

GGEOID16 – Opdateret geoide for Grønland – tilpasset havniveau i Nuuk

Rene Forsberg
DTU Space
November 2016
rf@space.dtu.dk

En opdateret geoide er beregnet for Grønland, som grundlag for et nyt GPS-konsistent grønlandsk højdesystem. Dette arbejde er udført som led i resultatkontrakt mellem DTU-Space og Styrelsen for Dataforsyning og Effektivitet (SDFE), med bidrag fra ASIAQ i form af GPS- og højdedata data i byer og bygder.

Den nye geoide er beregnet alene fra tyngdemålinger og satellitmålinger, samt digitale terrænmodeller for land og tykkelser af indlandsisen, og efterfølgende tilpasset med et niveauskif til ASIAQ og SDFE referencepunkter i det centrale Nuuk. Geoiden vil hermed fremover kunne danne grundlag for et nyt geoide-baseret vertikalt referencesystem i Grønland, GVR2016, som efter Grønlandsk ønske er bestemt så kotesystemet i Nuuk forbliver stort set uforandret. Dette betyder at GVR2016 vil være bestemt ved middelhavniveau i Nuuk i 1960'erne, hvor det lokale højdesystem blev defineret ved en flerårig vandstandsmåling GTO.

GGeoid16 bygger på en tidligere foreløbig model *GGeoid14*, beregnet på en lang række nye tyngde-, DEM, og satellitdata, og repræsenterer en væsentlig forbedring i geoiden siden den hidtidigt benyttede *Geoid2000*. Der er brugt følgende primære data i *GGeoid14*:

- Satellit tyngdefeltsdata fra ESA's GOCE mission (2009-12 data; R3 "direct" løsnings)
- Langperiodiske satellit data fra NASA/DLR GRACE missionen (gennem EGM08 modellen)
- Tyngdemålinger fra GST, DTU-Space, og andre i Grønland, samt tilgængelige marine data fra åbne og klassificerede tyngdedata i den nordiske NKG-tyngdedatabase på DTU-Space
- Nye tyngdemålinger fra Canada (NRCan) og Island (Landmælinger Islands)
- Flybårne tyngdemålinger fra DTU-Space, bl.a. fra Kontinentalsokkelprojektet
- Flybårne tyngdemålinger i 4 km højde fra US Naval Research Laboratory 1991-92
- Flybårne tyngdemålinger fra NASA, samlet over indlandsisen som led i IceBridge projektet
- Tyngdefeltsdata fra satellitaltimetri (DTU10 globale model)
- Ny 500 m opløsning digital terrænmodel for Grønland fra MODIS (Ohio State University), korrigeret og suppleret med GST fotogrammetriske højdedata i det nordligste Grønland
- Ny istykkelsesmodel for Grønlands Indlandis fra IceBridge og ældre radarmålinger (J. Bamber, Bristol Glaciological Center) samt for islandske iskapper (University of Iceland)

GGeoid16 er opdateret med nogle ændringer i metoder (som spin-off fra beregningen af den nye nordiske geoide NKG2016), nye forbedede GOCE satellit data (Release 5, som udnyttet i et nyt international reference felt EIGEN-C64), nye flybårne tyngdedata fra NASA OMG (Oceans Melting Greenland) projektet, samt nye tyngdedata fra satellit altimetri (DTU13).

De forskellige datakilder er illustreret på Fig. 1-2 nedenfor, efter QC og sletning af indlysende datafejl. Geoiden er herefter bestemt med "remove-restore" teknik, med brug af DTU-Space GRAVSOFTE systemet. Metoden brugt er baseret på følgende skridt:

