

17.6.2020

Översatt

Arbetets utförare:
Pasi Häkli
Lantmäteriverket / Geodatacentral
pasi.hakli@nls.fi

Beställare:
Jyrki Mononen
Traficom

Förenklad transformation ITRF2014→EUREF-FIN

1. Bakgrund

Målet med arbetet är att fastställa förenklade transformationsparametrar från det globala ITRF2014-datumet till det nationella EUREF-FIN-datumet inom Finlands ekonomiska region för sjöfartens behov. Med förenklad avses i detta fall en Helmerttransformation med 7 parametrar.

ITRF2014 (liksom också WGS84) är ett dynamiskt (tidsberoende) globalt datum, medan EUREF-FIN är ett statiskt datum, där koordinaterna inte förändras över tid. Det här innebär att transformationen måste ske mellan ett epokbaserat och ett icke-epokbaserat datum. Olika transformationsalternativ kan användas, och alla tar olika aspekter i beaktande. Den officiella transformationen som rekommenderas av EUREF (Altamimi, 2018) har två steg: transformation $ITRF_{yy}(t) \rightarrow ITRF_{xx}(t)$ och $ITRF_{xx}(t) \rightarrow ETRF_{xx}(t)$, där yy och xx avser ITRS- och ETRS89-realisationen (till datumen) och t är koordinaternas epok. Som syns ovan korrigerar inte den officiella rekommendationen koordinaternas epok, utan den bevaras vid observationsögonblicket (det bör dock märkas att de officiella formlerna enligt ETRS89-definitionen tar koordinaterna in i epok 1989.0 vad beträffar den Eurasiska kontinentalplattans *styva rörelse*, vilket är ETRS89:s referensepok). Det här innebär att *kontinentalplattans interna rörelse*, till exempel effekten av landhöjningen i Norden, inte beaktas. Av den här orsaken är transformationen inte noggrann på centimeternivå i Finland, se Bild 1.

Den officiella EUREF-rekommendationen tillåter ett tredje steg i transformationen, genom vilket man kan korrigera också för kontinentalplattans interna rörelse, men inga närmare anvisningar om detta har getts, och den ingår inte i den officiella transformationen. Eftersom EUREF:s rekommendation inte är tillräcklig för till exempel upprätthållande av koordinatsystemen i Norden, har den Nordiska Kommissionen för Geodesi (NKG) utvecklat en mer noggrann s.k. NKG-transformation (Häkli et al. 2016) som också beaktar landhöjningens inverkan, se Bild 2 (observera att skalan är en annan än i Bild 1). I transformationen ingår dock flera steg samt interpolering av koordinatkorrigeringarna från landhöjningsmodellen, och därför kan den inte nödvändigtvis direkt överföras på alla tillämpningar. För att göra det lättare att använda transformationen har den inkluderats i PROJ-biblioteket/programmet (PROJ contributors, 2020) som är fritt tillgängligt på webben och som redan har införts i flera geografiska informationssystem, och även kan installeras i användarens egna system.

År 2017 fastställde Lantmäteriverkets Geodatacentral (FGI) åt det dåvarande Trafikverket en förenklad transformation som kunde användas för sjöfartens behov och grundade sig på en 7-parametrars Helmerttransformation (Häkli 2017). Orsaken var att varken PROJ-tillämpningen eller stöd för komplicerade transformationer då ännu var tillgängliga. Med metoden i fråga kan man uppnå den nödvändiga transformationsprecisionen om man använder transformationsparametrar för en specifik epok och uppdaterar dem tillräckligt ofta. Transformationens precision försämras ju längre bort i tiden man rör sig från transformationsparametrarnas epok eller spatialt utanför transformationsområdet.

17.6.2020

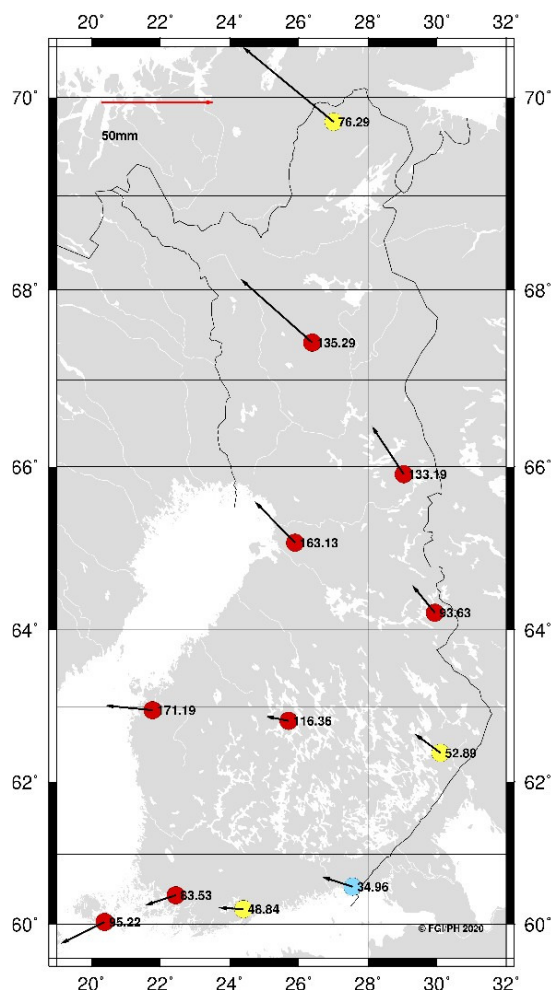


Bild 1. EUREF-transformationens precision
ITRF2014(2021.5) → ETRF96(2021.5) vs. EUREF-FIN.

