



# Noggrann höjdbestämmning 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.

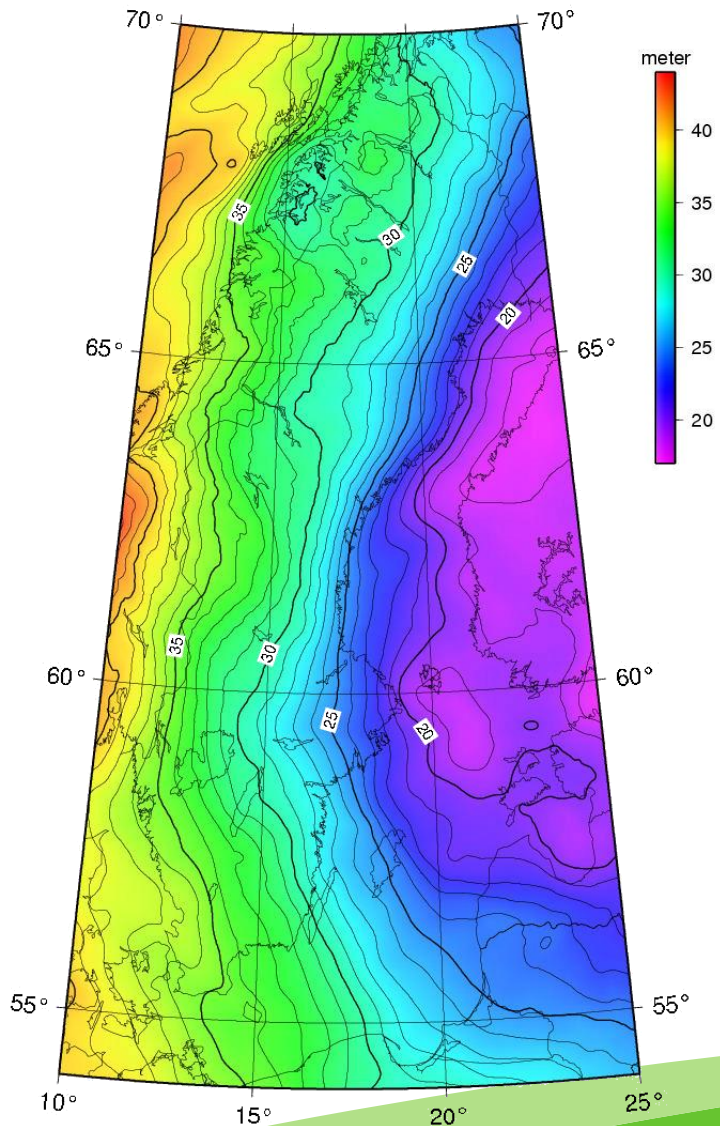
- **Geometrisk** geoidbestämning (**GNSS/avvägning**)

- 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, långvägiga fel i höjdsystemet och i den gravimetriska geoidmodellen).

# Tillbakablick: Den tidigare nationella geoidmodellen SWEN08\_RH2000

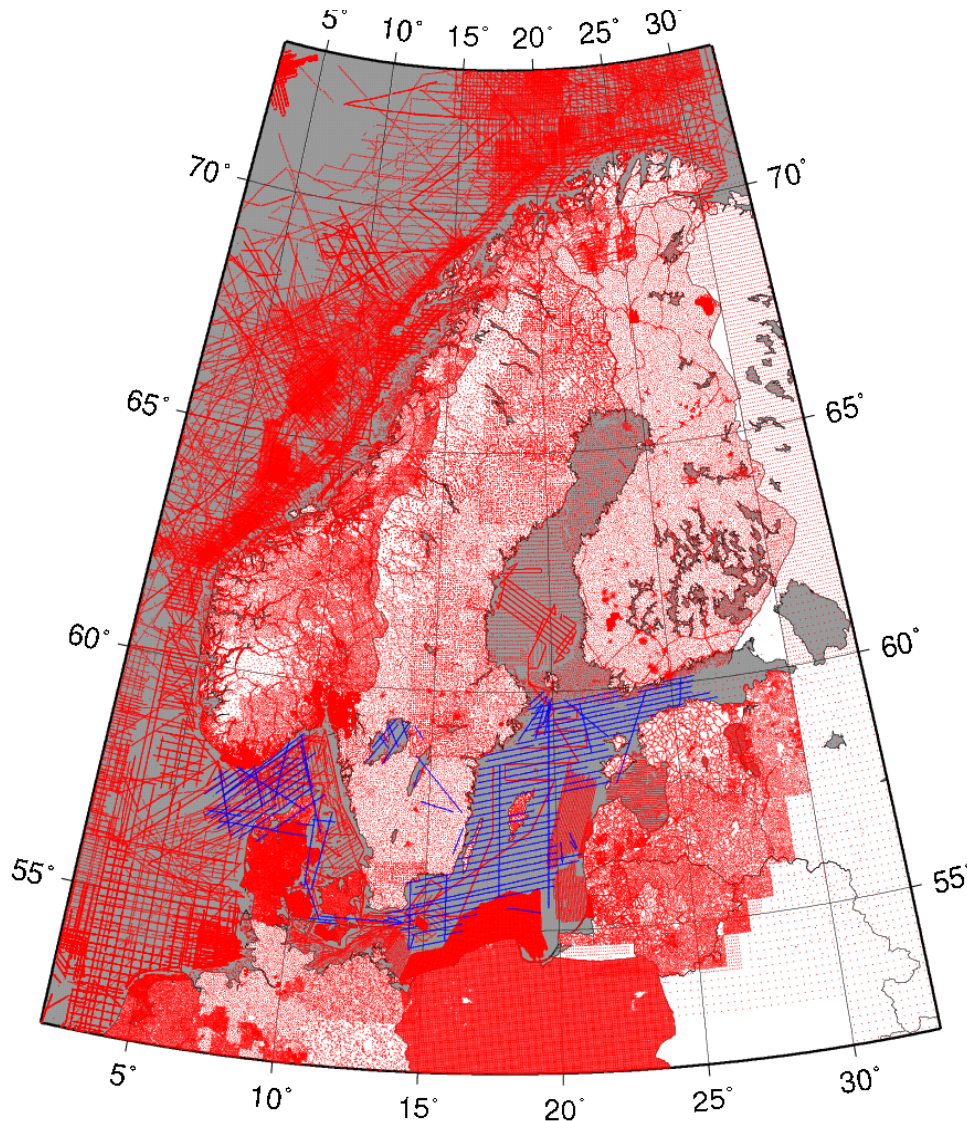


- Beräknad genom att anpassa den gravimetriska geoidmodellen **KTH08** till de svenska nationella referenssystemen **SWEREF 99** och **RH 2000**,
- Detta har gjorts genom att addera ett skift och en jämn restfelsyta baserad på jämförelse mot GNSS/avvägning:
$$N_{\text{SWEN08\_RH2000}} = N_{\text{KTH08}} + \text{Skift} + \Delta N_{\text{Restfelsyta}} \left( +\Delta h_{\text{noll} \rightarrow \text{tidjordsfri}} \right)$$
- 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

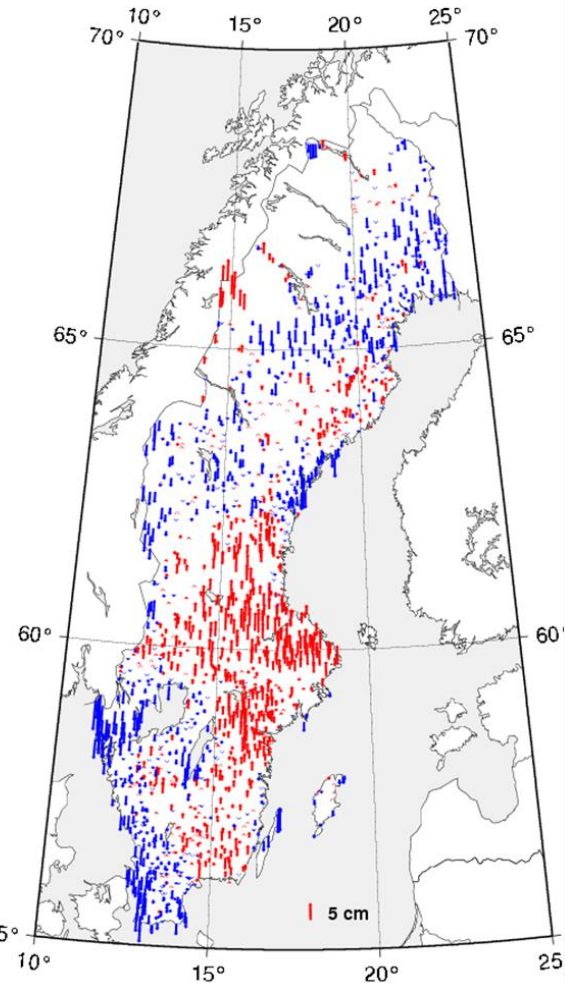
270 204 observationer ur NKGs tyngdkrafts-databas (ver. 2004) användes för KTH08.



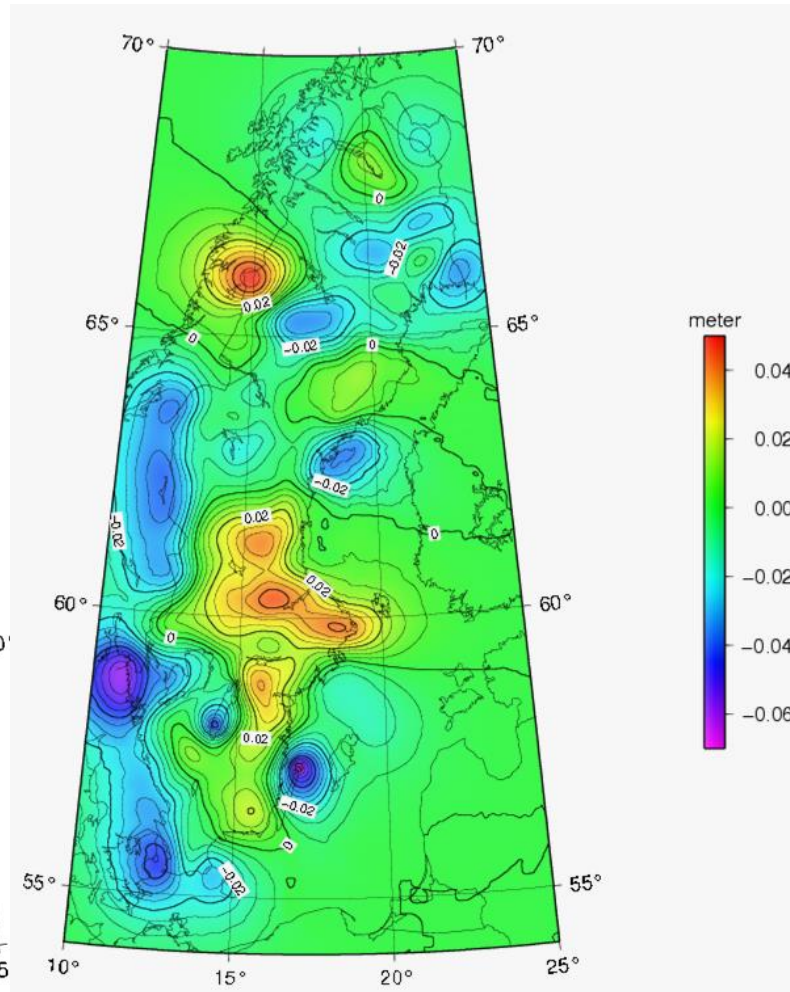


# Anpassning av SWEN08\_RH2000 till GNSS/avvägning

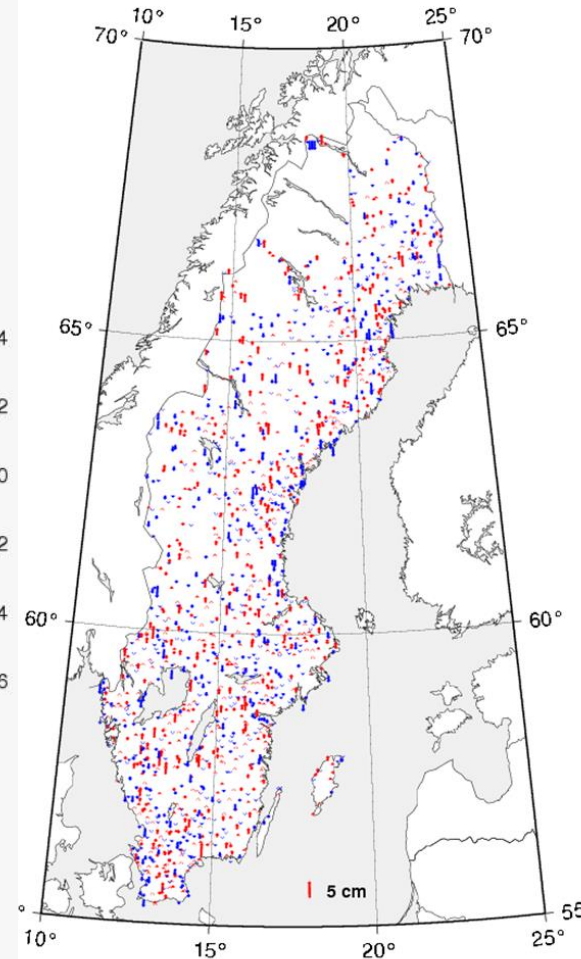
Residualer för KTH08  
(efter ett skift)



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.

