

GVR2016 – Transformation mellem ASIAQ og GEOID2016 højdesystemer

Rene Forsberg
 DTU Space
 Oktober 2017
rf@space.dtu.dk

Dette notat beskriver forskelle mellem det nye højdesystem i Grønland (GVR2016) og ASIAQs nuværende højdesystem. GVR2016 er baseret på geoidmodellen GGEOID2016, beskrevet i DTU-Space notat ”GGEOID16 – Opdateret geoide for Grønland – tilpasset havniveau i Nuuk”, November 2016. Baggrunden for etablering af det nye højdesystem er primært problemer med at definere et moderne, GPS-konsistent højdesystem mellem i de øde områder mellem byer og bygder.

ASIAQ vedligeholder i princippet ca. 77 forskellige lokale højdesystemer, hvert for sig defineret ved historiske vandstandsmålinger tilbage til 1960’erne af det daværende GTO. En del af disse målinger er behæftede med fejl (op til 80 cm ved Tasiusaq nær Nanortalik), og samtidig er der sket store landhævninger siden 1960’erne på grund af indlandsisens afsmeltning. Der er derfor behov for et nyt, landsdækkende højdesystem, som giver en ensartet ”kote” reference, som umiddelbart er konsistent med det grundlæggende REFGR netværk for GPS målinger i Grønland. Samtidigt giver det nye geoide-baserede system en ensartet reference til remote sensing over hele Grønland, og vil være definitions-mæssigt konsistent med det tilsvarende nye Canadiske CGVD2013 højdesystem; et konsistent højdesystem er også vigtigt for zoner i bygder omkring fremtidig risiko for tsunamier fra fjeldskred.

Det nye højdesystem GVR2016 (”Greenland Vertical Reference 2016”) refererer til geoidmodellen GGEOID16, og er tilpasset til ASIAQs højdeniveau i Nuuk’s gamle bydel, dvs i princippet defineret ved havniveau i 1960’erne. GVR2016 koter vil være defineret ved

$$H_{GVR2016} = h^{REFGR} - N_{GGEOID16}$$

hvor H er højder over havniveau, h højder over reference ellipsoiden (fra GPS), og N geoide modellen. Det skal understreges at det nye system ikke er en *afløser* for højder i byer og bygder, men alene et *supplement*; dette notat giver baggrunden for den transformation som er etableret for at kunne skifte mellem de to systemer over hele Grønland..

ASIAQ’s grundlæggende referencesystem for højder er defineret ved at antal filer, som indeholder de grundlæggende REFGR-konsistente GPS koordinater (filer: ”nn_mm_geo.fix”), samt UTM koordinatfiler, som indeholder højder over havniveau (”nn_mm_utm.fix”), hvor nn_mm refererer til by- og bygdenumre, se Tabel 1. ASIAQ’s data er baseret på originale filer, modtaget fra Anders Wengel-Hansen, Asiaq, 2015 (som skulle være de gældende koordinater også pr d.d.). Fra disse filer er der lavet en sammenhørende fil af ”tilsyneladende” GPS geoidehøjder, og en fil med forskelle

$$N_{ASIAQ} = h^{REFGR} - H_{ASIAQ}$$

$$\Delta N = N_{GGEOID16} - N_{ASIAQ}$$

Forskelsværdierne i byer og bygder er vist i Figur 1 og Tabel 1, og det ses at der er store afvigelser i en del bygder og mindre byer, langt større end den forventede geoidefejl (omkring 5-10 cm r.m.s. i

de fleste isfrie områder, afhængig af den underliggende dækning af tyngdedata og topografien, specielt uopmålte fjordsystemer).

Forskellene ΔN er efterfølgende modelleret som en "glat" funktion ved hjælp af mindste kvadraters kollokation (variant af "Kriging") til en korrektionsflade ΔN_{grid} , givet i samme geografiske grid som GGEOID16 (d.v.s. 58-85°N, 77-7°W, med 0.02°x 0.05° grid spacing). Der er benyttet en Gauss-Markov covariansfunktion med en korrelationslængde på 5 km, og a-priori standard afvigelse på 1 cm. Alle 1464 "geoide" punkter med sammenhørende "geo.fix" og "utm.fix" højder er benyttet. Dette betyder i praksis at der tilpasses en "blød flade" henover byer og bygder, og denne "bløde flade" vil kunne transformere mellem gammelt og nyt højdesystem ved

$$H_{ASIAQ} = H_{GVR2016} - \Delta N_{grid}$$

$$H_{GVR2016} = H_{ASIAQ} + \Delta N_{grid}$$

Fig. 2 viser denne flade, og Fig. 3 nogle lokale eksempler. Transformationen vil blive implementeret af SDFE i transformationssystemet "PROJ4", men det DTU Space simple bruger program "grid_int" vil også kunne bruges til samme formål (ved at ændre input fil "ggeoid16.gri" til "gvr2016-asiaq.gri"), og så addere eller fratække interpolationsværdierne, afhængig af den ønskede transformation.