1. Reduktion for kombineret GRACE/GOCE/EGM08 referencefelt EIGEN-6C4 (til grad 360)

2. Terrænreduktion af alle data (med brug af 500 m opløsning "kondenseret" land/is terrænmodel i Grønland, og 1000 m opløsning terrænmodel i Canada og Jan Mayen).
3. Nedad fortsættelse og gridding af alle tyngdefeltsdata til terrænoverfladen, med brug af blokvis mindste kvadraters kollokation
4. Konvertering af residuale tyngdeanomalier til residual "kvasigeoide" (sfærisk FFT)
5. "Restore" af terræneffekt på geoiden
6. "Restore" af GRACE/GOCE/EGM08 geoide referencefelt
7. Konvertering af "kvasigeoide" til klassisk geoide

Geoiden er beregnet i området 58-85°N, 77-7°W, i et geografisk grid med 0.02°x 0.05° (ca 2 km) opløsning. Output format er *GRAVSOF*T grid, dvs rækkevis i V-Ø rækker fra N til S, med en label i starten af filen (bestående af 1351 rækker á 1421 datapunkter). Geoidefilen kan interpoleres med *grid_int_grl* eller *GRAVSOF*T *geoid* (kun for binært Gravsoft format).

Nøjagtigheden af GGEIOD16 vil være meget afhængig af den underliggende tyngdedækning, og skønnes at være 5-10 cm i områder med god tyngdedækning. Det understøttes bl.a. af sammenligninger med nylige DTU-Space GPS-vandstandsmålinger langs udvalgte fjorde. På Island passer GGEIOD16 med nylige GPS-nivellements målinger (311 punkter) rundt om hele Island med en r.m.s. fejl på 3.7 cm, og et bias på 9.9 cm (bias afspejler her primært forskel i lokalt havniveau omkring Island og omkring Nuuk).