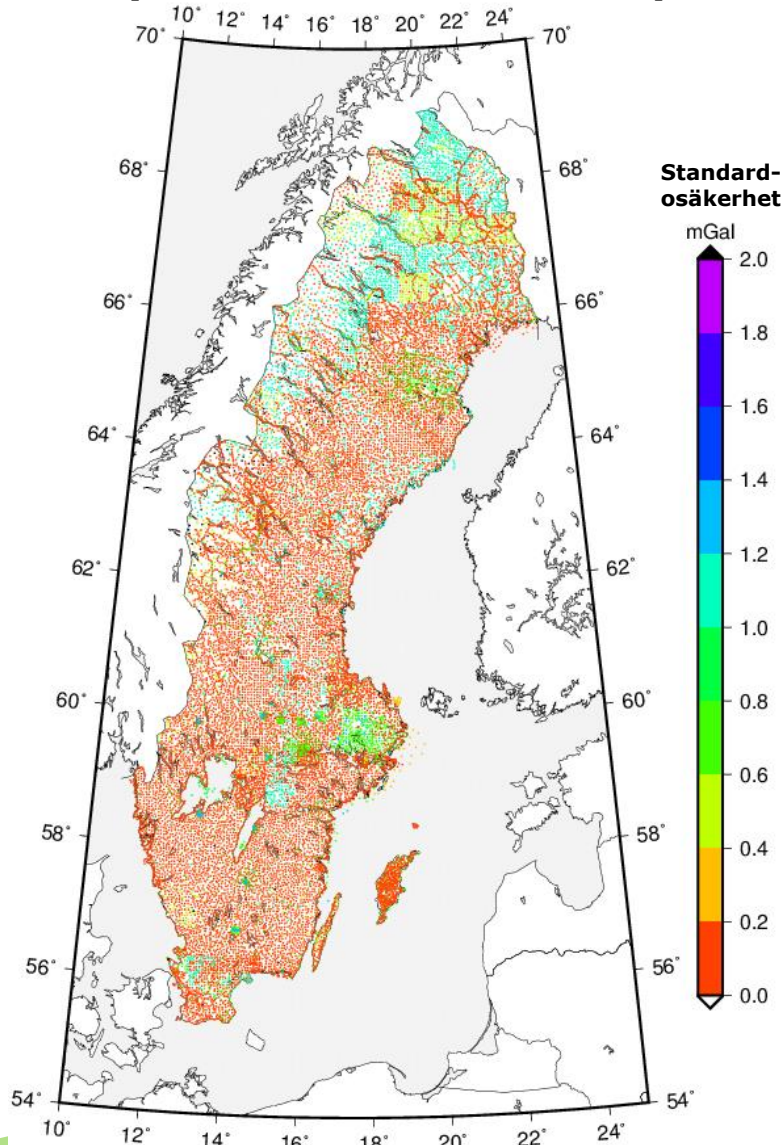


# Sammanfattning av aktiviteter för att förbättra den svenska geoidmodellen efter SWEN08\_RH2000

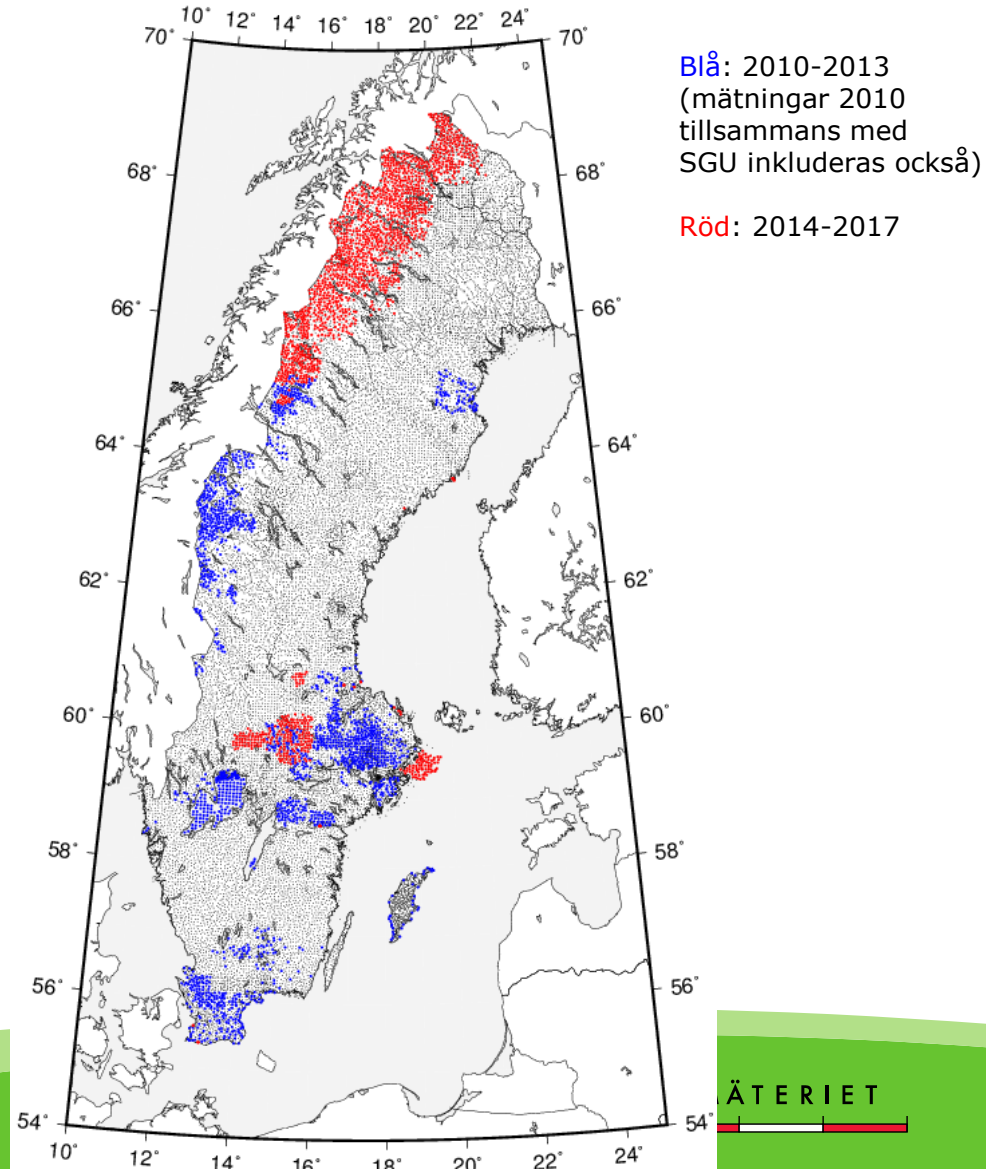
- Den svenska **detaljtyngdkraftsdatabasen** har kontrollerats och kompletterats med nya mätningar, framförallt i Fjällen och Vänern.
- En ny Nordisk gravimetrisk geoidmodell (NKG2015) har beräknats i internationellt samarbete med uppdaterade data och förbättrad metod (NKG = Nordiska Kommissionen för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

- Startade i augusti 2012
- Helikopter för förflyttning mellan punkterna
- I övrigt samma mätprocedur som ovan.
- Konceptet fungerarade bra.

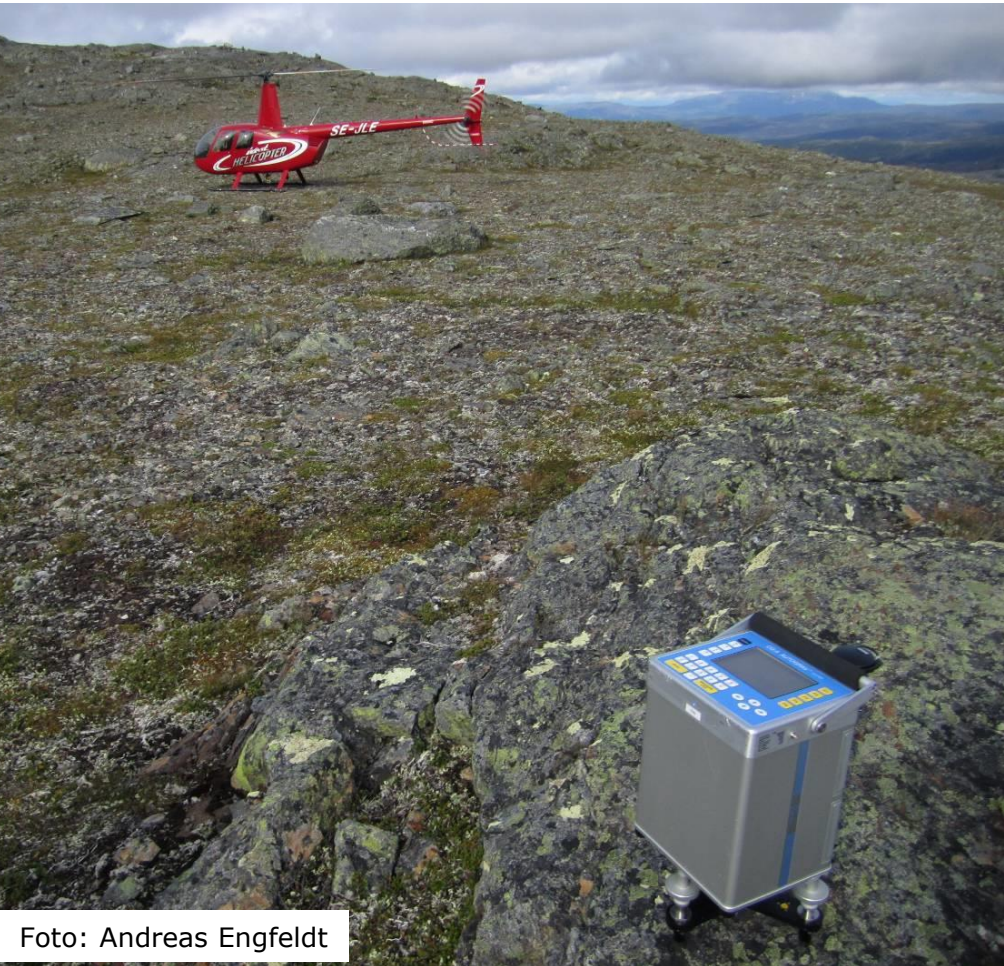


Foto: Andreas Engfeldt



# 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

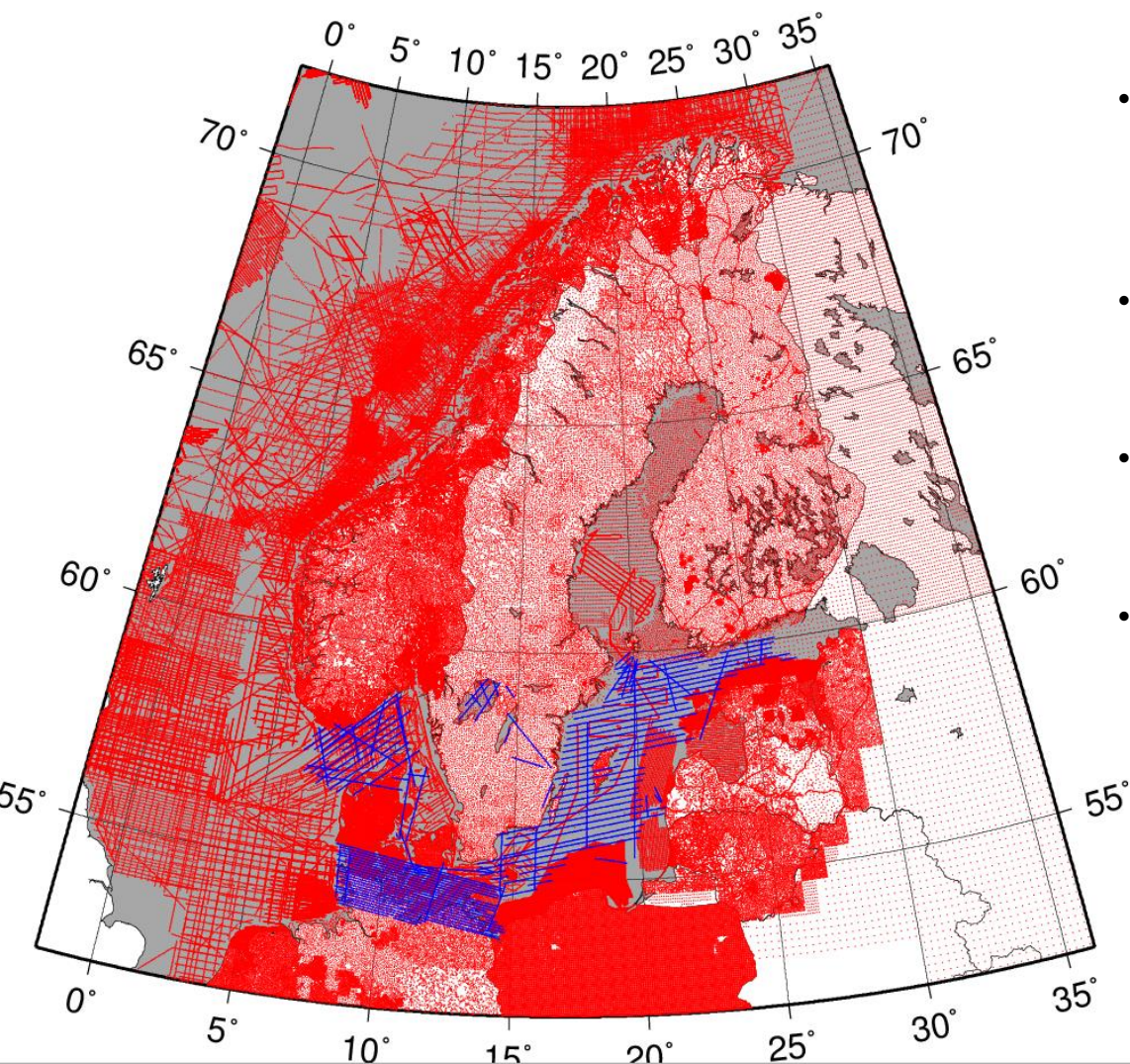


- Genom åren har ett antal **gravimetriska geoidmodeller** beräknats av den Nordiska Kommissionen för Geodesi (NKG), nämligen:
  - NKG1986 (Tscherning and Forsberg 1986)
  - NKG1989 (Forsberg 1990)
  - NKG1996 (Forsberg et al. 1996)
  - NKG2002
  - NKG2004
- **NKG2015-projektet** startade 2011 och syftade 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).





