

**ÞYKKTIR HRAUNA NORÐAN OG AUSTAN
ÞÓRISVATNS
NIÐURSTÖÐUR ÞYNGDARMÆLINGA**

Magnús Tumi Guðmundsson
Þórdís Högnadóttir

**Raunvísindastofnun Háskólans
desember 2002
RH-29-2002**

ÁGRIP

Í þyngdarmælingum sem gerðar voru á hraunasvæðunum norðan og austan Þórisvatns vorið og sumarið 2002 fengust upplýsingar um þykktir stafla nútímahrauna á svæðinu og hversu grafnar móbergs- og bólstramyndanir á svæðinu eru í yngri jarðlög. Mældar voru fjórar línur yfir svæðið frá Köldukvísl að Tungnaá. Líkanreikningar sýna að þykktir nútímahrauna eru nærri því að vera um 50 m að meðaltali. Þykktin virðist ná um 100 m á nokkrum stöðum þar sem aðhald er af móbergsfjöllum. Áætlað er að rúmmál nútímahrauna sé 11-15 km³ milli Tungnaár og Köldukvíslar á svæði suðvestur frá Klofnafelli norðaustur til Jökulheima. Móbergsmyndanir eru mismikið grafnar í yngri jarðlög. Fylgni er milli þess hve mikið myndanir eru grafnar og þess hver afstæður aldur þeirra er samkvæmt jarðfræðikortlagningu. Gjóskugígargöð, svipuð Vatnaöldum, er grafin í 50-100 m þykkann hraunastafla í Heljargjá og eru nú aðeins stærstu gígarnir (Saxi, Fontur og Máni) sjáanlegir á yfirborði. Grafinn hryggur er undir Veiðivatnahrauni milli Gjáfjalla og Austurbotns. Einnig virðist framhald Útigönguhöfða vera grafið í hraunin norðan hans. Þessir hryggir gætu haft áhrif á grunnvatnsrennsli á svæðinu, séu þeir samfelldir.

EFNISYFIRLIT

1	Inngangur	5
2	Jarðfræðilegt yfirlit	5
2.1	Hraun	7
2.2	Móbergsmýndanir	7
3	Aðferðir	7
4	Mælingar	9
5	Úrvinnsla	9
5.1	Bouguer frávik	9
5.2	Eðlismassi	10
5.3	Líkanreikningar	10
6	Niðurstöður	13
6.1	Lína 1	13
6.2	Lína 2	16
6.3	Lína 3	20
6.4	Lína 4	20
6.5	Samantekt	20
6.5.1	Þykktir nútímahrauna	20
6.5.2	Þykkt móbergsmýndanna	20
6.5.3	Sigdalir og gígar	20
6.5.4	Rennsli grunnvatns	21
7	Lokaorð	21
8	Heimildir	21
Viðauki A	Eðlismassar og lengdir bergskrokka í líkönum	24
Viðauki B	Þyngdarmælipunktar	25
Viðauki C	Þyngdarmælingar	28

1. INNGANGUR

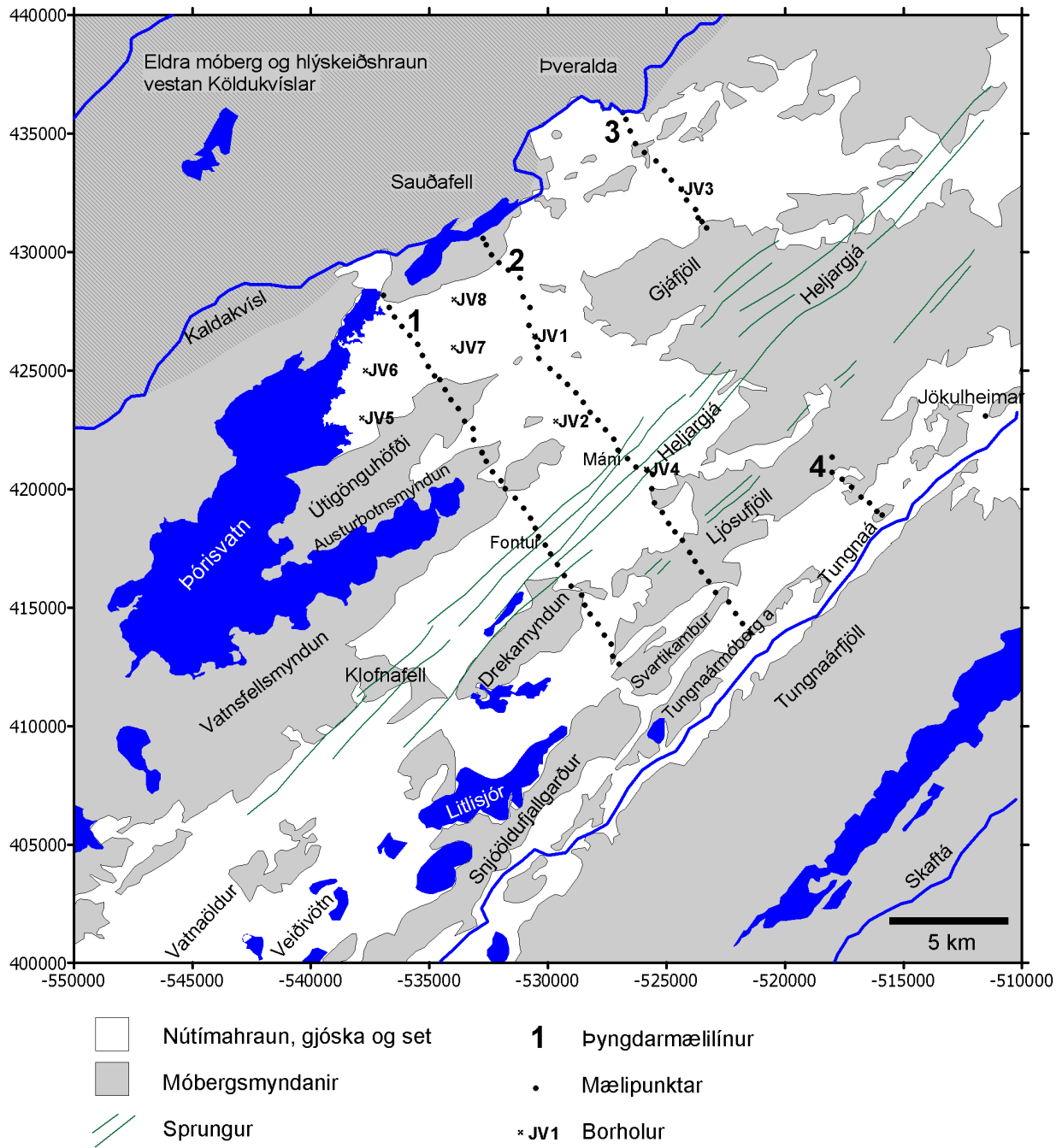
Stórir hlutar gosbeltanna á Íslandi eru þaktir hraunum sem runnið hafa síðan ísaldarskeiðinu lauk fyrir 10 þúsund árum. Þessi hraun mynda víða þykka stafla og á þeim svæðum er afrennsli að mestu með grunnvatni. Liggja hraunin oft í dældum milli móbergsfjalla og kaffæra þau að hluta eða öllu leyti. Eitt þessara svæða liggur norðan og austan Þórisvatns. Um svæðið fara grunnvatnsstraumar sem eru drjúgur hluti innrennslis í Þórisvatn. Viðamiklar jarðfræðirannsóknir hafa verið gerðar á liðnum árum (Elsa G. Vilmundardóttir og fl. 1988, 1990a, 1990b, 1999, 2000; Ingibjörg Kaldal og fl. 1990). Áhugavert er að kanna þykktir og heildarrúmmál nútímahrauna á svæðinu og bera saman við rúmtak gosmyndanna frá jökulskeiðum. Einnig er áhugavert að kanna legu grafinna móbergsmýndanna í ljósi hugsanlegra áhrifa þeirra á rennsli grunnvatns.

Með þyngdarmælingum má kanna þykktir hrauna þar sem þau liggja að móbergsmýndunum. Er þetta mögulegt vegna eðlismassamunar hrauna annarsvegar og móbergs og bólstrabergs hinsvegar. Gáfust þyngdarmælingar í þessum tilgangi vel á svæðinu milli Þingvalla og Langjökuls (Magnús T. Guðmundsson og fl. 2000). Því varð að ráði að gera tilraun til að kanna hagnýtingu þyngdarmælinga norðan og austan Þórisvatns síðastliðið sumar. Verkið var unnið af Raunvísindastofnun Háskólans og kostað af Landsvirkjun.

2. JARÐFRÆÐILEGT YFIRLIT

Ekki verður gerð tilraun hér til að gefa heildarmynd af jarðfræði svæðisins, aðeins tæpt á helstu atriðum og þeirra staða getið sem þyngdarmælingarnar ná til. Um fyllri lýsingu á jarðfræðilegri umgjörð vísast til Elsu G. Vilmundardóttur og fl. (1990a) og hinna ýtarlegu jarðfræðikorta Orkustofnunar og Landsvirkjunar.

Þórisvatn liggur nærri vesturjaðri eystra gosbeltisins (1. mynd). Að vatninu liggja móbergsmýndanir frá jökulskeiðum en norðan þess og austan eru víðáttumiklir hraunaflákar. Stærsta svæðið er Veiðivatnahraun milli Þórisvatns og Gjáfjalla. Sumstaðar austan Þórisvatns setja móbergshryggir svip sinn á landslagið en nútímagosmýndanir eru þó fyrirferðarmestar vestan Snjóöldufjallgarðs. Heljargjá er allmikill sigdalur austan Þórisvatns sem nær frá Klofnafelli í suðri norður fyrir Gjáfjöll. Er hún hluti af kerfi sigdala sem nær frá Tungnaá norður í Hamarinn (Elsa G. Vilmundardóttir og fl. 1990a). Í suðurhluta Heljargjár eru nokkrir sprengigígjar, hálfgrafnir í yngri hraun. Þeir urðu til í upphafi nútíma (Elsa G. Vilmundardóttir og fl. 1990a). Sunnar eru Vatnaöldur sem gusu um 870 og Veiðivötn sem urðu til í núverandi mynd í gosi um 1480 (Guðrún Larsen, 1984; Elsa G. Vilmundardóttir og fl. 1990a). Þekur gjóska úr þessum gosum stóran hluta svæðisins.



1. mynd. Mælinur, borholur, skipting mælisvæðis í hraun og móbergsmýndanir.

2.1. Hraun

Tvær þyngdarmælilínanna (línur 1 og 2) ná yfir svæðið sem ber samheitið Veiðivatnahraun á kortum. Það greinist í nokkur hraun. Botnahraun og Háahraun eru um 8000 ára en víðast liggja þau undir Drekahrauni sem rann fyrir 3200 árum. Á jarðfræðikortunum er nafnið Veiðivatnahraun aðeins látið ná yfir hraun sem runnu í gosinu um 1480, norðan Hraunvatna og vestan Ljósufjalla.

Norðan Gjáfjalla eru nokkur hraun, m.a. Gráhraun, Flagðahraun og Rauðhólshraun sem öll eru yfir 8000 ára gömul. Einnig liggur Tröllahraun meðfram Gjáfjöllum að norðan en það er yngsta hraunið á svæðinu, frá 1862-1864.

Milli Ljósufjalla og Tungnaár er slétta þakin sandorpnu hrauni sem á upptök í gígum norðvestan Jökulheima. Elsa G. Vilmundardóttir og fl. (1999) nota nafnið Jökulheimahraun um þessa gosmyndun.

Átta holur, 30-65 m djúpar, hafa verið boraðar á hraunasvæðunum norðan og austan Þórisvatns (JV01-JV08). Holurnar ná hvergi niður úr nútímahraunum nema í JV03 sem liggur norðvestan Gjáfjalla. Þar er liggur 12 m þykkt jökulbergslag undir um 40 m stafla nútímahrauna (2. mynd). Einnig leikur vafi á um hvort neðstu 5 m í JV01 séu hraunkargi eða bólstrabreksía (Elsa G. Vilmundardóttir, pers. uppl.).

