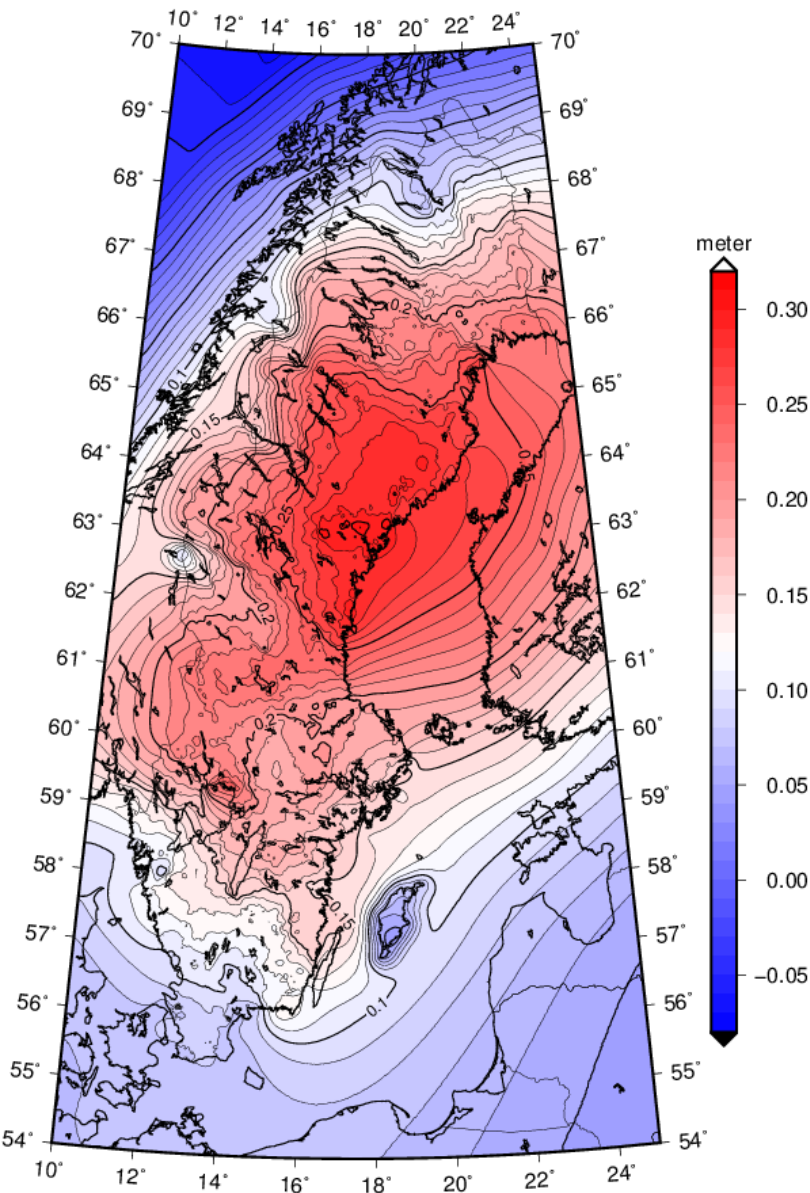


- Lantmäteriet lanserade den nya geoidmodellen **SWEN17_RH2000** i okt-nov 2017.
- Modellen har beräknats genom att anpassa den nya gravimetriska geoidmodellen **NKG2015** till de svenska referenssystemen **SWEREF 99** och **RH 2000**.
- Framförallt följande förbättringar har gjorts sedan SWEN08_RH2000:
 - Den svenska **detaljtyngdkraftsdatabasen** har kontrollerats och kompletterats med ca 3 500 nya detaljmätningar.
 - En ny **Nordisk gravimetrisk geoidmodell (NKG2015)** har beräknats i internationellt samarbete med uppdaterade data från hela regionen med förbättrad metod.
 - **GNSS/avvägningsobservationerna** (GNSS på avvägda fixar) har förbättrats. Kärnan är nu Lantmäteriets **försäkringspunkter och SWEREF-punkter**. Enbart punkter med hög noggrannhet/tillförlitlighet utnyttjas.
- **Standardosäkerheten (1 sigma)** för SWEN17_RH2000 är nu överlag ca **8-10 mm** på land.