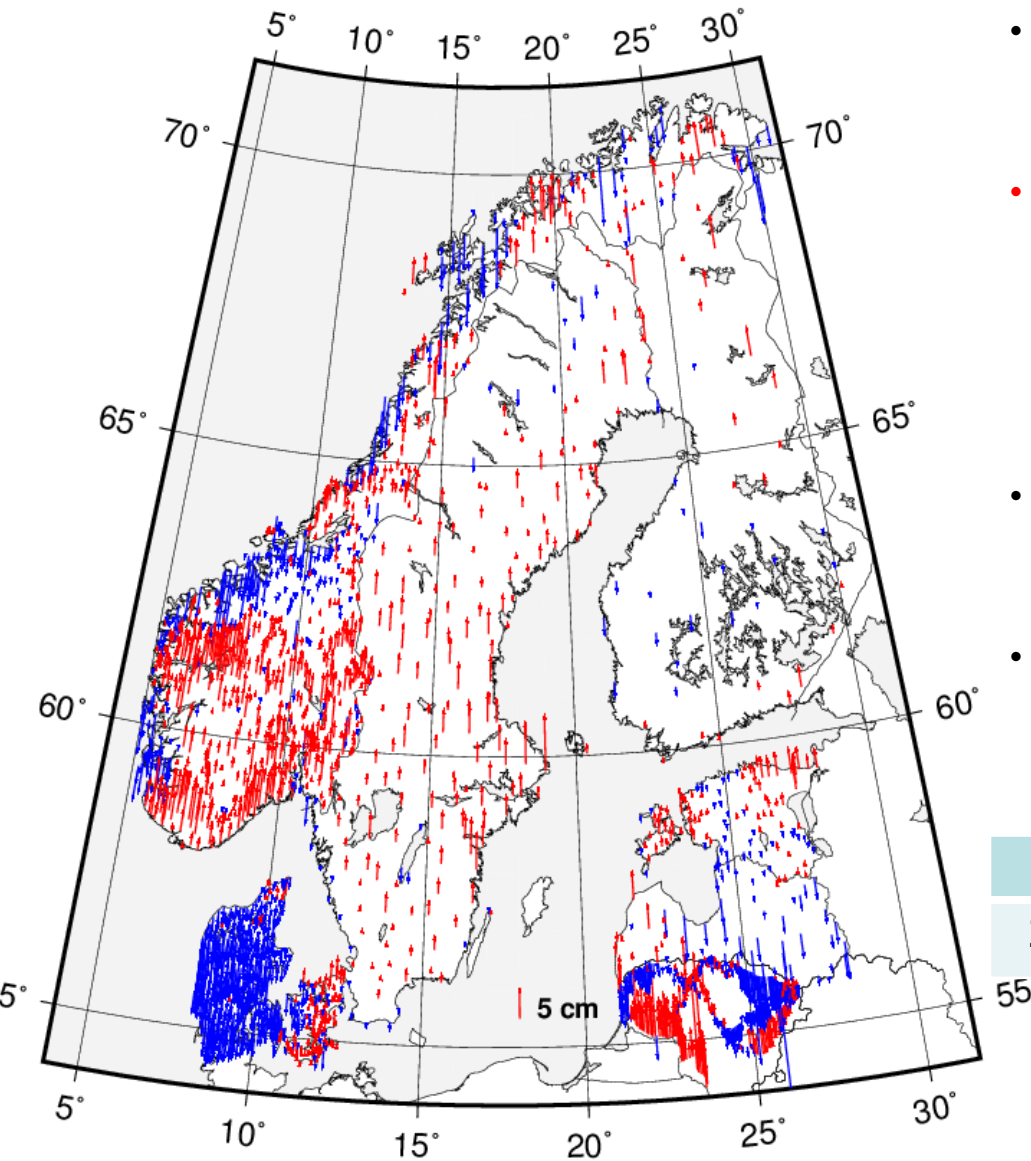
# NKGs tyngdkraftsdatabas



- 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- and 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 (standardosäkerhet runt ca **10 mm**).

#	Min	Max	Mean	StdAvv
2538	-0.1740	0.1740	0.0000	0.0285

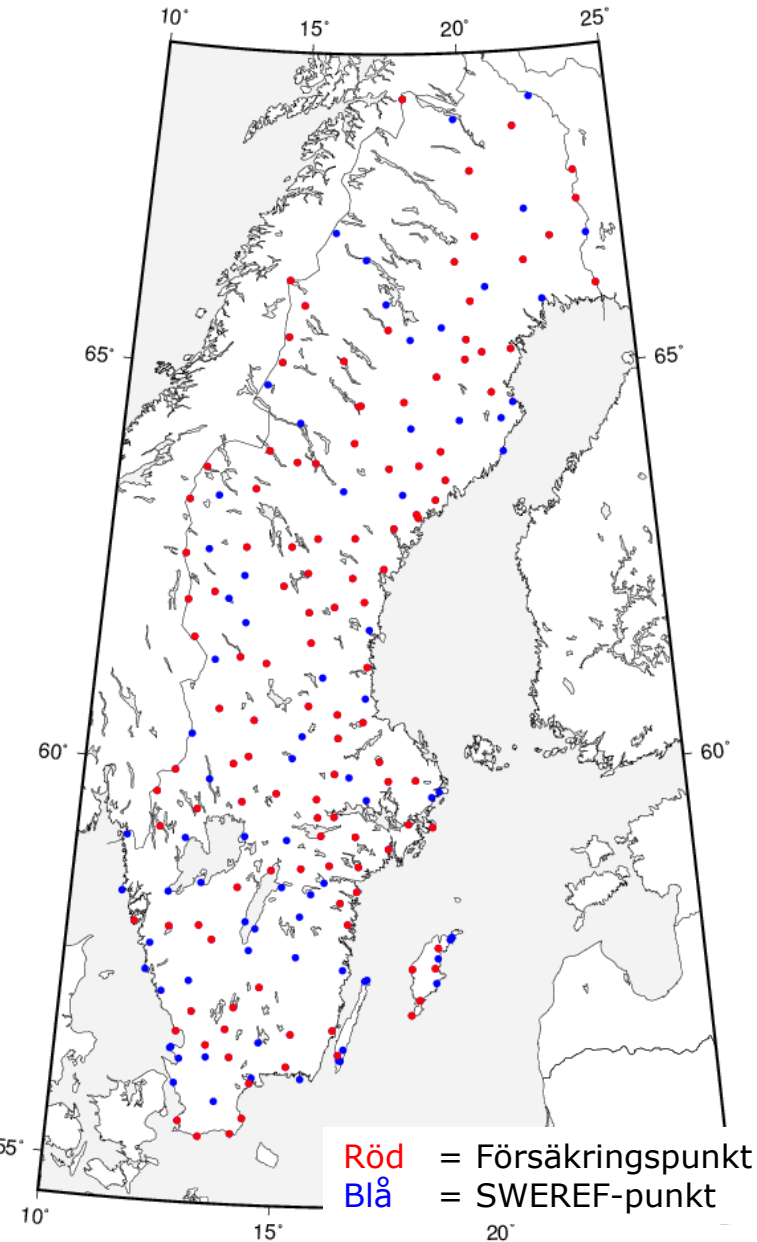
# Jämförelse med andra gravimetriska geoidmodeller tillgängliga över hela Norden/Baltikum

Model	Standard deviation in 1-parameter fit (meter)							
	All	Denmark	Estonia	Finland	Latvia	Lithuania	Norway	Sweden
<b>NKG2015</b>	<b>0.0285</b>	<b>0.0168</b>	<b>0.0147</b>	<b>0.0215</b>	<b>0.0246</b>	<b>0.0333</b>	<b>0.0285</b>	<b>0.0186</b>
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
<b>EGG2015</b>	<b>0.0351</b>	<b>0.0169</b>	<b>0.0214</b>	<b>0.0209</b>	<b>0.0207</b>	<b>0.0321</b>	<b>0.0412</b>	<b>0.0225</b>

# 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.

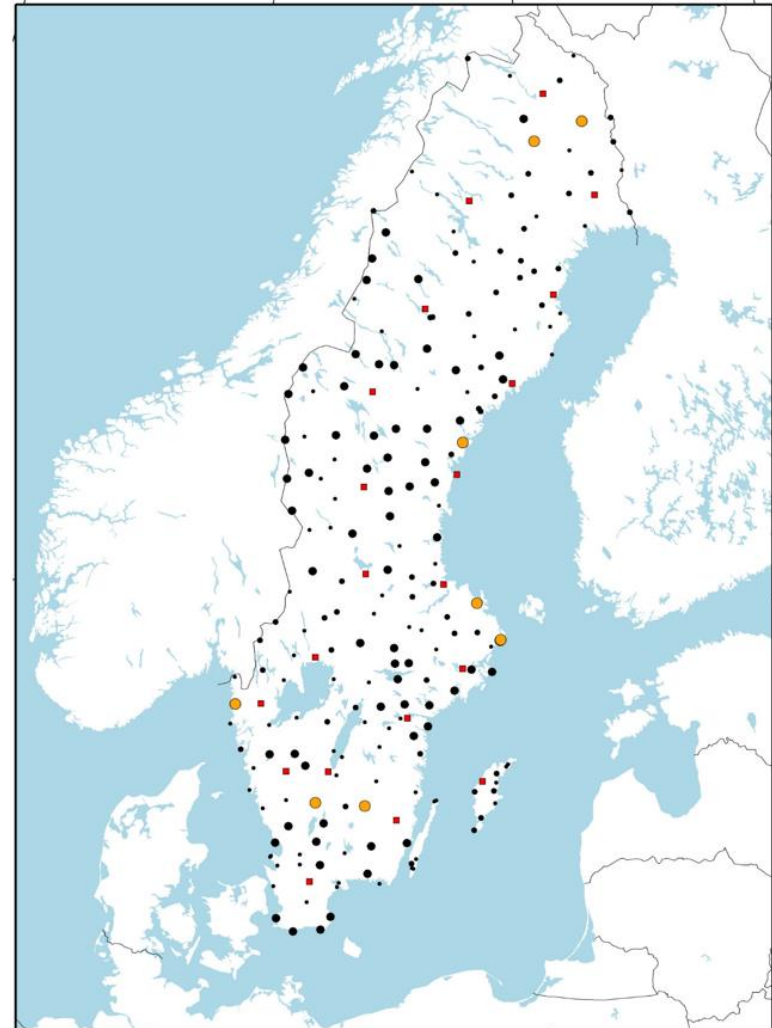
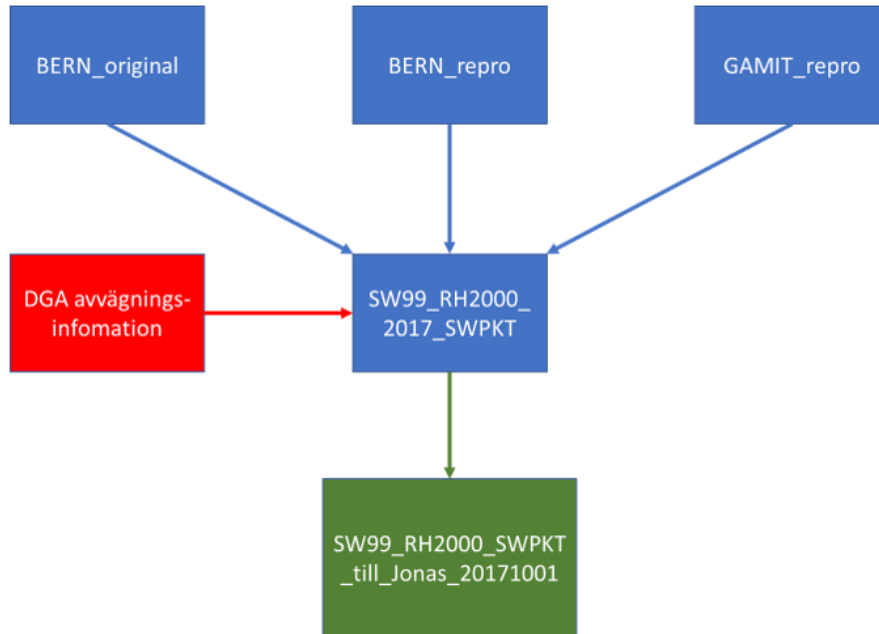
# Förbättrad GNSS/avvägning (1)



- Kärnan är Lantmäteriets så kallade **SWEREF-punkter**, vilkas höjd över ellipsoiden bestäms 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.