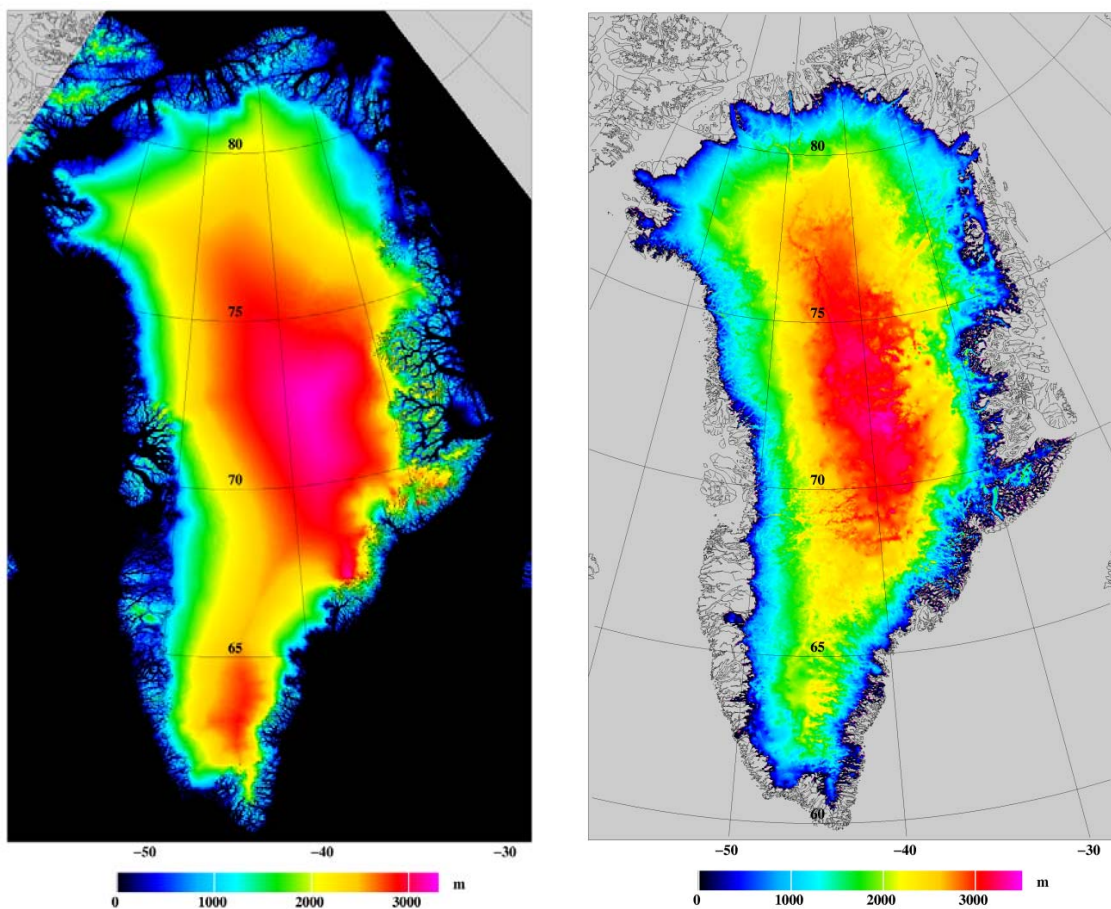


Fig. 1. Venstre: Terrænmodel for Grønland (500 m opløsning) fra IceSat, MODIS og fotogrammetri; højre: istykkelsesmodel brugt i geoideberegningen (J. Bamber, Univ. of Bristol).