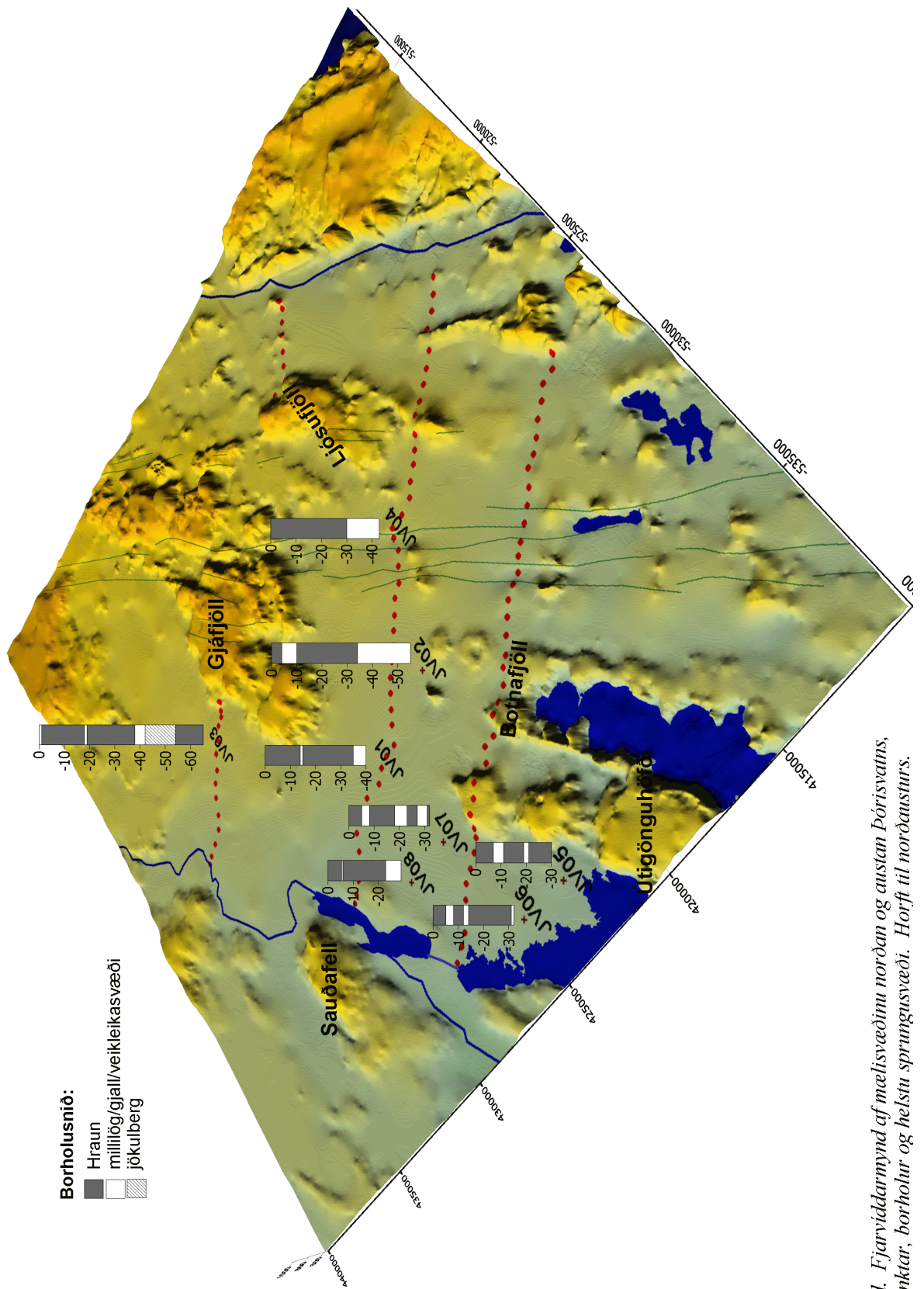
2.2. Móbergsmýndanir

Fjöldi móbergsmýndana er að finna á mælisvæðinu. Ósöldumyndun liggur nærri vesturenda tveggja lengri línanna (1. mynd). Sú syðri (lína 1) liggur yfir Útigönguhöfða, Austurbotnsmyndun, Vatnsfellsmyndun, Heljargjá hjá Fonti, Dreka myndun, og að Skálafellsmyndun við Svartakamb. Lína 2 liggur frá Sauðafellslóni, um JV01 og JV04 í Heljargjá, yfir Dreka myndun, Ljósufjöll, hugsanlega Skálarfellsmyndun, Svartakamb og endar á Tungnaármóbergi a (Elsa G. Vilmundardóttir og fl., 2000). Lína 3 liggur frá Köldukvísl austan Þveröldu, gegnum JV03 að Gjáfjöllum. Lína 4 liggur frá Ljósufjöllum yfir tvær töluvert grafnar móbergsmýndanir, Tungnaármóberg a og b.

3. AÐFERÐIR

Þyngdarhröðun á yfirborði jarðar er nálægt því að hafa sama gildi allstaðar (um 9.8 m s^{-2}) en lítil frávik verða þó vegna ýmissa áhrifaþátta. Til að losna við þessi áhrif eru gerðar leiðréttingar á mælingum (Viðauki C). Eftir situr þá leif sem er nefnd Bouguer frávik, en það er frávik frá meðtalsþyngdarhröðun við sjávarborð. Þessi leif er mæld í einingunni milliGal ($1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m s}^{-2}$).

Algennt er að Bouguer frávik sveiflist um nokkra tugi mGal yfir stór svæði (tugir - hundruð km í þvermál). Orsakir slíkra frávika liggja oft á 10-50 km dýpi og stafa af mismunandi þykkt jarðskorpunnar. Þessi frávik eru yfirleitt meðhöndluð sem svæðisbundið svið og það þá dregið frá þegar skoða á frávik sem eiga sér grynri orsakir. Ýmis frávik eiga sér rætur í mismunandi eðlismassa efstu jarðlaga. Þau eru oft kröpp en hafa lítið útslag (0.5-5 mGal). Dæmi um þyngdarlægð væri þar sem set (lágur eðlismassi) hefur fyllt dal sem grafist hefur í berggrunn (hár eðlismassi). Dæmi um þyngdarhæð væri þar sem hraunlagastafli hefur fyllt



mynd. Fjarviddarmynd af mælisvæðinu norðan og austan Þórisvatns, ælipunktur, borholur og helstu sprungusvæði. Horfi til norðausturs.

dal sem grafist hefur í móberg, en eðlismassi hrauna sem storknað hafa á yfirborði er hærri en móbergs. Mörg fleiri jarðfræðileg fyrirbæri geta valdið frávikum.

Í þessari rannsókn er unnið með frávik sem verða þar sem hraunaflákar myndaðir í flæðigosum á nútíma og eldri hlýskeyðum, liggja að og hylja móbergsfjöll mynduð á jökulskeyðum. Þyngdarsviðið er mælt á línunum sem liggja því sem næst hornrétt á strikstefnu hryggjanna og bil milli mælipunkta er 0.3-0.5 km (1. og 2. mynd). Sumar línur liggja yfir hraunafláka og upp í hlíðarætur móbergsfjallanna. Önnur snið liggja yfir hryggi, einkum ef þeir eru mikið grafnir.

4. MÆLINGAR

Notaður var Scintrex CG-3M þyngdarmælir til mælinga á þyngdarhröðun. Til hæðarmælinga var notað Trimble Pathfinder ProXL DGPS staðsetningataki. Hæðargögnum er safnað á hverjum mælipunkti en þau síðan leiðrétt með gögnum frá móðurstöð með þekktu staðsetningu. Nákvæmni punktmælinganna er betri en 1 m í fleti og 2 m í hæð.

Þegar mælt var á vélsleðum var GPS tækið fest á sleðann og það látið mæla staðsetningu og hæð meðan mælt var með þyngdarmæli við hlið sleðans, undir loftneti GPS-tækisins. Þegar farið er á bíl er annaðhvort gert, að GPS tækið er fest í bílnum með loftnetið á þaki hans, eða tækið er laust og sett upp við hlið þyngdarmælipunkts, nokkra metra frá bílnum

Farnar voru tvær ferðir til mælinga. Fyrri ferðin var 10.-11. apríl og var þá unnið á vélsleðum. Sú ferð fékk frekar snöggan endi því þyngdarmælirinn bilaði þegar hefja átti mælingar að morgni hins 11. Þurfti að senda mælinn til Kanada til viðgerða. Seinni ferðin var farin 21.-23. ágúst og var þá ekið með mælinn milli punkta. Í fyrri ferðinni voru Magnús Tumi Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir en í þeirri seinni Magnús Tumi og Hugh Tuffen. Mældir voru 103 punktar á fjórum línunum.

Meðal áætlaðra mælinga var lína yfir Hágönguhraun milli Syðri Hágöngu og Mókolla. Ekki var hægt að fara þangað vegna bilunarinnar í þyngdarmælinum síðastliðið vor og í sumar var erfitt að komast inn á svæðið þar sem Hágöngulón var komið á yfirfall og Sylgja nánast ófær langtímum saman. Því fór svo að ekki varð af mælingu þeirrar línu nú.

5. ÚRVINNSLA

5.1. Bouguer frávik

Úr GPS mælingum fást hæðir yfir ellipsoíðu og eru hæðir yfir sjó reiknaðar með því að draga frá hæð geoíðu á svæðinu (frá Landmælingum Íslands - NKG96 hliðrað niður um 1.17 m). Scintrex þyngdarmælirinn hefur innbyggða tölvu og leiðréttir sjálfvirkt fyrir flóðkröftum með hefðbundinni aðferð Longmans. Staðalþyngdarsvið (IGF1980, Vanicek og Krakiwsky, 1986) var dregið frá og að lokum voru áhrif massa yfir sjávarmáli fundin með því að heilda landlíkan með 25 m möskvastærð, yfir ferning sem er 1000 m á kant, með mælistöð í miðju ferningsins. Líkön með möskvastærð 200 m og 1000 m eru notuð fyrir ytri ferninga, hefur annar hliðalengd 12 km en hinn 100 km (Magnús T. Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir,

2001). Heildunin er gerð með forritinu TTC sem til er á Raunvísindastofnun. Landslagsleiðrétting fyrir B og C reiti Hammers var metin á mælistað.

5.2. Eðlismassi

Túlkun mælinganna byggir á því að munur sé á eðlismassa hraunlaga og móbergsmýndana. Mælingar á eðlismassa bergsýna hafa verið gerðar fyrir flestar gerðir íslensks bergs en niðurstöður þeirra voru teknar saman í skýrslu um þyngdarmælingar á svæðinu milli Þingvalla og Langjökuls (Magnús T. Guðmundsson og fl. 2000) og sýnir 3. mynd þá samantekt. Í skýrslunni var einnig komist að þeirri niðurstöðu að líklegur mismunur á eðlismassa hrauna og móbergsmýndanna sem væru til helminga samsettar úr túffi og bólstrum væri 350-450 kg m⁻³.