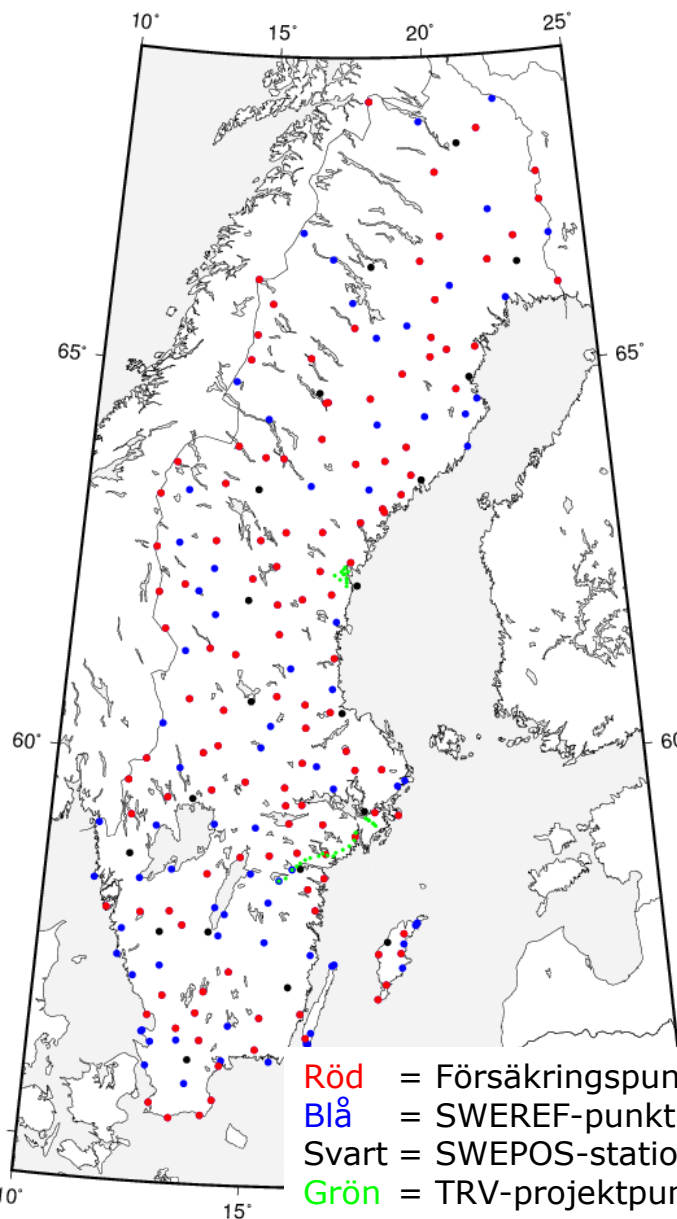
## Förbättrad GNSS/avvägning (2)



*GNSS/avvägningpunkter för SWEN17. SWEREF-punkterna är representerade av svarta punkter, där de minsta är mätta ett år, de mellanstore 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**.

# Om beräkningen av SWEN17\_RH2000

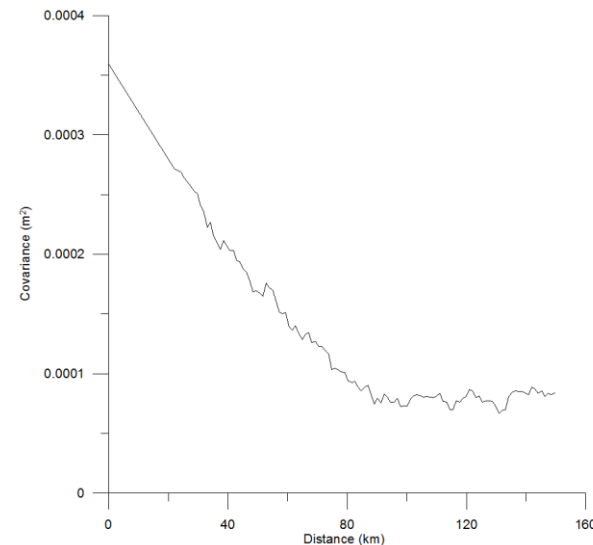




# Hur beräknades SWEN17\_RH2000?

- 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).

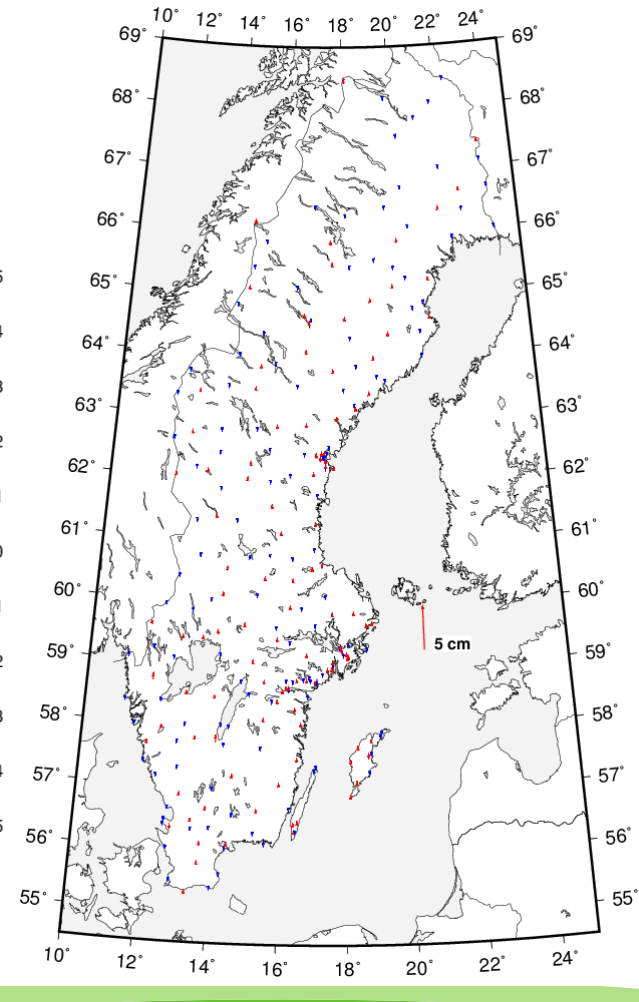
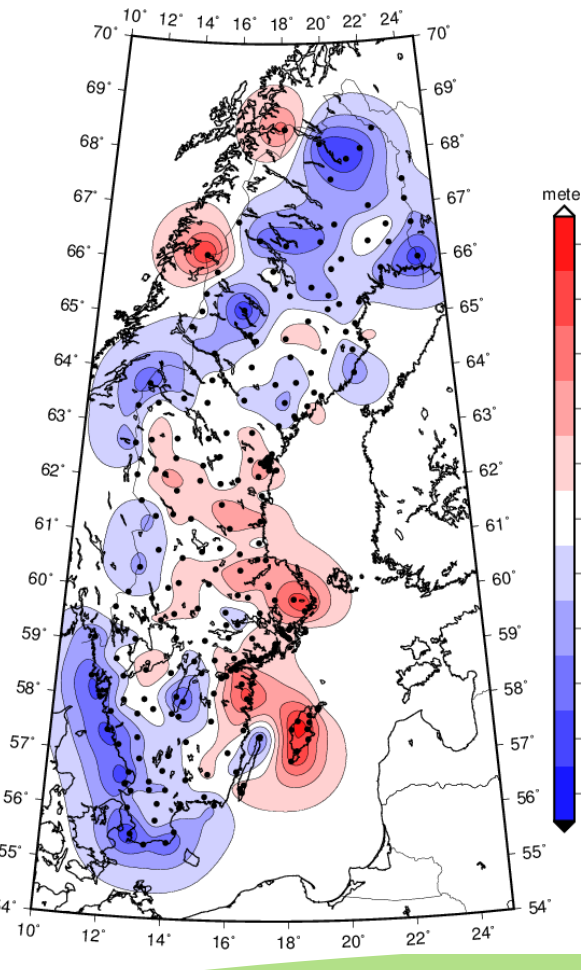
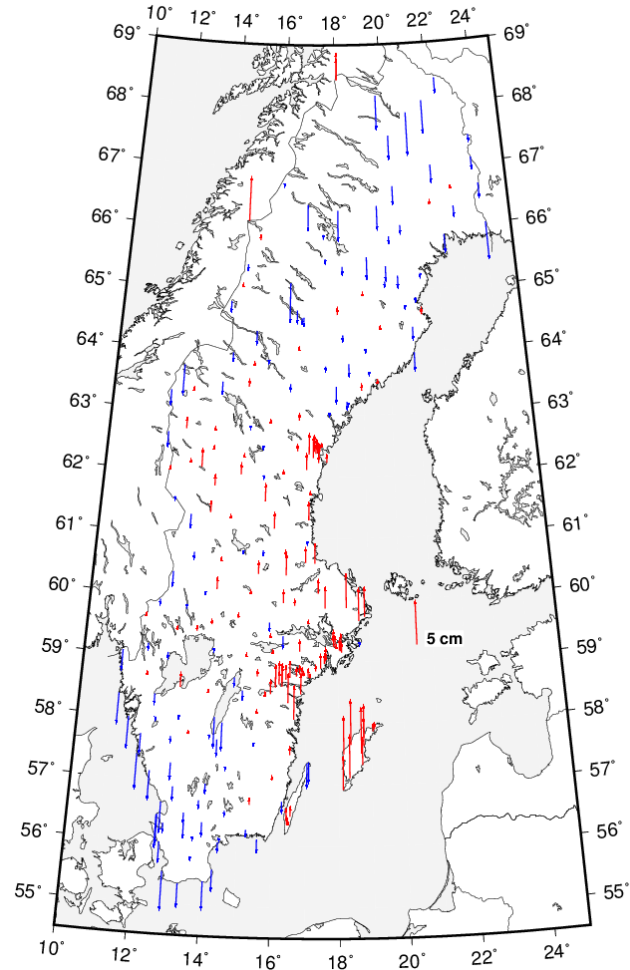


# SWEN17\_RH2000

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.

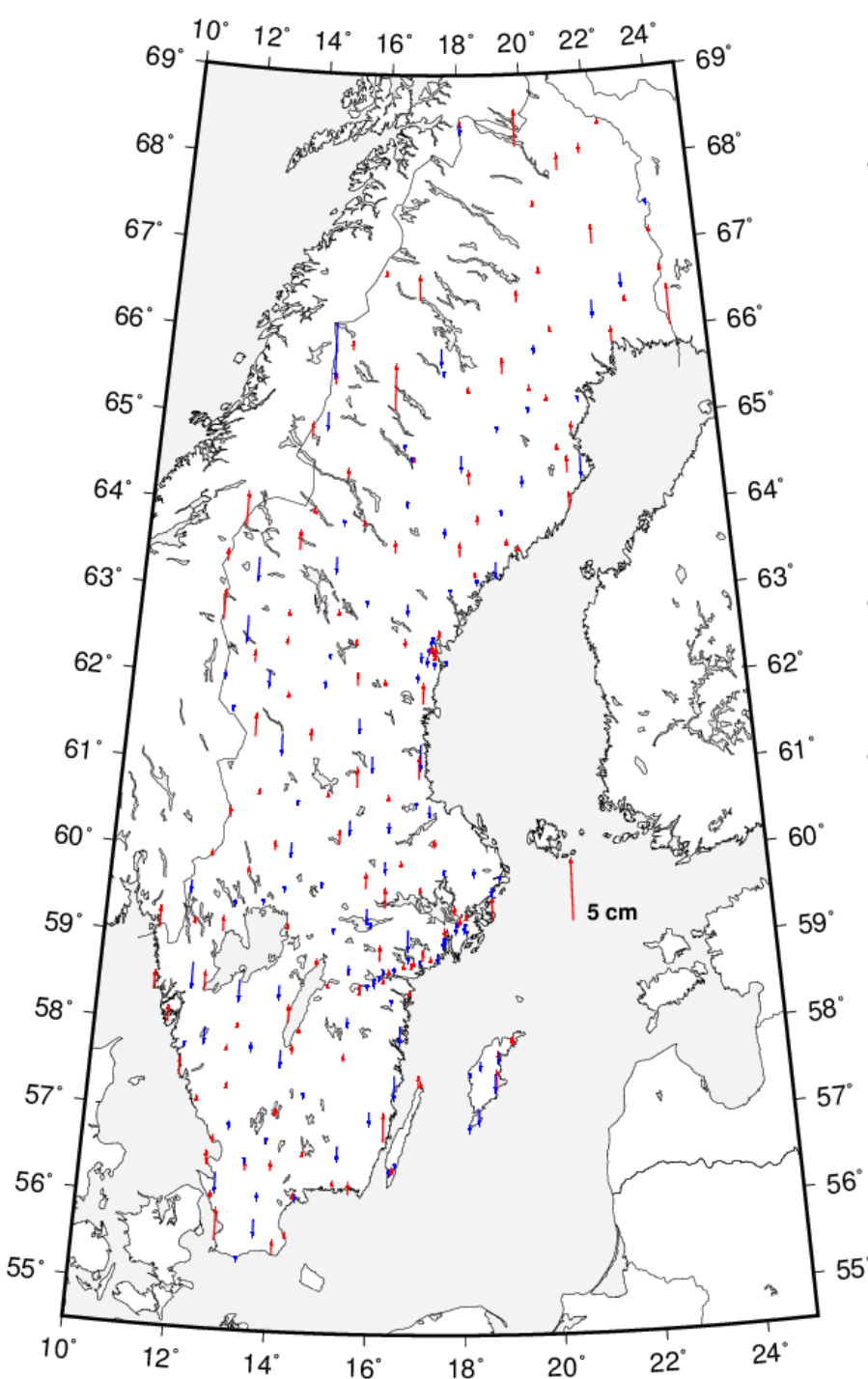
Genom att jämföra med den borttagna observationen fås en korsvalideringsresidual.