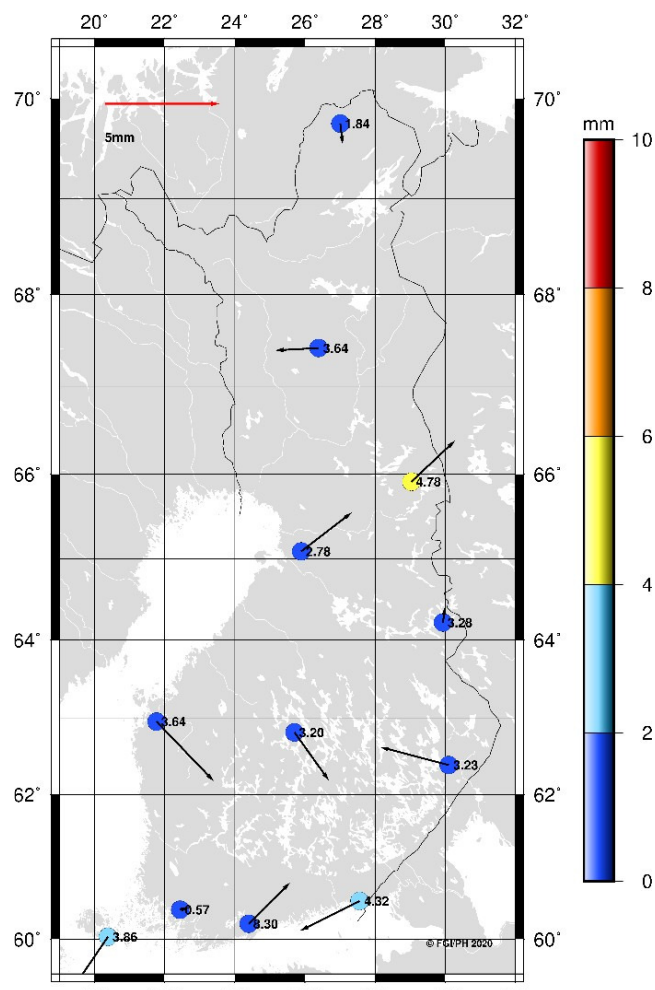


Bild 2. NKG-transformationens precision
ITRF2014(2021.5) → ETRF96(2021.5) vs. EUREF-FIN.

2. Metoder

Eftersom beställarens system inte fortfarande stöder PROJ-tillämpningen kom vi överens om att metoden för detta beställningsarbete är samma förenklade transformationsmetod genom vilken transformationsparametrarna fastställdes år 2017. I denna rapport går vi enbart genom metoden i allmänhet, närmare uppgifter finns i rapporten Häkli (2017). I detta arbete fastställs transformationsparametrar för två olika epoker: 2006.75 och 2021.5. Parametrarna för epok 2006.75 behövs då för att transformera det uppmätta materialet från WGS84 till EUREF-FIN. I detta arbete motsvarar ITRF2014 och WGS84 varandra. Epoken 2021.5 valdes tillsammans med beställaren för mätningar av nuläget.

2.1. Data

Som källdata i detta arbete används GNSS-lösningen NKG Repro1 (Lahtinen et al. 17.6.2020) som innehåller hela GNSS-datahistorien och som beräknats av NKG:s GNSS-analyscenter (NKG AC; Lahtinen et al. 2018).

Koordinat- och hastighetslösningarna samt osäkerheterna i dem grundar sig på långa tidsserier, och även osäkerheterna har fastställs så att de så realistiskt som möjligt beskriver verkligheten. I lösningen ingår cirka 250 fasta GNSS-stationer i Norden och de Baltiska länderna, samt i Tyskland, Nederländerna, Polen och Ryssland. I Finland har alla tillgängliga FinnRef-stationer varit tillgängliga, det vill säga 13 st. på 1990- eller 2000-talet, och 20 st. stationer som grundades 2012–2013 och som också ligger till grund för Finlands ETRS89-datum, EUREF-FIN.

2.2. Val av transformationspunkter

Transformationspunkterna valdes så att de på bästa möjliga sätt täcker havsområden och insjöar i Finlands ekonomiska region. Dessutom kan transformationen användas i större utsträckning på Östersjön när precisionskraven tillåter det, men dock inte utanför Östersjön.

Transformationspunkterna har hämtats från NKG Repro1-lösningen, med fokus på Finland och närområden och särskilt Östersjöns kustområden. Efter några iterationer bestämdes den samling transformationspunkter som kan ses i restfelsbilderna 3 och 5.