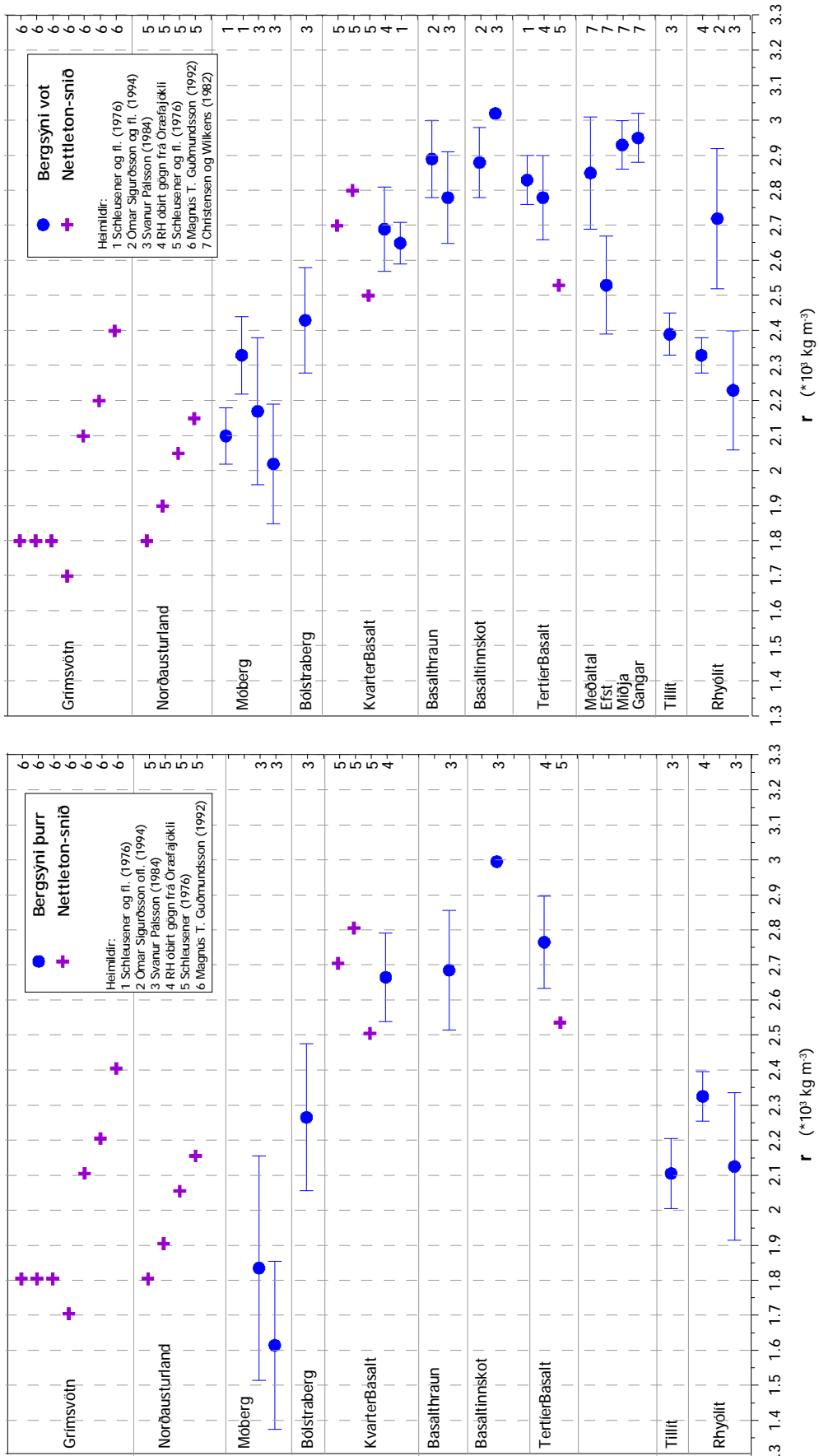
Á Þórisvatnssvæðinu er algengt að móbergsmýndanir séu hlíðabrattar en flatar að ofan og að mestu úr bólstrabergi. Túff finnst einnig og sum móbergsfjöllin, t.d. Ljósufjöll eru að verulegu leyti úr móbergstúffi. Því þótti eðlilegt við gerð líkana af byggingu fjalla að gera greinarmun á bólstramyndunum og túffmyndunum. Neðan grunnvatnsborðs er líklegur munur eðlismassa hrauna og bólstrabergs um 200 kg m⁻³ en ofan þess nær 300 kg m⁻³. Fyrir túffríkar myndanir getur þessi munur orðið allt að 600-700 kg m⁻³ milli móberg og hrauna ofan grunnvatnsborðs en 400-500 kg m⁻³ neðan grunnvatnsborðs. Þar sem óljóst er hvort grunnvatnborð hækkar að ráði í sumum móbergsfjöllum er erfitt að meta eðlismassa fyrir hverja myndun. Hér er því farin sú leið að nota frávik $\Delta\rho = -200$ kg m⁻³ fyrir bólstrabergsmýndanir (þ.e. að eðlismassi bólstrabergs sé $2600 - 200$ kg m⁻³ = 2400 kg m⁻³) og $\Delta\rho = -400$ kg m⁻³ fyrir túffríkar myndanir (eðlism. 2200 kg m⁻³) og jarðfræðikortin (Elsa G. Vilmundardóttir og fl. 1988, 1990b) notuð til að skipta myndunum í þessa tvo flokka. Eðlismassafrávikin eru meðaltalsgildi og má búast við að einstök móbergsfjöll og myndanir víki nokkuð frá þessum tölum. Það þýðir að mat á þykkt hrauna og móbergsmýndanna hefur tölurverða óvissu, rétt er að gera ráð fyrir að hún sé 30-50%.

5.3. Líkanreikningar

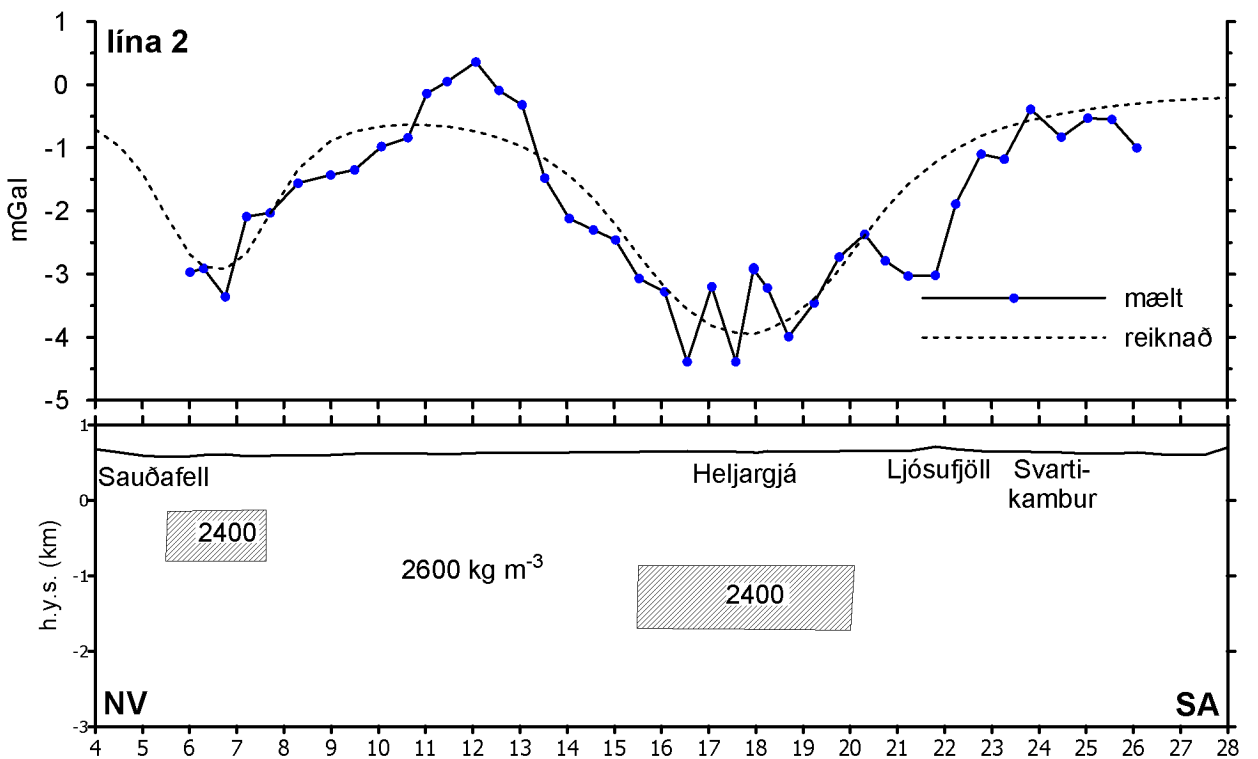
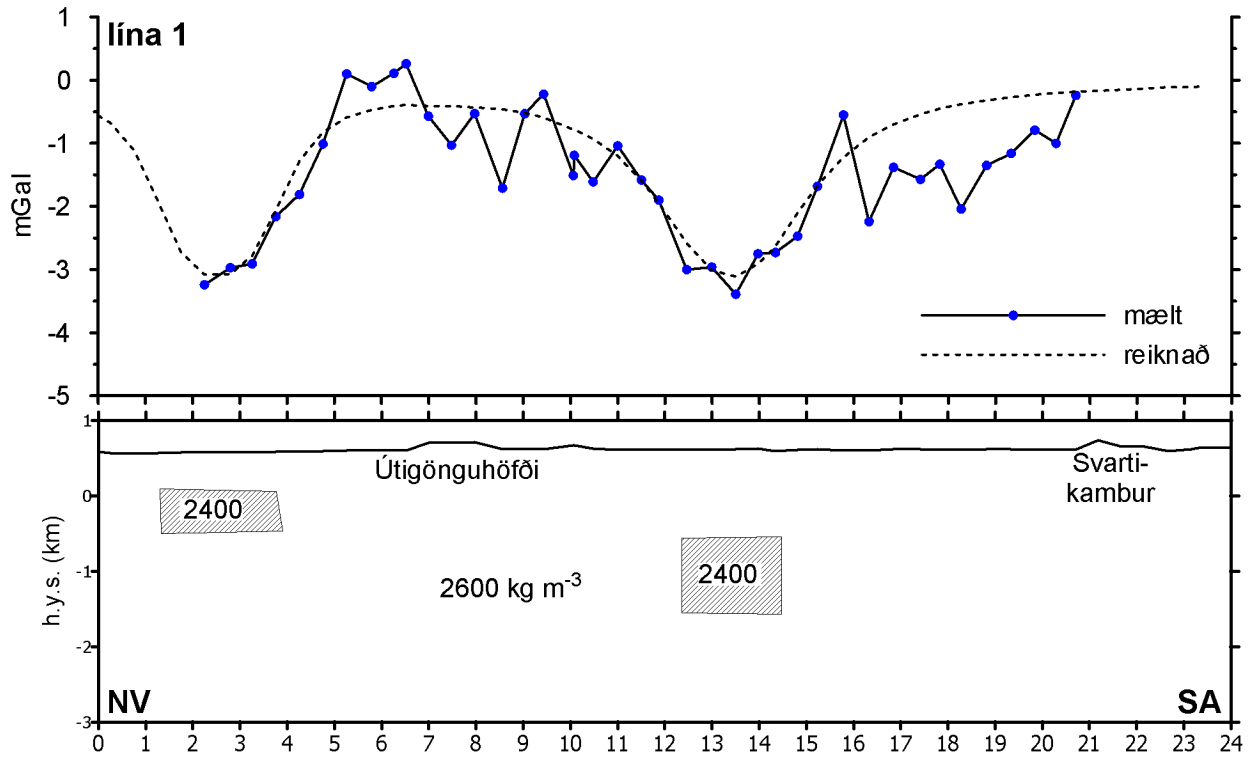
Við gerð sniðanna sem notuð eru í útreikningana hefur eðlismassinn 2600 kg m⁻³ verið notaður við Bouguer leiðréttingu. Sá eðlismassi er valin vegna þess að hann er nærri áætluðum eðlismassa hraunanna. Ósennilegt er að jarðmýndanir með hærri eðlismassa sé að finna nærri yfirborði því á svæðinu eru auk hrauna, bólstraberg, móbergstúff, gjall og gjóska en þessar myndanir hafa lægri eðlismassa en hraun.

Við túlkun er notað forritið Gravmag frá British Geological Survey (Pedley og fl. 1997). Það byggist á aðferð Talwani um frávik frá margflötungum sem liggja þvert á mælinu. Forritið getur leiðrétt fyrir endanlegri lengd margflötunganna þvert á mælinuna samkvæmt aðferð Rasmussen og Petersen (1979). Reikningarnir fara þannig fram að sett er upp líkan af byggingu efsta hluta jarðskorpunnar (hér nær það yfirleitt aðeins til efstu 300-400 m skorpunnar) og áhrif þess á þyngdarsviðið reiknuð. Síðan er líkanið lagfært, með því að breyta lögun bergskrokka, bæta við skrokkum eða breyta eðlismassa þeirra, þangað til góð fylgni fæst milli líkans og mælinga.

Fyrsta meðhöndlun gagnanna felst í því að draga frá mælinunum svæðisbundið svið sem yfirleitt tengist ekki frávikum í efsta kílómetra jarðskorpunnar heldur á sér dýpri orsakir eins og fram kom í 3. kafla. Tvær mælinanna eru yfir 20 km langar og á þeim eru frávik sem



3. mynd. Eðlismassi íslensk bergs, mælingar á þurrum og votum bergsýnum með staðalfráviki. Niðurstöður Nettleton-sníða vfir fjöll. en þar er ekki verður greinarmunur á hvort þer er vatnsfyllt eða ekki.



4. mynd. Líkön af línunum 1 og 2 þar sem bergskrokkar á 1-2 km dýpi eru notaðir til að skýra stóru drættina í þyngdarfrávikinu. Þessi líkön geta þó alls ekki skýrt minni sveiflur sem tengjast móbergsfjöllum og gígum.

ekki er augljóst að eigi upptök í móbergsmyndunum nærri yfirborði. Á 4. mynd eru sýnd dæmi um líkön sem skýrt gætu **stóru** drættina á þessum línnum (1 og 2). Skrokkar með lága eðlismassa eru settir af handahófi undir Heljargjá og við norðurenda línanna. Þessi líkön skýra hins vegar á engan hátt minni frávik sem eru allmörg á báðum línnum. Líkönin á 4. mynd hafa því takmarkaða jarðfræðilega merkingu, en sýna fram á að mögulegt er að skýra hluta þyngdarsviðsins með skrokkum á allmiklu dýpi. Hér er farin sú leið að gera líkön af línnum 1 og 2 í heild sinni. Er það vegna þess að öll frávik, bæði smá og stór, virðast tengjast fyrirbærum sem sjást á yfirborði.