Det skal bemærkes at koter i "utm.fix" filerne stammer fra en kombination af vandstandsmålinger, lokalt nivellement og triangulation, og er senere suppleret med GPS i en fællesudjævning. Det vides ikke i detaljer hvordan denne udjævning er foretaget, og om i hvilket omfang der er taget hensyn til geoidevariationen over de større byer. Derfor er sammenligningen i byerne ikke en uafhængig vurdering af geoidmodellens kvalitet.

For Nuuks vedkommende er GVR2016 systemet er baseret på niveau = 0 i den ældre, centrale bydel. Med ASIAQ referencepunkter spredt over et større område, har Nuuk som helhed *ikke* en middelforskel på nul i Tabel 1, og der er konstateret et "tilt" på op til 2-3 cm mellem de to højdesystemer hen over Nuuk, specielt for de nye bydele Nussuaq og Qinnqorput. Transformationsfladen for Nuuk tager hensyn til dette, og afvigelsen mellem de faktiske ASIAQ koter, og tilsvarende transformerede koter fra GVR2016, er således meget lille (middel på 1 mm og standard afvigelse på 3 mm for 61 referencepunkter). For Grønland som helhed giver transformationsfladen en nøjagtighed på 5 mm r.m.s., med enkelte større outliers op til 5 cm, primært i "outlier" bygderne i Sydgrønland (vist med gult i Tabel 1, og i Fig. 3.), primært som følge af et 2 km-grid.

Tabel 1. Oversigt over middel og spredning af forskellene $H_{GVR2016} - H_{ASIAQ}$ for alle ASIAQ punkter i lokaliteten. Store afvigelser er markeret med gult.

By bygd nr	Lokalitet	Antal	Middel	Sigma
01_00	NAN Nanortalik	29	0.180	0.002
01_02	APL Aappilattoq	10	0.070	0.002
01_03	NKJ Narsaq Kujalleq	15	0.041	0.005
01_04	TAQ Tasiusaq	11	-0.817	0.007
01_06	AMS Ammassivik	12	0.258	0.002
01_08	ALP Alluitsup Paa	19	0.177	0.005
02_00	QAQ Qaqortoq	35	0.113	0.004
02_01	SAL Saarloq	10	0.085	0.001

