



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Guðmundur Ómar Friðleifsson

**JARÐFRÆÐI LAUGARNESSVÆÐISINS
Í REYKJAVÍK**

Samvinnuverkefni Hitaveitu Reykjavíkur og Orkustofnunar

OS-90035/JHD-07

Reykjavík, september 1990



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 710001

Guðmundur Ómar Friðleifsson

**JARÐFRÆÐI LAUGARNESSVÆÐISINS
Í REYKJAVÍK**

Samvinnuverkefni Hitaveitu Reykjavíkur og Orkustofnunar

OS-90035/JHD-07
Reykjavík, september 1990

Fjölfaldað í desember 1992

Tileinkað Þorsteini Thorsteinssyni.

ÁGRIP

Skýrsla þessi er gerð í framhaldi af úttekt á seltubreytingum í Laugarnessvæðinu, en þar hefur selta aukist í öllum vinnsluholum síðan dæling hófst úr svæðinu fyrir um 30 árum. Aukningin er mismikil í holunum og eru nokkrar vinnsluholur, þar sem aukningin er mest, ónothæfar vegna útfellinga í borholudælunum. Úttektin á seltubreytingunum í svæðinu fór fram á árunum 1987-88. Þar var reynt að skýra seltuaukninguna í ljósi fyrirbyggjandi gagna um jarðfræði og vatnskerfi svæðisins. Til þess þurfti að endurskoða tiltæk jarðfræðigögn, sem langflest voru óbirt. Í ljós kom að jarðhitasvæðið virðist liggja innan sigdals sem hefur NV-SA-læga stefnu, hornrétt á gosbeltið. Kom sú niðurstaða nokkuð á óvart þar til löngu gleymt handrit af skýrslu um vatnshæðarmælingar í borholum á svæðinu fannst í forum Hitaveitu Reykjavíkur. Í handritinu hafði Þorsteinn Thorsteinsson komist að svipaðari niðurstöðu 20 árum fyrr, eða rétt um það leyti sem umfangsmiklum borunum lauk á svæðinu. Skýr fylgni reyndist vera milli stefnu mesta niðurdráttar á vatnsborði og stefnu sigspildunnar.

Hér er reynt að ákvarða legu misgengja nákvæmlega, en þar veldur gagnaskortur nokkurri óvissu. Gögn um ummyndun styðja hins vegar þá hugmynd að stærsta misgengið, sem greint er, liggja NV-SA. Ungir NV-SA móbergshryggir vestur af Vífilsfelli stefna á sigdældina í Laugarnesi. Hugsanlega eru tengsl þar á milli. Ekki liggur fyrir einhlft skýring á sigspildunni. Allt eins er hugsanlegt að hana megi megi skýra sem norðlægan hlykk í annars NA-SV-lægu sprungustykki. Dæmi um slíka sigspildu má t.d. finna í virka sprungubeltinu norður af Hengli. Hvort að slíkir hlykkir eigi sér síðan skýringu í djúplægu norðvestlægu veikleikabelti verður látið liggja milli hluta hér, þó margt bendi til þess.

Nýleg ummyndun í Laugarneskerfinu sýnir fylgni við NV-SA stefnu, sem gæti bent til þess að sigdalurinn sé tiltölulega ungur jarðfræðilega. Sigspildan er a.m.k. um 0,5 km á breidd, og er mesta sig um 150 m suðvestan megin. Ætla má að sigspildan sé ein helsta orsök þess að nýtanlegt jarðhitakerfi er að finna á Laugarnessvæðinu.

Endurskoðun og túlkun allra borholugagna bendir til þess að grágrýtisdýngja leynist undir Laugardalnum á 200-500 m dýpi. Efsta vatnskerfið (A) á vinnslusvæðinu er í lekum hraunlögum úr þeirri dýngju á nokkur hundruð metra dýpi. Jarðfræði berggrunns Reykjavíkur er lýst í heild sinni á grundvelli borholugagna, allt frá Seltjarnarnesi inn fyrir Elliðaár, og helstu jarðlagasyrpur tengdar við sambærilegar myndanir í Esju. Samkvæmt tengingunni er elsta bergið á 2 km dýpi undir Seltjarnarnesi tæplega 3 milljóna ára gamalt, en það yngsta undir Árbæjarhverfinu neðan grágrýtis og setlaga tæplega 2 milljóna ára gamalt. Seint á ísöld rufust mörg hundruð metrar af bergi ofan af Reykjavíkursvæðinu, sem síðar huldust setlögum og grágrýti seint á ísöldinni fyrir a.m.k 200 þúsund árum.

