



EUREF-FIN JA KORKEUDET

Pasi Häkli

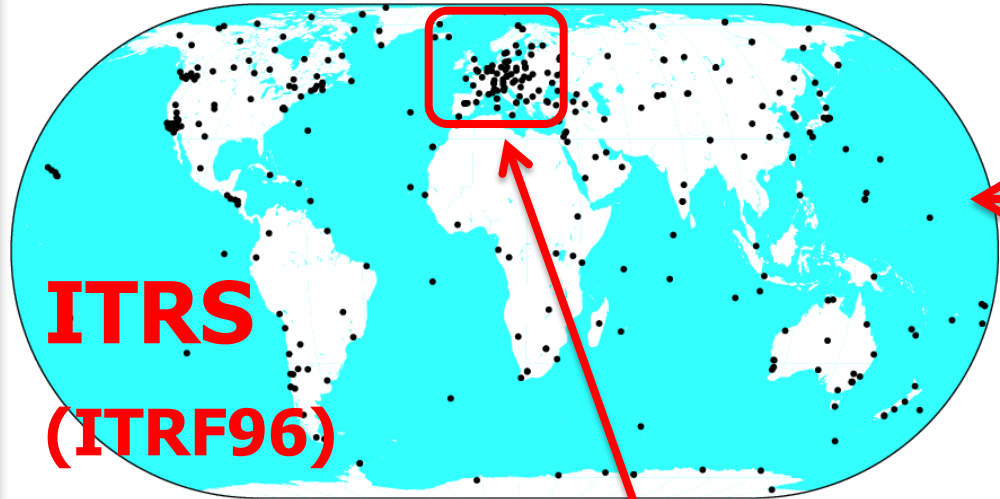
Geodeettinen laitos

10.3.2010

EUREF-FIN:n joitain pääominaisuuksia

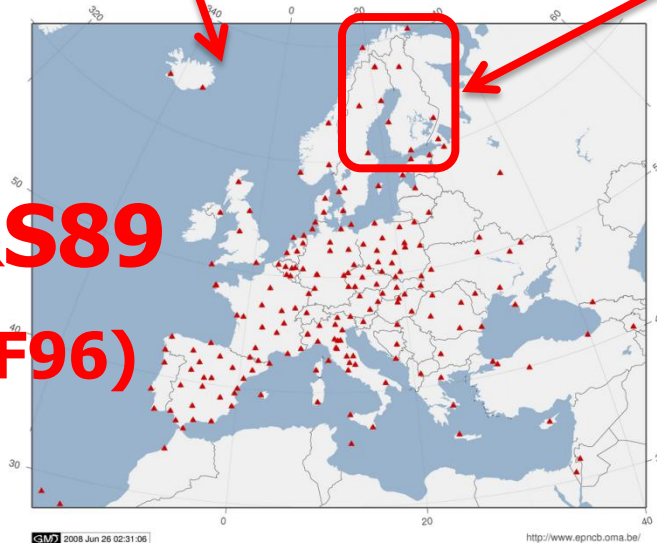
- ✓ ITRF96-koordinaatiston kautta **globaalin** koordinaattijärjestelmän paikallinen/kansallinen realisaatio
- ✓ **Kolmiulotteinen** koordinaatisto
- ✓ **satelliittipaikannuksen** suora hyödyntäminen ilman muunnoksia
- ✓ poikkeuksellinen, cm-tason (absoluuttinen) **tarkkuus** verrattuna aiempiin koordinaatistoihin

Globaalista paikalliseen koordinaatistoon

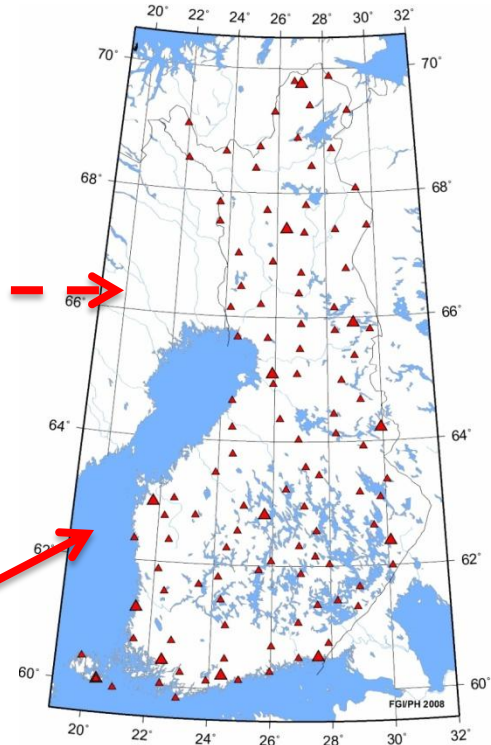


GLM7 2008 Jun 25 17:02:06

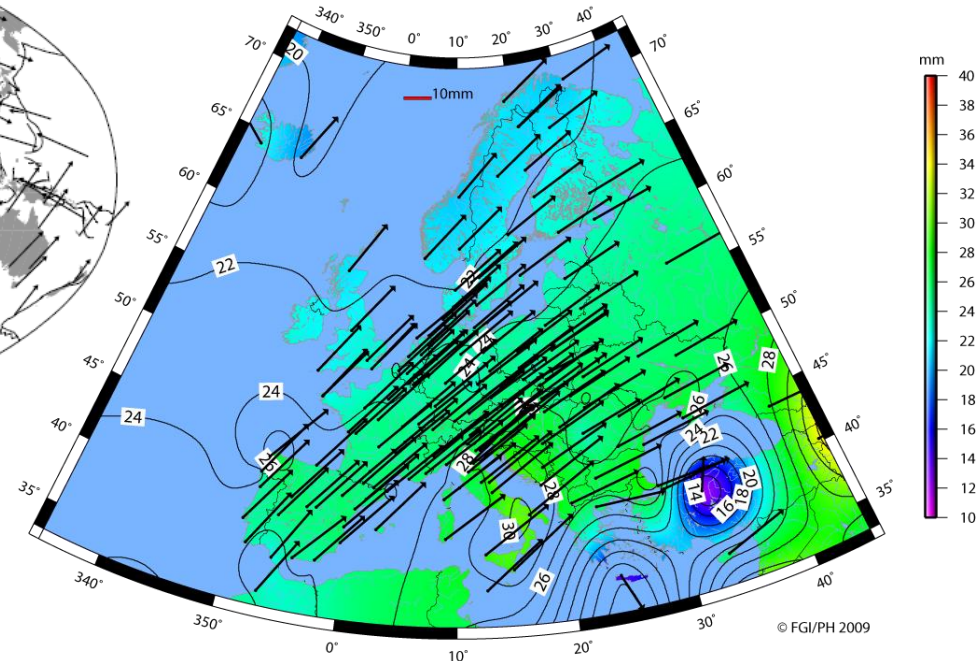
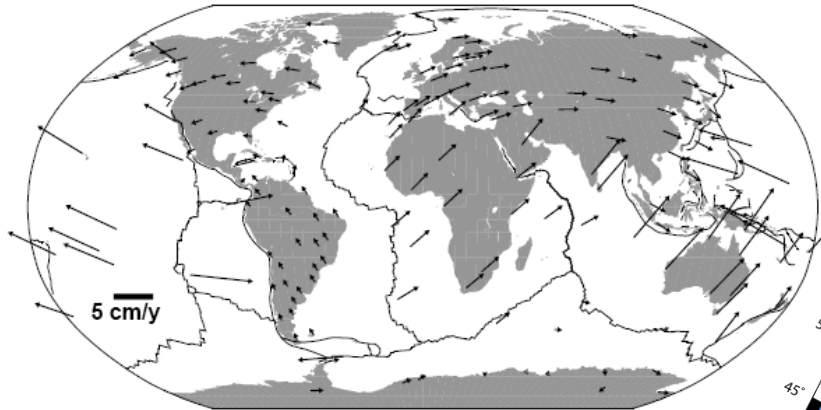
**ETRS89
(ETRF96)**



EUREF-FIN

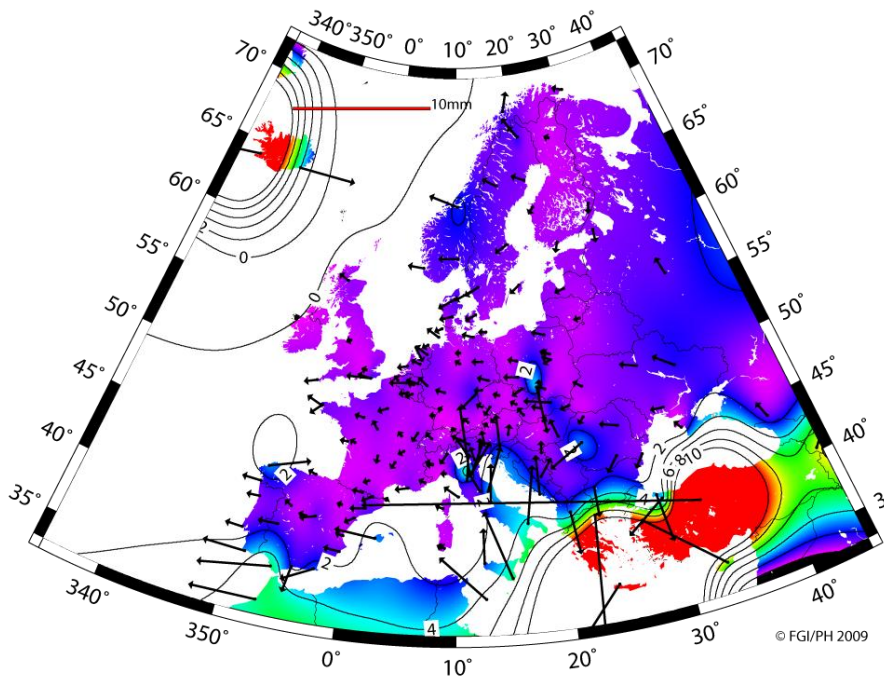


ITRF — *International Terrestrial Reference Frame*



- Globaalissa (tarkassa) koordinaatistossa (kuten ITRF ja WGS84) on **huomioitava mannerlaattojen liikkeit** (esim. Euraasian mannerlaatta liikkuu n. 2.5 cm vuodessa)
- Koordinaattien lisäksi tarvitaan **ajanhetki eli epookki**, johon ne viittaavat, esim. ITRF2005(2010.19)
- Mannerlaattojen liike sekä tekniikan kehitys ja havaintotarkkuuksien parantuminen aiheuttavat jatkuvan koordinaatistojen päivitystarpeen → ITRS:llä (kuten WGS84:lläkin) on **useita eri realisaatioita ITRFyy**, jotka poikkeavat hieman toisistaan

