

Omregning av eldre relative GNSS-sanntidsmålinger fra lokalt system til EUREF89-UTM32

Trond Arve Haakonsen

Re-computing old RTK-GNSS measurements stored in a local grid to EUREF89-UTM32

KART OG PLAN, Vol. 70, pp 15–21. P. O. B. 5003, NO-1432 Ås, ISSN 0047-3278

Official local plane transformations in Norway from a local grid to the Universal Transverse Mercator coordinate system of EUREF89, are defined using Dynamic Link Libraries (DLLs). The DLLs take advantage of a list of common control points for the least-squares collocation method.

Before EUREF89 was introduced, RTK-GNSS measurements originally in the reference system WGS84, were stored in a local grid system after a simple on the fly transformation in the equipment. The collocation method is now the official transformation model in the DLLs. The choice of transformation model, number of parameters and number of common control points will change the results of coordinate computations. A common problem for the engineers is the re-computation of the old measurements into the new reference system.

In cases when original measurements are lost, a present challenge is to find the differences in the results from the two transformation models. In this article, the place dependent differences are computed in an empirical way. From the resulting plots it is possible to interpolate the deviations that can be used to correct older measurements.

Key words: Conformal transformation. One-step transformation. Local grid. UTM. Least-squares collocation. Interpolation.

Trond Arve Haakonsen. Dr.ing. Trondheim kommune. Kart og oppmålingskontoret, NO-7004 Trondheim.
E-mail: trond-arve.haakonsen@trondheim.kommune.no

1 Introduksjon

Dagens offisielle biblioteker for plane transformasjoner ble vanligvis utarbeidet i GEOVEKST-regi i samarbeid med Statens kartverk, som en del av EUREF89-innføringen. Relativ sanntidsmåling med GNSS ble benyttet i mange år før EUREF89 ble innført som ny horisontal geodetisk referanseramme i Norge.

Før EUREF89-innføringen var det vanlig å benytte en eller flere utstyrstilpassede varianter av konforme transformasjoner for å presentere GNSS-data i tidligere datum. Parameterne i disse transformasjonene var beregnet fra et færre antall fellespunkter, og benyttet heller ikke minste kvadraters kollokasjon som de offisielle bibliotekene gjør i dag. Slike utstyrsspesifikke transformasjoner anses derfor å ha en dårligere kvalitet.

En vanlig problemstilling for de som bedriver prosjektering er å omregne eldre målinger for innpassing til dagens kart og nymåling. De færreste er klar over hvilken

størrelse eventuelle avvik mellom eldre og nymålt materiale kan ha som følge av valgt transformasjonsmetode. I denne artikkelen beskrives en forenklet metode for slik omregning. Med eksempler på transformasjoner benyttet i Trondheim kommune tallfestes kvalitetsforskjellen mellom modellene i enhet centimeter. Plott fra slike beregninger gir ikke bare en god oversikt over forskjellene. De kan også benyttes i kombinasjon med enkle interpoleringsmetoder for å korrigere tidligere målte data.

Korreksjonsmetoden kan kanskje også være interessant for landets øvrige kommuner. Derfor presenteres den her i artikkels form.

2 Metode

Trondheim kommune hadde i samarbeid med Statens kartverk utført GNSS-målinger flere år før innføringen av EUREF89. Før overgangen ønsket en å kartlegge deforma-

sjoner i Trondheim gamle lokale system, definert med origo i Nidarosdommens spir. Først ble en ny 2D-utjevning i det lokale systemet utført med kun 3 fastholdte punkter i planet. Kun statistisk målte GPS-vektorer ble benyttet som observasjoner. Fastmerker med nye realiserte koordinater går i dag under betegnelsen Trondheim lokale renoverte system. Koordinatforskjeller mellom renovert og gammelt lokalt system gjenspeiler deformasjonene i det gamle nettet. Offisielle kommunale plantransformasjoner [1], mellom Trondheim lokale system og EUREF89-UTM32 er derfor gitt ved 2 ulike transformasjonsbibliotek. Begge bygger på plane Helmertransformasjoner via NGO48 i kombinasjon med minste kvadraters kollokasjon. Disse er:

- 1) *skt2_1601_ren_1.dll* Renovert nett, basert på 412 fellespunkter
- 2) *skt2_1601_gml_1.dll* Gammelt nett, basert på 382 fellespunkter

Mer om denne sammenhengen kan leses i sluttrapport for Geovekst-prosjekt LACGST44 [4]. Kollokasjon sørger for en beste mulig tilpasning der fastmerkenettet er deformert. Metoden er stedsavhengig. For hvert punkt som transformeres tas det hensyn til de 20 nærmeste fellespunktene. Koordinatverdier i de nærmeste fellespunktene tillegges størst vekt.

