



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

PYNGDARKORT AF KRÖFLUSVÆÐI

Gunnar V. Johnsen

OS-91015/JHD-04

Apríl 1991

ÁGRIP

Skýrslan fjallar um gerð þyngdarkorts af Kröflusvæði og landsvæðinu umhverfis. Þeirri aðferð, sem beitt er við gerð þyngdarkorta, er lýst og gerð er grein fyrir þeim viðmiðunum og stöðlum sem gilda. Þær þyngdarmælingar, sem gerðar voru sérstaklega vegna þyngdarkortanna, spanna yfir um 10 ára tímabil, frá 1976 til 1986, og mælt var á tæplega 900 stöðum. Ýmsar merkar breytingar hafa verið gerðar á þyngdarstöðlum og viðmiðunum þyngdarmælinga á þessum tíma. Þessum breytingum er stuttlega lýst og þær teknar með við gerð þyngdarkortanna. Þyngdarkortin eru þrjú. Annars vegar eru birt tvö þyngdarkort af stóru svæði í Þingeyjarsýslum, sem nær suður fyrir Mývatn og norður fyrir Þeistareyki, annað þessarra korta er leiðrétt fyrir svæðisbundnum breytingum þyngdarafis. Hins vegar er þyngdarkort af Kröflusvæðinu, einnig leiðrétt fyrir svæðisbundnum breytingum.

Af þyngdarkortunum má sjá að Kröflumegineldstöðin myndar þyngdarhæð. Þessi þyngdarhæð, sem talin er stafa af þyngri innskotum og berglögum í rótum megineldstöðvarinnar, myndar áberandi hlykk í mikilli þyngdarbrekku milli eldri berglaga í vestri og gosbeltisins í austri. Í Kröflumegineldstöðinni er askja og innan hennar er þyngdarlægð, sem skýrð er með því að askjan sé fyllt af léttum gosefnum aðallega móbergi frá síðasta jökulskeiði.

Í norðurhluta kortsins má sjá hver áhrif Húsavíkurmisgengjanna og Þeistareykjasprungubeltisins eru á þyngdarsviðið, en einnig er djúp þyngdarlægð á þeim slóðum, þar sem þessi kerfi mætast. Þá er einnig áberandi mikil þyngdarlægð um norðanverð Gæsafjöll og austan þeirra, norðan Kröflusvæðis.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	2
1. INNGANGUR	4
2. ÞYNGDARMÆLINGAR OG ÚRVINNSLA ÞYNGDARMÆLINGA	5
2.1 Þyngdarsvið-þyngdarkort	5
2.2 Mælt þyngdargildi, gM	5
2.3 Áhrif hæðar á þyngdargildi, gH	6
2.4 Áhrif eðlismassa á þyngd, grho	7
2.5 Áhrif umhverfis á þyngd, gL	8
2.6 Áhrif lofthjúps á þyngd, gA	8
2.7 Fræðilegt þyngdarsvið, gN	8
3. NIÐURSTÖÐUR ÞYNGDARMÆLINGANNA	10
ÞAKKIR	10
HEIMILDASKRÁ	11
ENGLISH SUMMARY	13

MYNDASKRÁ

- Mynd 1 Kvörðunarferill þyngdarmælis, LCR G-445.
- Mynd 2 Ákvörðun eðlismassa á öllu landsvæðinu.
- Mynd 3 Ákvörðun eðlismassa á Kröflusvæði.
- Mynd 4 Staðsetning og dreifing mælipunkta um mælisvæðið.
- Mynd 5 Bouguer þyngdarkort af öllu mælisvæðinu.
- Mynd 6 Svæðisbundin breyting þyngdar á öllu mælisvæðinu.
- Mynd 7 Bouguer þyngdarkort af öllu mælisvæðinu,
er svæðisbundin breyting þyngdar hefur verið numin brott.
- Mynd 8 Svæðisbundin breyting þyngdar á Kröflusvæði.
- Mynd 9 Bouguer þyngdarkort af Kröflusvæði,
er svæðisbundin breyting þyngdar hefur verið numin brott.

1. INNGANGUR

Virku gosbeltin um Ísland eru samsett af eldstöðvakerfum, þ.e. löngum sprungubeltum með megineldstöð um miðbik kerfisins. Súrt og ísúrt berg finnst einungis í tengslum við megineldstöðvar. Þær eru sérlega áhugaverðar þar sem háhitasvæði eru í þeim flestum.

Á því svæði, sem þyngdarkortin ná yfir eru tvö sprungubelti, kennd við Kröflu og Þeistareyki. Á báðum þessum stöðum eru háhitasvæði. Jarðfræði Kröflusvæðisins hefur verið allvel lýst (Kristján Sæmundsson 1990). Í Kröflu eldstöðinni er askja sem myndaðist í lok ísaldar og í rótum hennar eru kvikuhólf (Páll Einarsson 1978). Eldvirkni hefur verið mikil á Kröflusvæðinu á liðnum öldum og nægir þar að minna á Mývatnselda á 18. öld og Kröfluelda, er hófust 1975. Jarðhitarannsóknir stóðu yfir á Þeistareykjum á árunum 1981-1983 (Gestur Gíslason og fl. 1984). Á Þeistareykjum hefur ekki gosið í 2500 ár. Gerð þessarar þyngdarkorta má rekja til þess, að aukin áhersla var lögð í rannsókn svæðanna vegna raforkuframleiðslu í Kröflu og hugsanlegri nýtingu varma úr háhitasvæðinu á Þeistareykjum (Valgarður Stefánsson og fl. 1982).