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



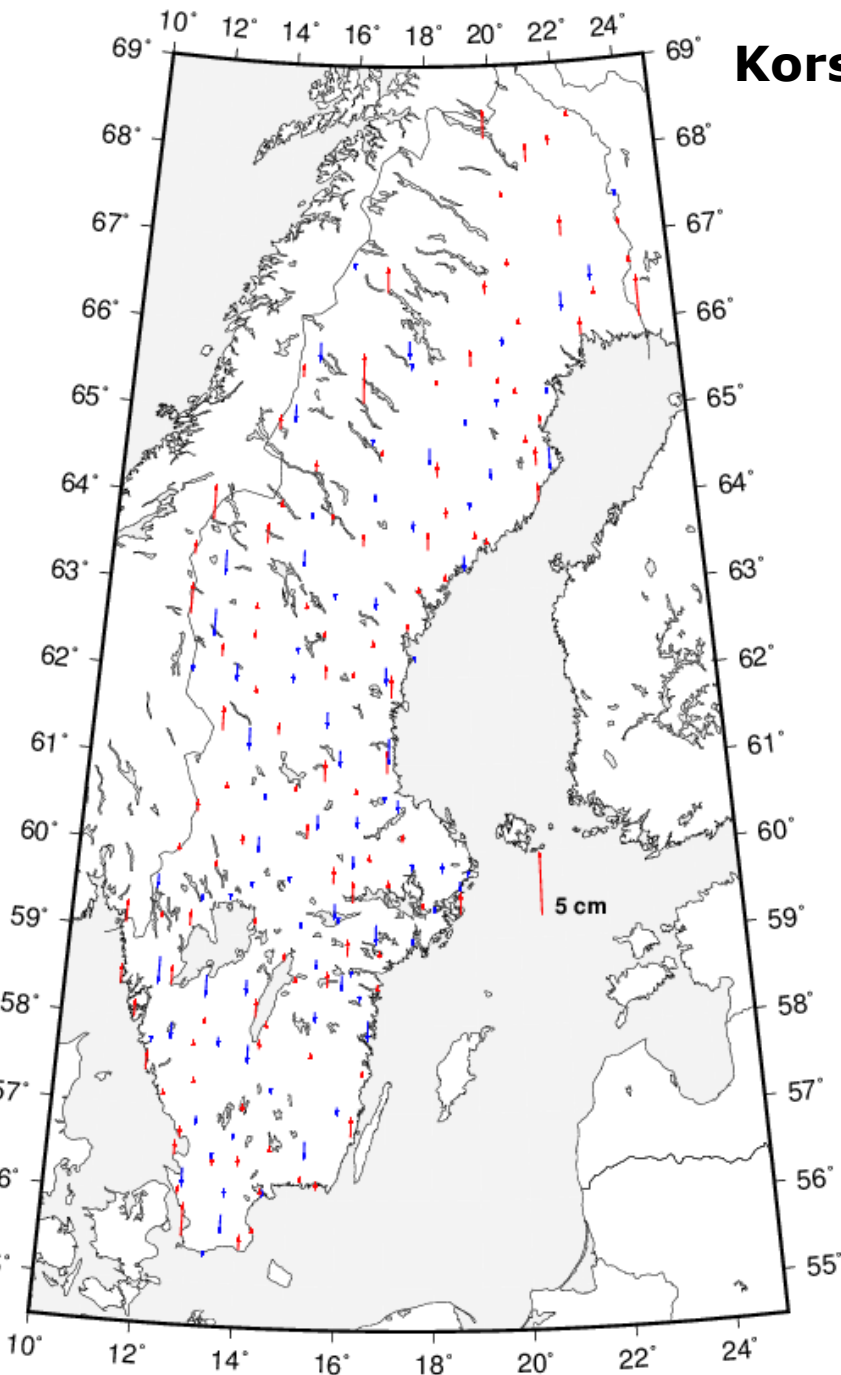
## Korsvalidering (2): Utvald GNSS/avvägning

- 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

$$\sigma_{\text{SWEN17\_RH2000}} = \sqrt{\sigma_{\text{cross.val.}}^2 - \sigma_{\text{GNSS}}^2 - \sigma_{\text{EXC AVV}}^2}$$
$$\approx \sqrt{11.2^2 - 5^2 - 3^2} = 9.3 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{SWEN17\_RH2000}} \approx \sqrt{11.2^2 - 7^2 - 3^2} = 8.0 \text{ mm}$$



# 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).



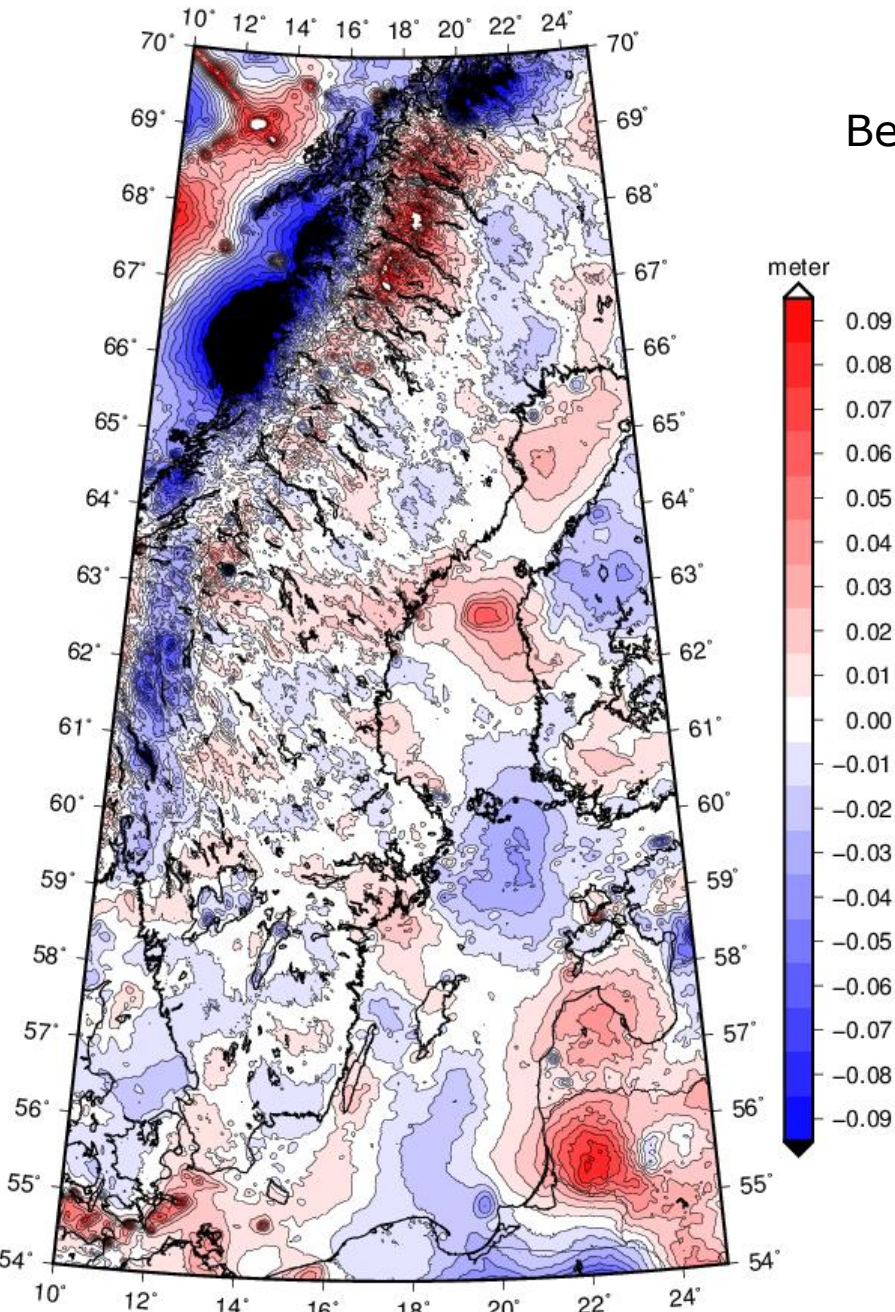
# Jämförelse mellan SWEN17\_RH2000 och SWEN08\_RH2000



# Skillnaden mellan SWEN17\_RH2000 och SWEN08\_RH2000 (1)

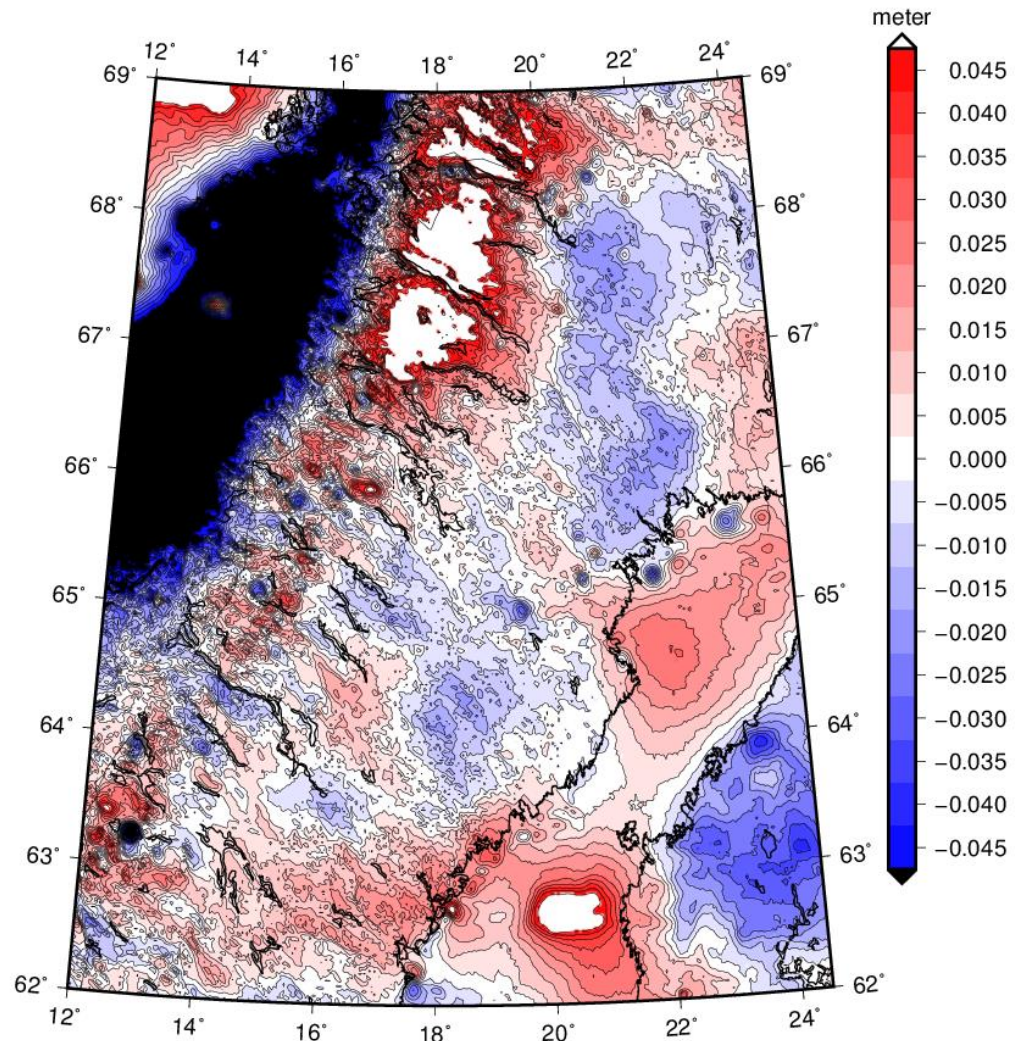
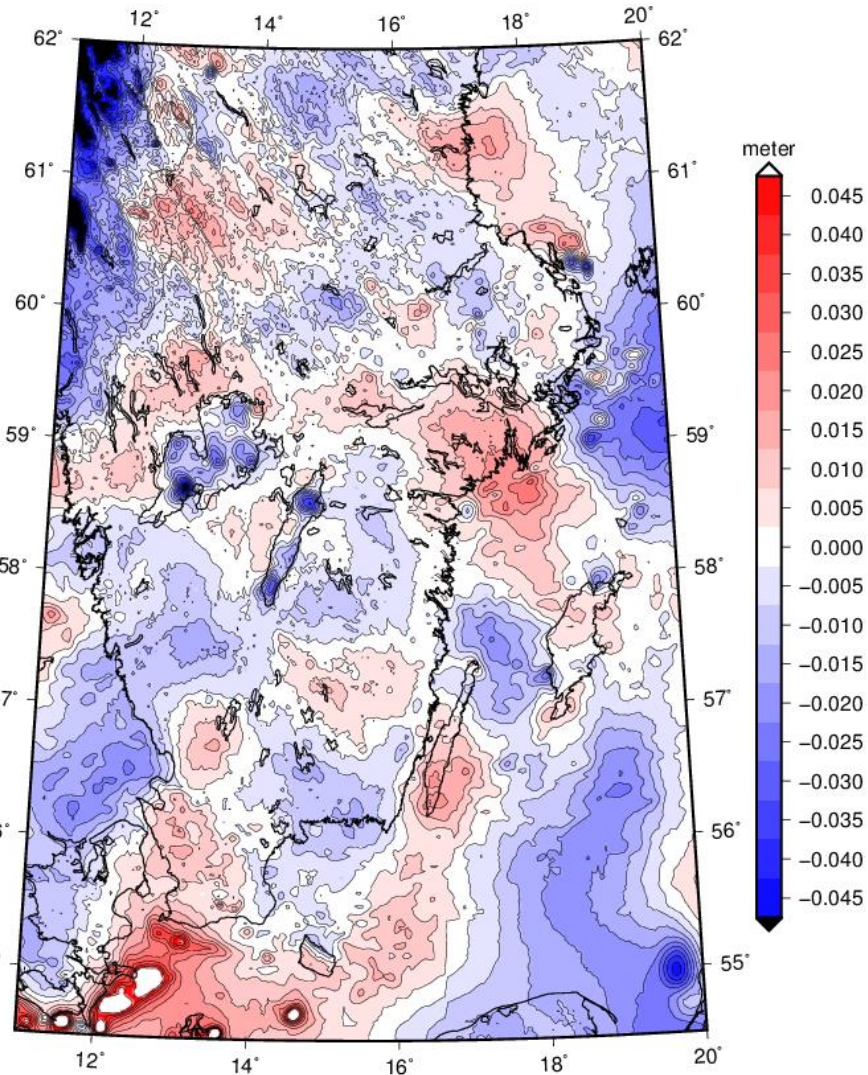
Beror framförallt på

- 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.



