

**Segulmælingar á sjó við Reykjavík  
1997-1999**

**Karl Gunnarsson**

**Greinargerð KG-99-02**

1999-12-13

## SEGULMÆLINGAR Á SJÓ VIÐ REYKJAVÍK 1997-1999

### ÚTDRÁTTUR

Greint er frá segulmælingum á sjó norðan Reykjavíkur, sem gerðar voru árin 1997, 1998 og 1999. Hér er birt kort sem sýnir segulsviðið, og annað sem sýnir reiknaðan stigul segulsviðsins. Mælingarnar endurspeglar í stórum dráttum þá mynd sem fyrr mátti sjá í flugsegulmælingum í 150 og 500 m hæð, en upplausnin er stærðargráðu betri þar sem mælt er nærri berggrunni og með 30-50 m línubili. Þetta gefur mun betri upplausn og upplýsingar um smágerðari drætti jarðlagabyggingar, svo sem einstaka ganga og brot í yfirborði berggrunnsins. Sjá má kraðak af sterkum neikvæðum frávikum sem stafa einkum af öfugt segulmögnum innskotum á svæðinu við og innan við Viðey. Innskotin mynda mjög áberandi sveig sem gengur norður fyrir vestan Viðey og sveigist austur að Þerney við Álfnæs. Þvermál þessa hálfhrings er 6-7 km, og túlka mætti þetta fyrirbæri sem öskjurima. Einnig má sjá hluta af vesturjaðri Kjalarnesöskjunnar, en Viðeyjaraskjan leggst yfir hana.

### 1. INNGANGUR

Á undanfarandi árum hefur verið unnið við öflun og úrvinnslu þyngdar- og segulgagna á Reykjavíkursvæðinu, að tilstuðlan Orkuveitu Reykjavíkur. Helstu gögn sem nú liggja fyrir eru þyngdamælingar (Þorbergsson o.fl., 1990; Einar H. Haraldsson, 1994) og flugsegulmælingar í 150 m hæð (Hunting Survey Corporation, 1967) og 500 m hæð (Geirfinnur Jónsson og Leó Kristjánsson, 1994). Þessi gögn sýna einkum stærri drætti jarðlagagerðar, einingar sem eru hundruð metra eða kílómetri að umfangi. Þá eru einnig nokkur segulmæligögn af landi, kort frá 1959 og ýmsar strjál- ar könnunarflúr á Laugarnessvæðinu. Öllum þessum gögnum voru gerð nokkur skil í skýrslu Orkustofnunar eftir Karl Gunnarsson (1997b).

Árið 1997 voru hafnar segulmælingar á sjó í Elliðavogi og Kleppsvík í þeim tilgangi að kanna hvort afla mætti nýrra og nákvæmari upplýsinga um jarðlagagerð svæðisins með segulmælingum í lítilli hæð (sjá bráðabirgðaniðurstöður hjá Karli Gunnarssyni, 1997d). Markmiðið var einkum að kortleggja tektóníska drætti í berggrunninum, þ.e. innskot og brot. Mælingar á sjó urðu fyrir valinu vegna þess að þar má ná samfelldum ótrufluðum gögnum á tiltölulega hagkvæman hátt. Væntanlega má draga af þeim almennar ályktanir um jarðlaga gerð og jarðhitasvæði höfuðborgarinnar, enda er t.d. Laugarnessvæðið við ströndina.

Þess má einnig geta hér að sumarið 1997 var segulmælt á sundinu milli Geldinganes og Gunnuness í tengslum við könnun á vegarstæði fyrirhugaðrar Sundabrautar (Karl Gunnarsson, 1997c). Þar voru einnig gerðar bylgjubrotsmælingar (Karl Gunnarsson, 1997a) og gefa þær viðbótarupplýsingar um orsakir segulfrávika.