02_02	EQA	Egalugaarsuit	10	-0.603	0.006
02_04	QSM	Qassimiut	11	-0.019	0.003
03_00	NAR	Narsaq	67	-0.076	0.010
03_02	IGA	Igaliku	13	0.077	0.012
03_05	QSK	Qassiarsuk	19	0.128	0.019
03_21	NRS	Narsarsuaq	34	0.139	0.017
05_00	PAA	Paamiut	36	-0.129	0.008
05_01	ARS	Arsuk	14	0.374	0.008
06_00	NUK	Nuuk	61	0.017	0.013
06_01	QTT	Qeqertarsuatsiaat	14	0.021	0.006
06_05	KAP	Kapisillit	12	0.066	0.007
07_00	MAN	Maniitsoq	36	-0.133	0.011
07_01	ATA	Atammik	15	0.097	0.008
07_02	NAP	Napasog	8	0.045	0.004
07_03	KAM	Kangaamiut	14	0.150	0.008
08_00	SIS	Sisimiut	48	-0.019	0.008
08_01	ITI	Itilleq	12	0.020	0.007
08_03	SFN	Sarfannguit	12	0.232	0.005
08_20	KAN	Kangerlussuaq	40	0.009	0.026
09_00	KAT	Kangaatsiaq	13	-0.161	0.002
09_02	ATT	Attu	13	-0.111	0.002
09_05	IGF	Iginniarfik	11	0.396	0.002
09_06	NQK	Niaqornaarsuk	9	0.147	0.004
09_08	IKS	Ikerasaarsuk	10	0.013	0.004
10_00	AAS	Aasiaat	37	0.025	0.007
10_03	AKU	Akunnaaq	11	-0.157	0.005
10_04	KIT	Kitsissuarsuit	10	-0.143	0.004
11_00	QAS	Qasigiannnguit	42	-0.087	0.004
11_01	IKA	Ikamiut	12	-0.200	0.004
12_00	ILU	Ilulissat	36	-0.049	0.022
12_01	OQA	Oqaatsut	12	0.345	0.001
12_02	QQT	Qeqertaq	9	0.190	0.002
12_03	SQQ	Saqqaq	13	-0.028	0.003
12_04	ILQ	Ilimanaq	12	0.093	0.003
14_00	QEQ	Qeqertarsuaq	50	-0.037	0.006
14_03	KLK	Kangerluk	14	0.078	0.006
15_00	UUM	Uummannaq	27	-0.050	0.008
15_01	NIA	Niaqornat	11	-0.431	0.005
15_02	QST	Qaarsut	22	0.010	0.011
15_03	IKE	Ikerasak	15	0.059	0.002
15_04	SAA	Saattut	13	-0.060	0.006
15_05	UKK	Ukkusissat	12	0.056	0.035
15_06	ILL	Illorsuit	13	-0.037	0.021
15_07	NUG	Nuugaatsiaq	16	0.008	0.013
16_00	UPV	Upernavik	19	-0.112	0.006
16_01	UPK	Upernavik Kujalleq	19	-0.099	0.005
16_02	KAQ	Kangersuatsiaq	16	0.052	0.003
16_03	AAP	Aappilattoq	14	-0.016	0.007
16_04	TUS	Tussaaq	10	0.013	0.003
16_05	TSS	Tasiusaq	13	-0.179	0.008
16_06	NUS	Nuussuaq	15	-0.111	0.001
16_07	KLQ	Kullorsuaq	16	-0.031	0.006
16_08	NAJ	Naajaat	12	0.021	0.003

16_09	INN	Innaarsuit	14	0.142	0.003
16_10	NUT	Nutaarmiut	12	0.004	0.008
17_00	QNQ	Qaanaaq	39	0.576	0.036
17_01	SAV	Savissivik	9	0.194	0.000
17_04	SIO	Siorapaluk	7	-0.187	0.006
17_06	MOR	Moriusaq	9	0.034	0.002
18_00	TAS	Tasiilaq	42	0.232	0.006
18_02	SML	Sermiligaaq	11	0.312	0.003
18_03	ISO	Isortoq	13	0.100	0.004
18_04	KUL	Kulusuk	28	0.128	0.025
18_05	TIN	Tiniteqilaq	11	-0.122	0.011
18_06	KUM	Kuummiut	12	0.155	0.014
19_00	ILT	Illoqqortoormiut	23	0.505	0.004
19_01	UUN	Uunarteq	17	0.182	0.006
19_02	ITR	Itterajivit	10	0.028	0.003
19_06	NRI	Nerlerit Inaat	13	0.193	0.003

Udover ASIAQs højdesystem, har SDFE og dets forgængere Geodætisk Institut, Kort- og Matrikelstyrelsen, samt Geodatastyrelsen indtil fornyligt også vedligeholdt et Grønlandsk højdesystem for triangulations- og GPS nettene i hele det isfri område. Nulniveau for dette system er i forskellig udstrækning baseret på helt korte eller længere vandstandsmålinger, og har tilsyneladende ikke været koordineret med det daværende GTO's vandstandsmålinger. I et nyligt notat har Karsten Engsager, SDFE, sammenlignet ASIAQ og SDFE aktuelle koteværdier for fælles referencepunkter i byerne, se notat ”K. Engsager: Niveauforskelle Asiaq mod GST, SDFE 2016”. Disse forskelle i koteværdier er vist i Tabel 2, sammen med den afledede forskel til GVRF2016. Data er trukket fra SDFE's ”Valdemar” system.

Det ses fra Tabel 2 at højder i SDFE nettet, som stammer fra den seneste landsdækkende udjævning, er væsentligt mere ”støjende”. Det giver derfor ikke mening at lave en ”højde transformation” også for SDFE nettet. Enkelte værdier understøtter dog antagelser af fejl i ASIAQ koterne, f.eks. for Illoqqortoormiut.

Tabel 2. Forskelle mellem ASIAQ, SDFE og GVR2016 højdesystemer i byer m.v. Enhed meter.