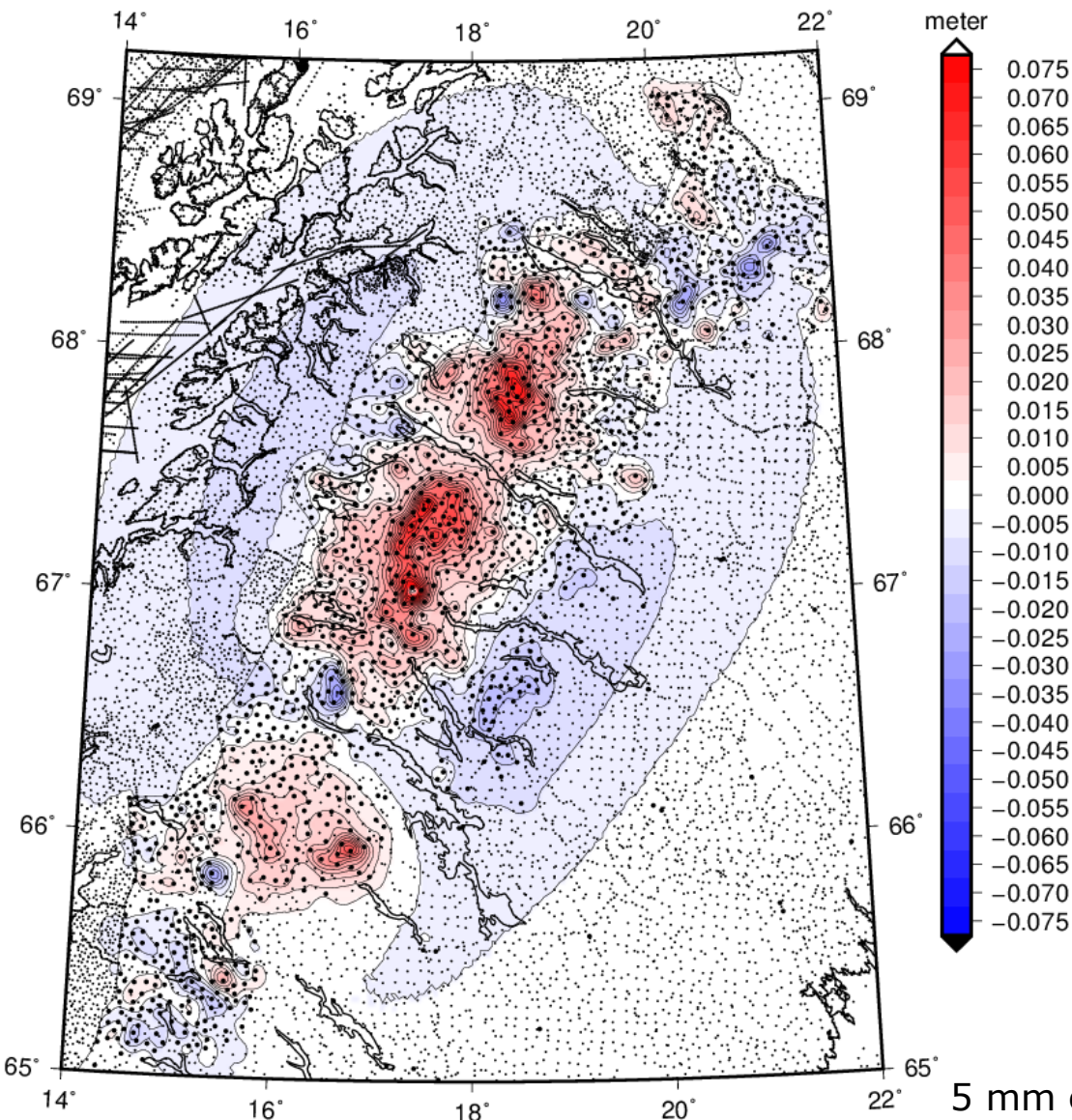


# Skillnad mellan SWEN17\_RH2000 och SWEN08\_RH2000 (2)





# 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).

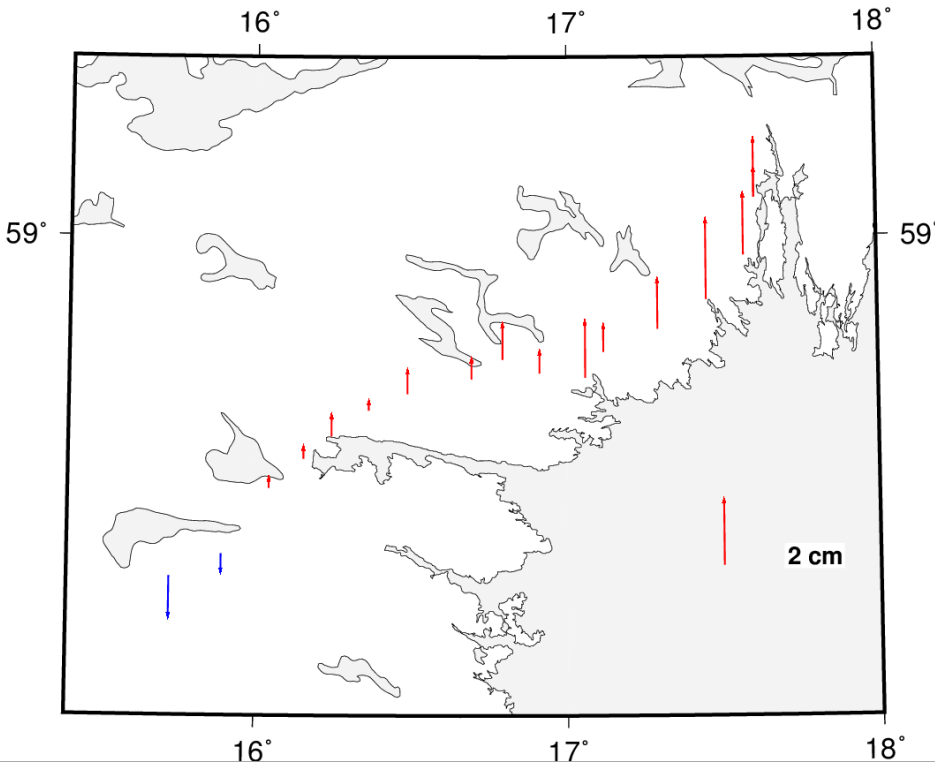


# Utvärdering i tre Trafikverksprojekt



# Utvärdering längs Ostlänken

## GNSS/avvägningsresidualer för SWEN08\_RH2000:



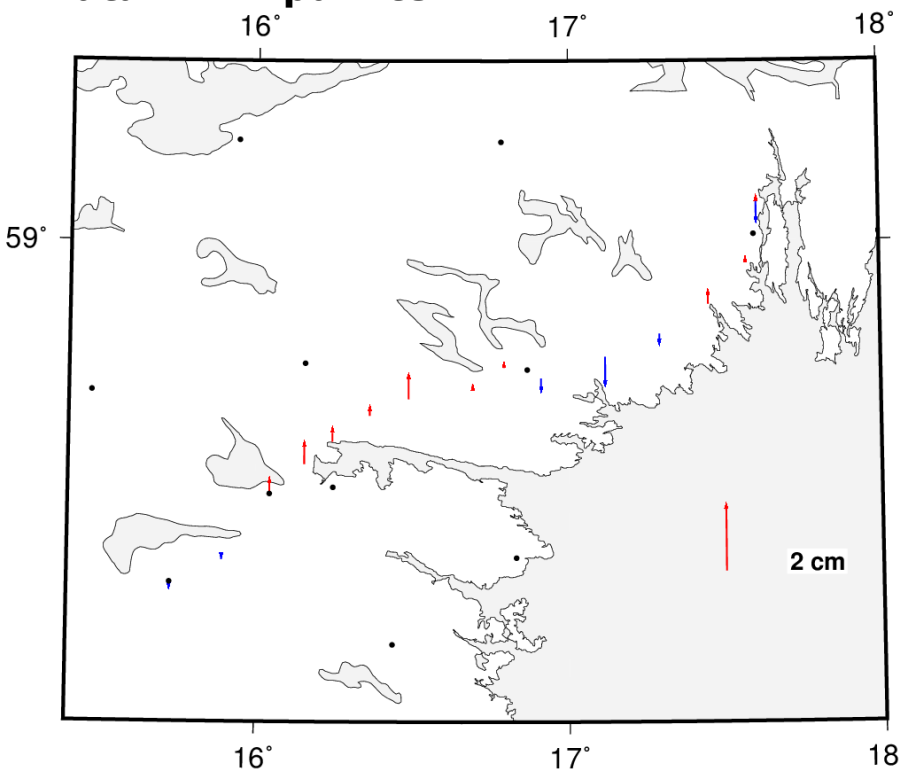
#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
17*	-0.0129	0.0241	0.0085	0.0090	0.0122

- I Trafikverksprojektet Ostlänken bestämdes 16 nya avvägda punkter med 4 timmars GNSS-mätning, chokeringantenner och beräkning i projektanpassad 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.

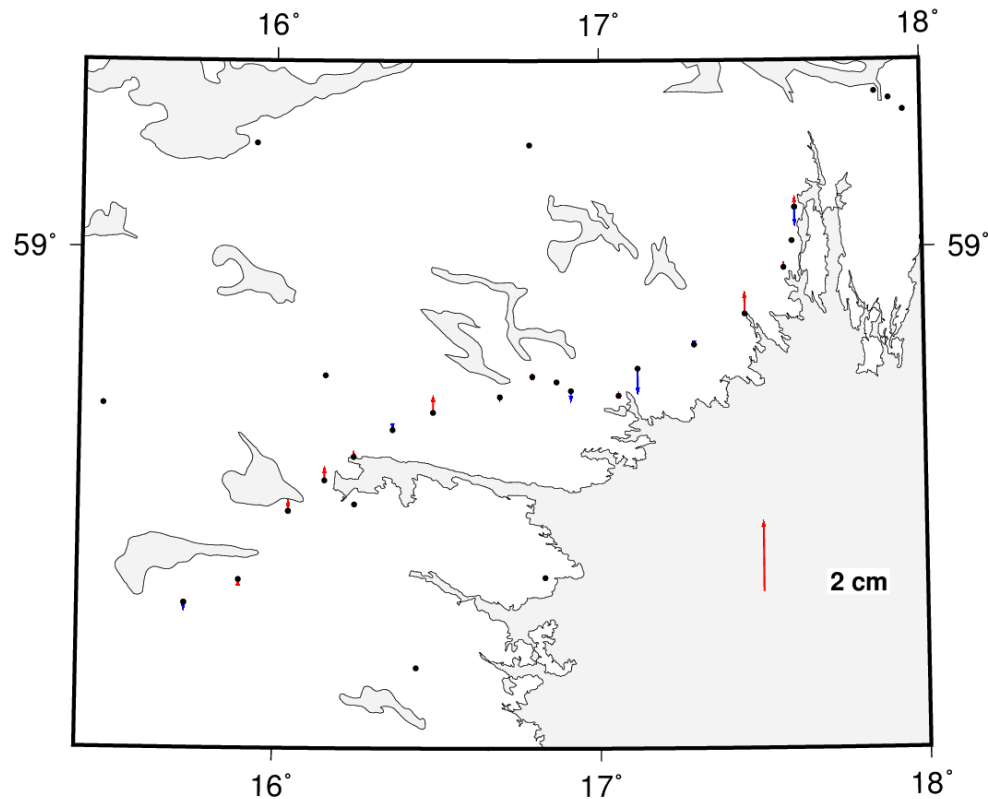
# GNSS/avvägningsresidualer för SWEN17\_RH2000 längs **Ostlänken**

SWEN17-version beräknad utan TRV-punkter:



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

SWEN17\_RH2000:

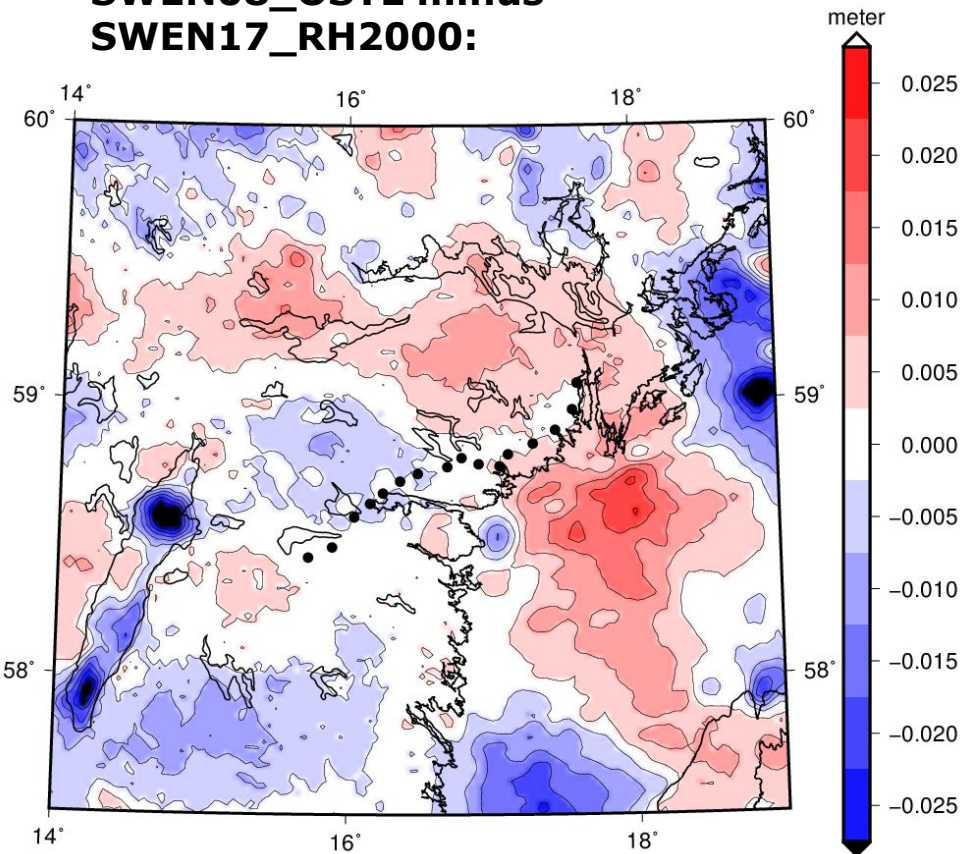


#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
17*	-0.0073	0.0064	0.0004	0.0036	0.0036