Fyrstu þyngdarkröflur á Norðausturlandi voru gerðar af Þjóðverjum er Schleusener og lið hans setti út og þyngdarkröflur mælingu frá Akureyri til Vopnafjarðar árið 1938 (Schleusener 1943). Þyngdarkröflur Þjóðverja lágu niðri á stríðsárunum, en var síðan fram haldið í fáeinum mælisyrpum eftir það. 1976 birtu þeir þyngdarkort af Norðausturlandi, sem byggir á um 1000 mælipunktum einkum frá árunum 1964-1970 (Schleusener og fl. 1976).

Trausti Einarsson vann mikið brautryðjendastarf við þyngdarkröflur á öllu Íslandi á árunum 1950 til 1954. Snemma árs 1951 fékk Raforkumálaskrifstofan Worden 68 þyngdarkröflu, sem Trausti notaði síðan. Lýsingar á mælingum hans og þyngdarkortum er að finna í riti Vísindafélags Íslendinga (Trausti Einarsson 1954).

Fyrstu þyngdarkröflur Orkustofnunar á Kröflusvæði voru í ágústlok 1975, með þyngdarkröflu (LCR G-10), sem fenginn var að láni frá Bandaríkjunum. Þá var lagður grunnur að mælineti til að fylgjast með massabreytingum með þyngdarkröflum vegna nýtingar jarðgufu í Kröfluvirkjun. Þessar mælingar voru undanfari víðáttumeiri þyngdar- og hæðarmælinga til að fylgjast með áhrifum eldvirkni og umbrota er hófust í desember 1975.

Síðla árs 1976 var ákveðið að gera þyngdarkort af Kröflusvæðinu. Í fyrstu voru eldri mælipunktar innan og sunnan öskjunnar nýttir í þyngdarkortið. Sú dreifing mælipunkta var ófullnægjandi og var því fljótlega farið að bæta við mælipunktum. Segja má að bætt hafi verið við kortið nánast í hvert sinn er farið var norður til þyngdarkröflur (og hæðarmælinga) vegna umbrota eða fram til 1986. Á árunum 1982 til 1984 var þyngdarkröflu og gert þyngdarkort af Þeistareykjum. Nú er svo komið að þyngdarkortið af Kröflusvæðinu og nágrenni spannar svæði frá Seljahjallagili í suðri og norður fyrir Þeistareyki að Húsavíkurmisgengjunum í norðri, og nær vestur fyrir Mývatn allt austur að Austari-Brekku. Dreifing mælipunkta er þó mjög misjöfn um þetta landsvæði. Mest er mælt innan og við Kröfluöskju, en mun minna er fjær dregur. Á stórum svæðum t.d. í Búrfellshrauni og austan við Gjástykki er nær ekkert mælt. Í kortinu eru nú um 900 mælipunktar. Þyngdarkortið var lengi vel í stöðugri endurvinnslu, en fáeinar frumútgáfur sáu þó dagsins ljós (Gunnar V. Johnsen 1978, Ragna Karlsdóttir og fl. 1978, Valgarður Stefánsson 1981). Vegna þess hve þyngdarkröflurinnar ná yfir stórt svæði var ákveðið að skipta kortinu í tvennt. Annað þyngdarkortið nær yfir Kröflusvæðið og næsta nágrenni, en hitt er eins konar yfirlitskort yfir mun stærra svæði í Þingeyjarsýslum.

2. ÞYNGDARMÆLINGAR OG ÚRVINNSLA ÞYNGDARMÆLINGA

2.1 Þyngdarsvið-þyngdarkort

Þyngdarmælingar felast í að mæla þyngdarhröðun jarðar. Hún ákvarðast af samspili aðdráttarkrafts jarðar og hröðun vegna snúnings hennar. Þyngdarhröðunin er breytileg frá einum stað til annars. Aðdráttarkrafturinn er einkum háður fjarlægð frá massamiðju jarðar (hæð lands) og einnig massadreifingu í jörðinni, en snúningshröðun hennar er einkum háður fjarlægð frá snúningsás jarðar. Jarðhiti á háhitasvæðum er iðulega tengdur meiri háttar óreglum í jarðskorpunni. Þyngdarmælingar geta því gefið upplýsingar um innri gerð jarðhitasvæða og nýtast oft samhliða öðrum aðferðum við skoðun jarðhitasvæða. Slíkar mælingar eru gjarnan gerðar í neti mælipunkta á ákveðnum svæðum. Áður en túlka má þyngdarmælingar og fá fram niðurstöður, t.d. þyngdarkort, er lýsir innri gerð jarðar, þarf m.a. að gera viðamiklar leiðréttingar á mældum þyngdargildum, ákvarða hæð mælistöðva og hnit þeirra. Í þyngdarkortum miða þessar leiðréttingar að því að gera þyngdargögn af mismunandi stöðum sem sambærilegust. Algengasta leið til að gera þetta er að reikna svo nefnt Bouguer frávik þyngdarsviðs. Nánar tiltekið er Bouguer frávik þyngdarsviðs í þessu þyngdarkorti fengin með líkingunni:

$$g_B = g_M + g_H + g_{rho} + g_L + g_A - g_N$$

Einstaka liði þessarrar líkingar þarf að skýra.