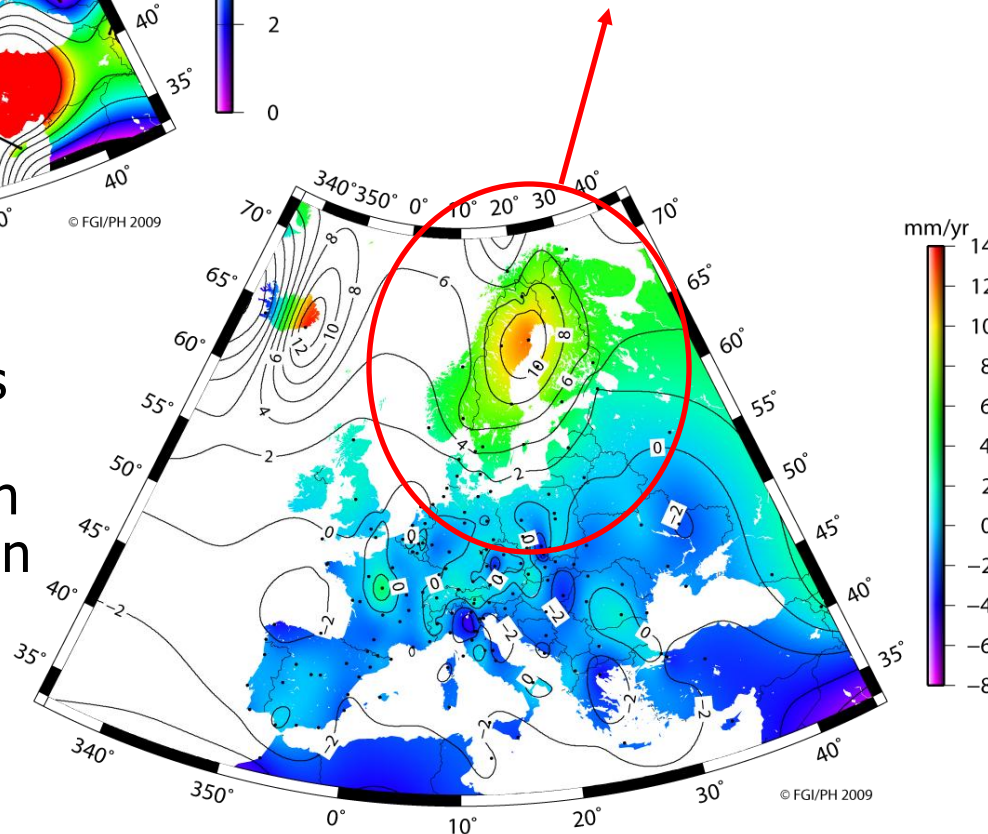
ETRS89 — *European Terrestrial Reference System 89*



... Euraasian mannerlaatta ei ole pysyvä kaikkialla vaan esim. pohjoismaissa laatta deformatuu sisäisesti maankohoamisen vuoksi

Jotta voitiin välttää koordinaattien aikariippuvuus (esim. ITRF-koordinaatit), ETRS89 kiinnitettiin Euraasian mannerlaatan pysyvään osaan epookissa 1989.0

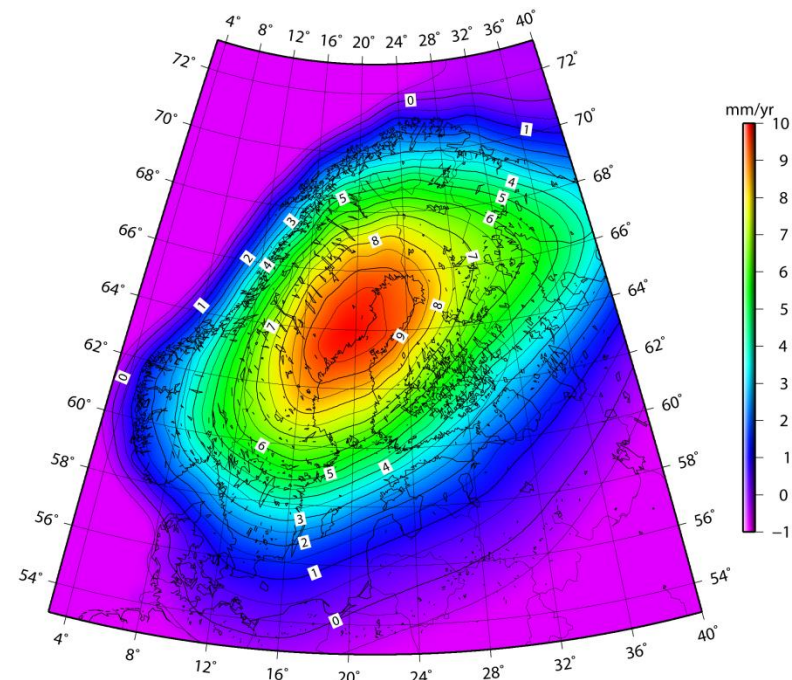
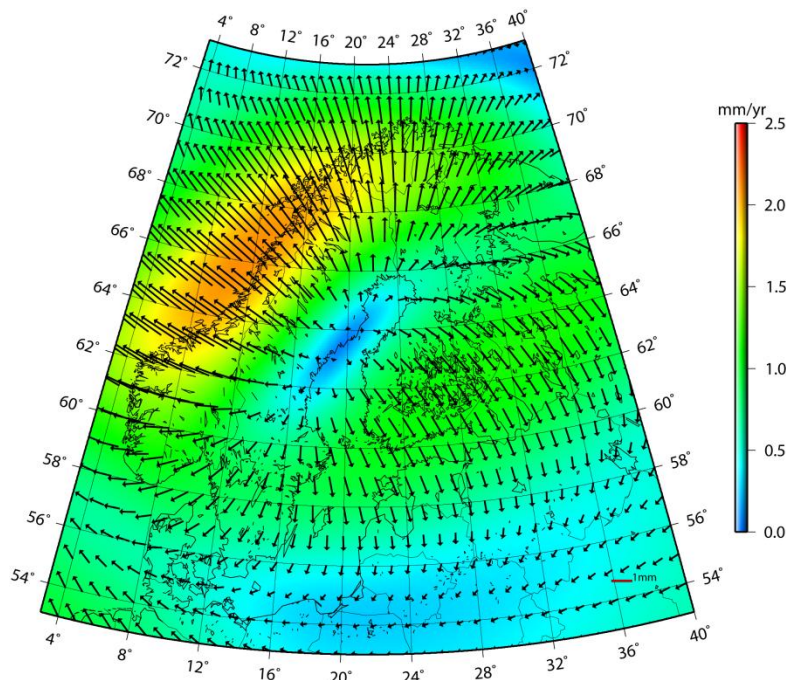
MUTTA...