Gerð var sérstök athugun á dreifingu laumontíts á Laugarnessvæðinu, en dreifing epidóts var kortlögð út frá fyrirbyggjandi gögnum. Niðurstaða ummyndunarathugana styrkir þá jarðlagamynd sem fengist hefur af Laugarnessvæðinu út frá svarfskoðun, en auk þess má lesa út úr ummynduninni áhugaverða sögu kólnunar á svæðinu sem vert væri að fylgja eftir. Í aðalatriðum felst hún í því að laumontít hætti að myndast en anhydrít og síðan skólesít tóku við. Þessi breyting bendir til að kæling um einhverja tugi gráða (°C) hafi orðið samfara skyndilegri seltuaukningu ofan 1 km dýpis í jarðhitakerfinu. Hugsanlegt er að sjór hafi komist niður í jarðhitakerfið í byrjun nútíma fyrir um 10.000 árum, en tímasetning er óviss (Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1982, 1987). Jarðhitasöguna í heild er hins vegar ekki hægt að rekja vegna skorts á gögnum.

Laugarnessvæðið er á jaðrinum á krappri þyngdarhæð og segullægð. Hæðin á þyngdarkortinu er skýrð sem afleiðing innskota og ummyndunar í berggrunninum, en segullægðin sem afleiðing sterkrar öfugrar segulmögnunar sömu innskota og hraunastafla frá Matuyama segultímabilinu nærri yfirborði í Laugardalnum. Jarðhitasvæðin í Reykjavík eru nærri suðurjaðri megineldstöðvar, sem merki sjást um í keilugöngum í Viðey og norðan við Kollafjörð og Ingvar B. Friðleifsson (1973) nefndi Kjalarnes II, með miðju á sundunum norðan Laugarness. Haukur Jóhannesson (1985) gerði syðri hluta hennar að sérstakri megineldstöð og nefndi hana Viðeyjareldstöð, og setti jafnframt fram tilgátu um öskju. Á mynd hans af öskjunni er NV-SA sigdældin á Laugarnessvæðinu við öskjubrotið suðvestanvert. Margt mælir gegn þessum hugmyndum Hauks um sérstaka megineldstöð og öskju og er fjallað um það í skýrslunni. Til dæmis er ekki fallist á þá hugmynd hans að Laugarnessvæðið sé innan við öskjurima og eru færð fyrir því ýmis rök. Skarpt kantfrávik á flugsegulkorti frá 1959 er t.d. skýrt með berggerðarmun undir Laugardalnum annars vegar og vinnslusvæðinu hins vegar. Kantfrávikðið er 0,5 km austan við stóra misgengið í vestanverðu svæðinu, og óverulegur jarðlagahalli er fremur að því broti en frá, öfugt við það sem búast mætti við ef um öskjubrot væri að ræða. Eins gefur dýptardreifing háhitasteindarinnar epidóts til kynna að lághitasvæðin í Reykjavík séu við suðurjaðar gamla háhitasvæðisins í Kjalarnes II eldstöðinni en ekki við öskjurima Viðeyjareldstöðvar. Á grundvelli fyrirbyggjandi gagna er vinnslusvæðið því talið vera í rúmlega 100 m djúpum norðvestlægum sigdal sem er yngri en háhitavirknin (2 milljóna ára), en eldri en Elliðavogssetið og Reykjavík-urgrágrýtið, þ.e. eldri en 200.000 ára og trúlega talsvert eldri.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	3
EFNISYFIRLIT	5
MYNDASKRÁ	5
1. INNGANGUR	6
2. FYRRI RANNSÓKNIR	8
2.1 Jarðfræði og ummyndun	8
2.2 Forðafræði og jarðfræði	9
2.3 Aðrar rannsóknir og umræða	12
3. ENDURSKOÐUN GAGNA OG VIÐBÆTUR	15
4. JARÐFRÆÐI- OG JARÐHITASNIÐ AF REYKJAVÍK	18
5. HELSTU NIÐURSTÖÐUR	35
6. HEIMILDIR	37
ENGLISH SUMMARY	40
VIÐAUKI I. Skrá yfir borholur	43
VIÐAUKI II. Jarðlagasýrpur í RV-1 til RV-22	47
VIÐAUKI III. Jarðlagasýrpur í Esju	61
TAFLA 1. Minnsta dýpi á laumontítt og epidót á Laugarnessvæðinu	22