Relativ sanntidsmåling etter 2006

GNSS-utstyr som brukes i Norge sies å «måle direkte» i referanserammen WGS84. Prosesserte GNSS-vektorer er differensielle eller relative observasjoner og er for praktiske formål identiske i referanserammene WGS84 og EUREF89. Ellipsoidehøyder: *h-ell* avledet fra GNSS-vektorobservasjonene kan anses å referere til EUREF89-ellipsoiden GRS80.

Overgangene mellom ulike koordinatformer av EUREF89 fra for eksempel 1) jord-sentriske (*XYZ*) til 2) geodetiske (*Bredde, Lengde, h-ell*) og videre til 3) kartplanskoordinater i UTM-prosjeksjonen (*Nord, Øst, h-ell*) er bestemt av formler med matematisk kjente parametere og kalles derfor i norsk geodesi for en konvertering.

Relasjonen mellom ellipsoidehøyder og de ortometriske høydene ivaretas i dag av en eller annen høydereferansemodell som i Norge alltid leveres av Statens kartverk [2]. Trondheim er i dag en av få bykommuner med eget lokalt høydesystem. Vårt offisielle vertikale referansesystem (fram til 1. mars 2011) er: *Trondheim lokale renoverte høydesystem*. En høydereferanseflate for omregning fra ellipsoidehøyde til Trondheim lokale renoverte høydesystem ble publisert i 2006 med navnet TRD2006C [3]. I tillegg til overensstemmelse i et 350-tall justeringspunkter innenfor kommunen opptar denne modellen også de langperiodiske variasjonene i den landsdekkende høydereferanseflaten HREF2006C.

Relativ sanntidsmåling før 2006

Før 2006, og i en overgangsperiode senere ble en enklere formel tilpasset for Leicas GNSS-mottakere, kalt *Trondheim30gml* benyttet som transformasjon til Trondheim lokale system direkte i felt for både plan og høyde. Transformasjonen beskrives av Leica som en «one step transformation» [5], og er en ren konform transformasjon beregnet med 30 fellespunkter. «One step»-transformasjonen modellerer også en forenklet geoidhøydemodell som et lineært romlig plan tilpasset etter minste kvadraters metode. Til sammen utgjør denne derfor en 3D-transformasjon, men uten kollokasjonens fordeler og et betydelig færre antall fellespunkter enn dagens offisielle transformasjoner.

Forskjellen mellom nymålinger og eldre transformerte måledata i Trondheim.

En ønsker å beregne den stedsavhengige forskjellen mellom:

- 1) Dagens målinger direkte i EUREF89-UTM32 med høydereferansemodellen TRD2006C og
- 2) Data som tidligere er målt og transformert direkte med *Trondheim30gml* i GPS-mottaker, for senere å ha blitt tilbaketransformert til EUREF89-UTM32 med det offisielle biblioteket: *skt2_1601_ren_1.dll*. Høyden forblir uendret i tilbaketransformasjonen.

Om en kjenner denne forskjellen vil det være mulig å korrigere tidligere målte data til de data en ville fått om en målte i tilsvarende punkter med dagens modeller. Kollokasjonen som benyttes i *skt2_1601_ren_1.dll* gjør at denne problemstillingen kanskje løses enklere med empiriske data enn å gå i dypet av matematikken.