Maankohoaminen

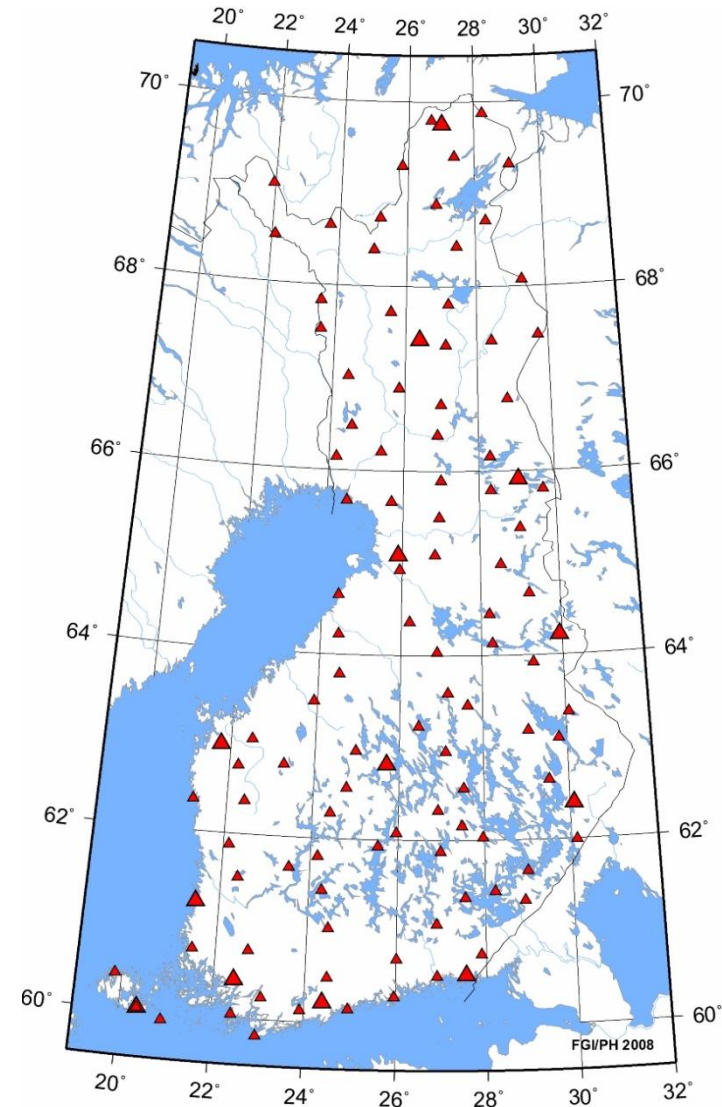
- ✓ Muuttaa pääasiassa absoluuttisia koordinaatteja, vaikutus suhteellisesti pienempi
- ✓ Maankohoaminen pohjoismaissa, NKG_RF03vel-malli:
 - max. n. 10 mm/v korkeudessa
 - max. n. 2.5 mm/v vaakasuunnassa
- ✓ Huomioitu mm. N2000-järjestelmää luotaessa: N2000:n epookki 2000.0

Vaakasuunnassa -- NKG_RF03vel -- Korkeussuunnassa



ETRS89 Suomessa – EUREF-FIN

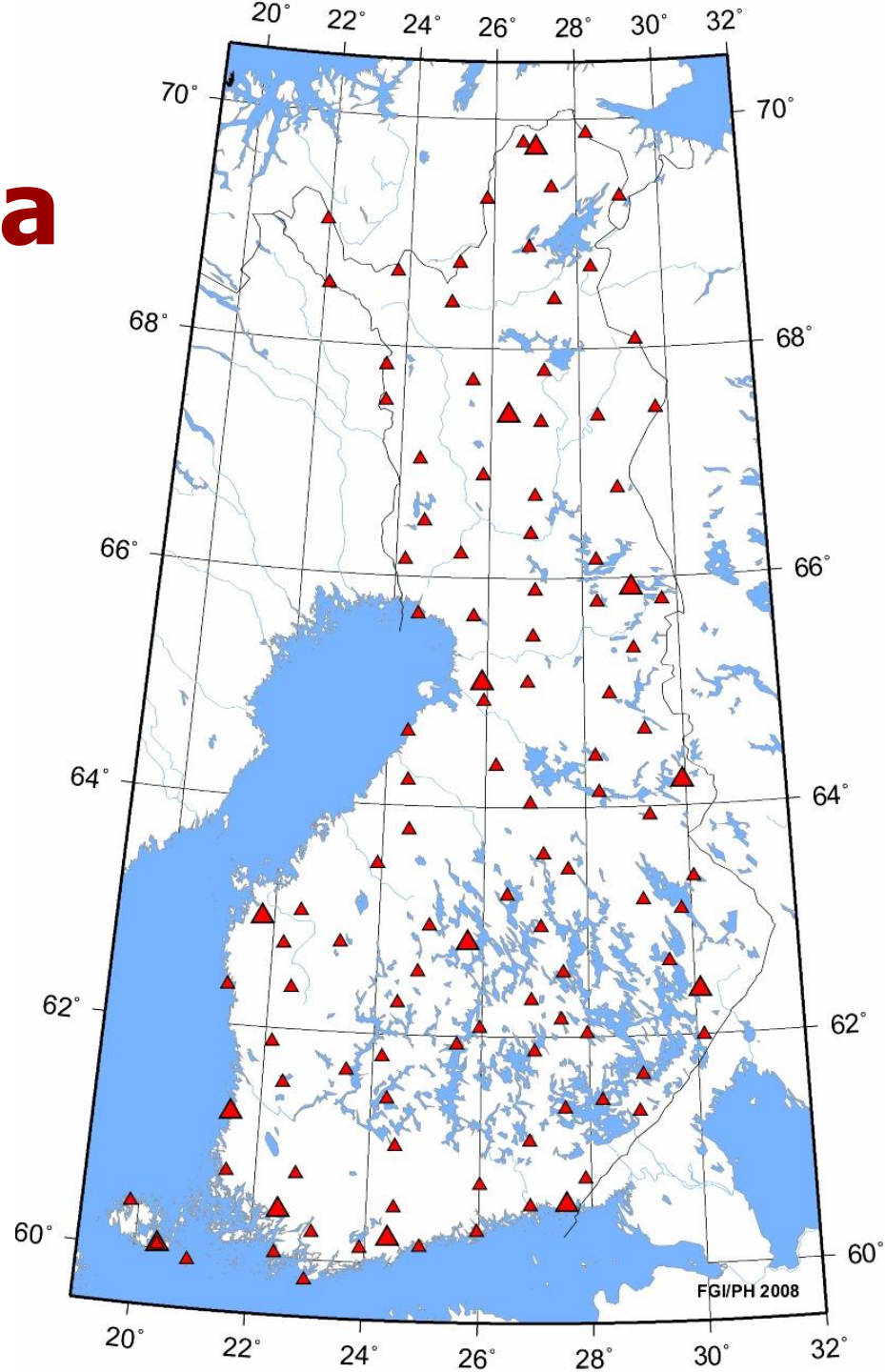
- ✓ Suomen ETRS89-realisaatio:
 - ✓ Mittaukset ja laskenta ITRF96:ssa epookissa 1997.0
 - ✓ Muunnettu EUREF:n suositusten mukaisesti, ei laatan sisäisten liikkeiden (mm. maankohoaminen) korjausta
- **ETRF96**, mutta kaksi epookkia:
 - **ulkoinen epookki** mannerlaattojen liikkeille on 1989.0
 - **sisäinen epookki** laatan sisäisille liikkeille on 1997.0
- nimettiin **EUREF-FIN:ksi** jotta se erottuu muista kansallisista realisaatioista



EUREF-FIN- luokkahierarkia

I luokan verkko

- Pysyvä GPS-asemien FinnRef-verkko – 12 (13) asemaa
- 100 kiintopistettä
- Mitattu 1996-97 – muodostaa ETRS89-realisaation Suomessa



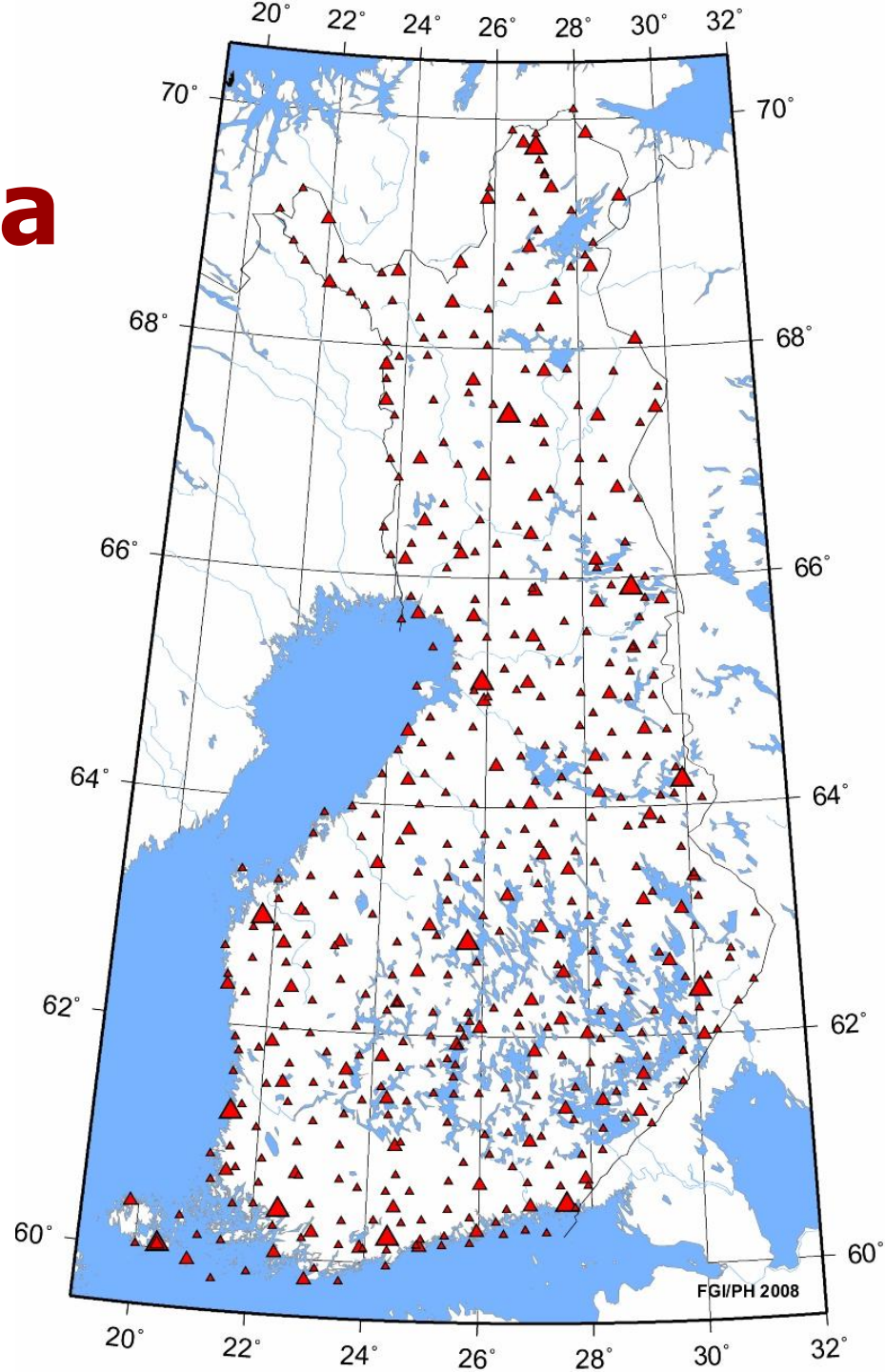
EUREF-FIN- luokkahierarkia

I luokan verkko

- Pysyvä GPS-asemien FinnRef-verkko – 12 (13) asemaa
- 100 kiintopistettä
- Mitattu 1996-97 – muodostaa ETRS89-realisaation Suomessa