2.3. Beräkning av koordinater

NKG Repro1-lösningens ITRF2014-koordinater överfördes till de valda epokerna genom stationshastigheter. Resultaten blev ITRF2014(2006.75)- och ITRF2014(2021.5)-koordinaterna, som används som utgångskoordinater (som ska transformeras) vid fastställandet av transformationsparametrarna.

På motsvarande sätt överfördes ITRF2014-koordinaterna till EUREF-FIN:s referensepok 1997.0, och transformerades med EUREF-transformation till ETRF96(1997.0)-koordinater. Dessa koordinater används som resultatkoordinater (som är målet för transformationen) vid fastställandet av transformationsparametrarna. De officiella EUREF-FIN-koordinaterna från GNSS-stationerna kan inte användas som resultatkoordinater, eftersom EUREF-FIN inte har fastställts för områden utanför Finland.

3. Resultat

Resultaten visas skilt för bägge epoker. Först beskrivs precisionen på fastställandet av transformationsparametrarna med hjälp av restfel, och därefter bedöms transformationsprecisionen vid alla NKG Repro1-lösningens stationer i relation till deras officiella ETRS89-koordinater. Det bör beaktas att det enbart är inom Finlands territorium som koordinatsystemen för de transformerade koordinaterna och de nationella koordinaterna är exakt likadana. Transformationen bildar ETRF96(1997.0)-koordinater, eftersom andra länder än Finland använder sina egna ETRS89-tillämpningar; bl.a. Sverige SWE-REF99 = ETRF97(1999.5) och så vidare. Den här lösningen valdes så att man realistiskt kan jämföra transformationens precision med de nationella koordinaterna, om transformationen används någon annanstans än i Finland.

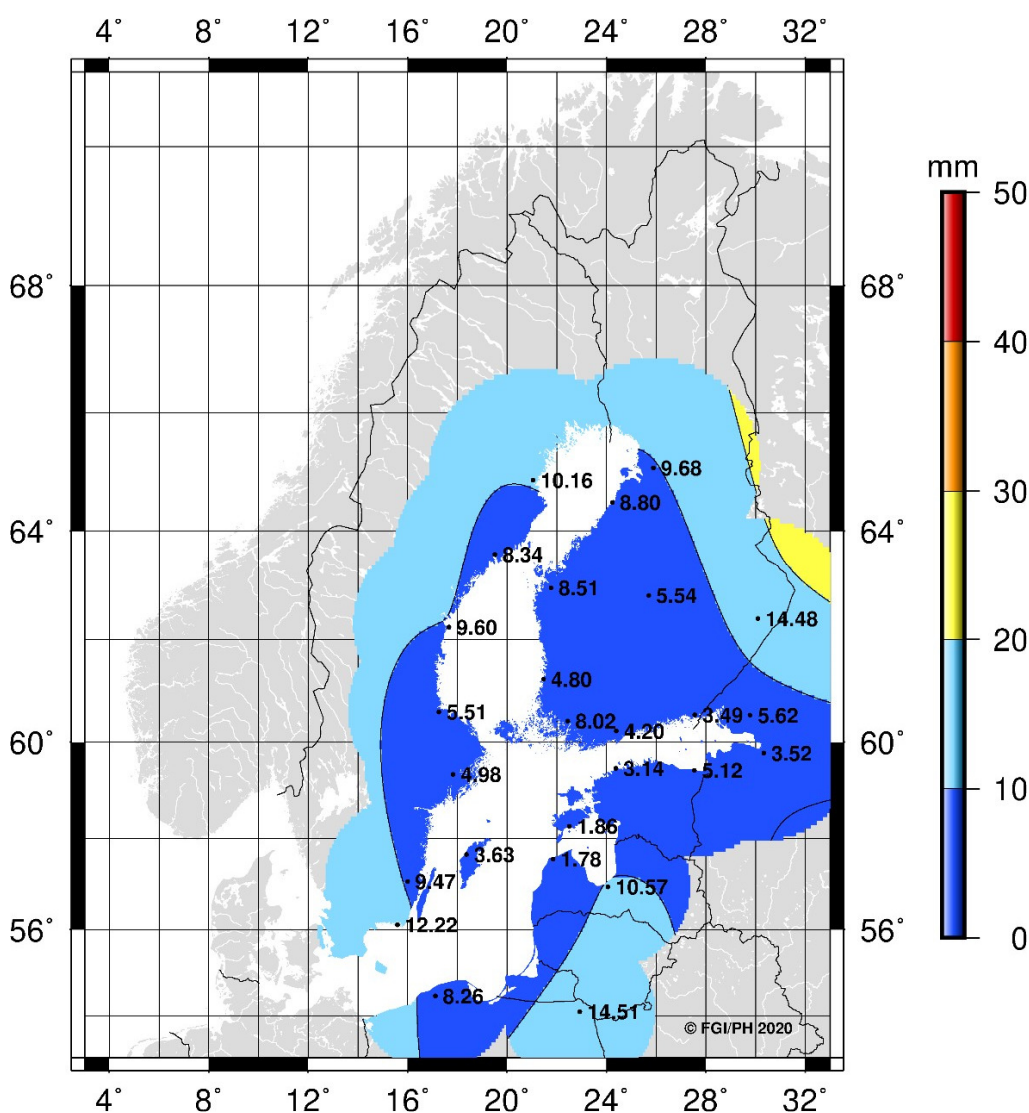
Utöver de valda transformationsepokerna utfördes samma jämförelse under andra epoker för att beskriva transformationsprecisionens tidsmässiga förändring. Transformationsprecisionen har visats för tidpunkterna +1, +2 och +5 från transformationsparametrarnas epok (motsvarande precision fås också för tidpunkterna -1, -2 och -5 år).