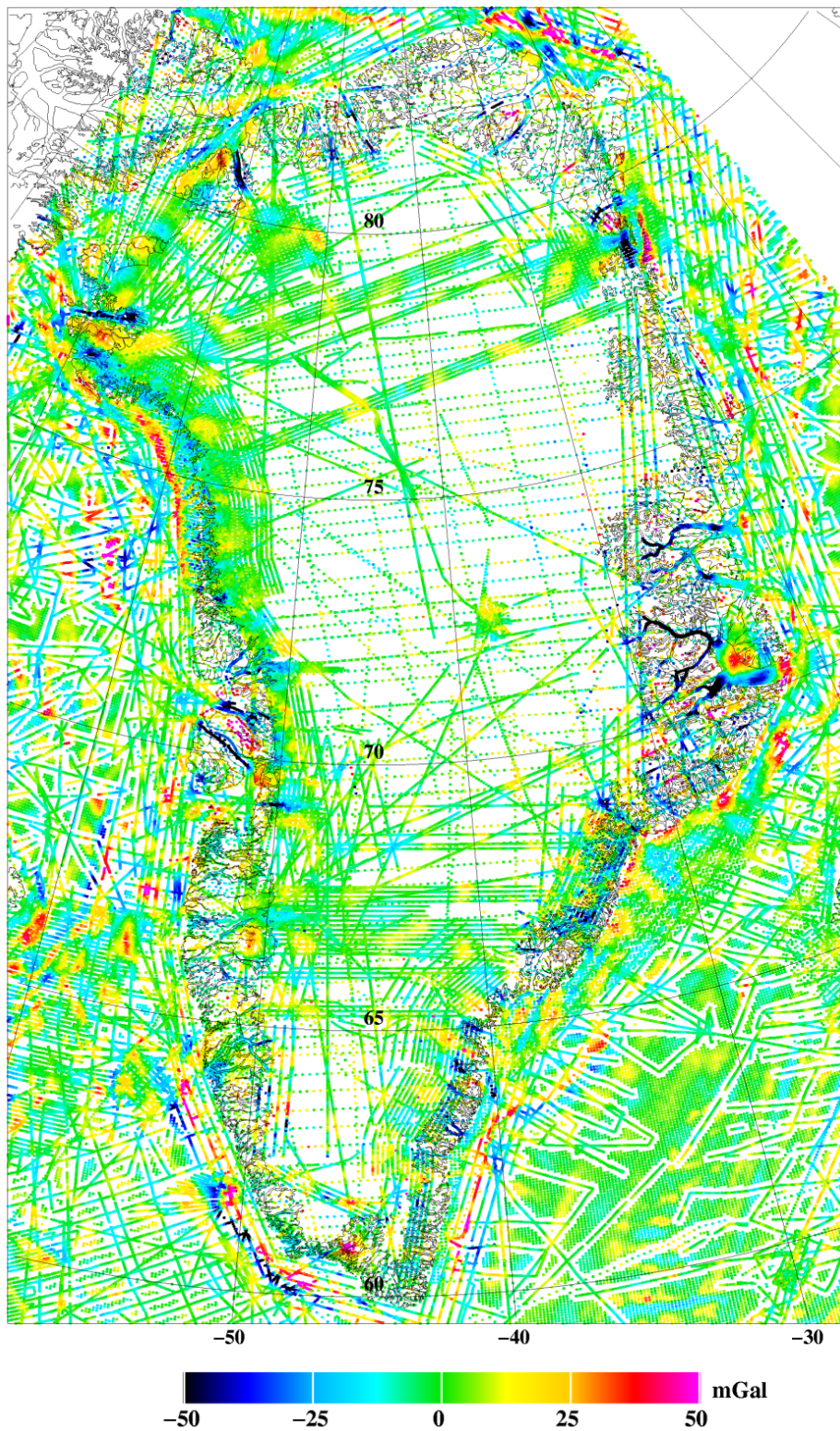


Fig. 2. Alle tyngdedata udnyttet i beregningen af GGEOID16. Nye NASA OMG data dækker Melville Bugten, SØ-Grønland offshore, samt et område i Nordøstgrønland ud for 79 fjorden. Farverne afspejler differencer mellem de faktiske målinger og det "forventede" felt fra satellitmålinger og terræneffekter.