2.2 Mælt þyngdargildi, g_M

Allar þyngdarmælingar voru gerðar með þyngdarmæli Jarðhitadeildar Orkustofnunar, en hann er frá LaCoste og Romberg í Texas og er af G-gerð, númer G-445. Áður en hægt er að nota álestra þyngdarmælis í jarðeðlisfræðilegum tilgangi þarf að meðhöndla þá sérstaklega, þ.e. gera ýmsar leiðréttingar á þeim. Álestur þyngdarmælis er umreiknaður í mgal með hjálp kvörðunartöflu, mynd 1, sem framleiðandi gefur upp (LaCoste og Romberg, Inc), en 1 mgal jafngildir 10⁻⁵ ms⁻². Í ljós hefur komið að kvörðun G-445 frá framleiðanda er ekki nægjanleg. Sumarið 1985 gafst tækifæri til að bera þyngdarmæli Orkustofnunar saman við nokkra þyngdarmæla Kortadeildar Bandaríkjahers (Defence Mapping Agency, DMA) (Warren 1986). Þessi samanburður leiddi í ljós að margfalda þarf alla álestra G-445 aukalega um 1,000196.

Leiðrétt er vegna þyngdaráhrifa tungls og sólar með aðferð Longmans (Longman 1959) og rek í mæli jafnað á mælitímann. Allar þyngdarmælingar með þyngdarmælum af þessari gerð hefjast og enda í mælipunktum með þekktri þyngd. Viðmiðun þyngdarmælinganna byggist á landsneti þyngdarmælinga (Guðmundur Pálmason og fl. 1973). Áður tíðkaðist að miða þyngd við þyngdargildi í Potsdam, Potsdam/V73, en í ljós kom að það var 14,0 mgal of hátt. Þetta var leiðrétt á Íslandi 1984 (Gunnar Þorbergsson og fl. 1984) til samræmis við nýrra og jafnframt alþjóðlegt þyngdarnet frá 1971, International gravity standardization net 1971, IGSN 1971 (Torge 1980), héraendis auðkennt IGSN71/V80. Eftir viðamiklar þyngdarmælingar Orkustofnunar og Kortadeildar Bandaríkjahers sumarið 1985 var landsnet þyngdarmælinga endurreiknað. Hin nýja viðmiðun ber heitið IGSN71/V85. Samkvæmt þessum endurreikningum (Gunnar Þorbergsson og fl. 1990) eru þyngdargildi helstu viðmiðunarstöðva, sem notaðar voru fyrir norðan:

FM-5218 á Akureyrarflugvelli 982337,467 mgal
FM-5224 á Húsavíkurflugvelli 982370,993 mgal
FM-5275 við Reykjahlíðarkirkju 982282,145 mgal

Þyngdargildi við Reykjahlíð hefur að auki breyst vegna Kröfluelda.

Óvissa í mældu þyngdargildi er sú óvissa sem tengd er álestri þyngdarmælis, umreiknun mæligilda og tengingu við landsnet. Ætla má að óvissa í hverjum þessarra liða sé um 0,01-0,02 mgal. Þessi óvissa er því um 0,05 mgal.

Við gerð þessa þyngdarkorts hefur verið reynt að nýta sem mest öll eldri þyngdarmæligögn af svæðinu. Þannig var hluti þyngdarmæligagna Þjóðverja úr mæilínu milli Akureyrar og Vopnafjarðar notaður, einnig hluti mælinga þeirra frá Gjástykki og auk þess fáeinir aðrir mælipunktar (Torge og Kanngieser 1980). Þetta eru alls um 40 mælipunktar. Þyngdarviðmiðun þessarra mælipunkta er önnur en hinna, en svo virðist sem munurinn sé um eða innan við 0,1 mgal.

2.3 Áhrif hæðar á þyngdargildi, gH

Hæðaráhrif þyngdar má tákna með líkingunni:

$$gH = 0,30855 * H,$$

þar sem H er hæð mælistöðvar í metrum yfir sjávarmáli. Þessi liður er oft nefndur "free air" leiðrétting. Viðmiðunarkerfi hæðar er net Orkustofnunar í Þingeyjarsýslum, en núllpunktur þess er fenginn með sjómælingum á Húsavík og í Öxarfirði. Hæðarmælingar Orkustofnunar vegna Kröfluelda hafa verið miðaðar við mælistöð FM-1 við Laxá (Axel Björnsson og fl. 1985). Sú mælistöð er einnig hluti af nákvæmnis- hæðarmæilínu Þjóðverja milli Akureyrar og Vopnafjarðar (Spickernagel 1980).

Hæð mælipunkta er einkum fengin með hæðarmælingu, horna- og lengdarmælingu, lesin beint af korti eða mæld með loftvog. Við gerð þessa þyngdarkorts af Kröflusvæðinu hefur verið reynt að notast við alla mælipunkta með mældri hæð.