Sumarið 1998 var haldið áfram við mælingarnar og tekið svæði sem náði vestan frá Örfirisey inn í Elliðavog og Eiðsvík, og frá ströndinni norður á móts við norðurenda Viðeyjar og Engeyjar, en heldur skemmra þó til norðurs austan Viðeyjar. Árið 1999 var haldið áfram að víkka mælisvæðið til norðurs, og nær það nú norður að mynni Kollafjarðar, um 2,5 km norður fyrir Viðey. Mæliflúrnar á þessu ári teygjast einnig rúmum 4 km lengra til vesturs. Lengstu línurnar nyrst á svæðinu

eru 14 km langar.

## 2. MÆLINGAR OG MÆLITÆKNI

Við mælingarnar voru notuð ýmis konar farartæki. Sumarið 1997 var notaður tæplega 4 m langur slöngubátur með hörðum botni sem er straummælingabátur í eigu Vatnamælinga Orkustofnunar. Nokkur vandkvæði voru við móttöku leiðréttingamerkja fyrir GPS-staðsetningu, sem komu fram á tilviljanakenndan hátt, að því er virtist. Einnig þurfti að gera tilraunir með ýmis atriði í fyrirkomulagi mælingabúnaðar. Að lokum fengust góðar mælingar, en tafir urðu nokkrar.

Árið 1998 var fyrst gripið til svifnökkva sem er í eigu félagsskapar sem leitað hefur "Gullskipsins" á Skeiðarársandi. Tengsl eru í gegn um Kristinn Kristinsson, sem sá um útgerðina, og fyrir tækið Björgun h.f. Þar sem nökkvi þessi var í boði og upphaflega búinn til þess að stunda segulmælingar, var ákveðið að reyna tækið. Kostir þess felast einkum í því að ekki er hætt á að fleyið taki niðri á grynningum og hraði er góður. Tveir mælingadagar náðust með svifnökkvanum og voru afköst þá góð. Mælt var á hraða milli 30 og 40 km/klst. Aftur á móti kom í ljós að veður og sjólag varð að vera mjög gott svo tækið léti vel að stjórn, svo bíða varð eftir besta veðri. Síðan komu fram alvarlegar bilanir, enda er tækið úr sér gengið. Ljóst er að þessi nökkvi verður ekki notaður aftur til mælinga.

Til að ljúka mælingum 1998 varð aftur að grípa til slöngubáts Vatnamælinga Orkustofnunar. Komist hafði verið fyrir vandkvæði við móttöku leiðréttingamerkja fyrir GPS-staðsetningu og fengust nú hnökralausar mælingar. Á sléttum sjó var hægt að mæla á hraðanum 30 km/klst, en annars á um 10 km/klst. Með bátinum tókst að ljúka áfanganum á tveim dögum.

Ljóst var að tækjabúnaðurinn var vænlegur til frekari notkunar, en stærri bát þyrfti til ef mæla ætti utar í meiri öldu. Sumarið 1999 var því leigður bátur af Gunnari Svani Einarssyni á Stokks-eyri. Báturinn er um 9 m langur slönguhraðbátur, áður í eigu björgunarsveitar á Suðurnesjum. Hörður Jónsson var fenginn til að sjá um skipsstjórn. Karl Gunnarsson og Sigurlaug Hjaltadóttir sáu um mælingar. Siglingahraði var oftast á bilinu 15-30 km/klst.

Mælinúr liggja í austur-vestur stefnu, og bil á milli þeirra er víðast hvar 50 m. Leitast var við að hafa ekki lengra en 10-15 m á milli punkta á línunum. Það samsvarar mælingu með 1-2 s millibili. Í mælingunum 1997 í Elliðavogi og Kleppsvík var bil milli lína 30 m og oftast um 6 m bil milli mælipunkta eftir línu. Nokkrar línur liggja þvert á netið, mest óreglulegar út- og innsiglingar.

Segulmælirinn er prótónumælir af gerðinni Geometrics G-866 og er í eigu fyrrnefndra "Gullskipsleitarmanna". Neminn var hafður á bugspjóti fram úr farartækjunum, fjarri segulmögnum málmsykkjum og rafkerfum. Gögnin voru skráð tölrænt í fartölvu, bæði gagnafærslurnar frá segulmælinum og frá GPS-tæki (sjá neðar). Búnaður til gagnaskráningar var smíðaður af Einari H. Haraldssyni, Orkustofnun.