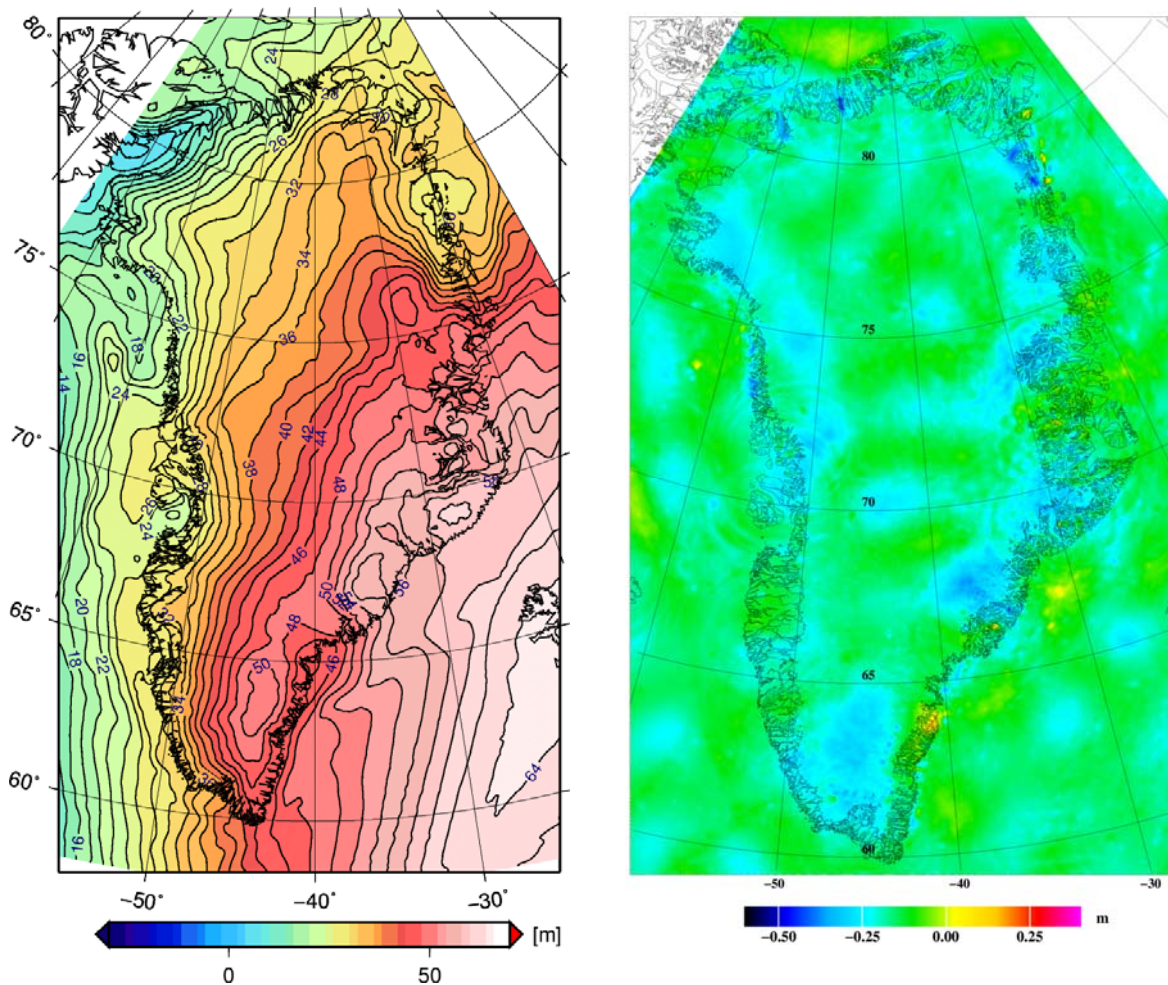


Fig 3. GGEOID14, 2 m konturer (venstre), samt GGEOID16-GGEOID14 difference (højre). Forskellen i de to geoide versioner skyldes primært ændring i det underliggende GOCE felt, som har været overraskende store, samt ændret vægtning mellem satellit- og in-situ data.

Sammenligning med SDFE og ASIAQ koter i Grønland

En sammenligning mellem GGEOID16 og GPS-bestemte geoidhøjder i Grønland, bestemt ved

$$N^{\text{GPS}} = h^{\text{GPS}} - H_{\text{lokalt}}$$

og forskellen til GGEOID16 er vist i det følgende (Fig. 4-5).

Sammenligningen er baseret på REFGR GPS ellipsoidehøjder (fortættet i de grønlandske byer og bygder af ASIAQ), samt kotelister fra Asiaq ("UTM koter", 1464 punkter, Nov 2013) og udvalgte KMS/SDFE koter. Afvigelserne skyldes en kombination af havniveauets lokale højde og -ændringer (mean dynamic topography, MDT), geodynamiske effekter (landhævning), og fejl. Fordi de hidtidige kotesystemer er baseret på lokale vandstandsmålinger af varierende længde og kvalitet vil højder fra geoide aldrig passe pga MDT. Det bedste "bud" på havets topografi er vist til højre i Fig. 5 satellit altimetri (DTU15/GGEOID16 MDT).