6. NIÐURSTÖÐUR

Lega sniða er sýnd á 1. og 2. mynd en líkön eru á 5.-9. mynd. Eðlismassar og lengdir einstakra bergskrokka í líkönum, hornrétt á mælilínu, eru í töflum í viðauka A.

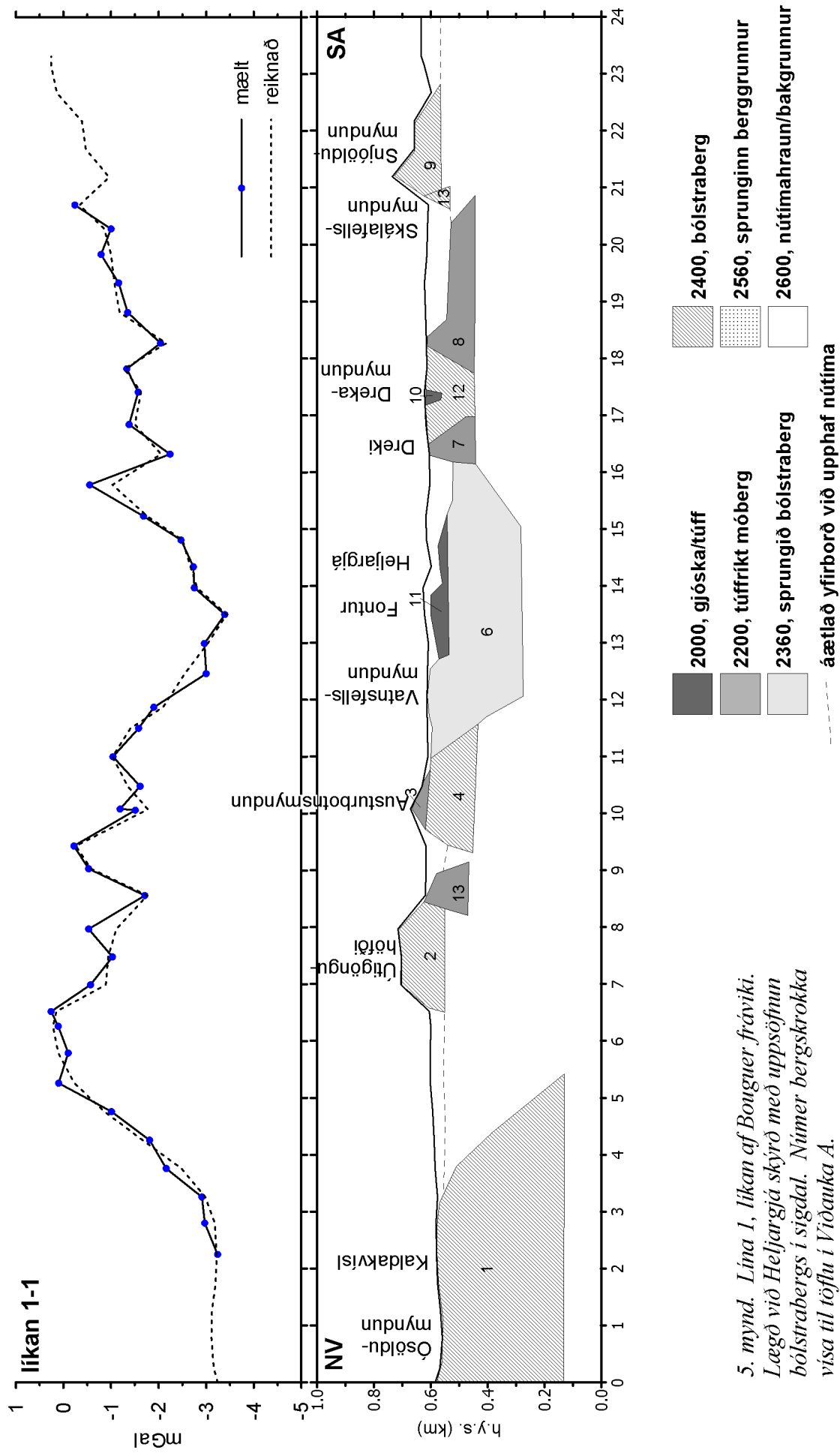
6.1. Lína 1

Tvær tillögur að jarðlagaskipan eru settar fram. Á 5. mynd er þyngdarlægðin við Heljargjá skýrð með móbergsmyndunum sem fyllt hafi sigdalinn á jökulskeiði. Á 6. mynd er sama þyngdarlægð skýrð með skrokk sem næði yfir sprungna svæðið og niður á um 1.5 km dýpi. Skrokkurinn hefur dálítið lægri eðlismassa en umhverfið sem gæti stafað af heldur hærri poruhluta efst í jarðskorpunni vegna sprungnanna sem orðið hafa til við gliðnun Helgjargjár. Þyngdarmælingarnar skera ekki úr um hvor túlkunin er réttari auk þess sem rétt líkan gæti verið blanda af hvorutveggja.

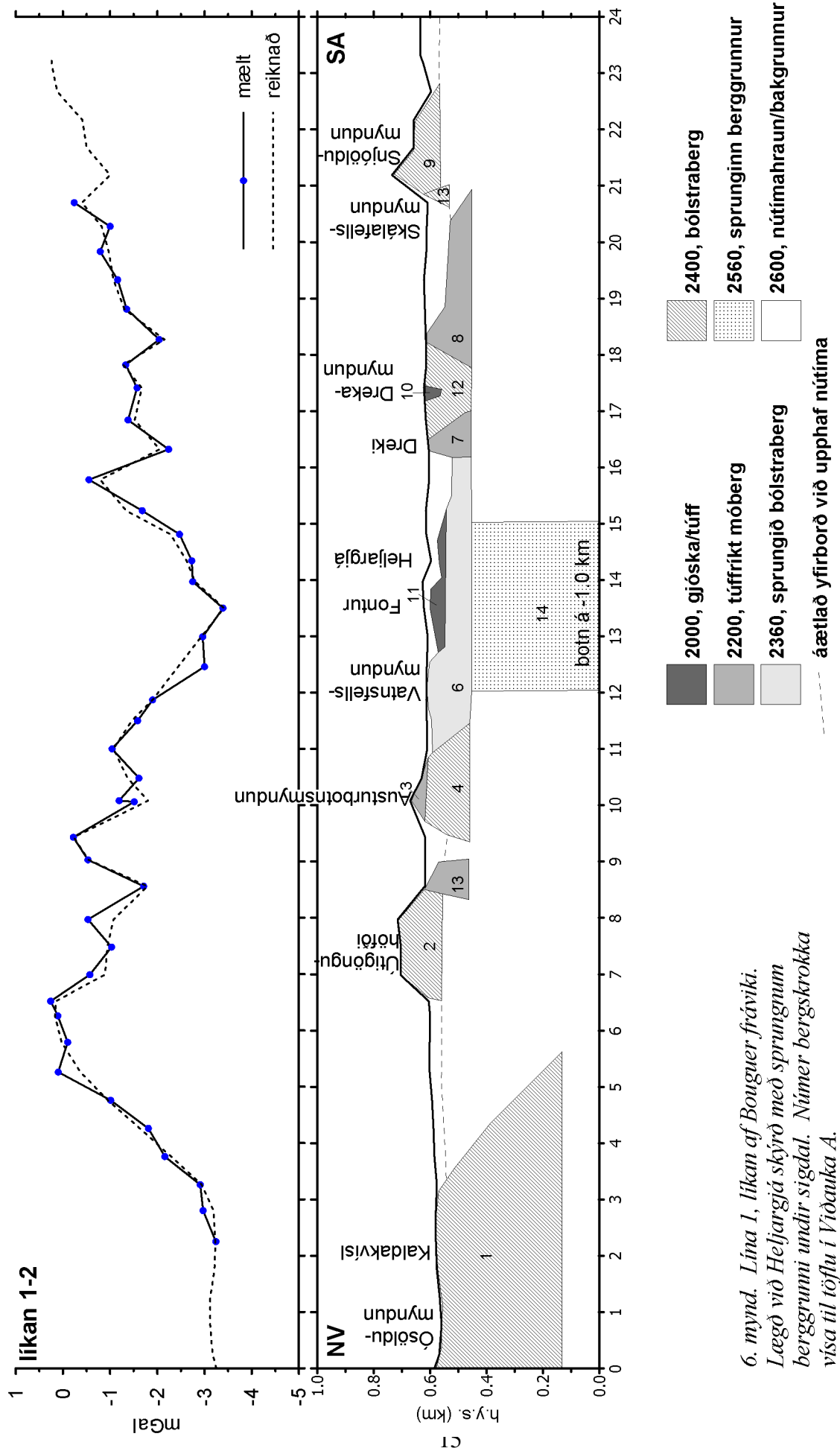
Norðurendi línunnar er við veituskurð Köldukvíslar inn í Þórisvatn. Þar er dílabasalt frá hlýskeyði á yfirborði en skammt undan eru Ósöldumyndun og Hvannármóberg (Elsa G. Vilmundardóttir og fl. 1990b). Byrjun línunnar er í allstórrri þyngdarlægð og bendir lægðin til þess að þessar móbergsmyndanir séu allþykkar og að þeim að austan liggja eðlisþyngra berg (væntanlega einkum hlýskeyðshraun). Hafa ber í huga að fleiri túlkanir koma til greina en allar eiga það sameiginlegt að nokkur skil verða í eðlismassa á þessum stað.

Útigönguhöfði er að mestu úr bólstrabergi. Líkanið bendir til þess að hraunin sem að honum liggja séu aðeins fáir tugir metra á þykkt. Sennilegt er að eðlismassinn 2400 kg m^{-3} sé of hár fyrir Útigönguhöfða því eðlismassi bólstrabergs ofan grunnvatnsborðs er lægri. Sé eðlismassinn höfðans sjálfs lækkaður fæst að undir honum sé óvenju hár eðlismassi. Þetta er ekki sýnt hér á sérstöku líkani enda aukaatriði því helsta niðurstaðan stendur: Útigönguhöfði er lítið grafinn í yngri hraun. Reyndar er þyngdarsviðið flókið og ruglingslegt við Útigönguhöfða. Hér hefur hryggur, að mestu grafinn, verið settur við austurjaðar Útigönguhöfða. Er það gert til að skýra krappa lægð. Önnur möguleg skýring á lægðinni er að þarna liggja gjósku- eða gjallgígur undir hrauninu. Gögnin skera hér ekki úr.

Austan Útigönguhöfða er Austurbotnsmyndun sem er mun meira grafin og virðist ná niður á 100 m dýpi. Austan Austurbotnsmyndunar tekur við Vatnsfellsmýndun. Hér eru settir fram tveir möguleikar um þykkt móbergs: Á 5. mynd nær móbergsmýndunin um 250 m niður fyrir yfirborð en en á 6. mynd er þykkt Vatnsfellsmýndunar svipuð og Austurbotnamýndunar og Drekamýndunar.



5. mynd. Lína 1, líkan af Bouguer frávik. Lægð við Heljargjá skýrð með uppsöfnun bólstrabergs í sigdal. Númer bergskrokka vísa til töflu í Viðauka A.



6. mynd. Lína 1, líkan af Bouguer frávik. Lægð við Heljargjá skýrð með sprungnum berggrunni undir sigdal. Númer bergskrokka vísa til töflu í Viðauka A.

Mælingarnar leiða í ljós að Fontur og aðrir gígar í þeirri röð eru mun stærri um sig en sést á yfirborði. Líklegt er að breidd gíganna sé allt að 2 km og að botn þeirra liggi 80-100 m undir núverandi yfirborði. Saxi, Fontur og Máni eru því aðeins sá hluti gígaradarinnar sem nær upp úr hrauninum sem runnið hafa á nútíma.

Drekamyndun er hér skipt í túffeiningar og bólstraeiningu. Vestari túffeiningin er í beinu framhaldi af Dreka en sú eystri í framhaldi af túffi sem fram kemur á jarðfræðikortum (Elsa G. Vilmundardóttir og fl. 1988). Dálítil lægð kemur fram við Veiðivatnagossprunguna, væntanlega vegna gjallgíga. Drekamyndun virðist ná 150-180 m niður fyrir núverandi yfirborð. Svartikambur virðist lítið grafinn, aðeins nokkra tugi metra.