Þeir mælipunktar sem notaðir eru í kortinu og hafa þekkt hæð voru langflestir mældir af landmælingum Orkustofnunar (Gunnar Þorbergsson og Ásgeir Gunnarsson 1977, ásamt viðbót á lausum blöðum, Ásgeir Gunnarsson og Gunnar Þorbergsson 1982, Sigurjón P. Ísaksson 1982 og Axel Björnsson og fl. 1985), en einnig eru nokkrir mælipunktar frá þyngdar- og hæðarmæliflokkum Þjóðverja (Möller og Ritter 1980, Spickernagel 1980 og Torge og Kanngieser 1980). Alls eru tæplega 40 mælipunktar frá Þjóðverjum. Auk þessarra voru notaðir mælipunktar frá Norrænu Eldfjallastöðinni, en þeir voru flestir innan Kröfluöskju eða í Gjástykki (Eysteinn Tryggvason 1978, 1980). Óvissu í hæðarmælingu á Kröflusvæðinu má skrifa sem $1,5 * L/2$ cm, þar sem L er lengd þeirrar mæilínu í kílómetrum, sem mæld er fram og til baka (Johnsen og fl. 1980). Um 120 mælipunktar eru fallmældir og ætla má að hæð þeirra sé þekkt innan 2-3 cm. Ætla má að hæð mælipunkta, sem mældir voru með horna- og lengdarmælingum, sé þekkt með um 5 cm nákvæmni. Alls eru þetta um 30 mælipunktar. Fáeinir mælipunktar til viðbótar eru með hæð, sem ákvörðuð var með hliðsjón af vatnsborði Mývatns. Ætla má að nákvæmni í þeirri hæðarákvörðun sé svipuð og þessarra, þ.e. að hæð þeirra sé þekkt með um 5 cm nákvæmni. Þetta gætu verið um 10 mælipunktar.

Á árunum 1975-1977 voru búin til kort í mælikvarða 1:5000 af stórum hluta Kröfluöskju og svæðinu suður að Hverfjalli. Þessi kort voru unnin af Forverk hf. og byggð á landmælingum Orkustofnunar. Langflestir mælipunktar á Kröflukortinu falla innan svæðis sem kortin ná yfir, enda er þetta það svæði sem mestur áhugi var á. Þessi kort eru það nákvæm að hæð flestra mælipunkta á þessum slóðum er lesin beint af kortunum, enda mælingar gerðar þannig að auðvelt var að staðsetja mælipunktana á korti og lesa hæð þeirra. Ætla má að óvissa í hæðarákvörðun þessarra mælipunkta sé um 1-2 m.

Á stórum svæðum þar sem litlar sem engar hæðarmælingar voru til og utan við svæðið sem 1:5000 kortin ná yfir, var hæð mælipunkta ákvörðuð með loftvog. Í þessum mælingum var

reynt að hafa mælitímann sem stystan og endurmæla sem oftast, jafnvel í öðrum mæliferðum. Þó svo reynt sé að gæta ítrustu varkárni er óvissa mest í þessari hæðarákvörðun. Ætla má að óvissa í þessari hæðarákvörðun sé um 2-5 m.

2.4 Áhrif eðlismassa á þyngd, grho

Áhrif eðlismassa á þyngd er sú að leiðrétta fyrir þeim massa sem er milli mælistöðvar og sjávarmáls. Þessa leiðréttingu má skrifa sem:

$$\text{grho} = -0,04191 * H * \rho$$

Þar sem ρ er eðlismassi í g/cm^3 . Þessi eðlismassi á í raun að vera meðaleðlismassi jarðлага ofan sjávarmáls. Breyting í eðlismassa verkar einnig á landslagsleiðréttingu, sjá grein 2.5. Vegna þess mikilvægis sem eðlismassinn hefur bæði við gerð þyngdarkortsins og eins vegna þeirra upplýsinga sem af honum má draga um svæðið, var ákveðið að kanna sem best hvernig mætti ákvarða hann.

Í eldri útgáfum af þyngdarkortinu af Kröflu var notað gildið $2,3 \text{ g/cm}^3$, en það gildi þótti hæfa í gosbeltinu.

Í þyngdarkortinu af öllu landinu er notað gildið $2,6 \text{ g/cm}^3$ (Gunnar Þorbergsson og fl. 1990) og oftlega er meðalgildið $2,67 \text{ g/cm}^3$ notað erlendis.

Þjóðverjar höfðu þyngdarmælt talsvert víðsvegar um Norðausturland, m.a. höfðu þeir út frá þyngdarmælingum reiknað út eðlismassa með mælingum á grjótsýnum og einnig með aðferð sem kennd er við Nettleton (Nettleton 1939). Aðferðin byggir á því að reikna út með mismunandi eðlismassa Bouguer- þyngdargildi fyrir mælistöðvar í mælinúni. Sá eðlismassi er talinn bestur, sem leiðir til minnstrar samsvörunar við hæð lands í mælinúnni. Árangur athugana þeirra var að eðlismassinn væri mjög breytilegur, frá $2,0 \text{ g/cm}^3$ í móbergi í gosbeltinu og upp í $2,8 \text{ g/cm}^3$ í basalt hraunum frá tertíer (Schleusener og fl. 1976). Slík Nettletonlína var gerð inn Hlíðardal um Kröflusvæðið, en gaf ekki nægilega vísbendingu um réttan meðaleðlismassa.