17.6.2020

3.1 ITRF2014(2006.75)→EUREF-FIN

3.1.1. Transformationsparametrar

Transformationsparametrarna beräknades på samma sätt som i rapporten Häkli (2017). Restfelen beskriver den förväntade transformationsprecisionen för transformationsparametrarnas epok. Restfelens rms för 26 transformationspunkter är 3.7/3.1/6.4 mm (N/E/U), de största värdena ungefär 7 mm för projicerade koordinater och cirka 14 mm för höjd. Restfelen för transformationspunkterna visas i bild 3. Transformationsparametrarna hittas i Tabell 1 i bilaga 1.



Figur 3. ITRF2014(2006.75)→EUREF-FIN –transformationens restfel (3D).

17.6.2020

3.1.2. Transformationens precision

Transformationens precision i relation till varje stations officiella ETRS89-koordinater under olika epoker har visats på bild 4. Transformationens precision minskar snabbt både utanför punkterna som använts för att fastställa transformationsparametrarna (bild 3) och när man rör sig tidsmässigt längre bort från den fastställda epoken för transformationsparametrarna.

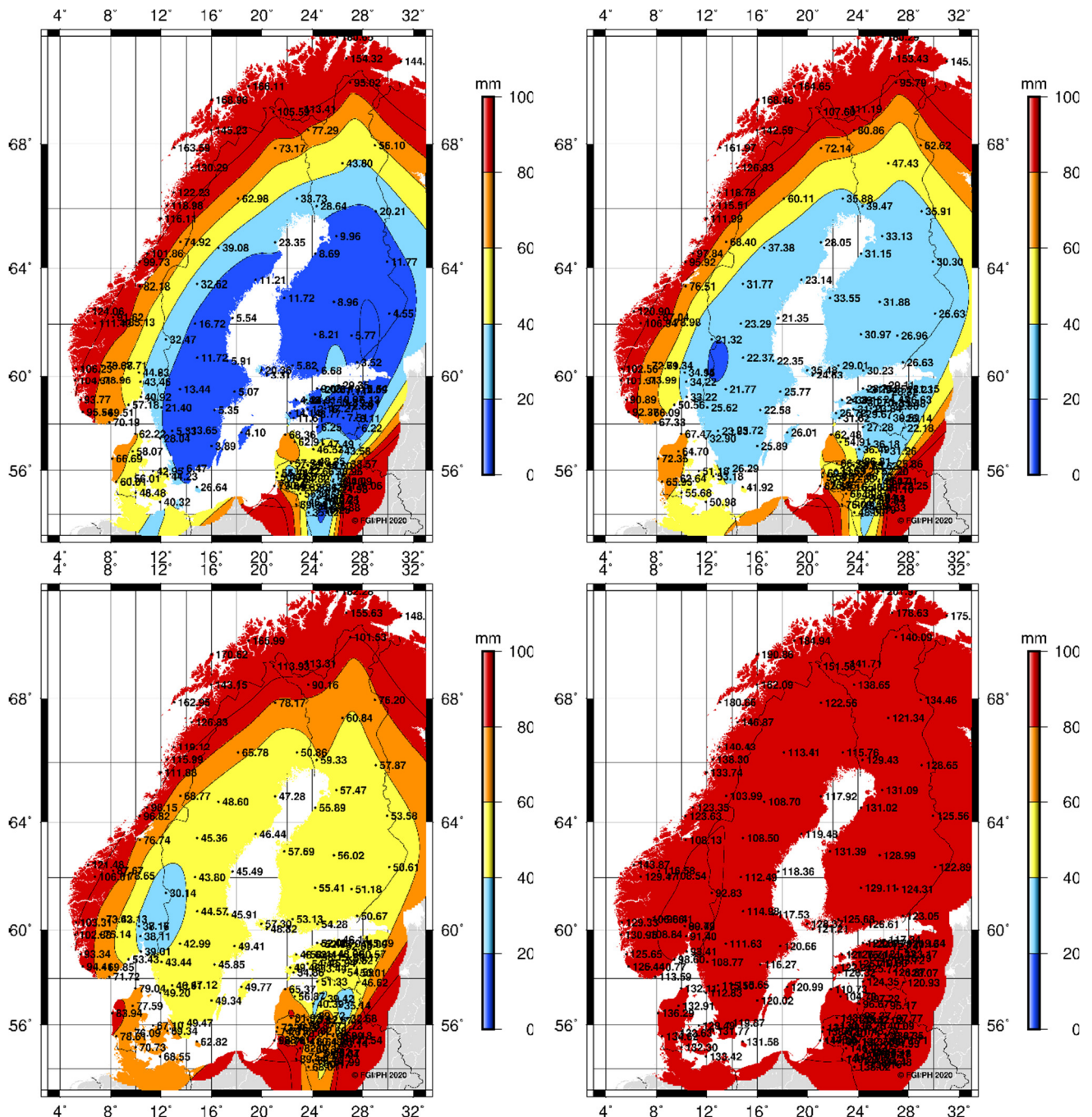


Bild 4. Transformationens precision (3D) vid ögonblicket som parametrarna fastställdes 2006.75 (vänster övre kant), +1 år (höger övre kant), +2 år (vänster nedre kant) och +5 år (höger nedre kant).