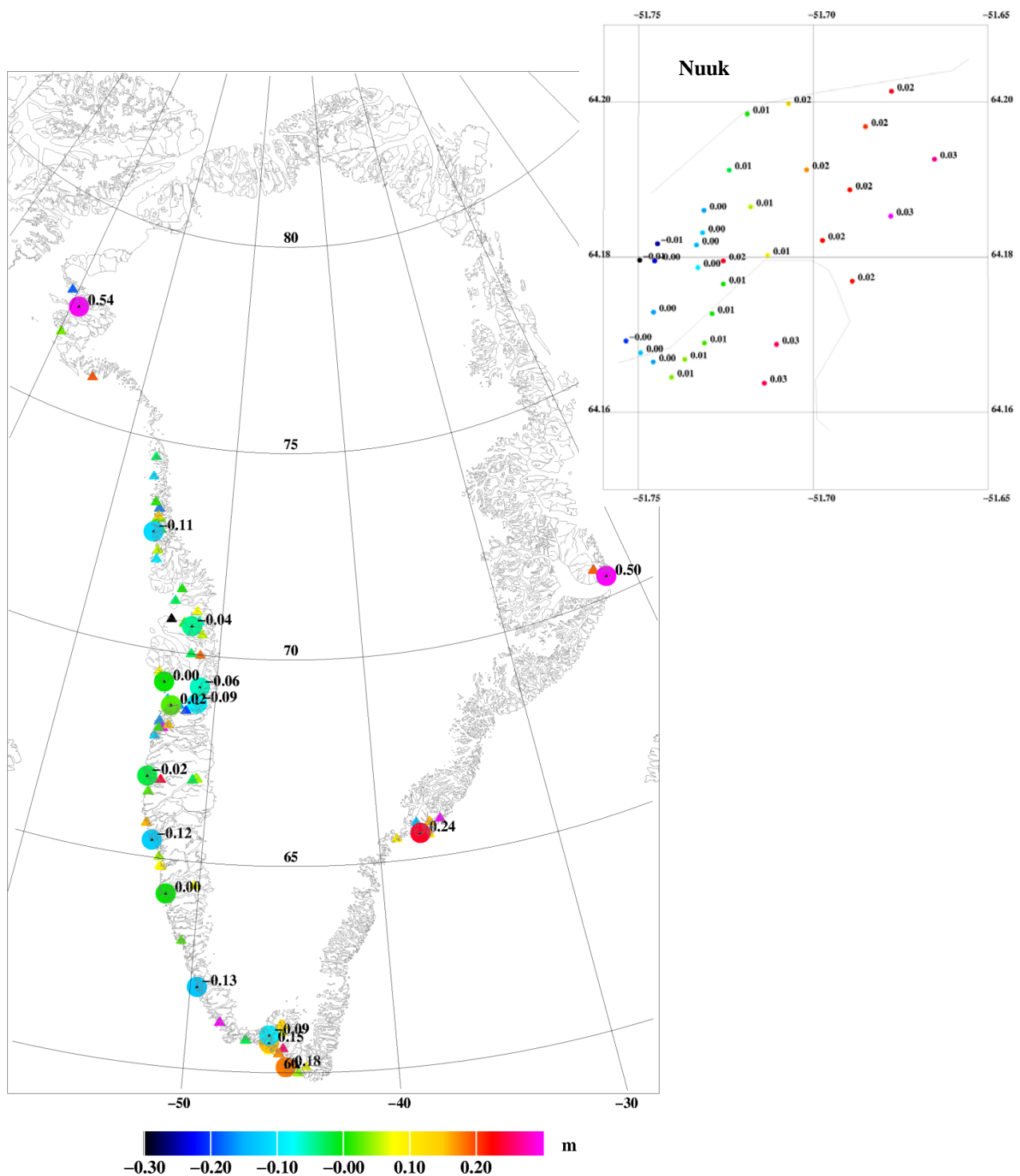


Fig. 4. Forskelle mellem ASIAQ højder og højder i GVR2016 (GEOID16). Det ses at byerne på vestkysten passer relativt fint med det nye reference system, undtagen helt i syd (Qaqortoq og Nanortalik). Afvigelser i Maniitsoq og Paamiut kan meget vel skyldes landhævning siden 1960'ernes definerende lokale vandstandsmålinger. Bygderne (vist med trekanteder) kan have meget store fejl i koteniveau (Niaqoornat, Tasiussaq og Eqalugarssuit f.eks. mere end 0.5 m). Kort øverst til venstre viser afvigelserne i selve Nuuk, hvor der ses et svagt tilt mod fjeldene øst for byen (illustrerer sandsynligvis behov for flere tyngdemålinger i nærområdet).