Vegna þess breytileika í eðlismassa, sem kominn var fram, þótti full ástæða til að reyna að meta nánar eðlismassann út frá þyngdargögnum svæðisins. Sú aðferð, sem notuð er við þetta mat, var notuð við gerð þyngdarkorts af Nesjavöllum 1985 og þótti takast afar vel þar. Aðferðin er útfærsla á aðferð sem kennd er við Parasnís (Parasnís 1979). Á Nesjavöllum var raunverulegur eðlismassi þannig metinn $2,45 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$ (Knútur Árnason og fl. 1986). Aðferðin byggist á því að líta á Bouguerlíkinguna fyrir g_B , sem línulega jöfnu:

$$g_B = A + B * \rho$$

í þessari líkingu er $A = g_M - g_N + g_A + 0,30855 * H$

$$\text{og } B = 0,04191 * H - 0,5 * GL,$$

hér er GL er stuðull, sem háður er landslagi umhverfis mælistöð. Þetta jafngildir að gera ráð fyrir að meðalþyngdarfrávik (Bouguerþyngd) sé línulega háð meðaleðlismassa svæðis. Eðlismassinn er fenginn úr halla línunnar, sem ákveðinn er með aðferð minnstu kvaðrata. Í mynd 2 er sýnd niðurstaða þessarar athugana fyrir öll þyngdargögn á kortinu. Myndin sýnir mikla fylgni við línu sem jafngildir eðlismassa $2,56 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$, en jafnframt eru veruleg frávik frá þessari línu. Þessi frávik gáfu tilefni til að óttast að talsverðar skekkjur leyndust í viðmiðun á hæð og/eða þyngd allmargra mælipunkta, hugsanlega úr ólíkum mælisyrrpum. Þessi ótti leiddi til þess að skoða þurfti aftur hvern einasta mælipunkt. Engar kerfisbundnar skekkjur komu

fram í viðmiðunum fyrir hæð og þyngd, en í ljós kom að þeir mælipunktur er féllu utan eðlilegra marka voru allir á svæðum með talsvert meiri eða minni þyngd. Ljóst virðist vera að aðferðin gildir síður á stórum landsvæðum, þar sem mikill breytileiki er í jarðfræðilegri uppbyggingu. Þar sem þyngdarkortið átti að gilda á Kröflusvæðinu voru þessir reikningar endurteknir á þrengra svæði við Kröfluöskju. Svæðið afmarkaðist af 1640-1655 í austur-vestur, en 6540-6545 í suður-norður. Niðurstaðan er sýnd á mynd 3. Greinilega er betri fylgni við meðaleðlismassann á þessari mynd, en hann er nú $2,49 + / - 0,02 \text{ g/cm}^3$. Þessi eðlismassi er notaður við gerð Bouguer þyngdarkortanna á Kröflusvæðinu og landsvæðinu umhverfis.

2.5 Áhrif umhverfis á þyngd, gL

Landslagsleiðrétting er gerð vegna misjafnra þyngdaráhrifa umhverfisins (fjöll, dalir, vötn og þ.h.) á mælingarnar. Þessa leiðréttingu má tákna með líkingunni:

$$gL = \rho \cdot GL$$

Þar sem GL er landslagsleiðrétting. Gerð landslagsleiðréttinga er afar tímafrek. Þessi leiðrétting var gerð eftir aðferð, sem kennd er við Hammer (Hammer 1939), en með útfærslu frá Grushinsky (Grushinsky, S. 1971), en þar var búið að umreikna bogreiti Hammers frá fetum yfir í metra. Þessi leiðrétting fer þannig fram að glæra með bogreitum er lögð á kort og meðalhæð hvers reits er borin saman við töflu. Landslagsleiðrétting er gerð út í 50 km fjarlægð frá hverri mælistöð. Á þessu bili eru áhrif landslag ávallt til lækkunar á mældri þyngd, sama hvort um er að ræða fjöll eða dali. Þetta stafar af því að massi fjalla, sem eru hærri en mælistöð, verkar sem togkraftur upp á við í mælistöð og léttir því. Áhrif dala umhverfis mælistöð eru á svipaðan máta skortur á togkrafti niður á við. Til að spara tíma má núorðið láta tölvu um að bera hæð mælistöðvar saman við umhverfið, sé meðalhæð í ákveðnum reitum þekkt og skráð í tölvuskrá (Gunnar Þorbergsson 1984, 1990).

2.6 Áhrif lofthjúps á þyngd, gA

Leiðrétt er fyrir aðdráttarkrafti þess hluta andrúmsloftsins, sem er ofan við hæðarflöt mælistöðvar. Þessa leiðréttingu má reikna úr líkingunni:

$$gA = 0,87 - 0,0001 \cdot H$$

Þar sem H er hæð mælistöðvar í metrum yfir sjávarmáli. Þyngdarfrávik vegna áhrifa lofthjúps eru því ekki veruleg, en breytir þó þyngdarviðmiðun um 0,87 mgal. Þessi leiðrétting er frá þyngdarstaðli frá 1967 (International Association of Geodesy 1967).

2.7 Fræðilegt þyngdarsvið, gN

Að lokum eru þyngdargildi borin saman við fræðilegt þyngdarsvið. Með alþjóðasamþykkt hefur þessari þyngdarviðmiðun verið breytt. Við úrvinnslu gagna í fyrstu mælisyrpunum á Kröflusvæði var fræðilegt þyngdarsvið reiknað samkvæmt líkingunni:

$$gN = 978031,8 (1 + 0,0053024\sin 2W - 0,0000059\sin 22W) \text{ mgal.}$$

en hér er W norðlæg breidd mælistöðva.