By/station	GVR16-ASIAQ	SDFE		
		GVR16-SDFE	pkter	ASIAQ-SDFE
Nanortalik	0.180	-0.740	4	-0.920
Qaqortoq	0.113	-0.233	6	-0.346
Narsaq	-0.076	0.054	27	0.130
Narsarsuaq	0.139	0.083	13	-0.056
Paamiut	-0.129	-0.881	2	-0.752
Nuuk	0.017	-0.060	36	-0.077
Maniitsoq	-0.133	0.009	1	0.142
Sisimiut	-0.019	0.262	2	0.281
Kangerlussuaq	0.009	-0.286	3	-0.295
Kangaatsiaq	-0.161	-0.159	3	0.002
Aasiaat	0.025	0.360	6	0.335
Qasigiannguit	-0.087	0.047	4	0.134
Ilulissat	-0.049	-0.399	8	-0.350
Qeqertarsuaq	-0.037	0.104	1	0.141
Uummannaq	-0.050	N/A	-	-
Upernavik	-0.112	-0.961	2	-0.849

Qaanaaq	0.576	N/A	-	-
Tasiilaq	0.232	1.251	5	1.019
Illoqqortoormiut	0.505	0.166	3	-0.339
Mestersvig	-	0.144	1	-
Station Nord	-	0.238	1	-