Hraunþykktir virðast yfirleitt vera 30-80 m þar sem nútímahraun eru á yfirborði.

6.2. Lína 2

Mælingin (7. mynd) er í stórum dráttum svipuð línu 1. Sama gildir um stóra fráviknið með miðju í Heljargjá, það má skýra hvort heldur sem er með aukinni þykkt móbergs eða sprungum efst í jarðskorpunni sem myndast hafi vegna gliðunar.

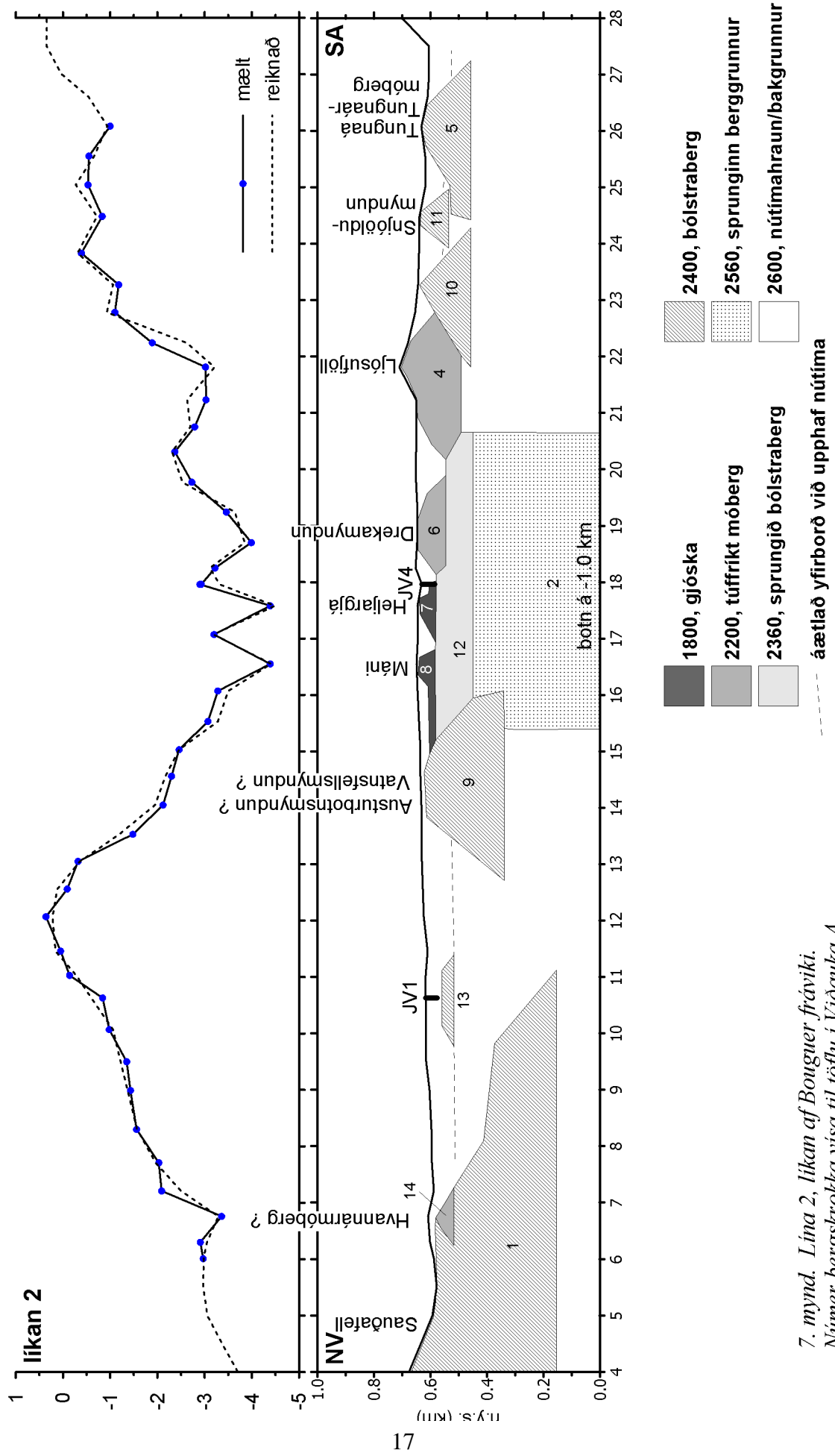
Um 400 m stafli af eðlisléttri móbergsmýndun skýrir lægðina við vesturenda línunnar. Undir JV01 virðist vera bólstramyndun, í beinu framhaldi af Útigönguhöfða. Hún liggur á svipuðu dýpi og botn holunnar og má því vel vera að neðsta bergið í þeirri holu sé efsti hluti þessarar myndunar. Nokkru austar, í framhaldi af Austurbots- og Vatnsfellsmyndunum er 2-3 km breið og um 300 m þykk móbergsmýndun. Gert er ráð fyrir að mjög grunnt sé niður á hana en það dýpi er ekki vel ákvarðað. Ef verulegur hluti myndunarinnar er úr túffi, má gera ráð fyrir að hún sé þynnri en hér er sýnt.

Línan liggur rétt norðaustan við gígana Mána og Gutta og tengjast þeim kröpp neikvæð frávik. Svo virðist sem þeir séu grafnir í 50-70 m þykk hraun. Gjallið neðst í holu JV04 í Heljargjá er væntanlega hluti gígbarms Gutta.

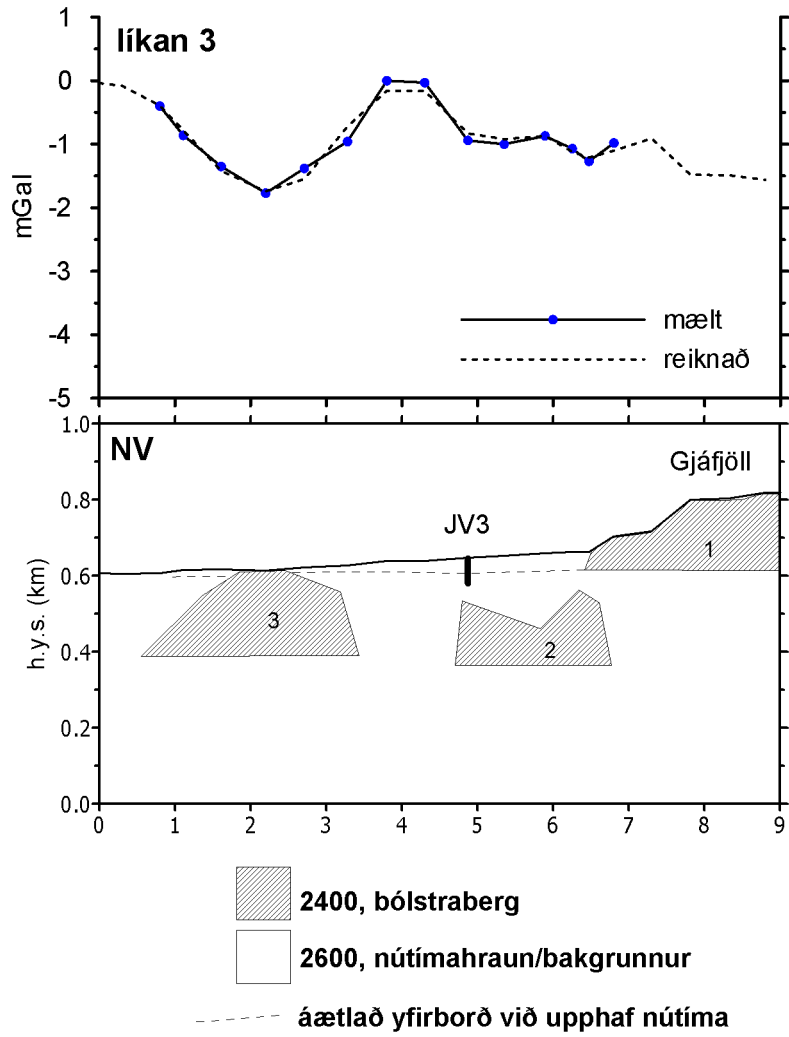
Austan Heljargjár liggur línan yfir Drekamyndun en hún er túffrik á þessum stað og því með lægri eðlismassa en bólstrabergið (Elsa G. Vilmundardóttir og fl. 1990b). Lágðlismassaskrokkurinn nær niður á 100 m dýpi en undir honum er gert ráð fyrir bólstrabergi niður á um 200 m dýpi, eins og reyndar undir öllu Heljargjársvæðinu. Ljósufjöllin ná samkvæmt líkaninu um 150 m niður fyrir núverandi yfirborð hraunanna.

Austan Ljósufjalla koma fram þrjár myndanir. Sú sem næst liggur Ljósufjöllum er í beinu framhaldi af Skálafellsmyndun, sú í miðið er Svartikambur (Snjóöldumyndun) og austast, við Tungnaá, er Tungnaármóberg a. Hér er Svartakambsmýndunin látin liggja ofaná hinum. Þyngdarmælingarnar skera þó alls ekki úr um að svo sé, þessi túlkun er byggð á afstæðri aldursröð móbergsmýndanna á svæðinu (Elsa G. Vilmundardóttir 1988, 1990a, b). Einnig er rétt að taka fram að ekki er hægt að fullyrða á grundvelli þyngdarmælinganna um hver þessara þriggja myndanna er mest grafín og hver minnst.

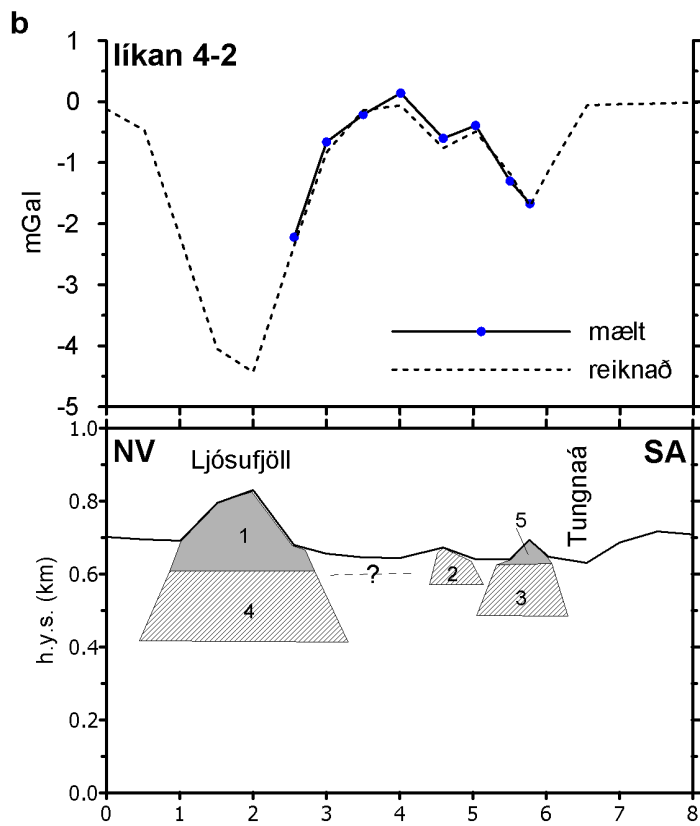
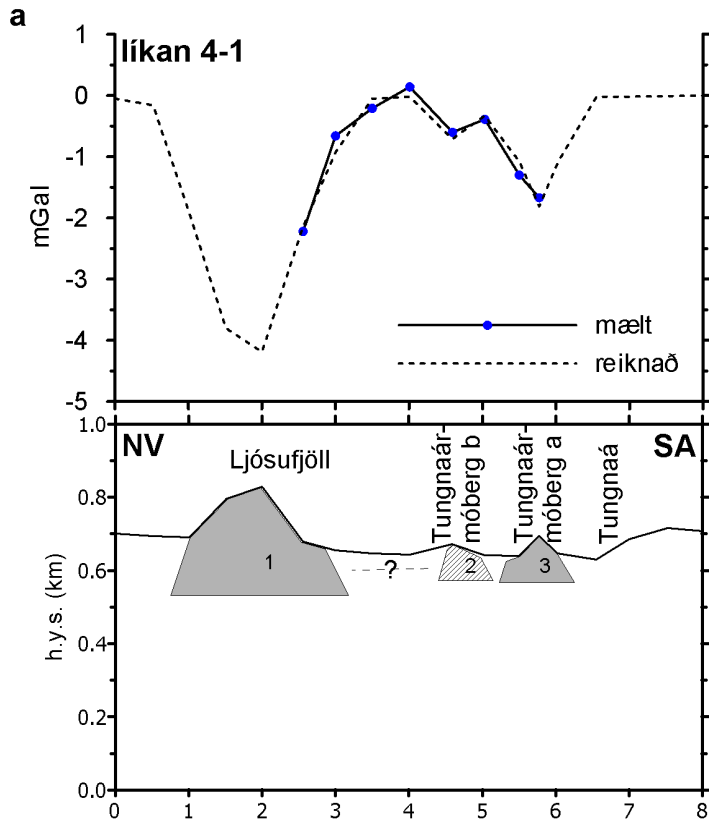
Af dýpi niður á móbergsmýndanir, þykkt gígmyndanna frá upphafi nútíma og niðurröðun jarðlaga á austasta hluta svæðisins má ráða að þykkt nútímahrauna sé 40-100 m norðanvestan til, og 30-60 m við Heljargjá og milli hryggja austan Ljósufjalla. Milli Ljósufjalla og í



7. mynd. Lína 2, líkan af Bouguer frávik. Númer bergskrokka vísa til töflu í Viðauka A.