Extrabilder

SWEN17_RH70

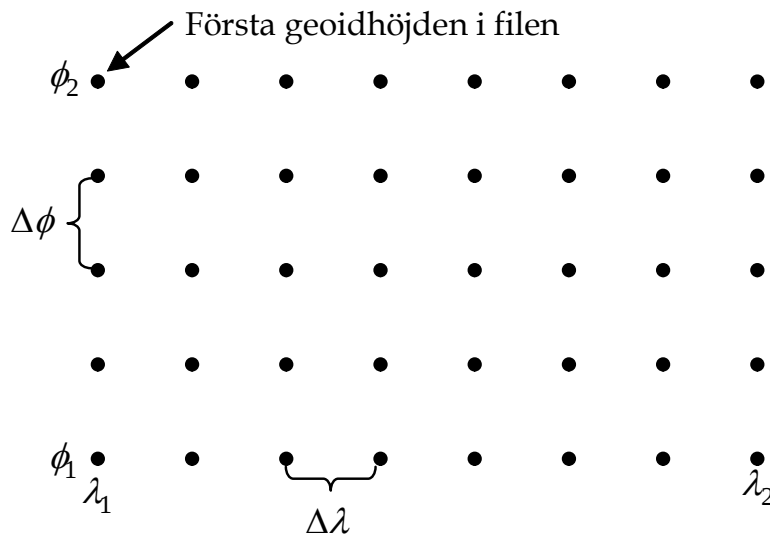
RH 2000 minus RH 70:



- På samma sätt som förut släpps även en syskonmodell anpassad till RH 70.
- Denna är beräknad ur SWEN17_RH2000 genom att addera en noggrant bestämd **höjdsystemskillnadsmodell** mellan RH 2000 och RH 70.
- Observera att RH 70 här ska förstås som realiserat av
 - RH 70-höjderna för stabila fixar längs precisionslinjerna i den andra riksavvägningen och
 - RHB 70-höjderna för fixarna i den tredje precisionsavvägningen.
- **Inte** av linjeavvägning, OBS!
- Under denna förutsättning fås motsvarande noggrannhet som för SWEN17_RH2000 på land, nära riksavvägningsfixarna. Dock större osäkerhet.

Gridformat och interpolation

- Lantmäteriet publicerar modellerna i tre olika format:
 - En ASCII-fil (*.txt) i det så kallade GRAVSOFT-formatet (Forsberg 2003).
 - En ASCII-fil (*.dat) med ett rutnätsvärde per rad tillsammans med dess latitud och longitud.
 - En binärfil (*.grd) för programmet GTRANS.



- Latitud och longitud i SWEREF 99.
- En lämplig **interpolationsmetod** används för att få geoidhöjden i godtyckling punkt.
 - **Bikubiska splines** är till exempel en bra metod.
 - **Bilinjär interpolation** från de fyra närmaste gridnoderna ger aningen större interpolationsfel. (med stdavv ~ 1 mm, mkt litet jämfört med geoidmodellens osäkerhet).
- Testpunkter finns både för bikubiska splines och bilinjär interpolation

Exempel på ASCII-formaten

- De tio första raderna av ASCII-filen i GRAVSOF-format för SWEN17_RH2000:

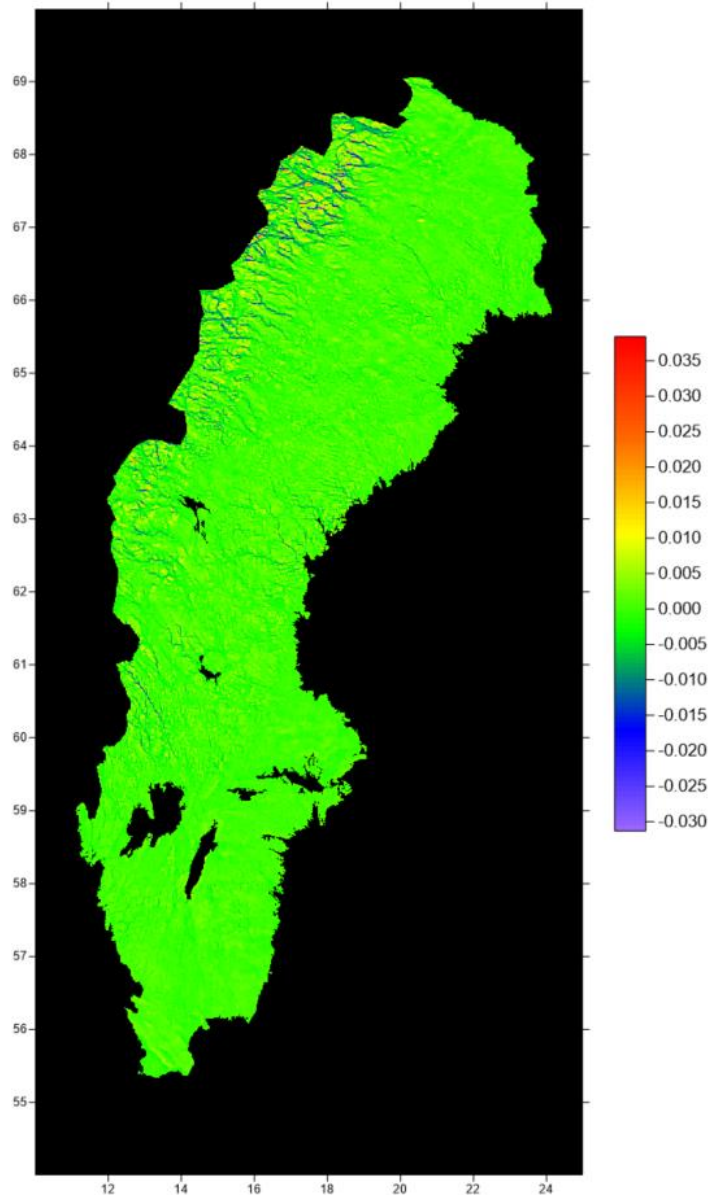
```
54.00000000  70.00000000  10.00000000  25.00000000  0.0100000000  0.0200000000

41.6480  41.6298  41.6116  41.5936  41.5753  41.5572  41.5389  41.5206
41.5022  41.4839  41.4654  41.4468  41.4282  41.4094  41.3906  41.3715
41.3524  41.3332  41.3139  41.2945  41.2749  41.2554  41.2356  41.2161
41.1964  41.1769  41.1574  41.1380  41.1186  41.0994  41.0802  41.0610
41.0419  41.0230  41.0041  40.9852  40.9663  40.9475  40.9288  40.9099
40.8912  40.8725  40.8539  40.8353  40.8168  40.7982  40.7796  40.7610
40.7423  40.7237  40.7051  40.6864  40.6678  40.6491  40.6303  40.6116
40.5928  40.5739  40.5552  40.5364  40.5178  40.4991  40.4805  40.4620
```

- De tio första raderna av ASCII-filen i det radvisa formatet för SWEN17_RH2000:

```
70.0000000  10.0000000  41.6480
70.0000000  10.0200000  41.6298
70.0000000  10.0400000  41.6116
70.0000000  10.0600000  41.5936
70.0000000  10.0800000  41.5753
70.0000000  10.1000000  41.5572
70.0000000  10.1200000  41.5389
70.0000000  10.1400000  41.5206
70.0000000  10.1600000  41.5022
70.0000000  10.1800000  41.4839
```

Förbättring av att använda samplingsintervallet 0.01x0.02 jämfört med 0.02x0.04 grader



Figuren visar skillnaden mellan att använda 0.01x0.02 grader jämfört med 0.02x0.04 grader och bilinjär interpolation.