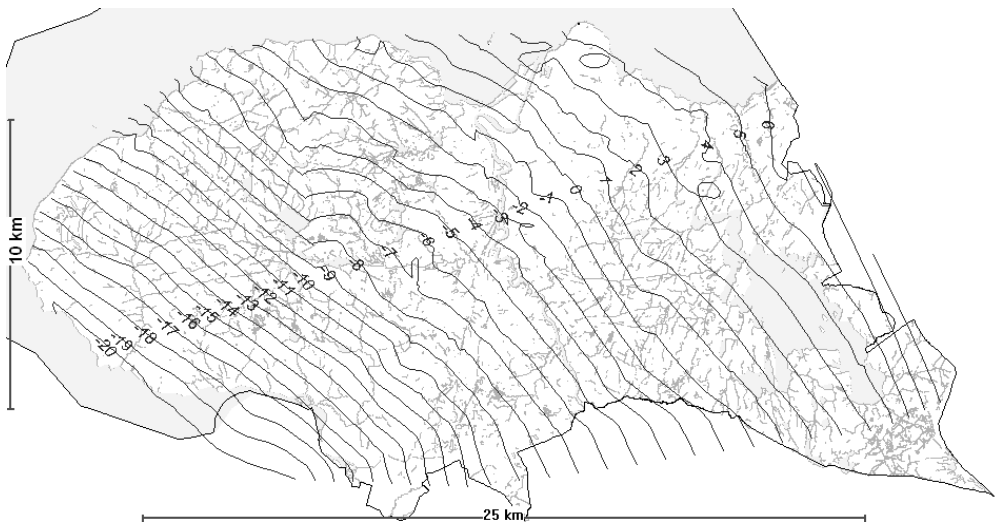
3 Resultater

Et forsøk er gjort for å visualisere slike stedsavhengige forskjeller i Trondheim. Som utgangspunkt er de ca 400 offisielle fastmerker som også har høyde i Trondheim lokale renoverte system benyttet. Disse data kan anses som et sett ideelle punktmålinger med dagens sanntids-GNSS og høydereferanseflaten TRD2006C. Heretter benevnes dette 3D-datasettet som *datasett 1*.

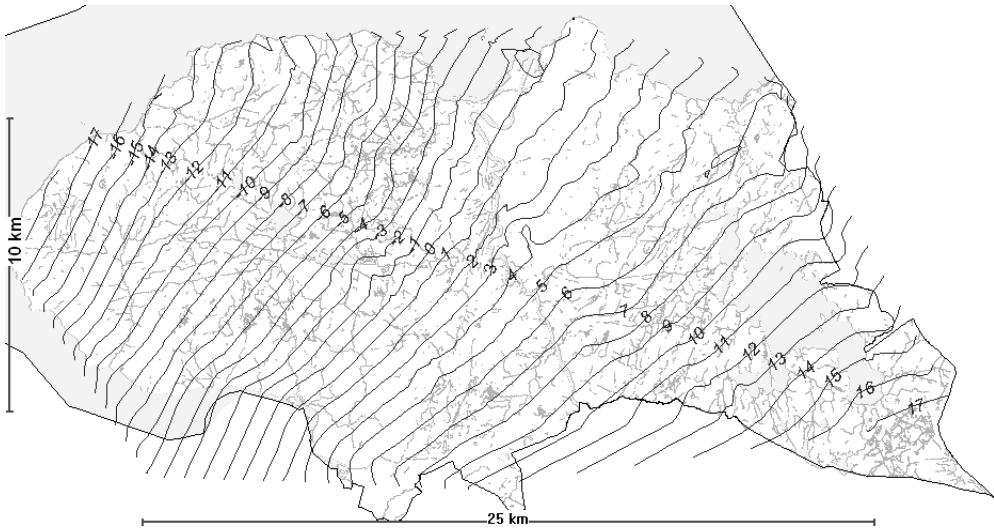
For å simulere et sett med tidligere målinger ble det tatt utgangspunkt i *datasett 1*. Først ble høyder transformert fra Trondheim

lokale renoverte høydesystem til ellipsoidehøyder med TRD2006C. Dette datasettet kan ses på som punktobservasjoner i WGS84 eller EUREF89. Dataene ble så lest inn i et prosjekt definert med koordinatsystemet *Trondheim30gml* i Leicas PC-program Leica Geo Office (LGO). Data eksportert fra dette prosjektet tilsvarer en tidligere innmåling med *Trondheim30gml* i GNSS-mottakeren. Endelig ble disse data tilbaketransformert til EUREF89-UTM32 i programmet Gis/Line-Trans med biblioteket *skt2_1601_ren_1.dll* og døpt om til *datasett 2*.