8. mynd. Lína 3, líkan af Bouguer frávik. Númer bergskrokka vísa til töflu í Viðauka A.



- 2200, túffrikt móberg
- 2400, bólstraberg
- 2600, nútímahraun/bakgrunnur
- - - - - áætlað yfirborð við upphaf niðurlags

9. mynd. Lína 4, líkön af Bouguer fráviki.
Númer bergskrokka vísa til töflu í Viðauka A.

Drekamyndunar eru um 100 m þykk hraun. Á svæði 1-3 km suðaustan JV01 gæthraunþykkt einnig verið um eða yfir 100 m.

6.3. Lína 3

Línan er mun styttri en línur 1 og 2 og túlkun einfaldari (8. mynd). Gjáfjöll virðast mjög lítið grafin í hraun, enda eru nútímahraun aðeins um 40 m þykk í JV03 (2. mynd). Milli JV03 og Gjáfjalla virðist liggja algrafin bólstramyndun og liðast frávik vegna hennar saman við frávik sem gætu tengst Gjáfjöllum. Dýpi niður á þessa myndun er ekki vel ákvarðað. Flákar þaktir jökulbergi 2-3 km norðvestan JV03 eru í raun kollur á hrygg sem nánast er að fullu grafinn í yngri myndanir. Hann liggur í framhaldi af þykkum gröfnum móbergsmýndunum í línunum 1 og 2.

6.4. Lína 4

Líkön af frávikinu eru á 9. mynd. Þar sem mælingin nær aðeins upp í hlíð Ljósufjalla gefur hún ekki fullar upplýsingar um frávik tengt fjöllum. Tveir möguleikar eru gefnir. Í (a) er gert ráð að bæði Ljósufjöll og Tungnaármóberg a séu að mestu úr túffi. Í (b) er reiknað með að bólstrar taki við neðan hraunayfirborðs. Ættu líkönin að gefa efri og neðri mörk á þykkt myndananna. Í (a) eru Ljósufjöll grafin í um 100 m stafla af yngri hraunum en bæði Tungnaármóberg a og b í 70-80 m stafla. Í (b) er dýpið mun meira, yfir 200 m fyrir Ljósufjöll og 100-150 m fyrir Tungnaármóberg a. Ekki er hægt að segja til um hve mikill hluti þessa hraunastafla er frá nútíma.

6.5. Samantekt

6.5.1. Þykktir nútímahrauna

Þykkt hraunastaflans frá nútíma virðist á fæstum stöðum ná 100 m. Er líklegt að meðalþykktin á svæðinu sé varla yfir 50 m. Mestu hraunþykktir virðast vera á stöðum þar sem nokkurt aðhald er eins og milli Drekamyndunar og Ljósufjalla. Lausleg áætlun fyrir rúmmál nútímahrauna á svæði sem nær frá Klofnafelli að suðvestan til Jökulheima að norðaustan, og afmarkast af Köldukvísl að norðvestan og Tungnaá að suðaustan, er 11-15 km³.

6.5.2. Þykkt móbergsmýndanna

Gróflega má skipta myndunum í þrjá flokka út frá því hve hlutfallslega mikið þær eru grafnar í hraun og aðrar yngri myndanir.

Lítið grafnar (30-70 m): Útigönguhöfði, Gjáfjöll, Snjóöldumyndun.

Nokkuð grafnar (70-200 m): Vatnsfellsmyndun, Austurbotsmyndun, Drekamyndun, Ljósufjöll, Tungnaármóberg a.

Mikið grafnar (>200 m): Ósöldumyndun, grafnir hryggir norðan Gjáfjalla, grafinn hryggur vestan Mána.

Í stórum dráttum virðist þessi skipting falla að afstæðri aldursröðun samkvæmt jarðfræðikortum (Elsa G. Vilmundadóttir og fl. 1988; 1990a, b).

6.5.3. Sigdalir og gígar

Heljargjá er tengd töluverðri þyngdarlægð sem skýra má með auknum poruhluta efsta hluta jarðskorpunnar vegna sprungna en einnig með uppsöfnun móbergsmýndanna á

jökulskeiðum. Mælingarnar benda til að gjóskugígjaröðin sem Saxi, Fontur og Máni tilheyrir sé að stórum hluta grafin í nútímahraun. Aðeins stærstu gígarnir eru enn sjáanlegir. Hraunaþykkt við gígana er nú 50-70 m svo gígjaröðin hefur risið 50-200 m yfir umhverfið í lok gossins, ekki ósvipað því sem Vatnaöldur gera í dag. Dálítið frávik tengist Veidivatnasprungunni þar sem lína 1 liggur yfir hana (5. og 6. mynd).

6.5.4. Rennsli grunnvatns

Gjóskugígjaröðin í Heljargjá hefur lágan eðlismassa og háan poruhluta, auk þess sem svæðið er töluvert sprungið. Heljargjá ætti því verið mjög góður vatnsleiðari. Sé samfelldur móbergs- eða bólstrahryggur frá Þórisvatni yfir til Gjáfjalla í framhaldi Vatnsfells- og eða Austurbotnsmyndunar gæti hann að einhverju leyti stýrt rennsli grunnvatns til suðvesturs. Sama gildir um sennilegt framhald Útigönguhöfða til norðurs, en Bjarni Kristinsson og Árni Hjartarson (1985) bentu á að slíkur hryggur gæti verið skýring á hegðun grunnvatns á svæðinu. Rétt er að taka fram að mælingar okkar eru alls ekki nógu þéttar til að segja til um hvort hryggirnir séu samfelldir.

7. LOKAORÐ

Þær aðferðir sem hér hafa verið notaðar til að meta þykktir hrauna og móbergsmýndana höfðu áður verið notaðar á svæðinu milli Þingvalla og Langjökuls (Magnús T. Guðmundsson og fl. 2000). Svæðið norðan og austan Þórisvatns er mun flóknara við að eiga, hraunaþykktir eru minni, móbergsmýndanir eru fleiri auk þess sem gjóskugígjar og tektónískar sprungur hafa áhrif á þyngdarfrávikin. Þrátt fyrir þessar aðstæður fást nokkuð skýrar niðurstöður víðast hvar. Skiptir þar miklu máli að hægt er að styðjast við ýtarleg jarðfræðikort. Nánast öll frávik sem fram koma virðast eiga sér skýringu í gröfnum móbergsmýndunum eða gígum. Sýnir þetta að hægt er að nota þyngdarmælingar til að kanna margskonar jarðlagaskipan þar sem skiptast á móbergsmýndanir og hraun. Forsenda þess er þó sú að skipan jarðmyndanna á yfirborði sé sæmilega vel þekkt.

8. HEIMILDIR

Christensen, N.I., og R.H. Wilkens. 1982. Seismic properties, density, and composition of the Icelandic crust near Reyðarfjörður. *J. Geophys. Res.* 87, 6389-6395.

Bjarni Kristinsson og Árni Hjartarson. 1985. Þórisvatn ekkert blávatn. *Jarðfræðirannsóknir* 1984. Orkustofnun, Vatnsorkudeild. 77 bls.

Elsa G. Vilmundardóttir, Snorri Páll Snorrason, Guðrún Larsen og Ágúst Guðmundsson. 1988. Berggrunnskort, Sigalda-Veiðivötn, 3340 B. Orkustofnun Vatnsorkudeild og Landsvirkjun, Reykjavík.

Elsa G. Vilmundardóttir, Freysteinn Sigurðsson, Guðrún Larsen og Ingibjörg Kaldal. 1990a. Sigalda-Veiðivötn, berggrunnur-jarðgrunnur-vatnafar. Orkustofnun, Vatnsorkudeild – Landsvirkjun. 18 bls.

Elsa G. Vilmundardóttir, Ágúst Guðmundsson, Snorri Páll Snorrason og Guðrún Larsen. 1990b. Berggrunnskort, Botnafjöll, 1913 IV, 1:50.000. Landmælingar Íslands, Orkustofnun og Landsvirkjun.

Elsa G. Vilmundardóttir, Snorri Páll Snorrason, Guðrún Larsen og Bessi Aðalsteinsson. 1999. Berggrunnskort Tungnaárjökull 1913-I-B, 1:50.000, Orkustofnun og Landsvirkjun, Reykjavík.

Elsa G. Vilmundardóttir, Snorri Páll Snorrason og Guðrún Larsen. 2000. Berggrunnskort af móbergssvæðum suðvestan Vatnajökuls, 1:50.000, Orkustofnun og Landsvirkjun, Reykjavík.

Guðrún Larsen. 1984. Recent volcanic history of the Veiðivötn fissure swarm, Southern Iceland – an approach to volcanic risk assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 22, 33-58.

Gunnar Þorbergsson, Ingvar Þór Magnússon og Guðmundur Pálmason. 1990. Þyngdarmæligögn og þyngdarkort af Íslandi. Orkustofnun. 50 bls.

Ingibjörg Kaldal, Elsa G. Vilmundardóttir og Guðrún Larsen. 1990. Jarðgrunnskort, Botnafjöll, 1913 IV, 1:50.000, Landmælingar Íslands, Orkustofnun og Landsvirkjun.

Magnús T. Guðmundsson. 1992. The geophysical structure of the subglacial Grímsvötn volcano, Vatnajökull, Iceland, from multiparameter geophysical surveys. PhD thesis, University of London (óútg.). 230 bls.

Magnús T. Guðmundsson og John Milsom. 1997. Gravity and magnetic studies of the subglacial Grímsvötn volcano, Iceland: Implications for crustal and thermal structure. *J. Geophys. Res.*, 102, 7691-7704.

Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir og Sveinn P. Jakobsson. 2000. Hraun og móbergsmýndanir sunnan Langjökuls. Niðurstöður þyngdarmælinga. Raunvísindastofnun Háskólans, RH-28-2000, 37 bls.

Magnús Tumi Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir. 2001. Gravity surveying 1988-2001: Central volcanoes in the eastern volcanic zone and hyaloclastite regions in the western volcanic zone. Raunvísindastofnun Háskólans, RH-22-2001, 57 bls.

Ómar Sigurðsson og Valgarður Stefánsson. 1994. Forðafræðistuðlar. Mælingar á bergsýnum. Orkustofnun, OS-94049/JHD-28B. 35 bls.

Pedley, R.G., J.P. Bushby og Z.K. Dabek. 1997. Gravmag user manual. Interactive gravity and magnetic modelling. British Geological Survey. 73 bls.

Rasmussen, R., og L.B. Petersen. 1979. End corrections in potential field modelling. *Geophys. Prosp.*, 27, 749-760.

Schleusener, A., W. Torge and H. Drewes. 1976. The gravity field of northeastern Iceland. *J. Geophys.*, 42, 27-45.

Svanur Pálsson, Guðmundur I. Haraldsson og Guðmundur H. Vigfússon. 1984. Eðlismassi og poruhluti bergs. Orkustofnun OS-84048/VOD-18B. 35 bls.

Vanícek, P., og E.J. Krakiwsky. 1986. Geodesy: the concepts. 2. útg. North Holland Publishing Company, Amsterdam. 697 bls.