Þessi fræðilegi þyngdarstaðall er frá 1967 og er endurbót á þeim þyngdarstaðli, sem gilt hafði frá 1930. Nýr staðall var tekinn upp á þingi IUGG í Canberra 1979, þar eð alþjóðlega ellipsóíðan frá 1967 þótti ekki lýsa lögum, stærð og þyngdarsviði jarðar nógu vel. Fræðilegt þyngd-

arsvið er nú miðað við hina alþjóðlegu ellipsóíðu 1980, og ber heitið Geodetic reference system 1980 (Moritz 1980). Fræðilegt þyngdarsvið er eftir sem áður reiknað út frá líkingu Somigliana frá 1929:

$$GN = \frac{a ye \cos^2 W + b yp \sin^2 W}{(a^2 \cos^2 W + b^2 \sin^2 W)^{1/2}}$$

en hér er:

a: hálfur langás ellipsóíðunnar; a = 6378137 m
b: hálfur skammás ellipsóíðunnar; b = 6356752,3141 m
ye: normalþyngd við miðbaug; ye = 9,7803267715 ms⁻²
yp: normalþyngd við pól; yp = 9,8321863685 ms⁻²
og W er norðlæg breidd mælistöðva

Allar þyngdarmælingar í þessari skýrðu eru miðaðar við útfærsluna frá 1980.

Staðsetning mælistöðva er fenginn með ýmsu móti; frá landmælingum Orkustofnunar, frá Norrænu Eldfjallastöðinni, frá Þjóðverjum eða þá lesin beint af kortum. Segja má að hnit yfirgnæfandi meirihluta mælipunkta sé lesin beint af kortum. Einkum voru þrjár gerðir af kortum notuð við vinnslu þyngdarkortanna:

1. Næst Kröflusvæðinu voru 1:5000 kortin notuð, en þau voru myndmæld af landmælingum Orkustofnunar og unnin af Forverk á árunum um 1975. Samsett útgáfa af öllum þessum 1:5000 kortum af Kröflusvæðinu var minnkuð í 1:20000.
2. Fjær var oftast notast við 1:50000 kort, frá Kortadeild Bandaríkjahers (nú DMA) frá um 1948.
3. Á Þeistareykjum voru notuð 1:10000 kort frá Landmælingum Íslands frá 1982.

Staðsetning mælipunkta og dreifing er sýnd á mynd 4. Forrit frá landmælingum Orkustofnunar voru notuð til að breyta hnitum milli hnitakerfa (Gunnar Þorbergsson og fl. 1990) til að samræma þau vegna kortagerðarinnar.

3. NIÐURSTÖÐUR ÞYNGDARMÆLINGANNA

Niðurstöður þessarra þyngdarmælinga og útreikninga eru birtar í Viðauka 1 sem skrá með Bouguer þyngdargildum af Kröflusvæði og landsvæðinu umhverfis. Að auki eru birtar ýmsar upplýsingar og útreikningar fyrir hverja mælistöð. Þyngdarkortin eru tölvuteiknuð með forriti MBASE (Freyr Þórarinsson og Stefán Magnússon 1989) í HP tölvu Orkustofnunar. Kortin eru teiknuð í Lambert vörpun, þar sem snertipunktur við landið er í -19.022125 vestur og 65.000000 norður.

Mynd 5 sýnir Bouguer þyngdarkort af öllu mælisvæðinu. Margir merkir þættir koma fram í þyngdarsviði alls svæðisins. Kröflumegineldstöðin myndar þyngdarhæð og áberandi hlykk í mikilli þyngdarbrekku milli eldri berglaga í vestri og gosbeltisins í austri. Þessi þyngdarhæð stafar af þyngri innskotum og berglögum í rótum megineldstöðvarinnar. Í norðurhluta kortsins má greinilega sjá áhrif Húsavíkurmisgengjanna og Þeistarreykjaspungubeltisins, en einnig er djúp þyngdarlægð á þeim slóðum, þar sem þessi kerfi mætast.

Þá er einnig áberandi mikil þyngdarlægð um norðanverð Gæsafjöll og austan þeirra, milli Kröflusvæðis og Þeistareykja.

Með forriti MBASE má einnig finna flöt er lýsir best svæðisbundnum breytingum þyngdar. Þessi flötur reyndist vera af 3ju gráðu, sjá mynd 6. Mynd 7 sýnir Bouguer þyngdarkort af öllu mælisvæðinu, þegar svæðisbundin þyngdaráhrif hafa verið numin á brott. Mun skarpari drættir koma nú fram í þyngdarsviðinu, t.d. Kröfluaskja.

Mynd 8 sýnir betur svæðisbundnar þyngdarbreytingar á Kröflusvæðinu og mynd 9 sýnir Bouguer þyngdarkort af Kröflusvæðinu án þessarra svæðisbundinna þyngdarbreytinga. Í Kröflumegineldstöðinni er askja og innan hennar er þyngdarlægð. Líklega er askjan fyllt af léttum gosefnum, aðallega móbergi frá síðasta jökulskeiði. Kröfluspungubeltið kemur fram sem þyngdarlægð er sker öskjuna í tvennt og ekki er laust við að hliðrun sjáist einnig. Greinileg þyngdarlægð er í stefnu VNV-ASA um suðurhluta Kröfluöskju.

Viðauki 1 inniheldur ýmsar lykilupplýsingar um sérhvern mælipunkt. Þessar upplýsingar duga væntanlega til að nýta mælingarnar í öðru samhengi með öðrum gögnum, t.d. þyngdargögnum.