17.6.2020

3.2 ITRF2014(2021.5)→EUREF-FIN

3.2.1. Transformationsparametrar

Transformationsparametrarna för epok 2021.5 beräknades på motsvarande sätt. Så som framgår av restfelen (bild 5) är inte heller precisionen för denna transformation lika god som för epok 2006.75 (jfr bild 3). Det här beror på att parametrarna för epok 2021.5 innehåller nästan 15 år mer av den interna deformationen av den Eurasiska kontinentalplattan. Den 7-parametriska Helmerttransformationen är en likformighetstransformation, som inte kan beakta dessa deformationer helt och hållet. Därför försämrats precisionen för den förenklade transformationsmetoden även i framtiden, i och med att tiden mellan parametrarna och den nationella referensepoken ökar. Restfelens rms för 26 transformationspunkter är 9.2/7.8/16.0 mm (N/E/U), de största värdena ungefär 30 mm för projicerade koordinater och cirka 35 mm för höjd. Transformationsparametrarna hittas i Tabell 1 i bilaga 1.

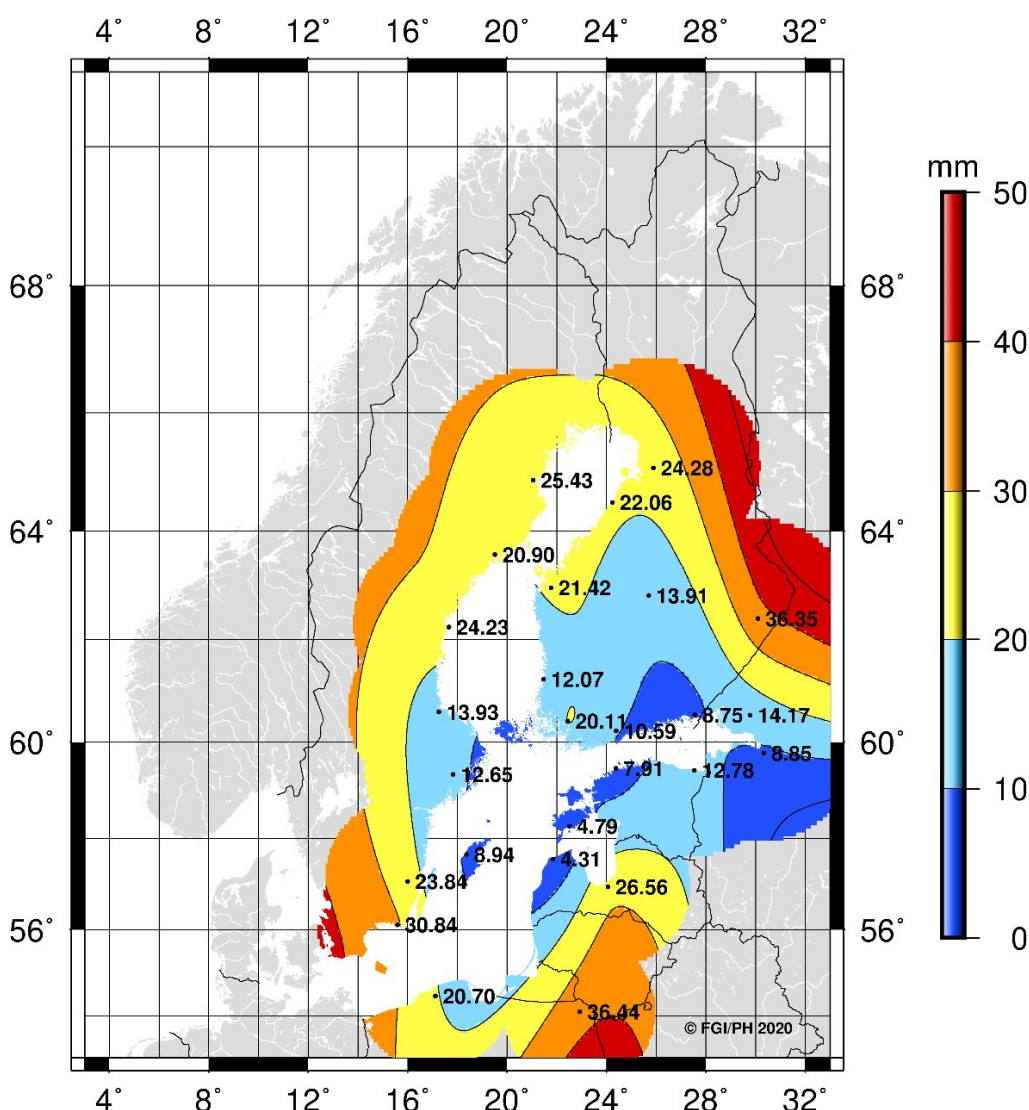


Bild 5. ITRF2014(2021.5)→EUREF-FIN –transformationens restfel (3D).