VIÐAUKI A: EÐLISMASSAR OG LENGDIR BERGSKROKKA Í LÍKÖNUM

Líkan 1-1 (5. mynd)

Skrokkur nr.	ρ kg m ⁻³	lengd þvert á mæilínu km
1	2400	∞
2	2400	1
3	2200	1
4	2400	2
5		
6	2360	2
7	2200	2
8	2200	1
9	2400	2
10	2000	1
11	2000	1
12	2200	2
13	2400	5
14	2200	1

Líkan 1-2 (6. mynd)

Skrokkur nr.	ρ kg m ⁻³	lengd þvert á mæilínu km
1	2400	∞
2	2400	1
3	2200	1
4	2400	2
5		
6	2360	2
7	2200	2
8	2200	1
9	2400	2
10	2000	1
11	2000	1
12	2200	2
13	2400	5
14	2560	∞
15	2200	1

Líkan 2 (7. mynd)

Skrokkur nr.	ρ kg m ⁻³	lengd þvert á mæilínu km
1	2400	∞
2	2560	∞
3		
4	2200	2
5	2400	10
6	2200	1
7	1800	1
8	1800	1
9	2400	2
10	2400	2
11	2400	1
12	2360	1
13	2400	1
14	2200	2

Líkan 3 (8. mynd)

Skrokkur nr.	ρ kg m ⁻³	lengd þvert á mæilínu km
1	2400	2
2	2400	2
3	2400	2

Líkan 4-1 (9. mynd a)

Skrokkur nr.	ρ kg m ⁻³	lengd þvert á mæilínu km
1	2200	3
2	2400	1
3	2200	1

Líkan 4-2 (9. mynd b)

Skrokkur nr.	ρ kg m ⁻³	lengd þvert á mæilínu km
1	2200	3
2	2400	1
3	2400	5
4	2400	3
5	2400	1

VIÐAUKI B: ÞYNGDARMÆLIPUNKTAR

Í töflunni hér á eftir eru skráðir allir mælipunkturar sem safnað hefur verið á svæðinu ári 2002.

Skýringar:

g_{abs} : mæld þyngdarhröðun í punktinum í mGal

Viðm.stöð: Ein viðmiðunarstöð var notuð:
HALD.

$g_{HALD} = 982176.585$ mGal (Gunnar Þorbergsson og fl., 1990)

Mæl.maður: MTG: Magnús Tumi Guðmundsson.

Mæl.tæki: CG-3M: Scintrex mælir OS, RH, LMÍ, VÍ og NORVOL

Δh óvissa í hæðarmælingu. Allir punktarnir eru mældir með DGPS með submeter nákvæmni. Óvissa í punktmælingu er hér talin 2 m, sem er nærri 95% öryggismörkum miðað við reynslu af Vatnajökli og víðar.

g_{FA} : Free-air frávík.

dg_{TU} Bouguer frávík, $r=2600$ kg m⁻³.

T_{B-C} Landslagsleiðrétting fyrir Hammerreiti B-C

* Leiðrétting í landlíkani með 25 m möskva stærð

NAFN	BREIDD °N	LENGD °V	HÆÐ M Y.S.	g_{abs} mGal	DAGS Á M D	VIÐM. STÖÐ	MÆL. MÆÐUR	MÆLIR	Δh m	dg_{TU} mGal	g_{FA} mGal	T_{B-C} mGal
Veiðivötn 2002												
W01	64.35371	18.76445	578.7	982117.17	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-10.92	52.06	0.00
W02	64.34927	18.75949	580.2	982117.17	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-10.36	52.85	0.00
W03	64.34562	18.75469	576.4	982117.88	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-10.06	52.63	0.00
W04	64.34222	18.74796	584.2	982117.11	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-9.05	54.51	0.00
W05	64.33886	18.74117	587.7	982116.84	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-8.44	55.58	0.00
W06	64.33548	18.73423	593.5	982116.30	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.37	57.08	0.00
W07	64.33126	18.72994	601.1	982115.88	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-6.00	59.32	0.00
W08	64.32710	18.72475	600.8	982115.74	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-5.92	59.34	0.00
W09	64.32363	18.71922	599.4	982116.11	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-5.47	59.53	0.00
W10	64.32212	18.71448	604.8	982114.82	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-5.17	60.03	0.00
W11	64.31848	18.70959	705.3	982093.61	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-5.76	70.07	0.00
W12	64.31459	18.70479	702.8	982093.92	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-5.96	69.93	0.00
W13	64.31122	18.69818	715.4	982091.67	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-5.20	71.76	0.05
W14	64.30660	18.69238	618.7	982110.36	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-6.08	60.97	0.00
W15	64.30374	18.68485	617.2	982111.99	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-4.65	62.34	0.00
W16	64.29950	18.68430	616.5	982112.46	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-4.13	62.89	0.00
W17	64.29483	18.67720	668.4	982100.34	020410	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-5.09	67.10	0.05
W18	64.29461	18.67695	670.1	982100.28	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-4.76	67.58	0.10
W19	64.29150	18.67307	630.4	982108.12	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-4.97	63.41	0.00
W20	64.28743	18.66770	610.5	982112.74	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-4.13	62.14	0.00
W21	64.28411	18.66040	610.9	982112.16	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-4.40	61.93	0.00
W22	64.28125	18.65657	612.7	982111.51	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-4.53	62.03	0.05
W23	64.27754	18.64762	612.0	982110.56	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-5.32	61.18	0.00
W24	64.27393	18.64026	607.7	982111.50	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-5.00	61.04	0.00
W25	64.27015	18.63416	620.9	982108.49	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-5.16	62.35	0.00
W26	64.26631	18.63013	626.7	982107.83	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-4.27	63.73	0.00
W27	64.26324	18.62701	597.0	982113.80	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-4.07	60.79	0.05
W28	64.25990	18.62103	614.1	982110.72	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-3.56	63.23	0.00
W29	64.25663	18.61655	615.7	982111.23	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-2.54	64.42	0.00
W30	64.25255	18.61016	602.8	982114.84	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-1.13	64.36	0.00
W31	64.24853	18.60418	604.9	982112.76	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-2.54	63.24	0.05
W32	64.24461	18.59818	615.6	982111.39	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-1.40	65.42	0.00
W33	64.24113	18.58919	621.3	982110.15	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-1.29	66.19	0.00
W34	64.23748	18.58642	613.4	982111.84	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-0.84	65.69	0.00
W35	64.23396	18.58164	615.4	982110.73	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-1.31	65.45	0.00

NAFN	BREIDD °N	LENGD °V	HÆÐ M Y.S.	g_{abs} mGal	DAGS Å M D	VIÐM. STÖÐ	MÆL. MAÐUR	MÆLIR	Δh m	dg_{TU} mGal	g_{FA} mGal	$T_{\text{B-C}}$ mGal
W36	64.23029	18.57441	618.2	982110.87	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-0.34	66.71	0.00
W37	64.22614	18.56913	622.3	982110.34	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	0.13	67.76	0.00
W38	64.22263	18.56285	612.7	982112.58	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	0.76	67.29	0.00
W39	64.21812	18.56172	611.2	982112.39	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	0.78	66.94	0.00
W40	64.21523	18.55608	607.8	982112.99	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	1.77	66.68	0.10
W41	64.22730	18.44202	631.7	982105.49	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-2.58	65.74	0.10
W42	64.23090	18.44904	617.7	982108.96	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-2.30	64.64	0.00
W43	64.23461	18.45529	617.4	982109.07	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-2.44	64.35	0.00
W44	64.23899	18.46112	639.5	982104.36	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-2.92	66.15	0.00
W45	64.24256	18.47254	641.3	982104.80	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-2.69	66.90	0.10
W46	64.24674	18.47880	643.5	982103.51	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-3.67	66.04	0.00
W47	64.25025	18.48499	653.5	982101.96	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-3.75	67.32	0.00
W48	64.25432	18.49092	679.3	982095.77	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-4.71	68.78	0.05
W49	64.25771	18.49555	709.4	982088.55	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-5.98	70.60	0.15
W50	64.26215	18.50175	650.9	982100.40	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-6.18	64.08	0.05
W51	64.26539	18.50818	649.5	982101.37	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-6.09	64.37	0.00
W52	64.26854	18.51388	650.4	982101.73	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-5.81	64.82	0.00
W53	64.27266	18.51964	650.0	982101.60	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-6.34	64.26	0.00
W54	64.27628	18.52666	645.6	982101.96	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.25	63.01	0.00
W55	64.28162	18.52891	647.5	982101.16	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.95	62.42	0.00
W56	64.28699	18.52825	651.8	982101.27	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.33	63.48	0.00
W57	64.28869	18.53303	630.5	982105.74	020821	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.13	61.25	0.05
W57a	64.28868	18.53297	631.7	982105.63	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.10	61.51	0.05
W58	64.28980	18.54259	645.0	982101.30	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-8.72	61.22	0.05
W59	64.29301	18.55013	644.0	982103.01	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.69	62.37	0.00
W60	64.29612	18.55854	649.4	982100.66	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-9.05	61.50	0.00
W61	64.30023	18.56248	645.5	982102.79	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-8.09	62.11	0.00
W62	64.30386	18.56974	640.3	982104.01	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-8.06	61.48	0.00
W63	64.30738	18.57629	636.1	982105.48	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.61	61.41	0.00
W64	64.31042	18.58318	635.1	982106.07	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.60	61.44	0.00
W65	64.31411	18.58938	632.0	982107.04	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.58	61.20	0.00
W66	64.31775	18.59588	630.1	982108.05	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.12	61.38	0.00
W67	64.32081	18.60322	630.0	982109.31	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-6.10	62.42	0.05
W68	64.32388	18.61082	627.3	982110.15	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-6.04	62.17	0.00
W69	64.32678	18.61870	623.1	982111.61	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-5.75	62.14	0.00
W70	64.33055	18.62843	610.6	982113.59	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-6.25	60.02	0.00
W71	64.33486	18.62950	617.5	982112.29	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-6.58	60.53	0.00
W72	64.33872	18.63157	616.9	982112.01	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.41	59.76	0.00
W73	64.34310	18.63730	615.4	982112.17	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.73	59.15	0.00
W74	64.34989	18.63670	614.5	982112.33	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-8.29	58.59	0.00
W75	64.35375	18.64264	603.6	982114.38	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-8.53	56.96	0.00
W76	64.36090	18.64560	596.2	982116.09	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-8.88	55.89	0.00
W77	64.36391	18.65586	594.0	982116.12	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-9.55	55.05	0.00
W78	64.36668	18.66425	587.8	982117.19	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-9.77	54.02	0.00
W79	64.36965	18.67057	608.4	982112.07	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-11.17	55.01	0.00
W80	64.37336	18.67544	602.4	982113.72	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-10.88	54.55	0.00
W81	64.37582	18.67819	588.2	982116.49	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-11.04	52.75	0.05
W82	64.39500	18.50511	647.6	982100.21	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-16.89	53.43	0.00
W83	64.39113	18.50039	653.4	982098.82	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-16.77	54.15	0.00
W84	64.38754	18.49280	660.0	982097.55	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-16.46	55.16	0.00
W85	64.38436	18.49029	663.5	982096.43	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-16.52	55.38	0.00
W86	64.38290	18.48724	663.2	982096.36	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-16.68	55.28	0.05
W87	64.38062	18.48294	704.2	982087.88	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-14.98	59.64	0.05
W88	64.39857	18.51399	640.0	982102.70	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-16.18	53.33	0.00
W89	64.40223	18.52002	640.1	982102.78	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-16.32	53.19	0.00
W90	64.40568	18.52745	628.4	982104.20	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-17.46	50.75	0.05
W91	64.40881	18.53793	622.6	982105.04	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-18.08	49.61	0.05
W92	64.41219	18.54546	614.9	982106.11	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-18.64	48.06	0.00
W93	64.41703	18.55049	617.6	982106.18	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-18.43	48.65	0.00
W94	64.42135	18.55401	615.8	982107.22	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-18.12	48.82	0.00
W95	64.42391	18.55683	607.6	982109.33	020822	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-17.77	48.21	0.05
W96	64.29405	18.37223	679.0	982092.53	020823	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-9.74	62.63	0.05
W97	64.28825	18.37177	655.1	982098.64	020823	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.33	61.80	0.05

NAFN	BREIDD °N	LENGD °V	HÆÐ M Y.S.	g_{abs} mGal	DAGS Á M D	VIÐM. STÖÐ	MÆL. MÆÐUR	MÆLIR	Δh m	dg_{TU} mGal	g_{FA} mGal	T_{B-C} mGal
W98	64.28573	18.36312	645.8	982101.82	020823	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.61	62.24	0.00
W99	64.28273	18.35507	643.3	982102.84	020823	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.01	62.73	0.00
W100	64.27910	18.34659	671.9	982096.22	020823	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.37	65.20	0.10
W101	64.27679	18.33917	640.8	982102.93	020823	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-6.92	62.50	0.00
W102	64.27365	18.33268	640.2	982102.22	020823	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.60	61.79	0.10
W103	64.27223	18.32808	693.5	982089.58	020823	HALD	MTG	CG-3M	2 *	-7.74	65.72	0.15