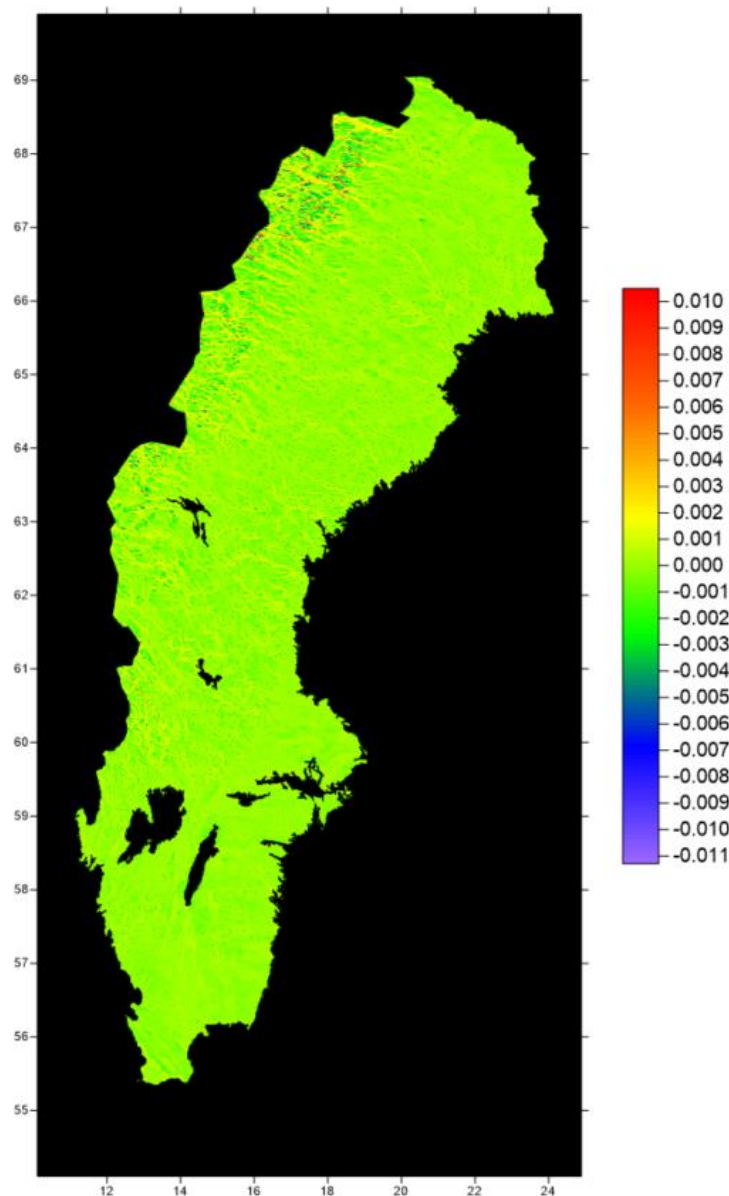
Enhet: meter

#	Min	Max	Mean	StdAvv
1599x749	-0.0313	0.0384	0.0001	0.0030

LANTMÄTERIET



Förbättring av att använda bikubiska splines jämfört med bilinjär interpolation



Figuren visar skillnaden mellan att interpolera i SWEN17_RH2000 med **bikubiska splines** och **bilinjär** interpolation.

Skillnaden har beräknats i ett 0.01x0.02 graders rutnät förskjutet 0.005x0.01 grader jämfört med det ursprungliga SWEN17_RH2000 rutnätet (griddet).

Enhet: meter

#	Min	Max	Mean	StdAvv
1599x749	-0.0113	0.0105	0.0000	0.0008