MYNDASKRÁ

1. Staðsetning borhola og jarðlagasniða	7
2. Gögn um misgengi og vatnsborð frá 1966/1967	10
3. Jarðlagalskan frá 1966	11
4. Misgengi/sprungur og móbergshryggir	19
5. Hugsanleg skurðlína stóra misgengisins	20
6. Nokkrum RV-holum (númer) varpað inn á sprungukort af Hengilssvæðinu	21
7. Dýptarkort af laumontítti í Reykjavík	28
8. Dýptarkort af epidóti í Reykjavík	29
9. Jarðlagasnið A/ Hita- og ummyndunarsnið A	30-31
10. Jarðlagasnið B/ Hita- og ummyndunarsnið B	32-33
11. Jarðlagasnið C	34

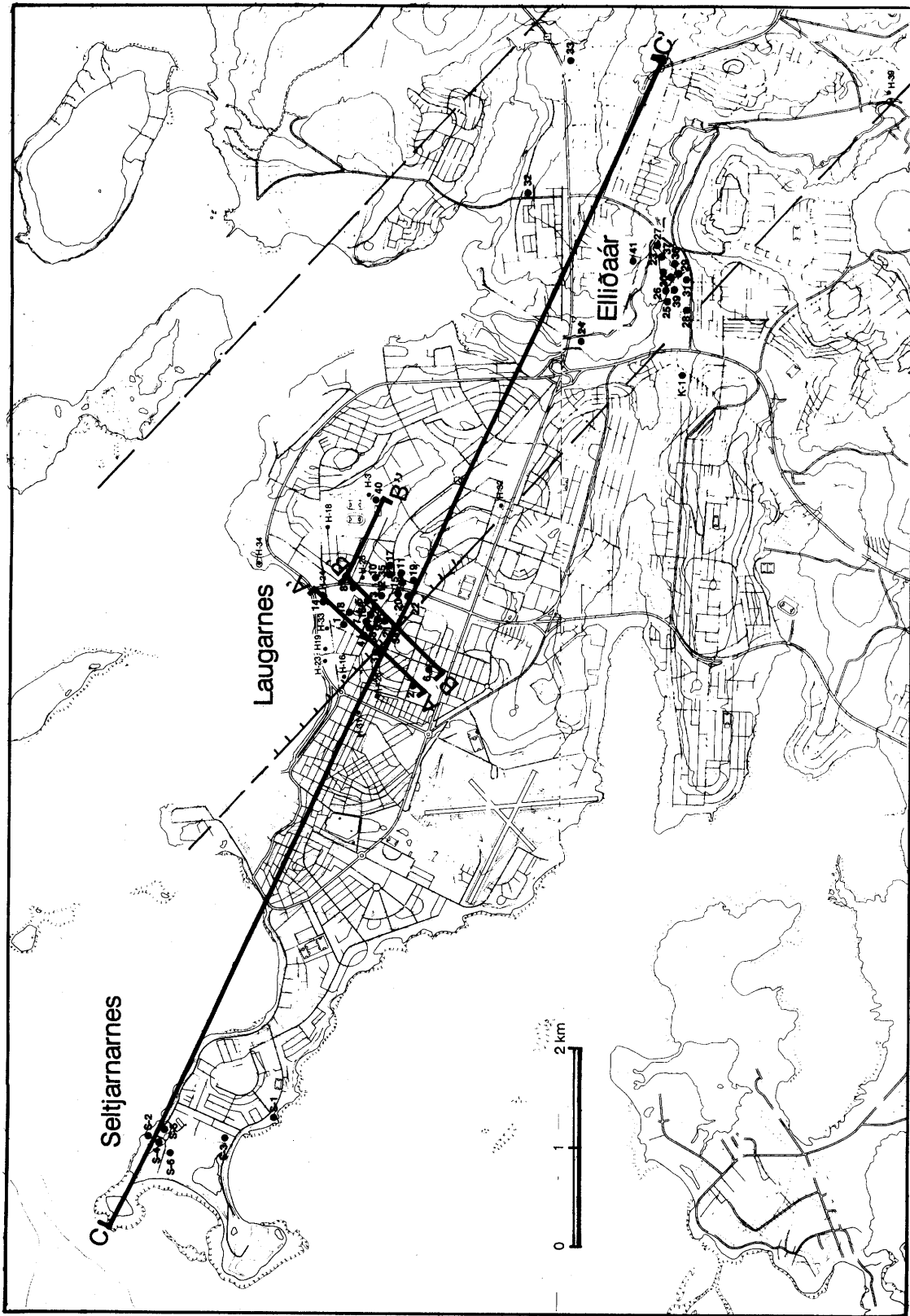
1. INNGANGUR

Fyrstu boranir eftir heitu vatni á Laugarnessvæðinu hófust við Þvottalaugarnar á árunum 1928-30. Sjálfrennsli úr svæðinu jókst þá um 5 l/s og vatnshiti um 3°C. Um 1940 var borað aftur við Þvottalaugarnar og ein hola við Rauðará (Hóla H-16). Aftur var svo tekið til við boranir með haglaborum á árunum 1954-1961 (H-17 til H-34) og þá víða um svæðið. Boranir með Gufubornum hófust 1958. Lauk hann 22 holum fram til ársins 1963. Voru þær upphaflega auðkenndar G-1 til G-22 en síðar RV-1 til RV-22. Fyrstu áratugina var sjálfrennsli nýtt af svæðinu en djúpdælur voru fyrst teknar í notkun 1959. Loks voru svo dýpstu holur landsins, RV-34 og RV-35, boraðar með Gufubor og Jötni 1978-1979, og holur RV-38 og RV-40, 1982 og 1984. Í viðauka 1 er birt skrá yfir allar gömlu H-holurnar og svo RV-holurnar á Laugarnessvæðinu. Á mynd 1 er staðsetning borholanna sýnd.

Skýrslur eða greinar sem lýsa jarðfræði Laugarnessvæðisins í heild á grundvelli borholusniða hafa ekki verið birtar fram til þessa. Sú mynd sem lengst af hefur verið notuð til að lýsa jarðfræði þess birtist í grein Þorsteins Thorsteinssonar og Jónasar Elfassonar (1970). Þar er birt eitt jarðlagasnið frá NV til SA þar sem aðgreindar eru nokkrar hallandi jarðlagasyrpur úr móbergi og basalti. Myndin var að mestu byggð á jarðlagasniðum af holum RV-1 til RV-22 og svo nokkrum H-holanna. Vatnsgæfum jarðlögum er þar skipt í þrjá flokka sem aðgreindir voru með bókstöfunum A, B og C. Vatnskerfi A er 100-120°C heitt á 250-650 m dýpi, vatnskerfi B 135°C