Ib luokan verkko

- Tihennys 1998-99 – 350 pistettä



EUREF-FIN- luokkahierarkia

I luokan verkko

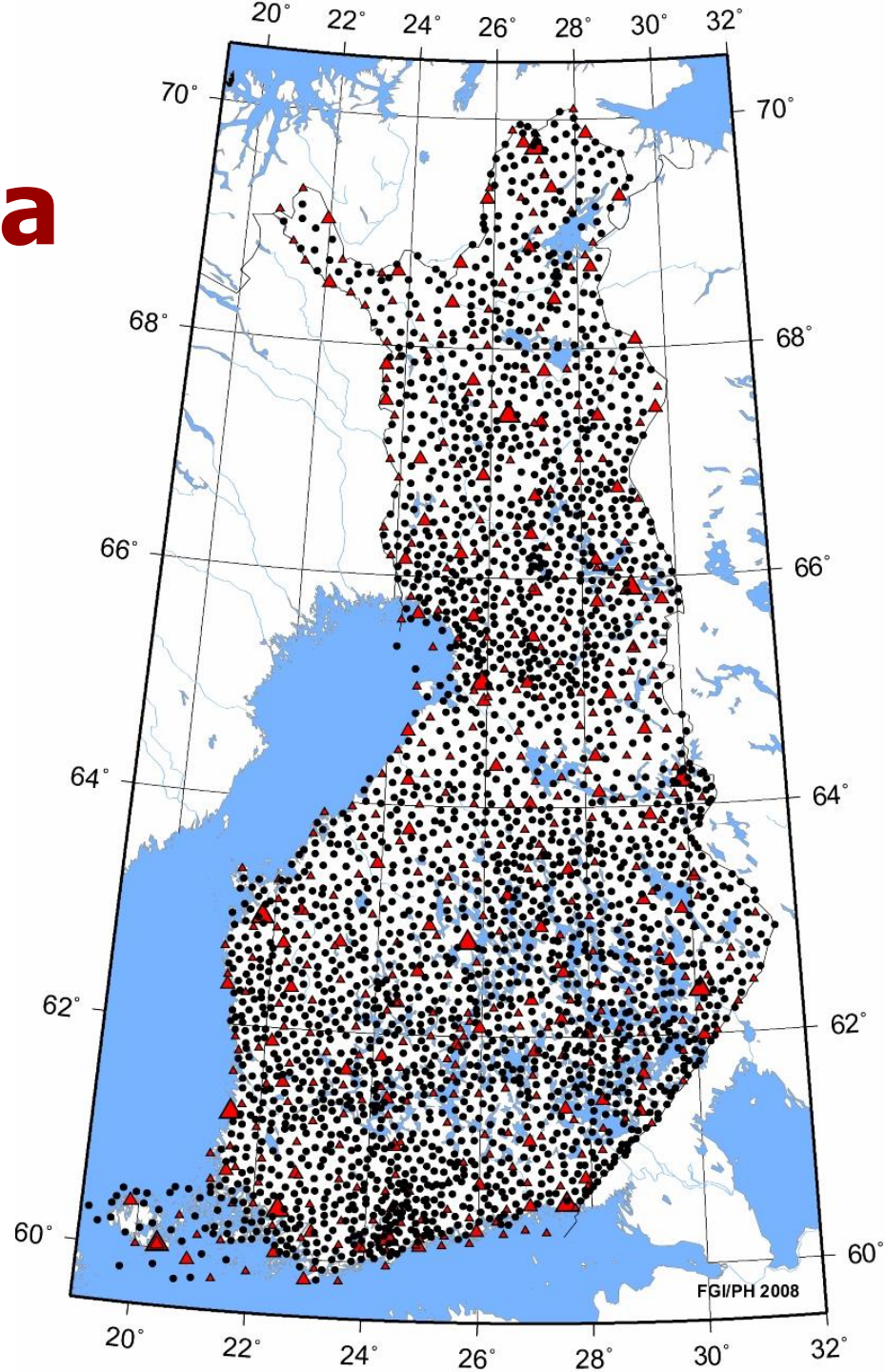
- Pysyvä GPS-asemien FinnRef-verkko – 12 (13) asemaa
- 100 kiintopistettä
- Mitattu 1996-97 – muodostaa ETRS89-realisaation Suomessa