17.6.2020

3.2.2. Transformationens precision

Transformationens precision bedömdes också på motsvarande sätt i relation till de nationella koordinaterna (bild 6). Liksom för restfelens del är transformationens precision sämre än för transformationen för epok 2006.75 (jfr bild 4). Trots det är transformationens precision (3D) i t.ex. Finska viken fortfarande cirka 3 cm $\pm$ 1 per år från transformationsparametrarnas epok.

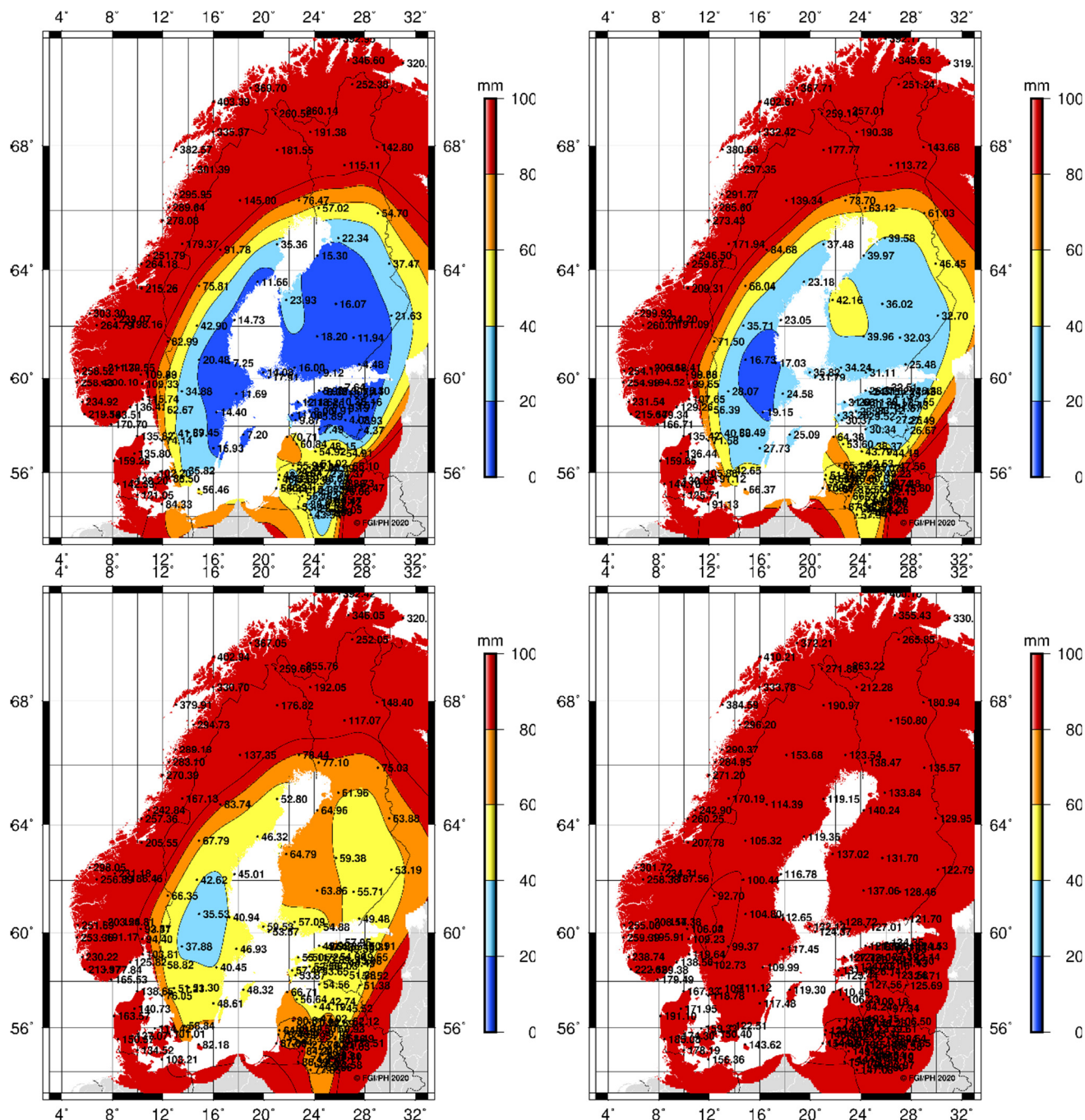


Bild 6. Transformationens precision (3D) vid ögonblicket som parametrarna fastställts för 2021.5 (vänster övre kant), +1 år (höger övre kant), +2 år (vänster nedre kant) och +5 år (höger nedre kant).