RF, 10/10 2017

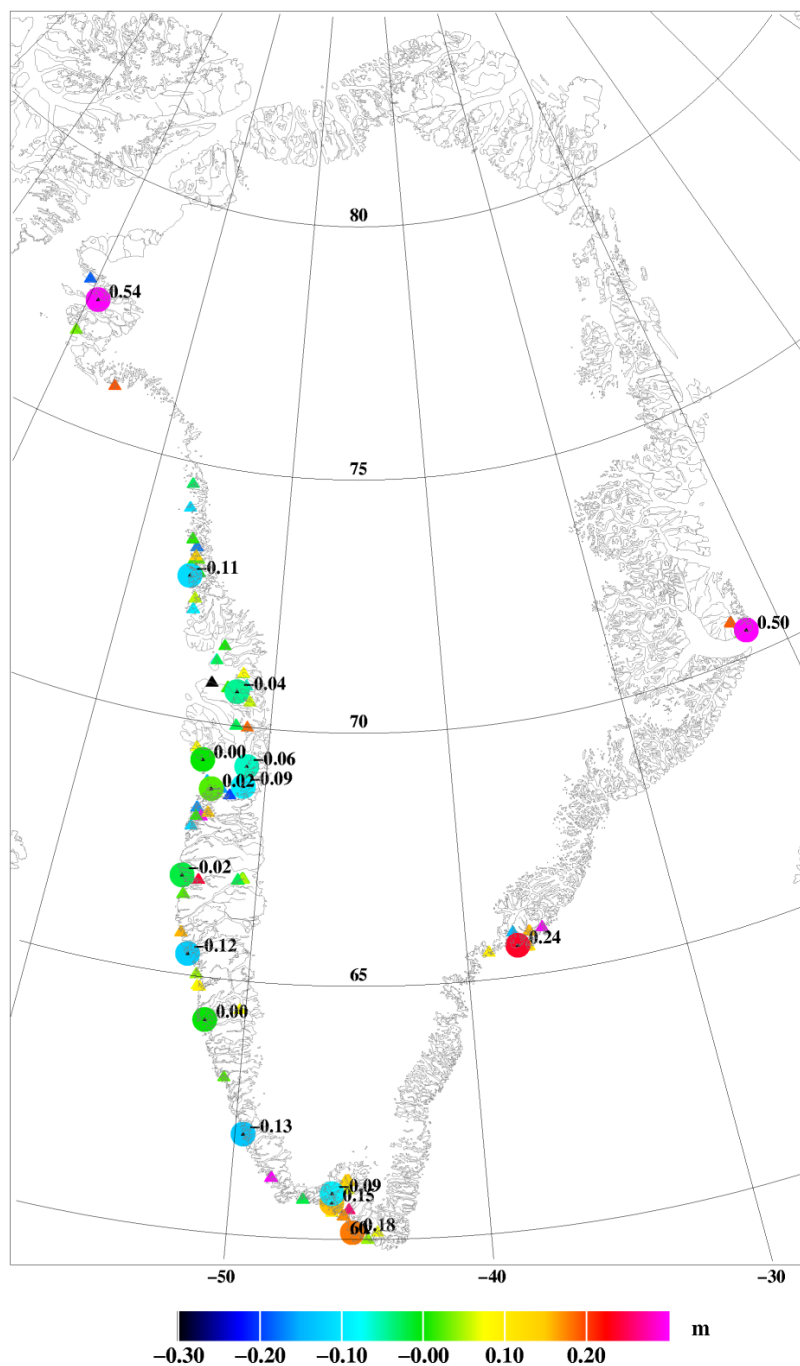


Fig. 1. Forskelsværdier $H_{GVR2016} - H_{ASIAQ}$. Der ses store fejl i Qaanaaq og i Illoqqortoormiut, sandsynlige opmålingsfejl da de omkringliggende bygder ikke passer. For Tasiilaq er offset sandsynligvis på grund af havoverfladens topografi (havoverfladens topografi er relativt konstant indenfor 10 cm langs Vestgrønlands kyst, men stiger ca. 20-30 cm langs Østkysten, se Fig. 5 i GGEOID16 notatet, Nov. 2016).

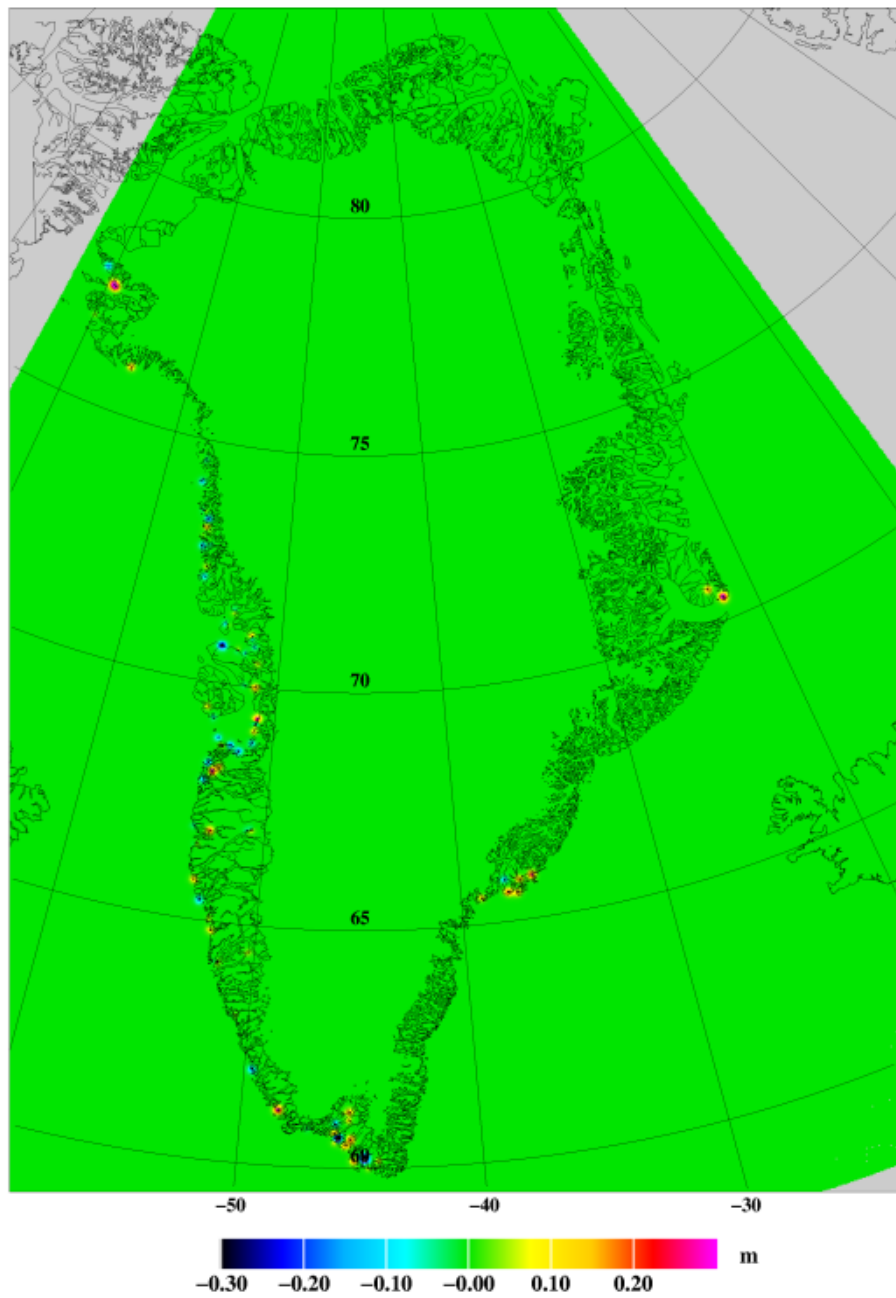


Fig. 2. Interpolationsfladen for transformationen mellem GVR2016 og ASIAQ koter. Fladen er stort set nul, undtagen i nabozoner omkring byer og bygder, ud til en afstand af 5-10 km (repræsenteret ved de farvede røde og blå pletter). Dette svarer til at GVR2016 er defineret som GGEOID16 i det "åbne land" mellem byer og bygder.