Ib luokan verkko

- Tihennys 1998-99 – 350 pistettä

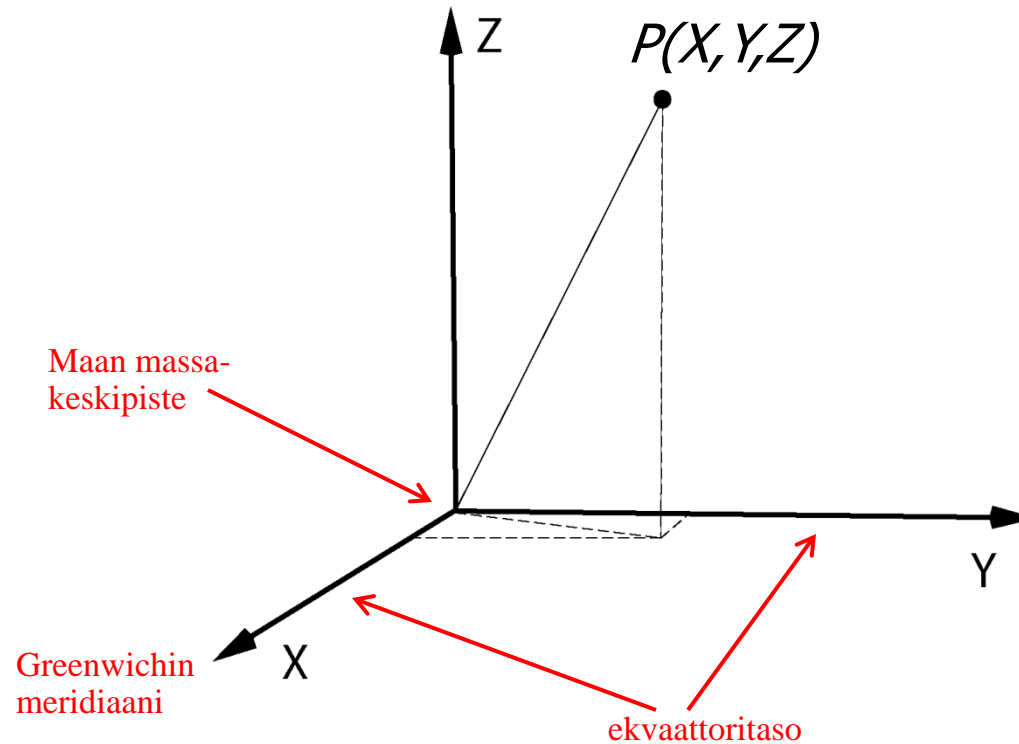
II luokan verkko

- Maanmittauslaitoksen tihennykset
 - Noin 2500 pistettä
 - Valmistui 2008



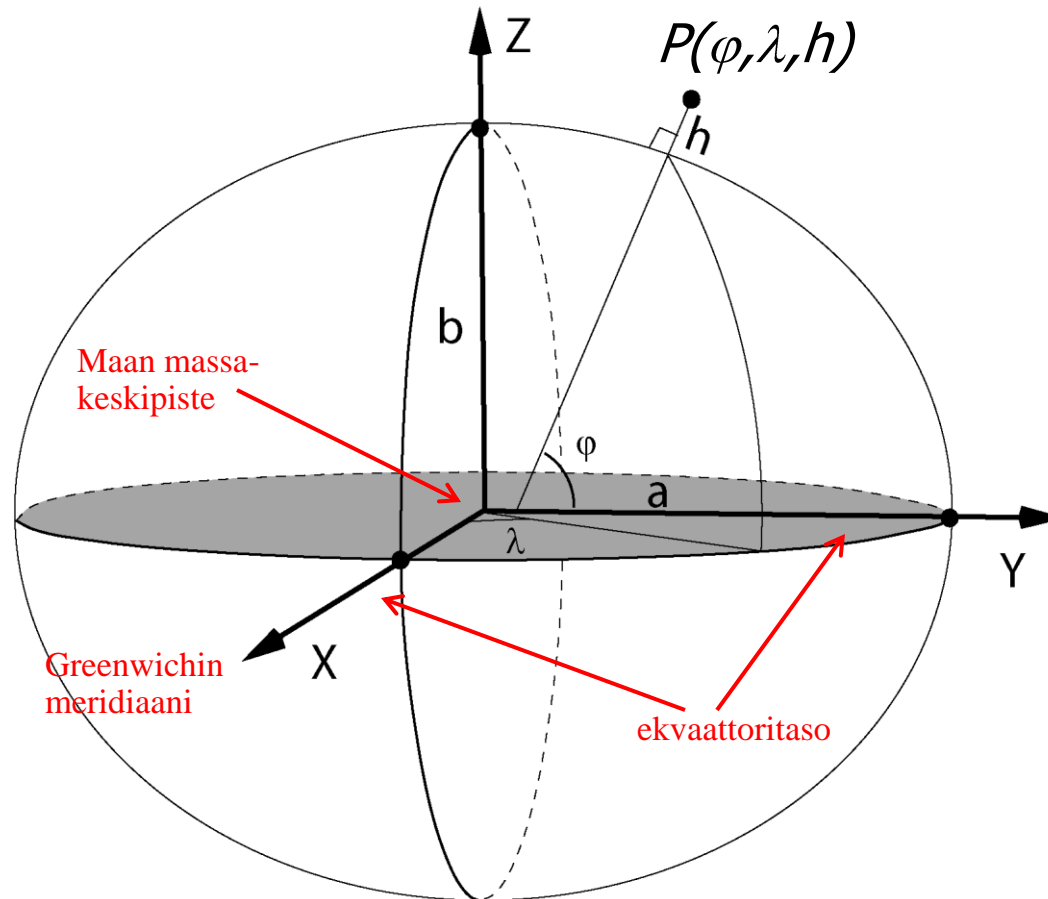
EUREF-FIN-koordinaatit

- ✓ 3D-koordinaatisto, sisältää siis myös korkeuskomponentin
- ✓ Suorakulmaiset XYZ-koordinaatit



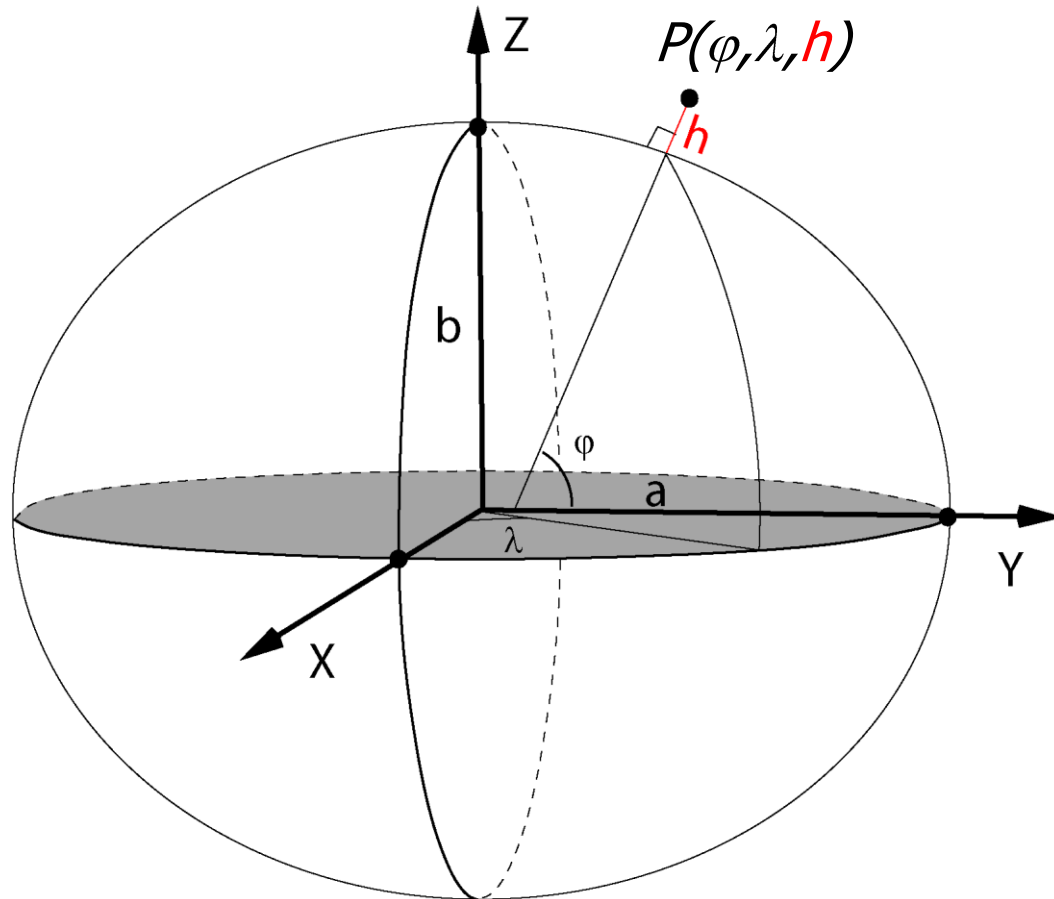
EUREF-FIN-koordinaatit

- ✓ 3D-koordinaatisto, sisältää siis myös korkeuskomponentin
- ✓ Geodeettiset koordinaatit φ, λ, h
 - ✓ GRS80-ellipsoidi



EUREF-FIN-koordinaatit

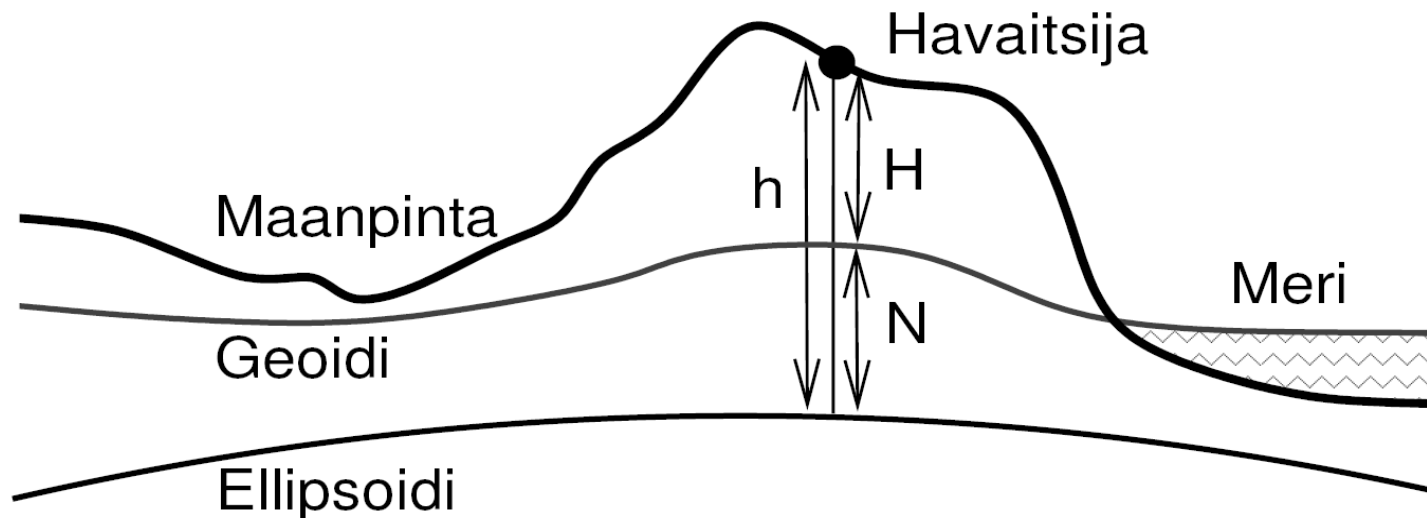
- ✓ 3D-koordinaatisto, sisältää siis myös korkeuskomponentin
- ✓ Geodeettiset koordinaatit φ, λ, h
 - ✓ maantieteellinen leveys φ ja pituus λ
 - ✓ ellipsoidinen korkeus h



EUREF-FIN ja korkeudet

- ✓ Geodeettiset koordinaatit
 - ✓ "EUREF-FIN-korkeus" h (ellipsoidinen)
- ✓ Vaaitut korkeudet
 - ✓ N60-korkeus H_{N60} (ortometrinen)
 - ✓ N2000-korkeus H_{N2000} (normaalikorkeus)
- ✓ Geoidin korkeudet N (kvasi-geoidin korkeudet, korkeusanomaliat ζ)
 - ✓ FIN2000 (N60-korkeuksien kanssa)
 - ✓ FIN2005N00 (N2000-korkeuksien kanssa)

$$h = H + N$$



Ellipsoidisista korkeuksista

Esimerkki:

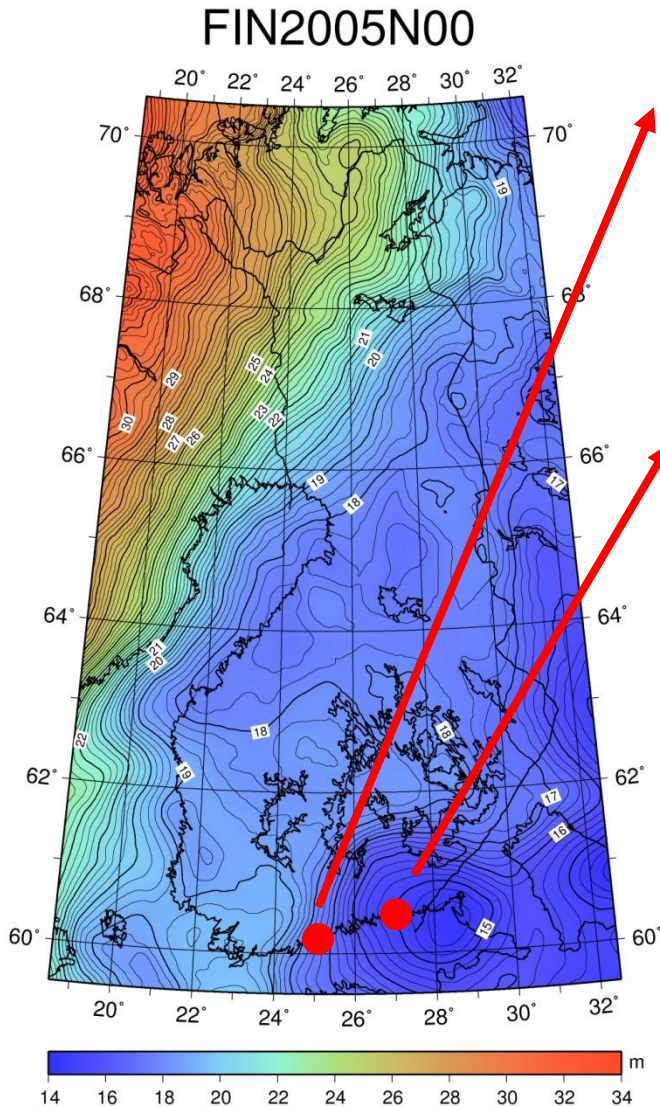
Helsingissä:

- jos N2000-korkeus $H_{N2000} \approx 0$
- FIN2005N00: $N \approx 17.5\text{m}$
- ➔ $h = H + N \approx 17.5\text{m}$

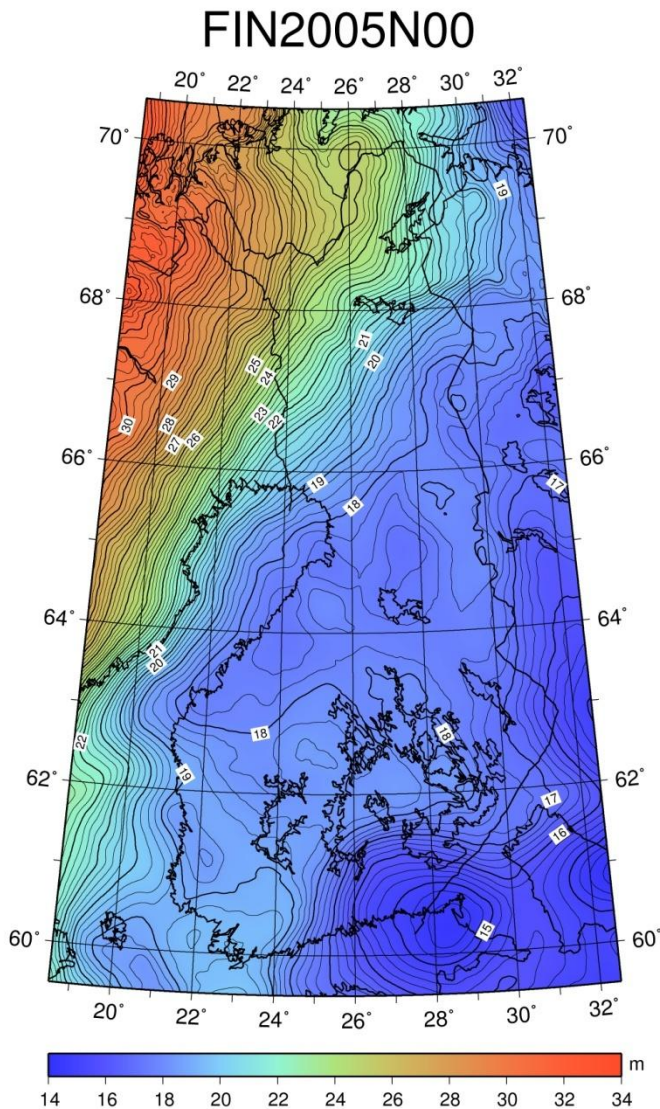
Kotkassa:

- jos N2000-korkeus $H_{N2000} \approx 0$
- FIN2005N00: $N \approx 15.0\text{m}$
- ➔ $h = H + N \approx 15.0\text{m}$
- ➔ jos $H=2.0\text{m}$ ➔ $h = H + N \approx 17.0\text{m}$

Eli vaikka molempien pisteiden N2000-korkeudet ovat meren rannassa likimain samat, ellipsoidiset korkeudet poikkeavat 2.5m. Niinpä vesi voi ellipsoidisten korkeuksien mukaan kulkea näennäisesti ylämäkeen.



Geoidimalleista



Geoidimallien tarkkuudet:

- FIN2000 (*EUREF-FIN* → *N60*):
 - rms: ± 3 cm
 - maksimivirheet 8-9 cm
- FIN2005N00 (*EUREF-FIN* → *N2000*):
 - rms: ± 2 cm
 - maksimivirheet 6 cm

Lisätietoa geoidimalleista ja niiden käytöstä:

- Bilker-Koivula ja Ollikainen (2009): Suomen geoidimallit ja niiden käyttäminen korkeuden muunnoksissa. Geodeettisen laitoksen tiedote 29. <http://www.fgi.fi/julkaisut/tiedote.php>
- Geodeettisen laitoksen muunnospalvelu: <http://coordtrans.fgi.fi/>

Case: ITRF-muunnos

! Lisääntyvässä määrin vaatimuksia mitata globaalissa koordinaatistossa WGS84 tai ITRFyy ja päästä niistä tarkasti EUREF-FIN:iin → ongelmia:

- ITRF-koordinaattien vähäinen määrä Suomessa (puhumattakaan WGS84-koordinaateista...)
- koordinaattien aikariippuvuus: epäkäytännöllisiä normaalikäyttöön
- huomioitava sekä mannerlaattojen liikkeitä että maankohoamisen vaikutus
 - vaatii esim. nopeusmallin käyttöä maankohoamisen huomioimiseksi
- Muunnokseen ITRF:stä EUREF-FIN:iin käytännössä yksi vaihtoehto: virallinen EUREF:n suosittama muunnos
 - ei huomioi maankohoamista → muunnos ei ole cm-tarkka enää tänä päivänä
 - nopeusmallit vasta testausvaiheessa ja todennäköisesti jäävät epävirallisiksi ongelmien paikallisuuden vuoksi

! GL testasi kahta muunnosvaihtoehtoa ITRF2000:sta EUREF-FIN:iin

- 1) Virallinen EUREF-muunnos, ei huomioi maankohoamista
- 2) Pohjoismainen (NKG) muunnos, huomioi maankohoamisen

Case: muunnos 1

✓ EUREF:n nykyinen suositus

1) ITRF2000(t_c) \rightarrow ITRF96(t_c)

✓ Muunnosparametrit epookissa t_0 (ITRF2000: $t_0=1997.0$)

✓ Parametrien muutosnopeudet \rightarrow parametrit epookissa t_c

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{t_c}^{\text{ITRF96}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{t_c}^{\text{ITRF2000}} + \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R_3 & R_2 \\ R_3 & D & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{t_c}^{\text{ITRF2000}}$$

2) ITRF96(t_c) \rightarrow ETRF96(t_c)