17.6.2020

4. Slutsatser

I detta arbete fastställdes transformationsparametrarna för två olika epoker, 2006.75 och 2021.5, med metoden som beskrivits i rapporten Häkli (2017). Resultaten visar att man genom metoden kan fastställa transformationsparametrarna med några centimeters precision, men att transformationsparametrarnas precision i framtiden försämras i och med att tidsskillnaden till EUREF-FIN:s referensepok 1997.0 ökar.

Av resultaten kan man också se att transformationsparametrarnas användbarhet beroende på kraven på precision blir cirka 1–2 år. För noggrannare mätningar rekommenderas det dock att man årligen fastställer parametrar, som är i kraft $\pm 0,5$ år från epoken då de fastställts. Dessutom bör man märka att transformationsparametrarna enbart gäller för Östersjön och att de är noggrannast i Finland och närområden.

Ovan nämnda begränsningar kan undvikas om man tar i bruk en NKG-transformation som är noggrann ner till cm-nivån för hela Finlands territorium om man använder Finlands parametrar (i övriga nordiska och baltiska länder kan man nå motsvarande precision med de olika ländernas egna parametrar). Transformationens precision minskar inte heller i någon större grad med tiden. NKG-transformationen är realiserad i PROJ-biblioteket, som kan köras i användarens eget system. Därför rekommenderar författaren till detta arbete att målet på lång sikt är att ta i bruk NKG-transformationen och i mån av möjlighet PROJ-tillämpningen.

5. Hänvisningar

Altamimi, 2018: EUREF Technical Note 1: Relationship and Transformation between the International and the European Terrestrial Reference Systems. <http://etrs89.ensg.ign.fr/> (hänvisad 17.6.2020)

Häkli, P., M. Lidberg, L. Jivall, T. Nørbech, O. Tangen, M. Weber, P. Pihlak, I. Aleksejenko and E. Paršeliunas (2016): The NKG2008 GPS campaign – final transformation results and a new common Nordic reference frame. Journal of Geodetic Science. Volume 6, Issue 1, ISSN (Online) 2081-9943, DOI: <https://doi.org/10.1515/jogs-2016-0001>, March 2016.

Häkli, P. (2017): Simplified transformation from ITRF2014 to ETRS89 in Finland for maritime applications.

Lahtinen S., Häkli P., Jivall L., Kempe C., Kollo K., Kosenko K., Pihlak P., Prizginiene D., Tangen O., Weber M., Paršeliunas E., Baniulis R., and Galinauskas K. (2018): First results of the Nordic and Baltic GNSS Analysis Centre, Journal of Geodetic Science, 8:1 (2018), 34-42.
<https://doi.org/10.1515/jogs-2018-0005>

Lahtinen S., Jivall L., Häkli P., Kall T., Kollo K., Kosenko K., Galinauskas K., Prizginiene D., Tangen O., Weber M., Nordman M. (2019): ITRF2014 Densification for the Nordic and Baltic Countries. GPS Solutions (2019) 23:95, <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0886-3>

PROJ contributors (2020). PROJ coordinate transformation software library. Open Source Geospatial Foundation. URL <https://proj.org/>

17.6.2020

6. Bilaga 1: Transformationsparametrar

I tabell 1 visas de fastställda transformationsparametrarna från ITRF2014-koordinater till EUREF-FIN i två epoker, 2006.75 och 2021.5. En närmare beskrivning av hur parametrarna används och enheterna finns i rapporten Häkli (2017).

Tabell 1. Transformationsparametrar ITRF2014(t) → EUREF-FIN

Parameter	t=2006.75	t=2021.5
TX [m]	0.426	1.000
TY [m]	0.626	1.501
TZ [m]	-0.384	-0.860
D [ppb]	-7.0	-21.1
RX [mas]	21.076	50.540
RY [mas]	-6.221	-21.684
RZ [mas]	-18.318	-38.164

7. Bilaga 2: exempel på kalkylering ITRFxx(2006.75)-TM21 → ETRS-TM35FIN

Formler och exempel JHS197 (<http://www.jhs-suositukset.fi/suomi/jhs197>), bilaga 2

och 3. Transformationens steg:

- 1) ITRFxx(2006.75)-**TM21 (N,E)** + TM-projektionsformler (se JHS197, bilaga 2, kapitel 3) →
- 2) ITRFxx(2006.75)-**lat,lon** + h(ellipsoidisk höjd)=0 + konverteringsformler (se JHS196, kapitel 5.3.2) →
- 3) **ITRFxx(2006.75)-XYZ** + 7-parameters Helmert (se formler Häkli, 2017) →
- 4) **EUREF-FIN-XYZ** + konverteringsformler (JHS196, kapitel 5.3.1) →
- 5) EUREF-FIN-**lat,lon** (ta bort h) + TM-projektionsformler (JHS197, bilaga 2, kapitel 3) →
- 6) ETRS-TM35FIN (**N,E**)

7.1 ITRFxx(2006.75)-TM21 (N,E) --> ITRFxx(2006.75)-lat,lon

(Formler JHS197, bilaga 2, kapitel 3)