Í viðauka 1 eru skráðar eftirfarandi upplýsingar í 10 dálkum, sem aðgreindir eru með eyðum:

1. Nafn mælistöðvar
2. Uppruni mælistöðvar; O Orkustofnun, N Norræna Eldfjallastöðin, D frá Þjóðverjum, V frá Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen og B mældir sérstaklega vegna þyngdarkortsins.
3. Norðlæg breidd (gráður, mínútur með 2 aukastöfum)
4. Austlæg lengd (gráður, mínútur með 2 aukastöfum)
5. Hæð mælistöðva yfir sjávarmáli í metrum
6. Mat á óvissu hæða; Gunnar Þorbergsson skiptir þessu í 10 gæðaflokka (Gunnar Þorbergsson 1984, 1990). Hér er látið duga að nota 3, en númerakótar hans notaðir.
3 skekkja < 0,2 m
7 skekkja < 2,0 m
8 skekkja < 5,0 m
7. Þyngdargildi mælistöðva í mgal (982 þúsund vantar fyrir framan gildið).

8. Landslagsleiðrétting í mgal, miðað við eðlismassa 2,0 g/cm³.
9. Fræðilegt þyngdarsvið við sjávarmál í mgal (982 þúsund vantar fyrir framan gildið).
10. Útreiknað Bouguerþyngdargildi í mgal (1 mgal = 10⁻⁵ ms⁻²).

Eftir að lokið var við gerð þyngdarkortanna var bætt við gagnaskrána gögnum einkum frá nokkrum mælisyrrpum þyngdarmælinga, að mestu utan við þetta aðal mælisvæði. Þessar mælingar eru mælisyrrpa frá mælinúu um Húsavík frá 1981 og þyngdarmælingar frá Öxarfirði frá árunum 1984 og 1987. Að auki var bætt við fáeinum eldri mælipunktum Þjóðverja úr mælinúu við Jökulsá á Fjöllum. Landslagsleiðrétting mælipunktanna um Húsavík var einungis gerð í 6,653 m (bogreitir J) í stað 50 km. Þessir mælipunktar eru auðkenndir með * aftan við leiðréttinguna í lið 8, hér að framan.

Þó freistandi sé, þá er það ekki tilgangur þessarrar skýrslu að túlka frekar en orðið er þær niðurstöður þyngdarmælinganna sem hér eru birtar, heldur verður það látið bíða betri tíma.

ÞAKKIR

Það er ljóst að í verki sem staðið hefur yfir í meira en áratug hafa margir komið til aðstoðar. Helsta skal færa þakkir þau Helgu Tulinius og Einar Kjartansson á Orkustofnun fyrir ómetanlega aðstoð við forritun og teiknun gagna. Stefáni Magnússyni ber sérstakar þakkir fyrir teiknun þyngdarkortanna og Leó Kristjánssyni og Ólafi G. Flóvenz fyrir yfirlestur handrits.

HEIMILDASKRÁ

Axel Björnsson, Grímur Björnsson, Ásgeir Gunnarsson og Gunnar Þorbergsson 1985: Breytingar á landhæð við Kröflu 1974-1984. OS-85019/JHD-05. 67 s.

Ásgeir Gunnarsson og Gunnar Þorbergsson 1982: Hæðarmæling fyrir Kísiliðjuna 1981. Greinargerð ÁG,GÞ-82/01. 8 s.

Eysteinn Tryggvason 1978: Distance measurements in 1977 in the Krafla-Mývatn area and observed ground movements. Nordic Volcanological Institute 78-10 47 s.

Eysteinn Tryggvason 1980: Distance measurements in the Krafla- Gjástykki geodimeter network, March 1978 to May 1979. Nordic Volcanological Institute 80-02 42 s.

Freyr Þórarinnsson og Stefán Magnússon 1990: Handbók um notkun teikniforrítsins MBASE, til kortateiknunar. Óbirt handrit.

Gestur Gíslason, Gunnar V. Johnsen, Halldór Ármannsson, Helgi Torfason og Knútur Árnason 1984: Þeistareykir, yfirborðsrannsóknir á háhitasvæðinu. OS84089/JHD16. 134 s.

Grushinsky, S. 1971: í Gravity Prospecting. Mir publishers, Moskvu. 491 s.

Guðmundur Pálmason, Tor H. Nilsen og Gunnar Þorbergsson 1973: Gravity base station network in Iceland 1968-1970. Jökull, 23, 70-125.

Gunnar V. Johnsen 1978: Þyngdarmælingar við Kröflu, áfangaskýrsla. Orkustofnun, OS-JHD 7824. 15 s.

Gunnar V. Johnsen, Axel Björnsson og Sven Sigurðsson 1980: Gravity and elevation changes caused by magma movement beneath the Krafla Caldera, northeast Iceland. J. Geophys. 47, 132- 140.

Gunnar Þorbergsson og Ásgeir Gunnarsson 1977: Hæðarmælingar við Kröflu 1976. OS-ROD-7712. 34 s.

Gunnar Þorbergsson 1982: Landmælingar vegna korta af Þeistareykjum. Greinargerð GÞ-82/01. 15 s.

Gunnar Þorbergsson, Ingvar Þór Magnússon, Ásgeir Gunnarsson, Gunnar V. Johnsen og Axel Björnsson 1984: Landmælingar og þyngdarmælingar á Hengilssvæði 1982 og 1983. OS-84003/VOD-03 B 58 s.