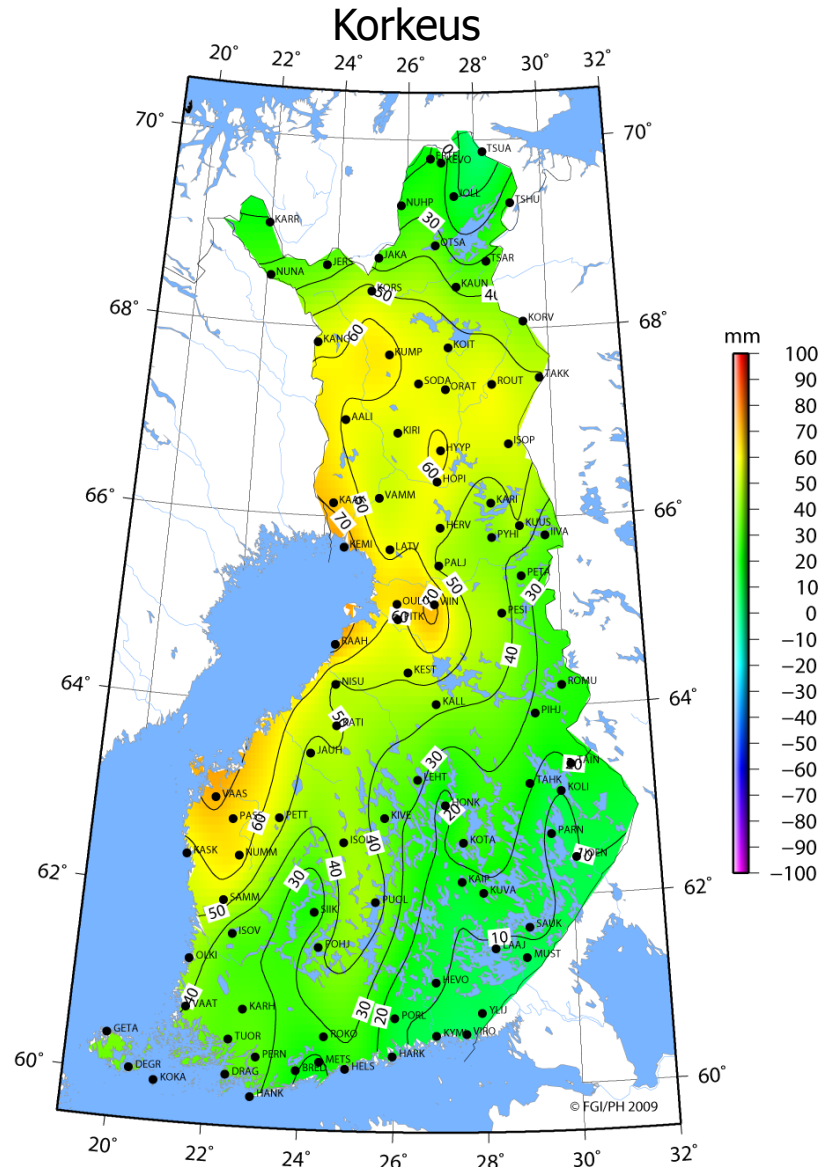
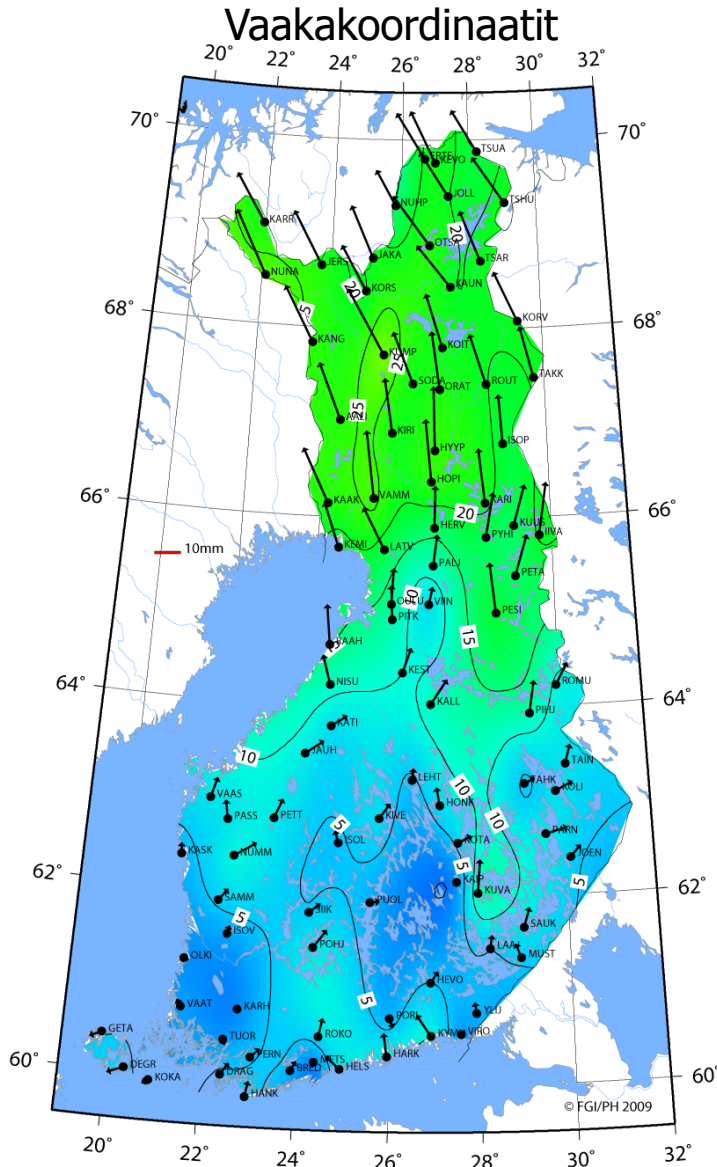
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{t_c}^{\text{ETRF96}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{t_c}^{\text{ITRF96}} + \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\dot{R}_3 & \dot{R}_2 \\ \dot{R}_3 & 0 & -\dot{R}_1 \\ -\dot{R}_2 & \dot{R}_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{t_c}^{\text{ITRF96}} \cdot (t_c - 1989.0)$$

3) Ei mannerlaatan sisäisten liikkeiden/epookin korjausta

✓ Aiemmin tämä mahdollisuus oli, mutta samassa yhteydessä todettiin että mannerlaatan pysyvälle osalle voi käyttää nopeuksina nollaa eli korjausta ei käytännössä tehty.

Case: muunnos 1 - jäännösvirheet

✓ EUREF-muunnos: $ITRF2000(t_c) \rightarrow ITRF96(t_c) \rightarrow ETRF96(t_c)$



Case: muunnos 2

- ✓ Pohjoismaisen geodeettisen komission (NKG) määrittämä muunnos, joka huomioi maankohoamisen*)

1) ITRF2000(t_c) \rightarrow ITRF2000(2003.75)

- ✓ Mannerlaatan jäykkä liike
- ✓ Laatan sisäiset deformaatiot NKG_RF03vel-mallilla

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF2000}}^{\text{ITRF2000}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF2000}}^{\text{ITRF2000}} + (2003.75 - t_c) \begin{bmatrix} 0 & -\dot{R}_3 & \dot{R}_2 \\ \dot{R}_3 & 0 & -\dot{R}_1 \\ -\dot{R}_2 & \dot{R}_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF2000}}^{\text{ITRF2000}} + (2003.75 - t_c) \begin{bmatrix} V_{X,\text{intra}} \\ V_{Y,\text{intra}} \\ V_{Z,\text{intra}} \end{bmatrix}_{\text{NKG_RF03vb}}^{\text{ITRF2000}}$$

2) Laatan sisäisten deformaatioiden poisto NKG_RF03vel-mallilla kansallisen ETRS89-realisaation epookkiin t_r (Suomessa $t_r=1997.0$)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF2000}}^{\text{ITRF2000}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF2000}}^{\text{ITRF2000}} + (t_r - 2003.75) \begin{bmatrix} V_{X,\text{intra}} \\ V_{Y,\text{intra}} \\ V_{Z,\text{intra}} \end{bmatrix}_{\text{NKG_RF03vb}}^{\text{ITRF2000}}$$

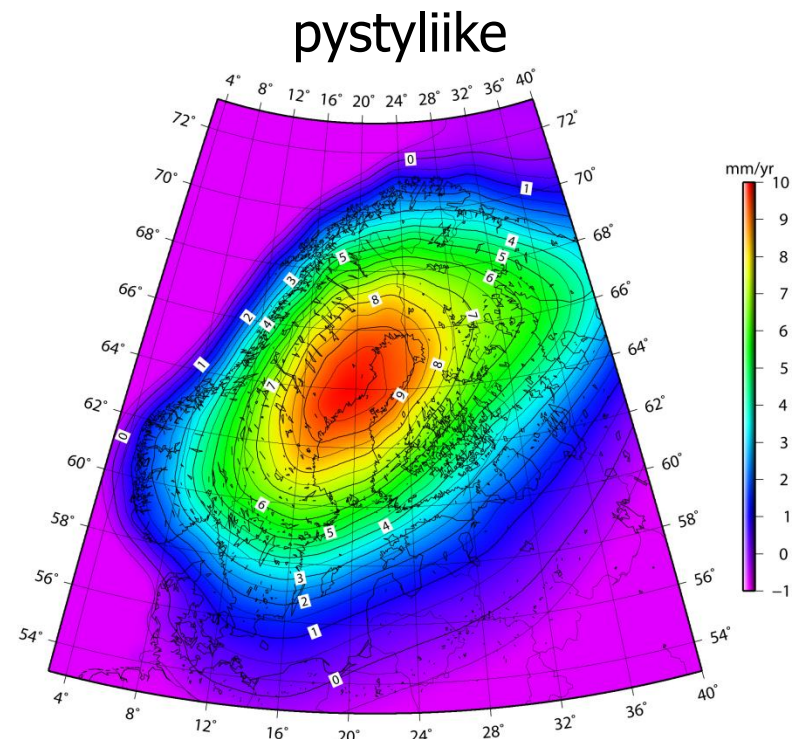
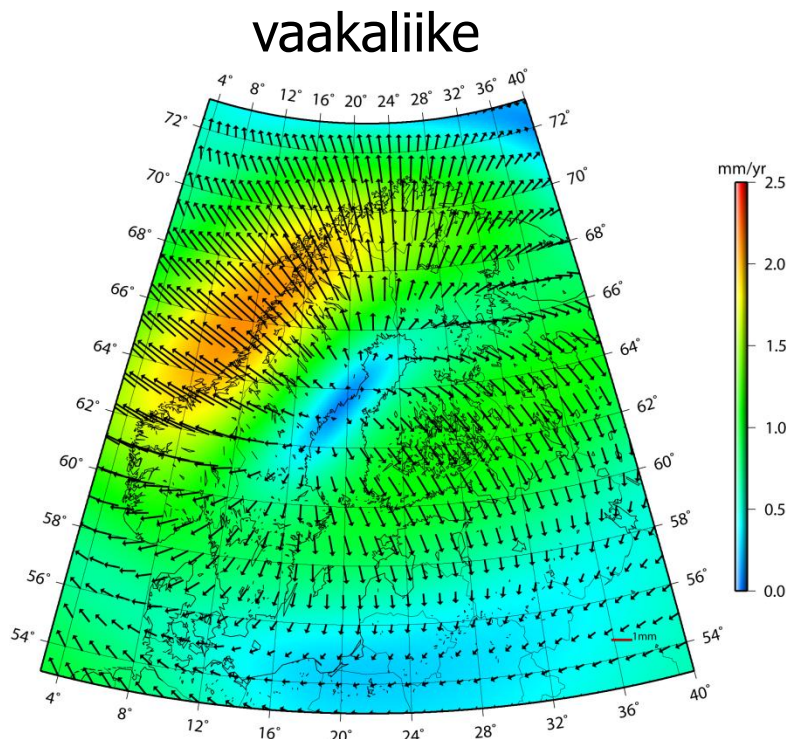
3) 7-parametrinen yhdenmuotoisuusmuunnos kansalliseen ETRS89-realisaatioon