Siglt var eftir GPS-tæki (Garmin GPSMAP 130). Með tækinu var notaður búnaður til mismunaleiðréttinga, sem er nauðsynlegur svo ná megi nákvæmni upp á nokkra metra, svo sem mælingarnar krefjast. Mælinúuáætlun var færð inn í minni tækisins, og stýrt var eftir vísi sem sýnir frávik frá línu, og á skjá mátti sjá stöðu farartækis á korti. Þessi aðferð virkar vel og yfirleitt tókst að halda frávikinu frá áætlaðri línu innan 10 m. GPS-tækið var stillt á Hjörseyjarviðmiðun, og skráning er á formi breiddar og lengdar ásamt tíma á um 2 s millibili. Ætla má að staðsetninga-nákvæmni sé um 5-10 m, og afstæð nákvæmni milli samliggjandi mælipunkta á línu virðist jafnvel enn betri.



### 3. ÚRVINNSLA MÆLINGA

#### 3.1 Vinnsla frumgagna og leiðréttingar

Frumgögnin eru tvær sjálfstæðar runur í sömu tölvuskrá, segulmæling og staðsetning, en þær eru tengdar með samræmdri tímaskráningu upp á tífunda part úr sekúndu. Fyrsti þáttur úrvinnslu er að skilja þessi gögn að og kanna hvorn þátt fyrir sig.

Nákvæmni staðsetninganna er athuguð með því að teikna punktana á kort, og einnig með því að reikna hraða farartækis á hverju bili. Bilaðar staðsetningar koma fram í þessum gögnum. Þetta reyndist óverulegt vandamál í mælingum 1998, en 1999 var nokkuð um það að GPS-tækið missti leiðréttingamerkið tímabundið og þá versnar nákvæmni. Þetta kemur fram sem stökk eða hliðrun í línu. Í sumum tilfellum var þetta lagað með endurtekinni mælingu, en annars staðar var vafasömum staðsetningum eytt á stuttum köflum og gert ráð fyrir jafnri ferð bátsis yfir bilið. Einstaka smáhliðranir standa enn eftir í gögnunum. Þessir hnökrar eru ekki alvarlegir, enda fáir og ekki á þeim stöðum þar sem merkilegustu frávikin eru.

Segulgögnin voru fyrst teiknuð í línurit sem fall af tíma. Á þessum línuritum, svo og á kortum á síðari stigum úrvinnslunar, mátti sjá einstaka mæligildi sem voru augljóslega spillt, einkum í mælingum ársins 1999. Oftast voru þau miklu lægri en eðlilegt er og stafar það af hristingi mælitækja, einkum þegar segulgildin eru í jaðri næmnisviðs mælisins. Þessum gildum var eytt, og yfirleitt standa eftir nægjanleg gögn eftir til að skilgreina segulsviðið. Á einstaka kafla í lægstu frávikunum voru þó ónýtir kaflar, en í þau göt var tjaslað síðar með meiri mælingum. Almennt má segja að engin alvarleg gloppa sé eftir inni á mælisvæðinu.

Þá eru reiknuð staðsetningahnit fyrir hvern viðtekinn segulmælipunktur með línulegri brúun milli staðsetningapunkta, á grundvelli tíma. Þar sem segulnemanum er komið fyrir nokkuð fyrir framan staðsetningalofnetið, sem nemur 4,6 m á litla bátnum en 7 m á svifnökkvanum og stóra bátnum, verður að hliðra staðsetningu mælipunktsins fram eftir línunni sem því nemur. Ennfremur er tekið tillit til þess að segulmælingin tekur yfir nokkurn tíma (talning) og á meðan færast farartækið yfir nokkurt bil. Vegna þessa verður að hliðra staðsetningu mælipunkta spölkorn aftur til baka eftir línunni, og er það háð hraðanum. Þess er vænst að nákvæmni frumstaðsetninga varðveitist eftir þessar leiðréttingar.