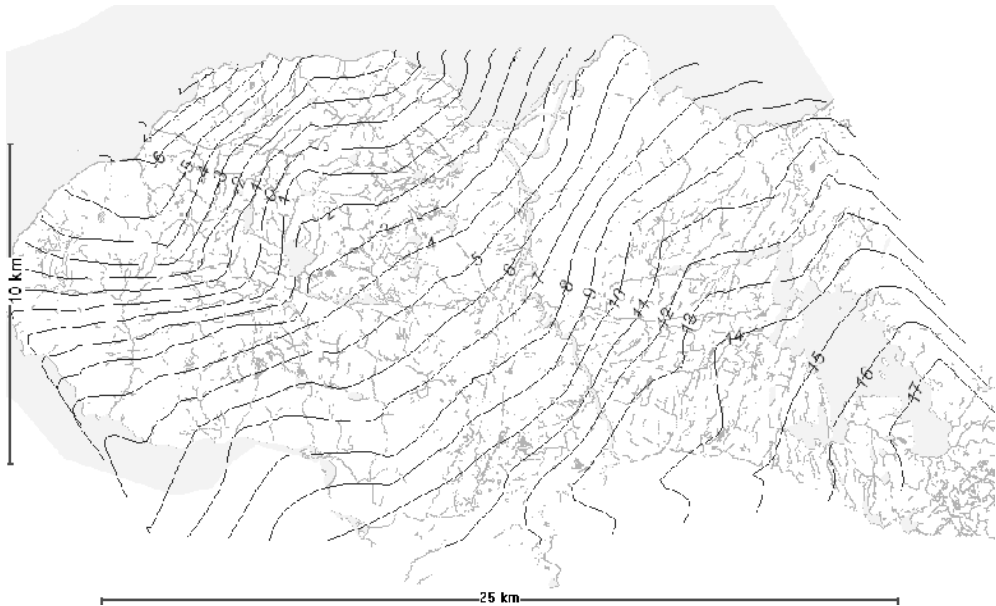
Forskjellene mellom *datasett 1* og *datasett 2* gjenspeiler de forskjeller en får om en forsøker å sammenligne 1) dagens målinger og 2) den benyttede innmålingsmetoden før 2006, deretter tilbakeregnet med dagens offisielle formel *skt2_1601_ren_1.dll*. Resultater fra beregningen *datasett 1* – *datasett 2* for de tre retningene er vist som isolinjer med enhet centimeter i de tre påfølgende figurer.



Figur 1: Simulering av nord-forskjeller: 1) dagens måling – 2) måling i lokalt system: *Trondheim30gml* tilbaketransformert med: *skt2_1601_ren_1.dll*. Enhet er cm.



Figur 2: Simulering av øst-forskjeller: 1) dagens måling – 2) måling i lokalt system: Trondheim30gml tilbaketransformert med: skt2_1601_ren_1.dll. Enhet er cm.



Figur 3: Simulering av høydeforskjeller: 1) dagens måling med høydereferansmodellen TRD2006C – 2) måling i lokalt system: Trondheim30gml. Enhet er cm.



Figur 4: Forstørret figur over Trondheim sentrum. Punkt på den nye Pirbrua markert med triangel. Høydeforskjeller: 1) dagens måling – 2) måling i lokalt system: Trondheim30gml.

Talleksempel, punktet på den nye Pirbrua	N	Ø	H
Innmåling med Trondheim30gml	1258.094	560.798	5.635
Plantransformert med <i>skt2_1601_ren_1.dll</i>	7035185.769	570251.133	
Interpolerte korreksjoner fra fig 1-3	+0.018	-0.003	+0.045
Koordinater og høyde etter korreksjon	7035185.787	570251.130	5.680
Fasit = målt i dag.	7035185.786	570251.128	5.679

4 Diskusjon

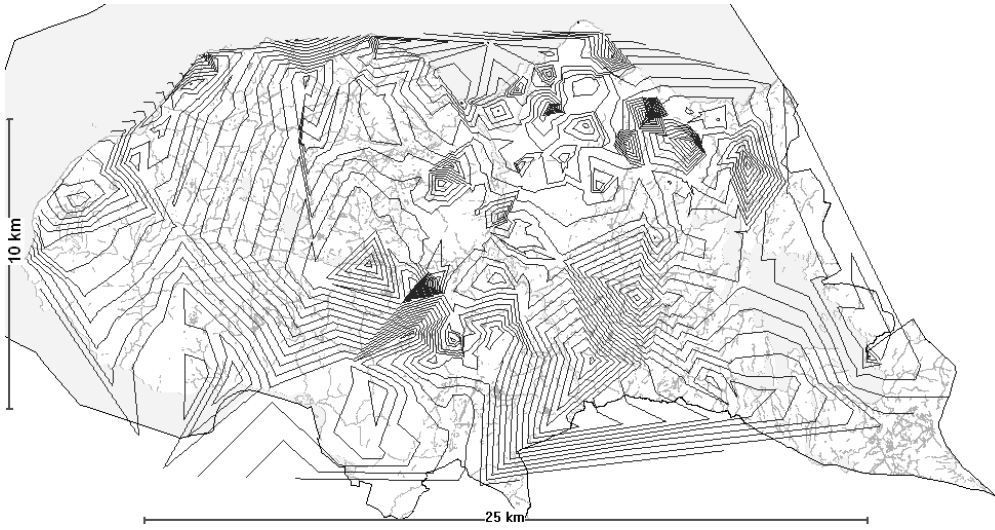
Grunnriss:

Trondheim sentrum ligger innenfor halvøya begrenset av Nidelvas utløp mot nord. Betrakter en figur 1 og 2 ser en at forskjellen er minimal i Trondheim sentrum. Optimal overensstemmelse i sentrumsområdet var nok et av målene den gang formelen *Trondheim30gml* ble etablert. Forskjellene i grunnriss ligger stort sett innenfor 1-2cm i sentrum, det vil si en korreksjon under forventet målenøyaktighet ved relativ sann-

tidsmåling. Forskjellene øker jo lengre fra sentrum en befinner seg. I Trondheim er det benyttet kun en GNSS-formel for hele kommunen. I andre kommuner er kanskje flere stedsavhengige transformasjoner i GNSS-mottakeren benyttet. For en som ønsker å regne om data i ettertid er informasjon om hvilken transformasjon som er brukt helt avgjørende. Som navnet på den utvalgte transformasjonen *Trondheim30gml* antyder er denne innpasset mot punkter i Trondheim gamle lokale system. De tidligere målte da-

taene er med andre ord bedre tilpasset det mer deformerte Trondheim gamle lokale system i grunnriss enn det renoverte. Tilsvarende plott etter en tilbaketransformasjon med biblioteket *skt2_1601_gml_1.dll* gir mindre avvik enn i figurene 1 og 2. Nord-avvik ligger innenfor: -13cm til 10cm og øst-avvikene i in-

tervalleret -15cm til 13cm. Men, disse figurene vil bli mindre oversiktlige og dårligere egnet for interpolering som følge av det gamle nettets lokale deformasjoner. For å illustrere dette, se figuren av nord-avvik etter en tilbaketransformasjon med *skt2_1601_gml_1.dll* i figur 5.



Figur 5: Simulering av nord-forskjeller: 1) dagens måling – 2) måling i lokalt system: Trondheim30gml tilbaketransformert med: *skt2_1601_gml_1.dll*. Enhet er cm.

Høyde:

Høydeavvikene i figur 3 skyldes forskjeller mellom den lineære høydereferansemodellen i *Trondheim30gml* og høydereferanseflaten TRD2006C. For høydene del vil det i praksis ikke bli noen forskjell om en tilbaketransformerer med *skt2_1601_ren_1.dll* eller *skt2_1601_gml_1.dll*.

Ved omregning av eldre målte høyder er det viktig å være klar over at det forekommer ulike varianter. Den våkne landmåler som har vært klar over feil i den forenklete GNSS-transformasjonen har som regel kontrollmålt i nærmeste fastmerke før innmå-

ling. Ved uoverensstemmelse har det vært vanlig praksis med en forenklet «høydekalibrering». Etter en første måling i fastmerket har stanghøyden i GNSS-måleboka blitt justert slik at utgangshøyden i det kjente fastmerket overensstemmer før måling av nye punkter. Noen har som fast rutine lagret en første kalibrert måling og kanskje også en avsluttende måling i fastmerket som en del av måledatasettet. Om ikke informasjon om utgangspunktet for høydemåling finnes i datasettet vil en eventuell høydekorreksjon av tidligere målte data innebære en viss risiko.

Referanser

- [1] Informasjonsside om transformasjoner, Norge digitalt, 01.10.2009
http://www.statkart.no/Norge_digitalt/Norsk/Teknologi/Transformasjoner/?module=Articles;action=Article.publicShow;ID=7235
- [2] Informasjonsside, Kartverkets høydereferansemodell HREF, 01.10.2009
<http://www.geodesi.no/href/>
- [3] Informasjonsside, Kartverkets andre høydereferansemodeller, 01.10.2009
<http://www.geodesi.no/href/other-models.html>
- [4] 1601 Sluttrapport Trondheim kommune, Overgang til EUREF89, Geovekst-prosjekt LACGST44, av Trude Iversen Hårstad, Statens kartverk, Trondheim 31/8-2006.
- [5] Leica geosystems, System 1200 Newsletter – No.10. , 04 October 2004
http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/general/general/newsletters/System1200_10_OneStep%20Coordinate%20Systems_en.pdf