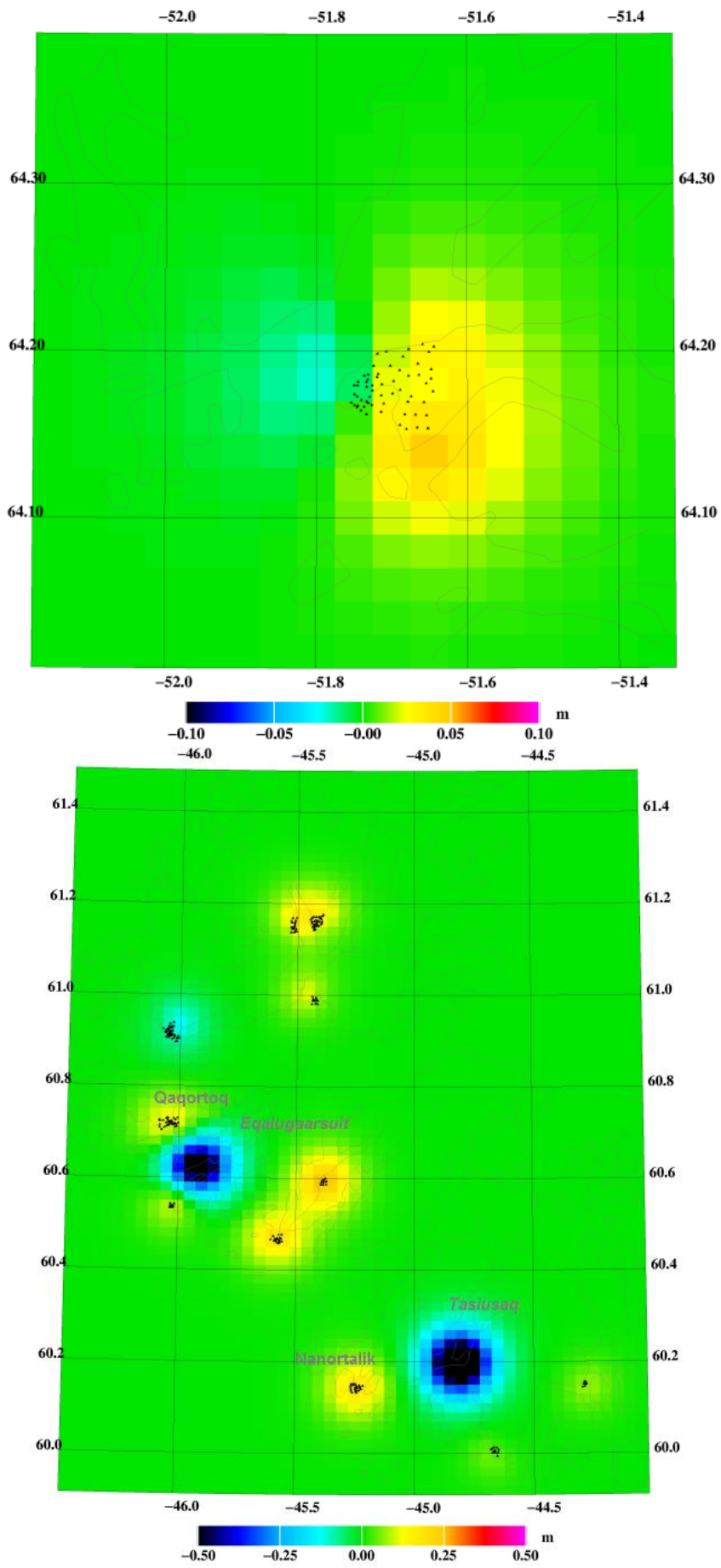


Fig. 3. Interpolationsfladen omkring Nuuk (øverst) og i Sydgrønland (nederst). Bemærk forskel i skala.