Gunnar Þorbergsson, Ingvar Þór Magnússon og Guðmundur Pálmason 1990: Þyngdarmælingögn og Þyngdarkort af Íslandi. OS-9001/JHD- 01. 36+ 15 s.

Hammer, S. 1939: Terrain corrections for gravimeter stations. Geophysics, 4: 184-194.

International Association of Geodesy 1967: Geodetic reference system 1967, Publ. spéc. no. 3 du Bulletin Géodésique, Paris. 116 s.

Knútur Árnason, Guðmundur Ingi Haraldsson, Gunnar V. Johnsen, Gunnar Þorbergsson, Gylfi Páll Hersir, Kristján Sæmundsson, Lúðvík S. Georgsson og Snorri Páll Snorrason 1986: Nesjavellir, Jarðfræði- og jarðeðlisfræðileg könnun 1985. OS- 86014/JHD-02. 125 s.

Kristján Sæmundsson 1990: Jarðfræði Kröflukerfisins. Náttúrufræðingurinn. Í prentun.

LaCoste og Romberg, Inc: Instruction manual for LaCoste and Romberg model G geodetic gravity meter.

- Longman, I.M. 1959: Formulas for computing the tidal acceleration due to the moon and the sun. *J. of Geophys. Res.*, 64: 2351-2355.
- Moritz, H. 1980: Geodetic reference system 1980. *Bulletin Géodésique*, 54 no. 3. 395-404.
- Möller D. og B. Ritter 1980: Geodetic measurements and horizontal crustal movements in the rift zone of NE-Iceland. *J. Geophys.* 47, 110-119.
- Nettleton, L. L. 1939: Determination of density for reduction of gravity observations. *Geophysics* 4, 176-183.
- Parasnis, D.S. 1979: Í: Principles of Applied Geophysics. 3. útg. Chapman og Hall, London. 275 s.
- Páll Einarsson 1978: S-wave shadows in the Krafla Caldera in NE-Iceland, evidence for a magma chamber in the crust. *Raunvísinda-stofnun Háskólans RH-78-9.*
- Ragna Karlsdóttir, Gunnar Johnsen, Axel Björnsson, Ómar Sigurðsson og Egill Hauksson 1978: Jarðhitasvæðið við Kröflu. Áfangaskýrsla um jarðeðlisfræðilegar rannsóknir 1976-1978. OS- JHD 7847.
- Schleusener A. 1943: Die Gravimetermessungen. Í: Spalten auf Island, O. Niemczyk, ritstj. Wittwer, Stuttgart. 124-175. Schleusener A., W. Torge og H. Drewes 1976: The gravity field of northeastern Iceland. *J. Geophys.* 42, 27-45.
- Sigurjón P. Ísaksson 1982: Laxárvirkjun-Lindarbrekka. Hæðir stöðvarhæla í línustæði. Greinargerð SPÍ-82/01. 5 s.
- Spickernagel H. 1980: Results of height measurements in northern Iceland 1965/1977. *J. Geophys.* 47, 120-124.
- Torge, W. 1980: Geodesy. Walter de Gruyter, Berlin. 254 s.
- Torge, W. og E. Kanngieser 1980: Gravity and height variations during the present rifting episode in northern Iceland. *J. Geophys.* 47, 125-131.
- Trausti Einarsson 1954: A gravity survey of Iceland. *Vísindafélag Íslendinga*, Rit no.XXX, 22 s.
- Valgarður Stefánsson 1981: The Krafla geothermal field, northeast Iceland. í: L. Rybach and L.J.P. Muffler (ritstj.) *Geothermal Systems*, J. Wiley and Sons, NY: 273-294.
- Valgarður Stefánsson, Gestur Gíslason, Helgi Torfason, Lúdvík S. Georgsson, Stefán G. Sigurmundsson og Sverrir Þórhallsson 1982: Áætlun um skipulegar rannsóknir á háhitasvæðum landsins. OS82093/JHD13. 176 s.
- Warren F.E. 1986: Iceland gravity densification survey. Defence Mapping Agency, Hydrographic/ Topographic Center, Geodetic Survey Squadron. Skýrsla á Orkustofnun, 30+26 s.

ENGLISH SUMMARY

The report deals with Bouguer gravity maps of the Krafla area and surrounding region. The methods and standards utilized in making the gravity maps are described in some detail. The gravity measurements which are used in making the maps were carried out over a 10 year period, from 1976 to 1986. Nearly 900 gravity points are used in the maps. Several changes have been made in the standards of height and gravity in this time. These changes are discussed and incorporated into the maps. A 3rd degree polynomial was found to show the best fit to the Bouguer maps. This trend was subtracted from the maps. Three Bouguer gravity maps are presented. The first two are Bouguer gravity maps of a large region surrounding the Krafla area; in one of these the regional trend has been removed. This area stretches from south of lake Myvatn to north of the Theistareykir high temperature area. The third is a Bouguer map of the Krafla area, without regional trend. From these maps it is evident that the Krafla central volcano is itself a prominent gravity high. The rim of the Krafla Caldera is a gravity high while the Caldera itself is a gravity low. Also the Krafla fissure swarm is evident. The Theistareykir fissure swarm and the Husavik fracture zone can also be seen. Several other more local structures can be seen from the gravity maps.