Segulmælingin gefur styrk heildarsviðs, svo sem prótónumælar jafnan mæla. Nákvæmni er upp á um 1 nT. Ekki var kannað nákvæmlega hversu mikil seguláhrif stafa af málmhlutum í bátunum og hversu mikið þau breytast eftir stefnu bátsins, en lauslegt mat bendir til þess að þau séu nokkrar einingar (nT), eða í mesta lagi fáeinir tugir. Flökt vegna þessa á stöðugri siglingu á austur-vestur mællínunum er líklega óverulegt.

Segulsviðið er leiðrétt fyrir tímaháðum segultruflunum frá himinhvolfinu með því að nota samfellda skráningu á segulsviði (heildarsviði) frá segulmælingastöðinni í Leirvogi. Þorsteinn Sæmundsson, Raunvísindastofnun Háskóla Íslands, lét þessi gögn í té á tölrænu formi. Valið var að nota meðalgildi 13. júní 1998 (164. dagur ársins; 51584 nT) sem viðmiðunargildi, og reikna sveiflur stöðvarinnar sem frávik frá því gildi. Fyrir hvert mæligildi á sjó er reiknað frávik í Leirvogi á sama tíma, og það síðan dregið frá mælingunni. Sveiflur geta skipt hundruðum eininga (nT) yfir daginn, svo nokkurs virði er að gera þessa leiðréttingu ef varðveita á nákvæmni mælinga og draga misfellulítil kort.

Eftir ofangreint vinnsluferli eru gögnin að fullu leiðrétt og hver segulmælipunktur er gefinn sem: breidd, lengd, segulsviðsgildi, tími. Sjá má að leiðréttingarnar eru mjög til bóta, þar sem áberandi hnökrar eru í kortum sem byggja á óleiðréttum gögnum.

### 3.2 Kortagerð

Leiðrétt frumgögn eru notuð til að reikna segulsviðsgildi með brúun fyrir regluleg net með 10 eða 20 m möskvastærð. Þetta net myndar síðan grunn fyrir kortateikningu og tölraena vinnslu. Minna bilið er sambærilegt við raunverulega upplausn gagnanna eftir mælilínunum, sem liggja í austlæga stefnu, en þvert á línurnar er söfnunin í raun þrisvar til fimm sinnum gisnari. Það er ekki að sjá að þetta misræmi skaði verulega upplausn kortsins, því mjó og aflöng frávik liggja mestmegnis nærri norðlægrí stefnu.

Segulgögnin eru birt hér sem heildarstyrkur segulsviðsins og engin tilraun hefur verið gerð til að draga reiknað meðalsvið eða önnur viðmiðunarsvið frá gildum. Á meðfylgjandi kort af segulsviðinu er gildið sýnt með litakóða. Kortið byggir á fyrrnefndu 20 m gagnaneti, sem er nægjanlega þétt fyrir mynd í A4-stærð, en stærri kort byggja á 10 m gagnaneti. Hnitakerfið er hér Gauss-Kruger, eins og á nýjustu jarðfræðikortum af svæðinu.

Hér fylgir einnig kort sem sýnir fyrstu afleiðu eða lóðréttan stigul segulsviðsins. Þessi stærð er reiknuð út frá sama gagnanetinu og notað er í 1. mynd. GMT-forritakerfið var notað við þessa reikninga, sem og við allar kortateikningar. Í grundvallaratriðum er hér um síun að ræða sem ýkir hátfíðniþátt sviðsins, svo skörp einkenni sem eiga sér grunn upptök einkenna þessi kort. Þessi gögn eru því einkum heppileg til að rekja ganga og misgengi og önnur svipuð skörp skil í berggrunni. Þetta afleidda kort gefur mun betri upplausn, og má víða sjá hvernig einstök frávik klofna og sýna fleiri aðskilda skrokka. Litakóðinn er valinn þannig að tiltölulega lítil frávik eru dregin fram, en um leið fara þau sterkustu í metnun. Það verður að hafa í huga að ýmsar hátfíðni-truflanir vegna ófullkominna mælinga og leiðréttinga geta magnast upp við þessa aðgerð.