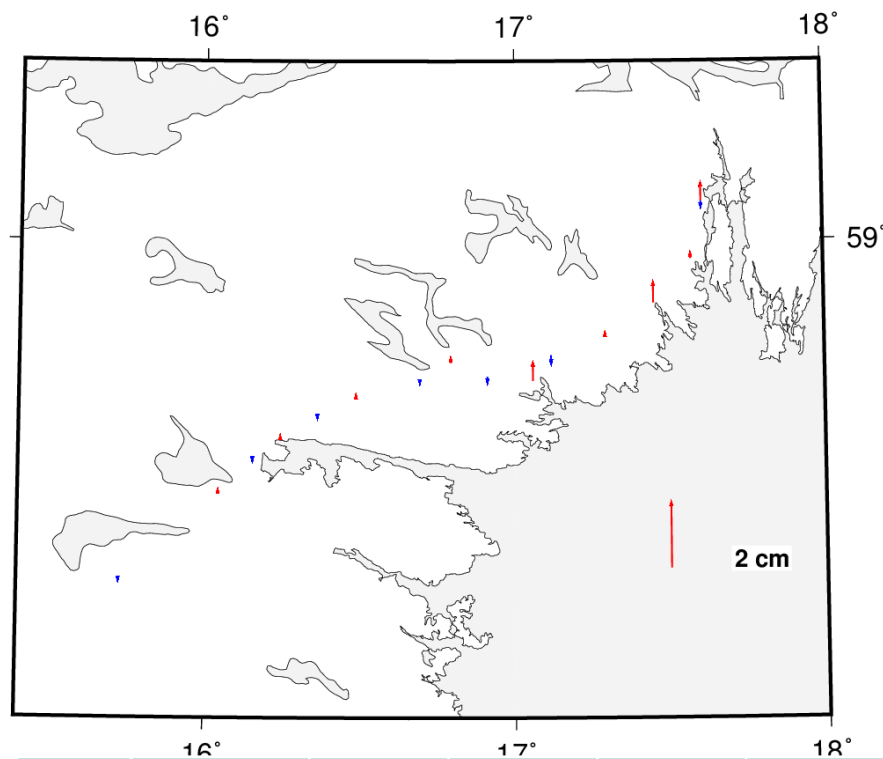
De svarta punkterna är GNSS/avvägningsobservationer som använts för att beräkna respektive modell.

# Skillnad mellan SWEN17\_RH2000 och SWEN08\_OSTL

SWEN08\_OSTL minus SWEN17\_RH2000:



GNSS/avvägningsresidualer för SWEN08\_OSTL:



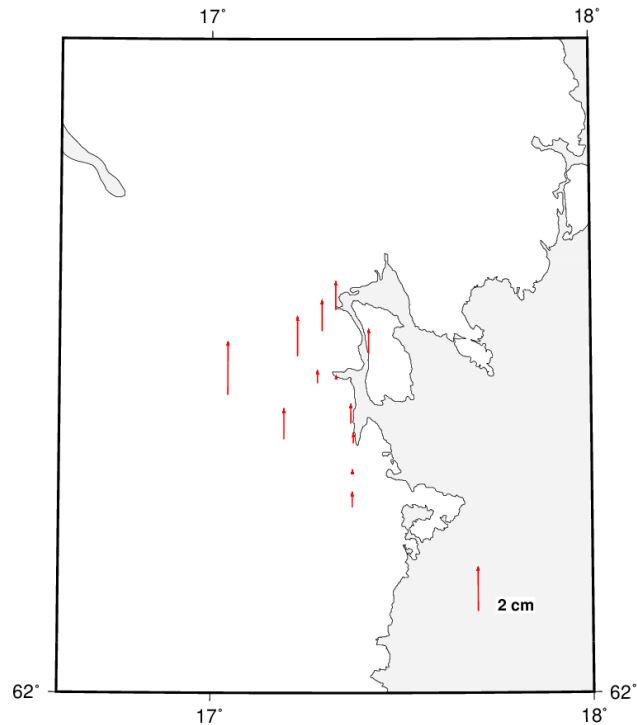
#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
17*	-0.0033	0.0068	0.0009	0.0031	0.0032

- SWEN08\_OSTL stämmer mycket bra med SWEN17\_RH2000 längs ostlänken, men betar sig som SWEN08\_RH2000 en bit bort.



# Utvärdering i Sundsvall

## GNSS/avvägningsresidualer för SWEN08\_RH2000:

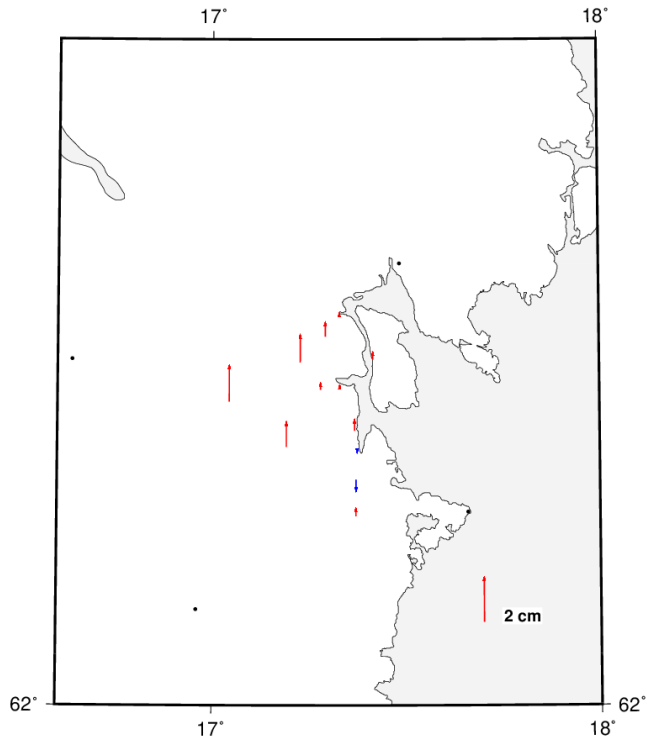


\*) I figurerna visas residualer i 12 stycken TRV-punkter som har bestämts med den L1-baserade beräkningstjänsten och 4 timmars observationstid.

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

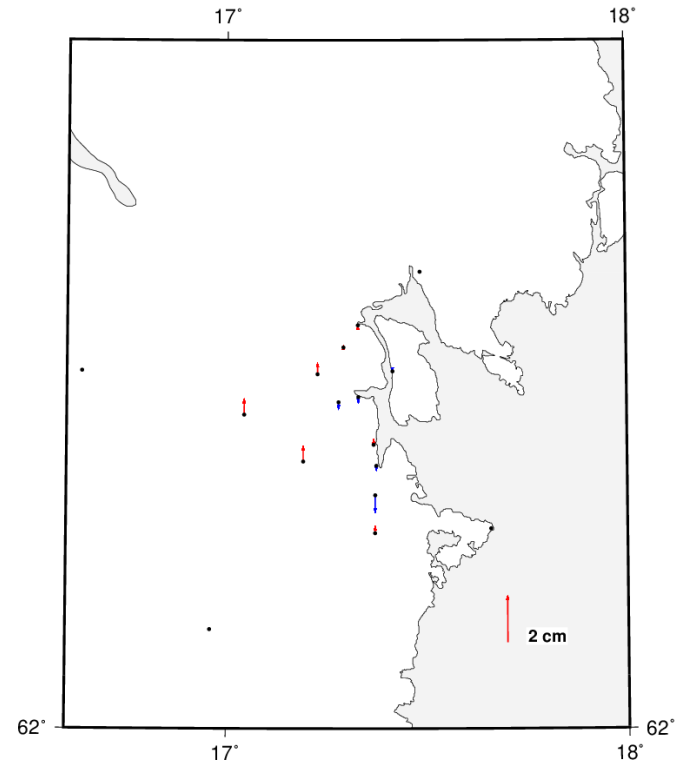
# GNSS/avvägningsresidualer för SWEN17\_RH2000 i **Sundsvall**

SWEN17-version beräknad  
utan TRV-punkter:



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

SWEN17\_RH2000:

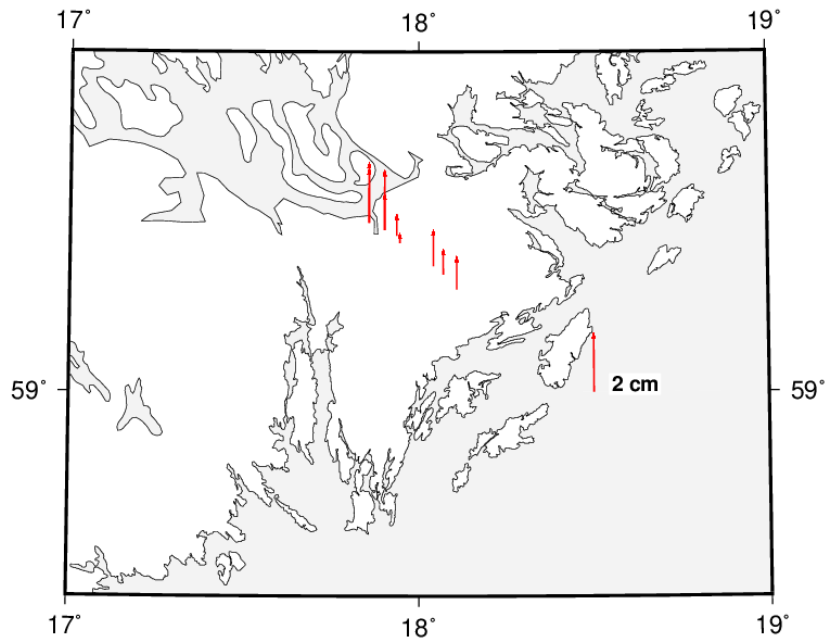


#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
12*	-0.0075	0.0069	0.0008	0.0044	0.0042

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.

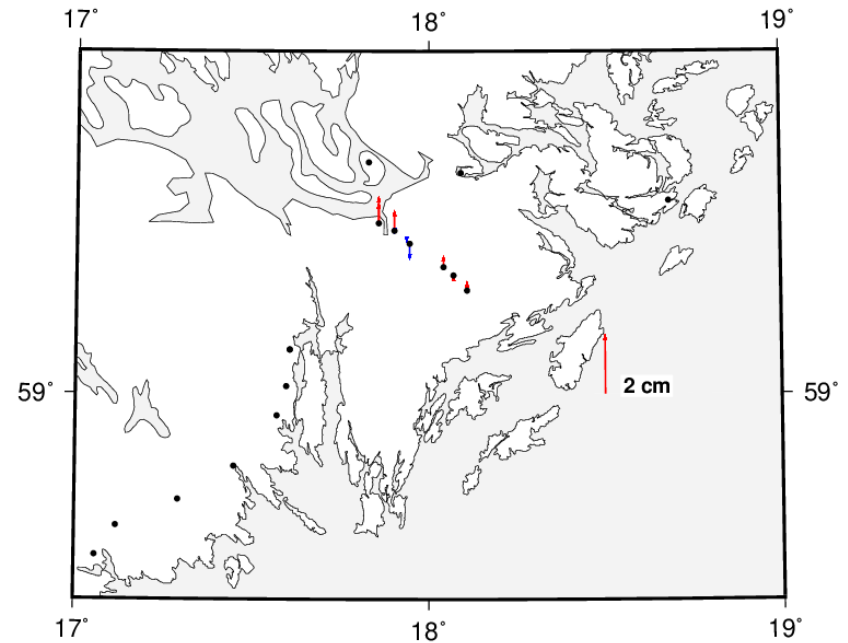
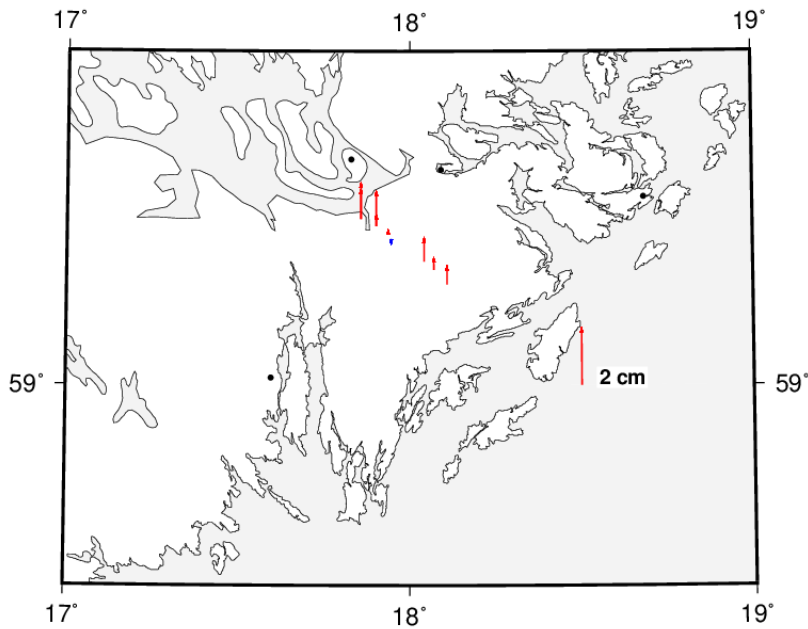
Två av punkterna har mätts två gånger