N=6641421.000

E=684899.000

a=6378137

f=0.003352810681182

k₀=0.9996

λ₀=21

E₀=500000

Hjälpkvantitet (formler 1-3
och 6): n=0.001679220395

A₁=6367449.145771

Lantmäteriverket

Semaforbron 12 C
PB 84
00521 Helsingfors
Telefon 029 530 1100

<https://www.maanmittauslaitos.fi/sv/kontaktuppgifterkirjaamo@maanmittauslaitos.fi>
FO-nummer

17.6.2020

$e^2=0.006694380023$
 $h_1=0.000837732168164$
 $h_2=0.000000059058696$
 $h_3=0.00000000167349$
 $h_4=0.000000000000217$

Konverteringsparametrar (formler

21-33: $\xi=1.043444318022588$

$\eta=0.029049778798552$

$\xi_1'=0.000729851171645$

$\xi_2'=-0.000000051039910$

$\xi_3'=-0.0000000000003826$

$\xi_4'=0.000000000000196$

$\eta_1'=-0.000024032361019$

$\eta_2'=-0.000000003528045$

$\eta_3'=0.00000000029309$

$\eta_4'=-0.000000000000024$

$\xi'=1.042714517894482$

$\eta'=0.029073814658332$

$\beta=1.041990702774649$

$l=0.057644373804206$

$Q=1.306590831216355$

$Q'=1.312380471490736$

$Q'_i=1.312390353187827$

$\varphi_r=1.044909258507451$

$\lambda_r=0.424163516723015$

 $\varphi=59.868890487$

$\lambda=24.302779332$

7.2. ITRFxx(2006.75)-lat,lon,h --> ITRFxx(2006.75)-XYZ

(Formler JHS196, stycke 5.3.2)

$\varphi=59.868890487$

$\lambda=24.302779332$

$h=0.0000$

Hjälpkvantitet:

$b=6356752.3141$

$e=0.081819191043$

$\varphi_r=1.044909258507451$

$\lambda_r=0.424163516723015$

$N=6394166.490142$

 $X= 2925309.2267$

$Y= 1320998.5974$

$Z= 5493159.1344$

17.6.2020

7.3. ITRFxx(2006.75)-XYZ --> EUREF-FIN-XYZ

(Formler Häkli, 2017 stycke 2.2.3)

X= 2925309.2267
Y= 1320998.5974
Z= 5493159.1344

Parametrar: ITRF2014(2006.750)--
>ETRF96(1997.000): TX= 0.426 [m]
TY= 0.626 [m]
TZ= -0.384 [m]
D= -7.0 [ppb]
RX= 21.076 [mas]
RY= -6.221 [mas]
RZ= -18.318 [mas]

X= 2925309.5838
Y= 1320998.3930
Z= 5493158.9352

7.4. EUREF-FIN-XYZ --> EUREF-FIN-lat,lon,h

(Formler JHS196, stycke

5.3.1) X= 2925309.5838
Y= 1320998.3930
Z= 5493158.9352

Hjälpkvantitet:
 $e^2=0.006694380023$
lat,lon,h and N:

1-0: $\varphi=1.044909210128738$, $\lambda=0.424163412910274$, $h= -0.0510$, $N=6394166.489238$
1-1: $\varphi=1.044909210128778$, $\lambda=0.424163412910274$, $h= -0.0511$, $N=6394166.489238$
1-2: $\varphi=1.044909210128778$, $\lambda=0.424163412910274$, $h= -0.0511$, $N=6394166.489238$

 $\varphi=59.868887715$
 $\lambda=24.302773384$
 $h= -0.0511$

7.5. EUREF-FIN-lat,lon --> ETRS-TM35FIN (N,E)

(Formler JHS197, bilaga 2, kapitel 3)

 $\varphi=59.868887715$

17.6.2020

 $\lambda=24.302773384$ -----
 $a=6378137.0$ $f=0.003352810681182$ $k_0=0.9996$ $\lambda_0=27$ $E_0=500000$ -----
Hjälpkvantitet (formler 1-3
och 7): $n=0.001679220395$ $A_1=6367449.145771$ $e^2=0.006694380023$ $h_1'=0.000837731824734$ $h_2'=0.000000760852779$ $h_3'=0.000000001197638$ $h_4'=0.000000000002443$ -----
Konverteringsparametrar (formler
8-20): $\varphi_r=1.044909210128778$ $\lambda_r=0.424163412910274$ $Q'=1.312390256812210$ $Q''=0.070882169992282$ $Q=1.306590735004082$ $l=-0.047075485128195$ $\beta=1.041990654235318$ $\eta'=-0.023745391157413$ $\xi'=1.042473359869092$ $\xi_1=0.000730244919991$ $\xi_2=-0.000000654553260$ $\xi_3=-0.000000000034288$ $\xi_4=0.000000000002200$ $\eta_1=0.000019573203787$ $\eta_2=0.000000037365750$ $\eta_3=-0.000000000171139$ $\eta_4=0.000000000000218$ $\eta=1.043202950203735$ $\xi=-0.023725780758797$ -----
N=6639884.717**E=348987.727**