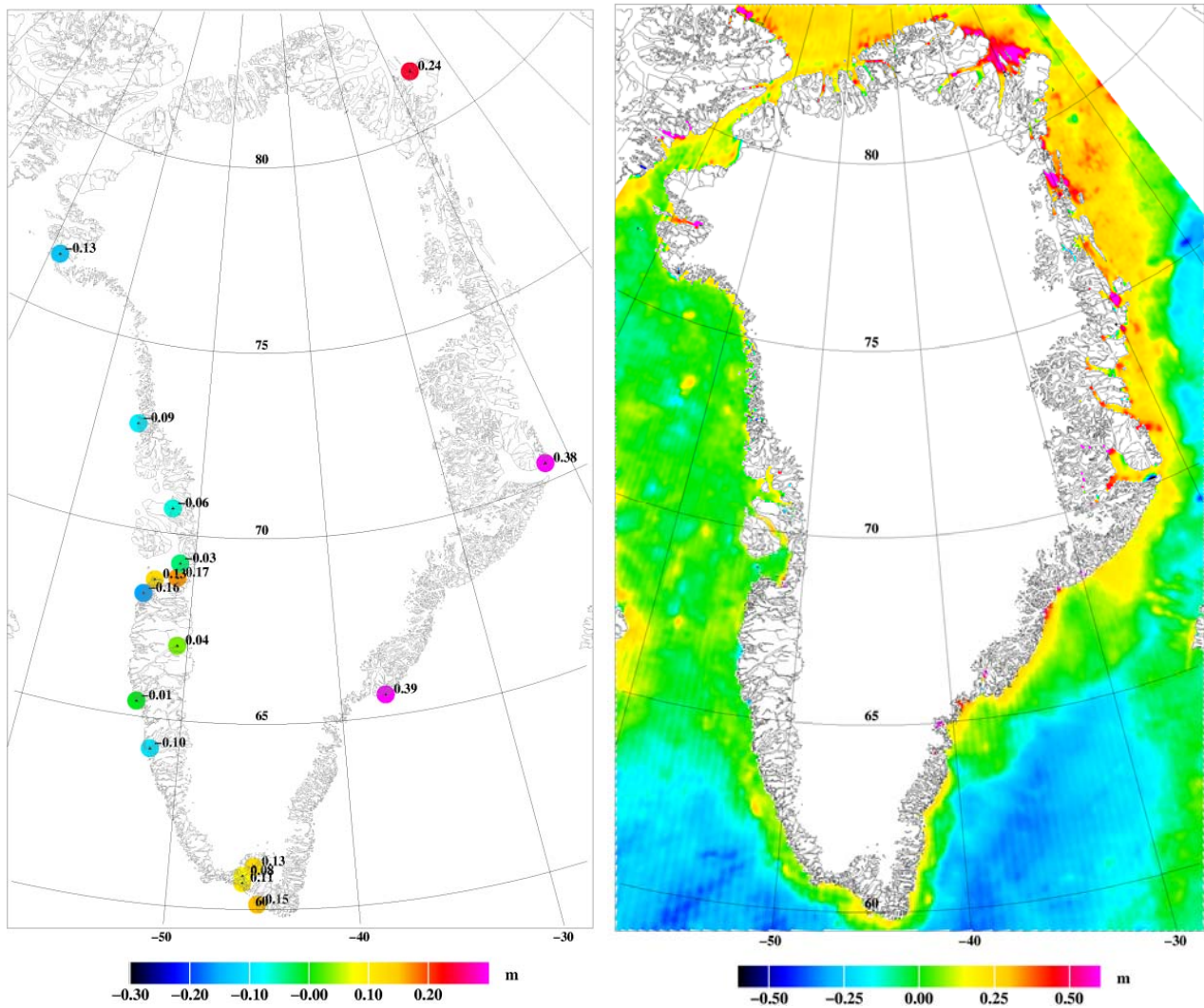


Fig. 5. Venstre: Eksempel på forskelle mellem udvalgte REFGR punkter og GGeoid16. Her passer byerne i Sydgrønland fint. Højre: Havets dynamiske topografi fra DTU15 satellithøjdemålinger minus den nye geoid, tilpasset så MDT i Nuuk også er ca. nul.