Töluverðar segulsviðstruflanir eru sums staðar næst ströndu, einkum neikvæð frávik næst skipum og hafnarmannvirkjum í Sundahöfn, en leitast hefur verið við að skera þau af við kortagerðina.

### 4. NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA

Niðurstöður segulmælinganna eru sérstaklega áhugaverðar vegna þess að upplausnin er stærðargráðu betri en í fyrri kortum. Það er vegna þess að mælingaflöturinn (sjávarmál) er skammt ofan berggrunns, sums staðar fáeina metra og hvergi meira en svo sem 40-50 m. Bil milli mælipunkta er einnig haft þétt í samræmi við þetta. Þannig má sjá fíngerða drættir sviðsins sem endurspegja t.d. einstaka bergganga og brot efst í berggrunni, sem eru merkilegust nýmæli í þessum gögnum. Að öðru leyti svipar hinum stærri dráttum í myndinni til fyrri korta byggðum á flugsegulmælingum fyrirtækisins Huntings í 150 m hæð og Raunvísindastofnunar í 500 m hæð, sem eru hentugri til að kanna stórar einingar og dýpri jarðlög. Mælingar á landi í Reykjavík gefa svipaða upplausn og sjómælingarnar, en þær eru of strjálar til þess að gefa sambærilega smáatriðamynd. Þegar rætt er hér á eftir um fyrri niðurstöður, er einkum vísað til skýrslu Karls Gunnarssonar (1997b) um þyngdar og segulmælingar.

Á segulkortinu má sjá skýra svæðaskiptingu. Á svæðinu norðan og innan við Laugarnes má sjá urmúl af sterkum neikvæðum frávikum, sem ná allt að 10.000 nT útslagi frá botni í topp. Þau koma fram sem grænir og bláir flekkir á kortinu. Nánari athugun sýnir að neikvæðu svæðin eru víða samsett úr kröppum aflöngum frávikum, oft 30-100 m breiðum, sem stafa greinilega af afmörkuðum skrokkum með bröttum köntum. Þessi einkenni má sjá mun betur í afleiðukortinu (2. mynd), þar sem mjóu útslögin magnast upp, en langbylgjan deyfist. (Rétt er að hafa í huga að misdjúpt er á berggrunn á svæðinu, og því verða mjó og skörp frávik meira áberandi þar sem grunnt er, svo sem við strönd Viðeyjar.) Segulsviðið gefur því til kynna mjög breytilega jarðlagabyggingu á þessu svæði, og af fyrri athugunum virðist ærin ástæða til að ætla að sterk neikvæð segulfrávik á svæðinu stafi einkum af öfugt-segulmögnum innskotsbergi. Það sker sig úr í and-



stæðu við lítt segulmagnað móbergstúff.

Útjaðar þessa svæðis virðist vera býsna skarpur og liggja í nokkuð reglulegan boga, og honum fylgja frávik sem stafa líklega af þykkum berggöngum. Hann gengur norður á milli Engeyjar og Viðeyjar, sveigir svo til austurs og hverfur við Þerney. Framhald hans þar austar er óljóst. Þennan skrapa kant má framlengja nokkurn spöl inn undir land við Laugarnes, þar sem stefnan er eilítið austan við suður (17°), og er þá kominn hálfhringur rúmlega 6 km í þvermál. Stefnur sem greina má í frávikum innan hringins mynda einnig sveip sem fylgir útjaðrinum. Ekki er gott að sjá úr þessum gögnum greinilega lokun á hringnum til suðausturs. Nokkuð beint liggur við að ætla að hér sjáist í eldstöð með öskjumyndun, sem mætti kenna við Viðey.