#	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:



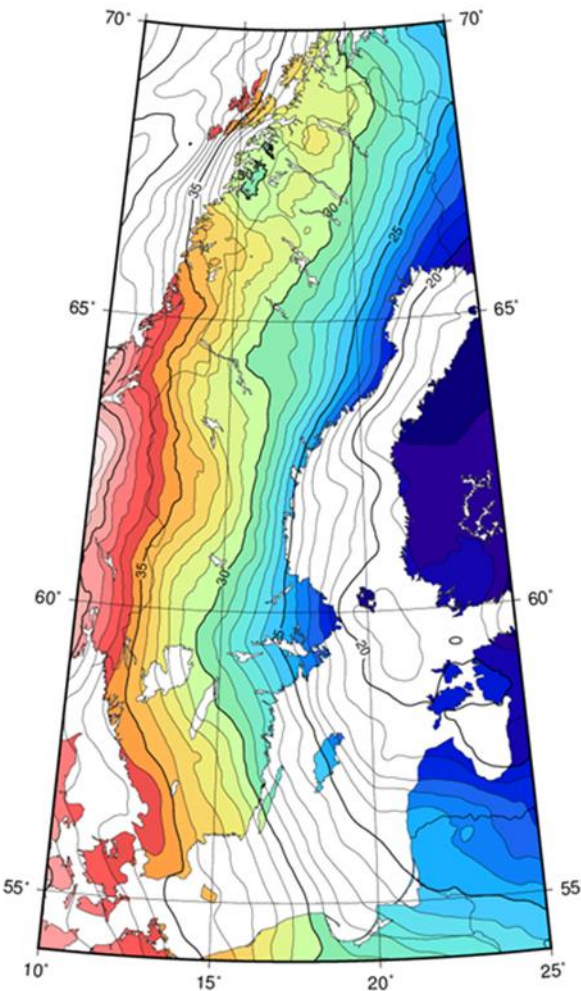
#	Min	Max	Mean	StdAvv	RMS
9*	-0.0023	0.0127	0.0066	0.0051	0.0082

#	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



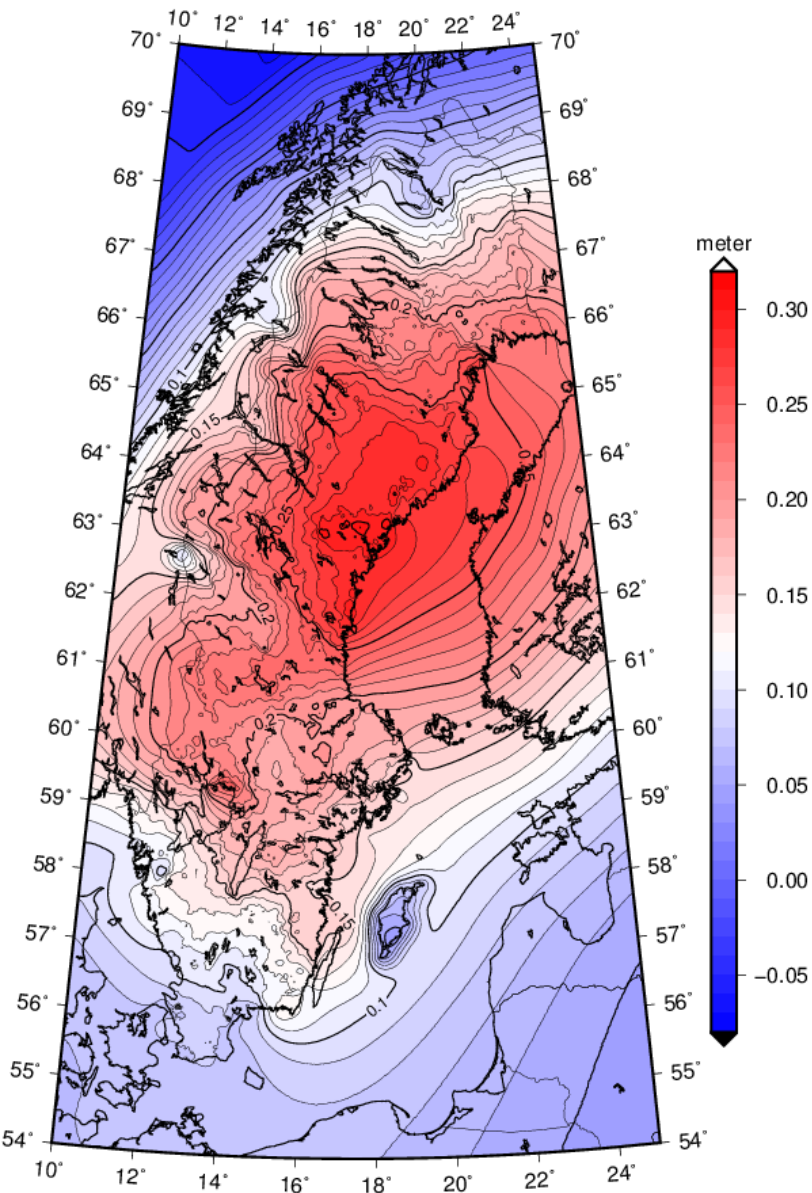
- Lantmäteriet lanserade den nya geoidmodellen **SWEN17\_RH2000** i okt-nov 2017.
- Modellen har beräknats genom att anpassa den nya gravimetriska geoidmodellen **NKG2015** till de svenska referenssystemen **SWEREF 99** och **RH 2000**.
- Framförallt följande förbättringar har gjorts sedan **SWEN08\_RH2000**:
  - 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

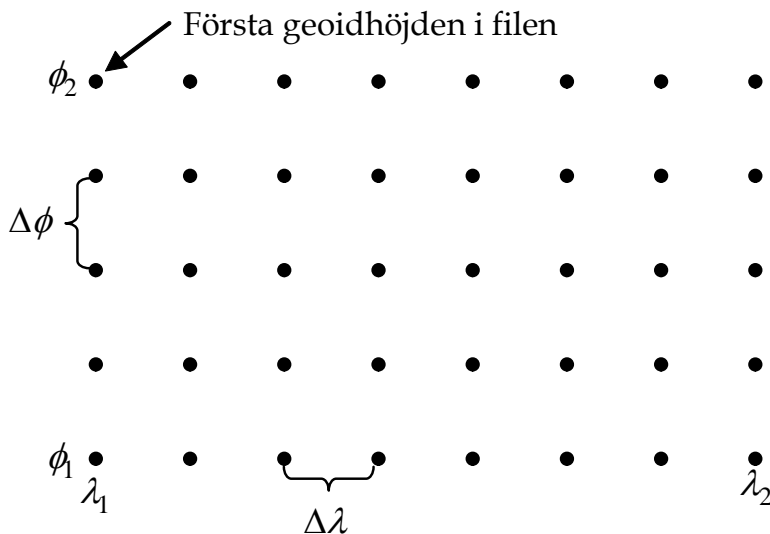
RH 2000 minus RH 70:



- 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  $\sim 1$  mm, mkt litet jämfört med geoidmodellens osäkerhet).
- Testpunkter finns både för bikubiska splines och bilinjär interpolation



# Exempel på ASCII-formaten

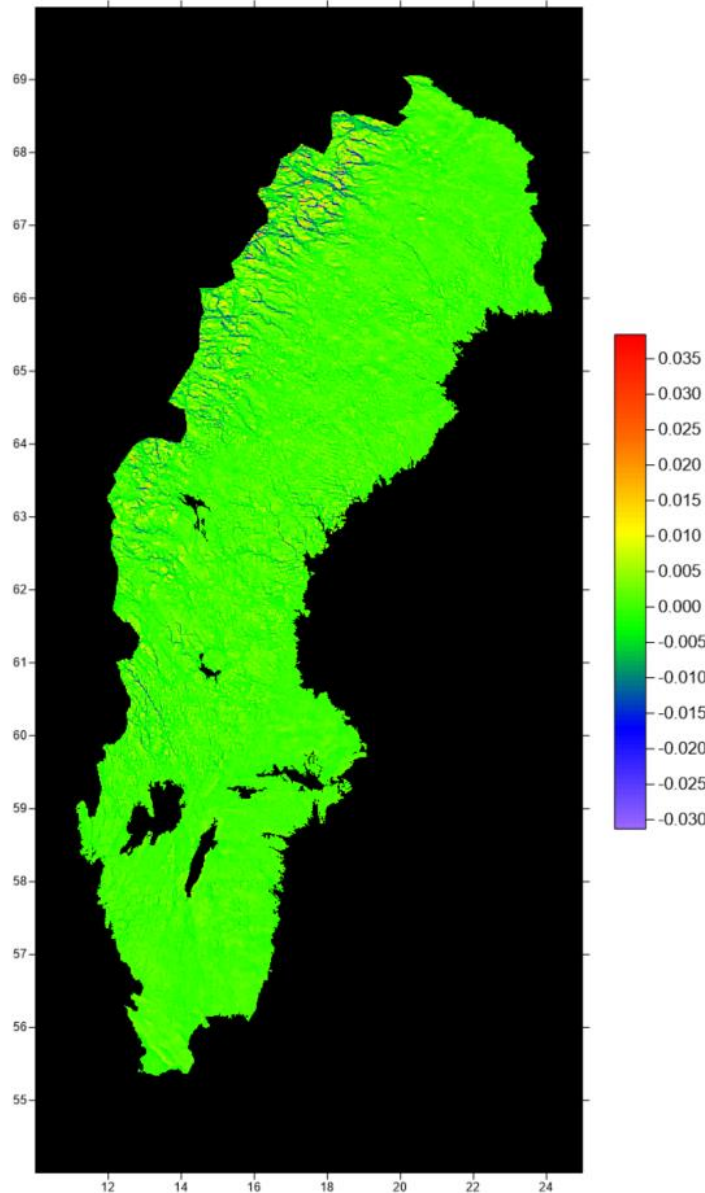
- De tio första raderna av ASCII-filen i GRAVSOF-format för SWEN17\_RH2000:

```
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

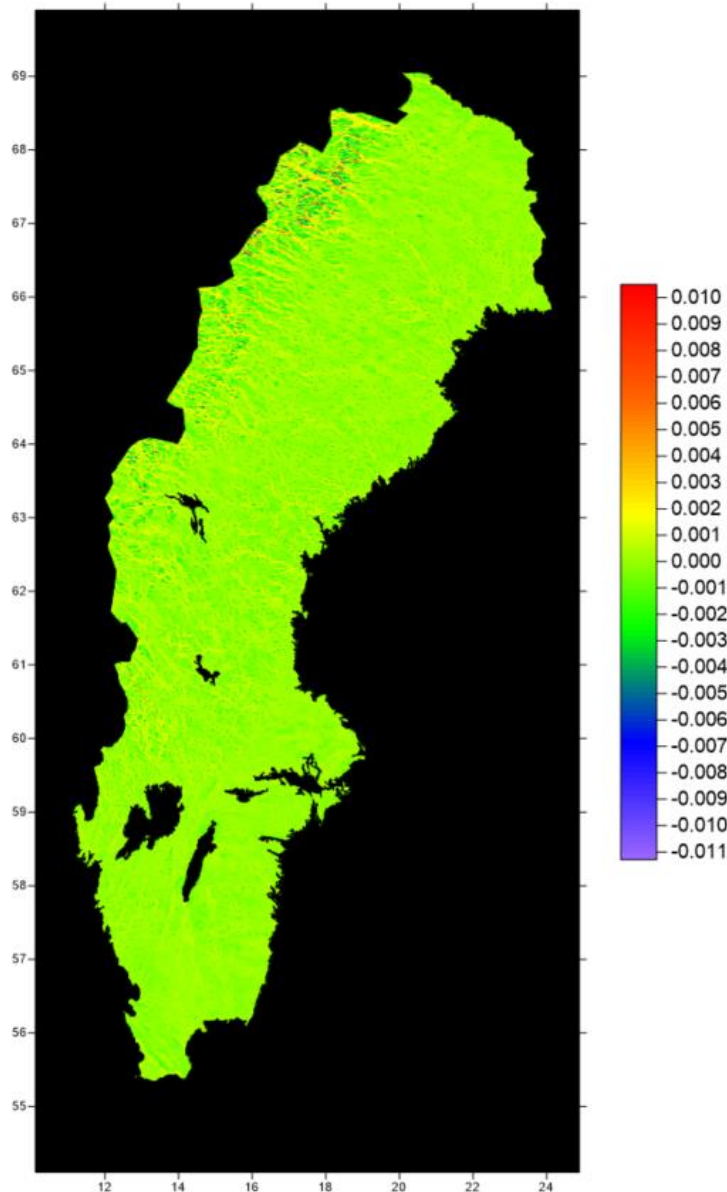


Figuren visar skillnaden mellan att använda 0.01x0.02 grader jämfört med 0.02x0.04 grader och bilinjär interpolation.

Enhet: meter

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

# 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