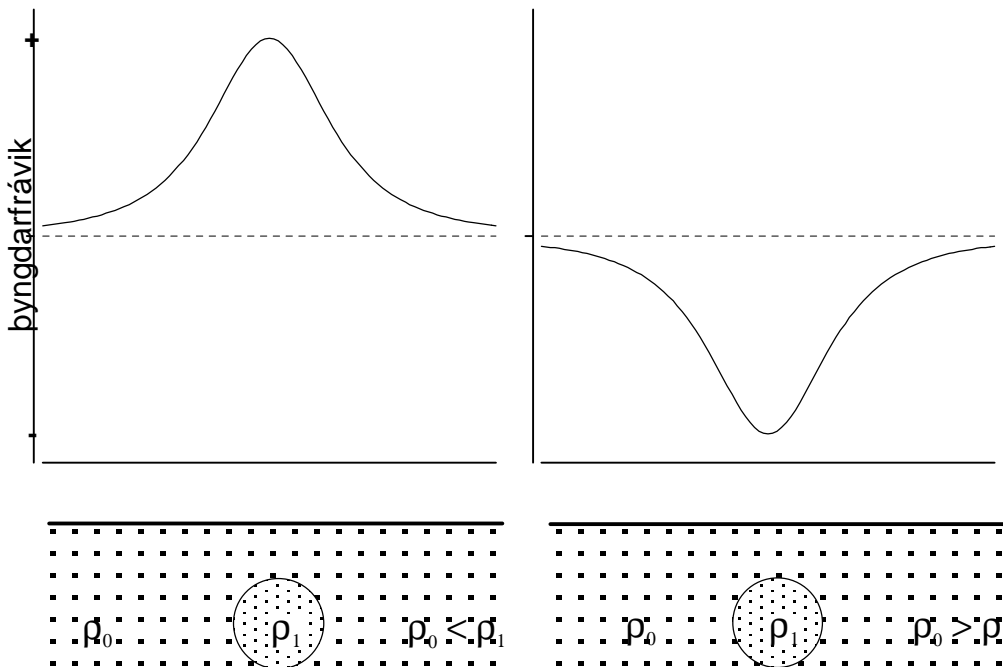
VIÐAUKI C: ÞYNGDARMÆLINGAR

Í stórum dráttum er aðdráttarafl þyngdarsviðs jarðar eins og frá kúlu. Þyngdarsvið einsleitrar kúlu er eins og að allur massi hennar væri samankominn í einum punkti í miðju hennar. Þyngdarhröðun að kúlunni er þá aðeins háð fjarlægð frá miðju, r , og er lýst með jöfnunni:

$$g = G m/r^2 \quad (1)$$

Þar sem $G = 6.673 \cdot 10^{-11} \text{ N kg}^{-2} \text{ m}^2$, og m er massi kúlunnar. Á yfirborði jarðar lætur nærri að $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$.

Jörðin er ekki fullkomin kúla. Hún er teygð um miðbaug og hefur því lögum sporvölu. Þá valda óreglur í jarðlagaskipan frávikum í þyngdarhröðun vegna mismunandi eðlismassa jarðlaga. Þessar tiltölulega litlu óreglur eru oft viðfangsefni í jarðeðlisfræðilegum athugunum og veita upplýsingar um jarðlögin. Þyngdarfrávik veita upplýsingar um gerð jarðskorpunnar og efsta hluta möttulsins. Dæmi um fyrirbæri sem valda frávikum eru innskot í jarðskorpunni, staflar setlaga og eldfjöll. Sé eðlismassi jarðmyndunar lægri en bergsins umhverfis veldur myndunin lægð í þyngdarsviðinu, sé eðlismassinn hærri orsakar myndunin þyngdarháð.



Grunneining hröðunar í SI kerfinu er m s^{-2} . Frávikin sem mælast á yfirborði jarðar eru mörgum stærðargráðum minni en þyngdarhröðun vegna massa jarðar. Því er notast við eininguna mGal, þar sem $1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm s}^{-2} = 0.01 \text{ m s}^{-2}$, svo $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m s}^{-2}$. Algeng þyngdarfrávik sem mælast á yfirborði jarðar eru 0.1-100 mGal.

Þyngdarmælar mæla breytingu í þyngdarhröðun frá einum stað til annars. Verkun flestra þyngdarmæla byggist á því að massi hangir í gormi, þyngdarkraftur jarðar togar í massann og veldur þannig lengingu gormsins. Massi lóðsins er þekktur, þ.a. breytileiki í

Þyngdarkraftinum frá einum stað til annars, kemur fram sem mismunandi lengd gormsins. Breytileikinn sem mæla skal er oft lítill, ≥ 0.01 mGal eða $\geq 10^{-8}$ af þyngdarhröðun jarðar. Þyngdarmælar eru því mjög nákvæm tæki þar sem fjaðureiginleikar gormsins þurfa að vera þekktir með mikilli nákvæmni.

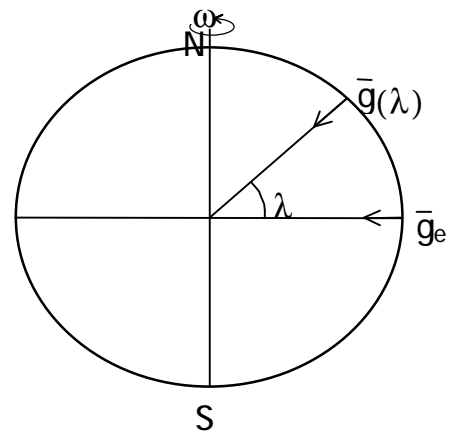
Þyngdarleiðréttingar

Stærsta fráviknið frá kúlulögun er teygning jarðarinnar vegna snúnings hennar um eigin ás. Rádíus jarðar við miðbaug er 6378.14 km en á pólunum er hann 6356.75 km. Svæði sem liggja nærri pólunum eru því nær miðju jarðar en svæði nærri miðbaug. Þá verkar miðflóttakraftur á alla hluti á yfirborði jarðar, en hann er háður fjarlægð frá snúningsásnum. Samanlagt valda mismunandi fjarlægð frá miðju jarðar og miðflóttakraftur því, að þyngdarhröðun er 9.83 m s^{-2} við pólana en fellur niður í 9.78 m s^{-2} á miðbaug. Meðalþyngdarhröðun á yfirborði jarðar er því háð breiddargráðu og er sambandinu lýst með alþjóðlegu þyngdarsviðsjöfnunni

$$g_n(\lambda) = 9.7803185 \text{ m s}^{-2} (1 + 5.278895 \cdot 10^{-3} \sin^2 \lambda + 2.3462 \cdot 10^{-5} \sin^4 \lambda) \quad (2)$$

Í þyngdarmælingum þarf að taka tillit til flóðkrafta frá tungli og sólu. Þeir eru lotubundnir og við Ísland verða flóð og fjara tvisvar á sólarhring. Á Íslandi valda flóðkraftar breytingum sem nema u.þ.b. 0.1 mGal. Við úrvinnslu þyngdarmælinga er ávalt leiðrétt fyrir flóðkröftum.

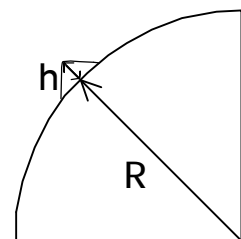
Auk frávika vegna breiddargráðu og flóðkrafta er þyngdarhröðunin háð hæð yfir sjó. Þau tengsl er auðvelt að skilja þegar haft er í huga að með vaxandi hæð verður fjarlægðin að miðju jarðar meiri. Hægt er að leiðrétta fyrir áhrifum hæðarinnar og gæti sú leiðrétting heitið hæðarleiðrétting (enska: free air correction). Í enska heitinu er vísað til þess að aðeins er leiðrétt fyrir aukinni fjarlægð frá miðju jarðar (hæð yfir sjávarmáli) en ekki er tekið tillit til massa bergs ofan sjávarmáls. Hæðarleiðréttingin fæst með jöfnunni



$$\delta g_{FA} = 0.3086 \cdot h \quad (\text{mGal}) \quad (3)$$

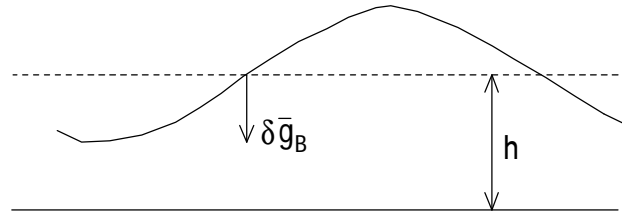
Hún er alltaf lögð við mælt gildi og er jákvæð fyrir mælingar á landi ofan sjávarmáls en getur verið neikvæð í mælingum neðan sjávarmáls, t.d. í námum eða á hafsbotni.

Eftir að búið er að leiðrétta mælt gildi (g_{obs}) fyrir breytileika vegna beiddargráðu (2), flóðkröftum og hæð yfir sjó (3) verður til free-air frávik:



$$g_{FA} = g_{obs} - g_n + \delta g_{FA} \quad (4)$$

Við skoðun á free-air fráviki kemur í ljós að á landi fylgir frávikið landslaginu, þ.e. hæðir verða yfir fjöllum en lægðir yfir dölum. Ástæðan er sú að búið er að leiðréttu fyrir mismunandi fjarlægð frá miðju jarðar (hæð yfir sjó) en ekki hefur



verið tekið tillit til massa bergsins ofan sjávarmáls. Sá massi verkar til hækkunar þyngdarhröðunar og sú hækkun er því meiri sem hæðin er meiri. Hér kemur til sögunnar svokölluð Bouguer leiðrétting. Hefðbundna leiðin er að reikna þyngdaráhrif (hröðun) vegna óendanlega víðrar plötu með þykkt jafna hæð mælistaðar yfir sjó (h). Síðan er gerð viðbótarleiðrétting (T: landslagsleiðrétting) þar sem áhrif frávika landslags frá sléttri plötu eru metin. Áhrif Bouguer plötunnar eru dregin frá free-air frávikinum en landslagsleiðréttingin er hins vegar alltaf jákvæð.

$$\delta g_B = 2\pi G \rho h \quad (5)$$

Þegar Bouguer leiðréttingin er dregin frá free-air frávikinum fæst svonefnt einfalt Bouguer frávík, en yfirleitt er gerð full Bouguer leiðrétting og landslagsleiðréttingin tekin með líka. Fullt Bouguer frávík verður því:

$$g_B = g_{\text{obs}} - g_n + \delta g_{\text{FA}} - \delta g_B + T$$

eða

$$g_B = g_{\text{obs}} - g_n + 0.3086h - 2\pi G \rho h + T \quad (6)$$

Með tilkomu tölva og stafrænna landlíkana er nú orðið algengt að sameina Bouguer og landslagsleiðréttinguna með því að finna þyngdaráhrif massa ofan sjávarmáls með heildun:

$$\delta g_B = \iint_A \delta g_{xy}(\rho) dx dy \quad (\approx 2\pi G \rho h - T) \quad (7)$$

Hér eru $\delta g_{xy}(\rho)$ þyngdaráhrif frá rétthyrndri blokk með eðlismassa ρ og hliðarlengd dl , þar sem dl er bil milli punkta í starfræna landlíkaninu. A er svæðið sem heildað er yfir, sem oft er ferningur með hliðarlengd á bilinu 40 til 200 km með mælipuntinn í miðju. Þá verður Bouguer frávikið

$$g_B = g_{\text{obs}} - g_n + 0.3086h - \iint_A \delta g_{xy}(\rho) dx dy. \quad (8)$$

Eðlismassinn ρ er fundinn með ýmsum aðferðum sem ekki verður farið út í hér. Töluverður munur er á eðlismassa bergs á Íslandi. Í elstu hlutum landsins, á Austurlandi, Norðurlandi og Vestfjörðum, virðist meðaleðlismassi jarðlaga ofan sjávarmáls vera nærri 2700 kg m^{-3} , meðan eðlismassi $2100\text{-}2500 \text{ kg m}^{-3}$ fellur betur að jarðlögum innan gosbeltanna.

Niðurstöður þyngdarmælinga eru yfirleitt settar fram sem kort, t.d. af Bouguer fráviki á einhverju tilteknu landsvæði. Slíkt kort sýnir þá frávik þyngdarsviðsins frá meðalsviði. Einnig er algengt að nota þversnið, eins og gert er í þessari skýrslu. Túlkun þyngdarmælinga er t.d. gerð með því að líkja eftir mælda sviðinu með einföldum líkönum. Í þessari skýrslu eru fundin áhrif flatrar plötu með tiltekna þykkt, lengd og breidd.