Norðvestan þessa Viðeyjarhrings má sjá fremur óreglulegt neikvætt svæði, en áferð segulviðsins þar er önnur en innan Viðeyjarbogans. Þetta svæði er einnig afmarkað til vesturs af skörpum kant. Þennan kant má rekja áfram í flugsegulmælingum, og myndar hann reglulegan boga sem gengur til norðvesturs frá Engey og sveigir aftur til austurs inn á Kjalarnes. Þarna myndast annar hálfhringur sem er um 9 km í þvermál, og hefur verið tengdur vesturjaðri svonefndrar Kjalarneseldstöðvar.

Vestan þessara eldstöðvasvæða, þ.e. vestan við Engey, er segulviðið tiltölulega hátt og jafnt, og liggur sjálfsagt nærri bakgrunnsviði.

Í fyrri skýrslu var bent á að jarðhitasvæðið sem kennt er við Laugarnes virðist fylgja vesturjaðri innskotasvæðisins, einkum vestan við skarpa kantfrávikðið. Þar kom fram í borholum niðurdráttarrena sem stefnir eins segulfrávikðið. Rennan er opin til norðurs út undir sjóinn, og ekki er ljóst hversu langt hún nær, enda eru engar borholur utar. Í finni dráttum segulkortsins, og einkum í stigulkortinu, má sjá hugsanlegt brotabelti vestan kantfráviksins sem fellur nokkuð saman við fyrrgreint niðurdráttarbelti, og stefnir á suðurenda Engeyjar.

Einnig má nefna á að afar sterkt hringlaga frávik er norðan við Geldinganes, eins og yfir innskotsstöpli, en rannsóknir á Geldinganesi hafa sýnt vaxandi hitastigul til norðurs. Það kæmi einnig heim og saman við þessa heildarmynd ef jarðhitasvæðið við Elliðaár væri við suðurjaðar eldstöðvarinnar.

## UM FRAMHALD RANNSÓKNA

Hér fylgja nokkrar tillögur eða hugleiðingar um framhald rannsókna.

- Eðlilegt væri að halda áfram mælingum á sjó og útvíkka kortið til norðurs. Að vísu nær mælingasvæðið nú þegar norður fyrir sterku innskotaflækjuna við eyjarnar, en af flugsegulmælingum má sjá að innskotafrávik er að finna norður við Saltvík og ein siglingalína frá því í sumar staðfestir þetta. Einnig eru mikið um að vera í segulviðinu út við Kjalarnes, sem tengist sýnilega vesturjaðri Kjalarneseldstöðvarinnar.
- Til þess að fylla upp í kortið mætti mæla á landi á eyjunum og Geldinganesi. Serstaklega væri gott að koma þessu í verk á Geldinganesi, þar sem tækifæri til þess hverfur þegar þar kemur byggð.
- Þar sem nú hefur komið í ljós að innskotadreifingin teiknar áberandi hálfhring um Viðey, sem gæti samsvarað öskjurima, er mikilvægt að kanna betur hvort suður- og austurhluti hringins sé til staðar. Flugsegulmælingar benda til þess að veruleg innskot séu undir Gufuneshöfða og Ártúnshöfða. Ef öskjuriminn liggur nærri því síðarnefnda, væri askjun sporöskjulaga þannig að þvermálið væri heldur meira til norðvesturs, eða 8-9 km. Á þessu svæði má ekki útvíkka segulkortið mælingar á sjó, nema inni á Grafarvog, á víkinni framundan Korpúlfsstöðum og inni í Leiruvog. Til að bæta úr þessu mætti hugsanlega ná einstaka segulmælilínunum á landi og

túlka í samhengi við sjó- og flugsegulmælingar.

- Í flugsegulmælingunum er ábending um nokkuð breytilega jarðlagagerð á Seltjarnarnesi, þótt frávik séu mun vægari en við Laugarnes. Mælingar í kring um nesið gætu leitt í ljós drætti sem tengja mætti við innskota- og brotalínur, sem hugsanlega tengdust jarðhitakerfum á nesiinu.

Karl Gunnarsson