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^{\text{ETRS89}} = \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + (1 + D) \begin{bmatrix} 1 & R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 1 & R_X \\ R_Y & -R_X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF2000}}^{\text{ITRF2000}}$$

*) Nørbech, Engsager, Jivall, Knudsen, Koivula, Lidberg, Madsen, Ollikainen and Weber (in press): Transformation from a Common Nordic Reference Frame to ETRS89 in Denmark, Finland, Norway and Sweden – status report.

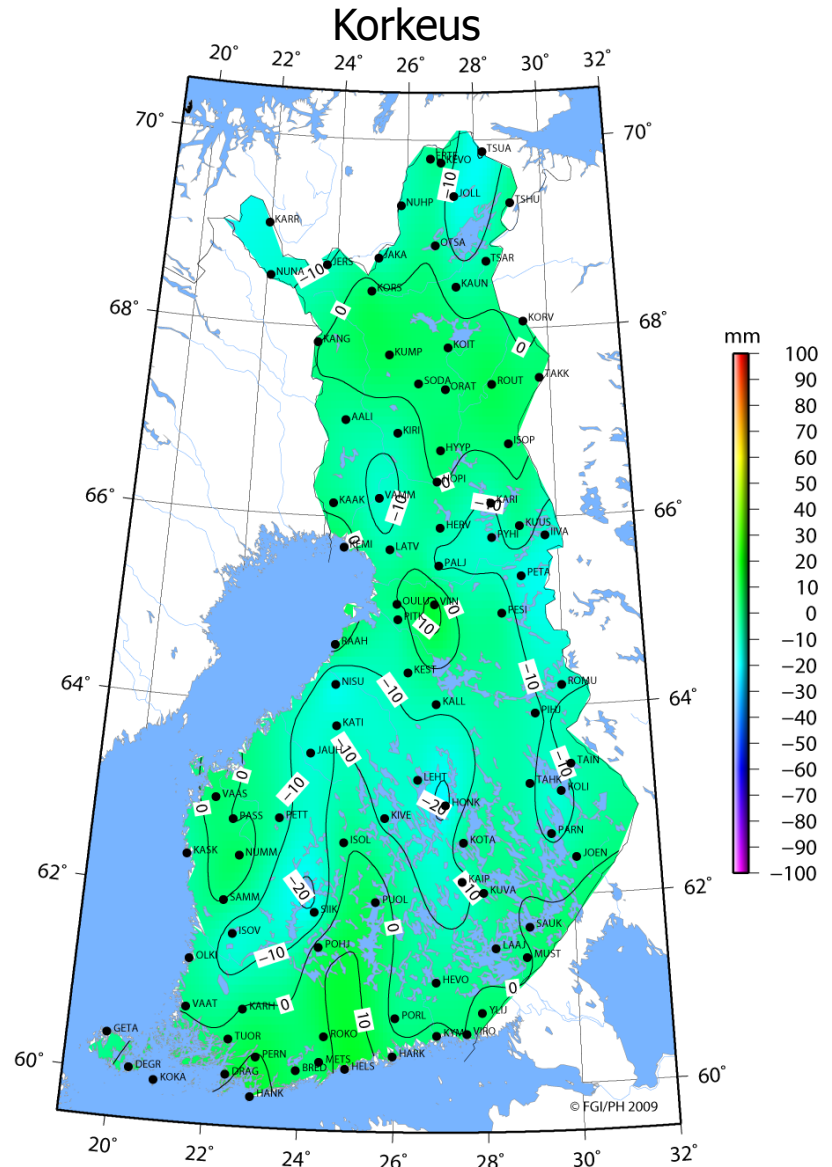
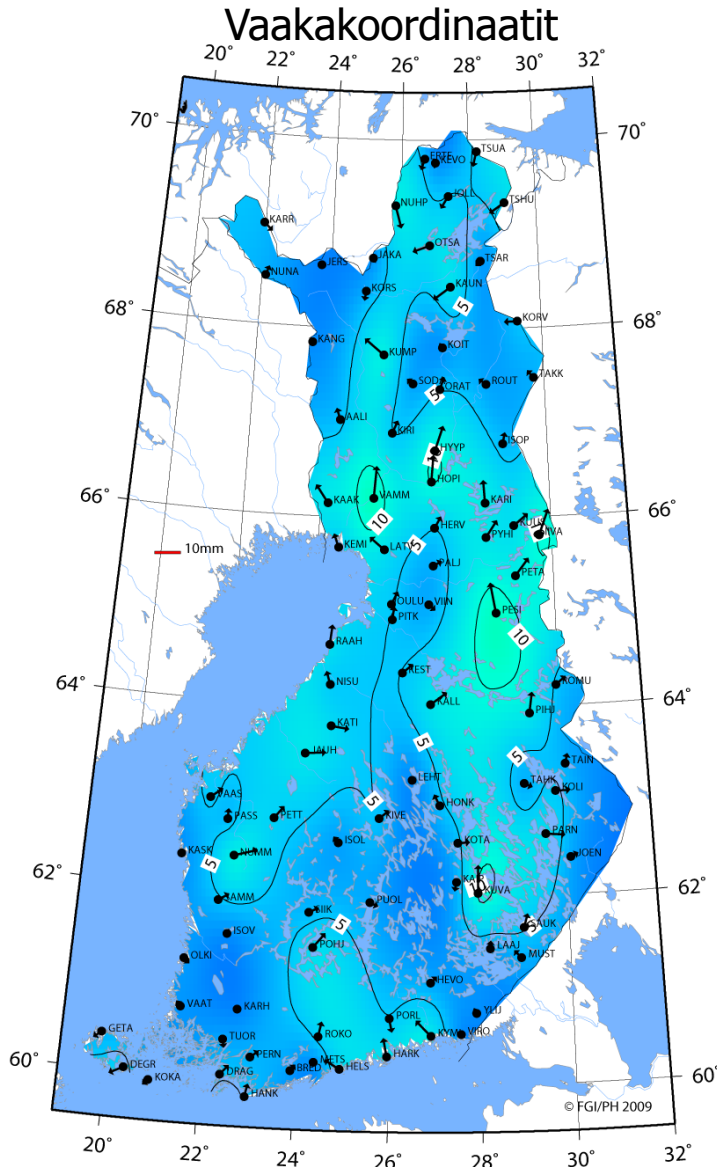
Case: muunnos 2 – NKG_RF03vel- malli

- ✓ NKG:n työryhmässä luotu malli **NKG_RF03vel** Fennoskandian alueelle
 - 3D-malli, grid formaatissa
 - havaintoja pysyviltä GPS-asemilta, toistetuista tarkkavaaituksista, mareografeista,...
 - voidaan käyttää laatan sisäisten deformaatioiden korjaamiseen ennen lineaarista yhdenmuotoisuusmuunnosta



Case: muunnos 2 - jäännösvirheet

✓ NKG-muunnos: ITRF2000(2006.5) → EUREF-FIN



Johtopäätökset...

- ✓ EUREF-FIN-koordinaatisto on tarkka, mutta maannousu vaikuttaa myös siihen – ylläpito vaatii tulevaisuudessa mietintää
- ✓ EUREF-FIN ellipsoidiset korkeudet eivät suoraan (välttämättä) kovin käytännöllisiä, mutta uusimpien geoidimallien avulla pääsee muutamien cm tarkkuudella EUREF-FIN-korkeuksista N60- tai N2000-korkeuksiin
- ✓ ITRF-muunnos ei cm-tarkka nykyisellään → **suositus mitata EUREF-FIN:ssä (käytännön mittaukset)**
- ✓ Maankohoaminen:
 - ✓ Vaikutus pieni perinteisissä suhteellisissa ja pienellä alueella tehtävässä mittaustoiminnassa → **suositus mitata suhteellisesti (relatiivinen mittaus) ja hierarkisesti luokkarajoja noudattaen lähimpien EUREF-FIN-pisteiden suhteen**

Lisätietoja

- Geodeettisen laitoksen muunnospalvelu (Ohje-välilehti):
<http://coordtrans.fgi.fi/>
- Geodeettisen laitoksen tiedotteet 29 ja 30:
<http://www.fgi.fi/julkaisut/tiedote.php>
- pasi.hakli@fgi.fi