heitt frá 730-1250 m dýpi og loks var vatnskerfi C sagt 146°C heitt, neðan við 2000 m dýpi á svæðinu. Jarðfræði- og jarðhitamynd þessi gefur í sjálfu sér ágæta mynd af berggrunni Reykjavíkur og hefur endurskoðun gagna ekki breytt henni í aðalatriðum. Hins vegar hefur komið í ljós að misgengi og sprungur, sem trúlega ráða mestu um að jarðhitasvæðið er yfirleitt til í núverandi mynd, hafa nær alveg glatast úr umræðunni um eðli lágheitakerfisins, svo sem að neðan greinir. Eftir að ein aðalniðurstaða þessarar skýrslu um tilvist norðvestlægs sigdals langs eftir Laugarnessvæðinu var uppgötvuð, fannst í forum Hitaveitu Reykjavíkur skýrsluhandrit eftir Þorstein Thorsteinsson frá 1967. Þar er sigdalnum lýst í máli og í mynd að hluta. Af því til efni er vel við hæfi að birta hér á prenti ágæta mynd úr handritinu (mynd 3) sem fallið hafði í gleymsku, og tileinka Þorsteini Thorsteinssyni jafnframt þessa skýrslu.

Ástæða þess að farið var að rýna í gömul jarðfræðigögn tengdist vandamálum sem upp komu við vatnsvinnslu á Laugarnessvæðinu. Selta vatnsins hafði aukist svo í nokkrum borholum að hætta varð að nota þær vegna kalkútfellinga sem fylgja seltuaukningunni. Reynt var að finna skýringu á seltubreytingunum og þá meðal annars með hliðsjón af vatnskerfum A, B og C og jarðfræðilíkanum af svæðinu. Sú athugun varð kveikjan að þessari skýrslu. Skýring fannst á seltuvandamálinu svo sem greint er frá í gagnaskýrslu Hitaveitu Reykjavíkur (1988). Seltuaukningin stafar af sjávarmengun og er bundin við vatnskerfi A. Vatnsborðslækkun vegna heitavatnsvinnslu er frumorsök þessarar mengunar, en dreifing hennar innan svæðisins er háð því hvort vatnsæðar í holunum eru í vatnskerfi A eða ekki. Auk þess sést skýr fylgni milli legu ætlaðra misgengja í NV-SA stefnu sigdalsins og saltmengunar í borholum. Talið er að tefja megi fyrir saltmengun með því að steypa í gamlar borholur og fódra vinnsluholur niður fyrir vatnskerfi A. Er það verk þegar hafð.

Í þessari skýrslu verður leitast við að skýra þá jarðfræðimynd, sem ræður aðstæðum á Laugarnessvæðinu.



Mynd 1. Staðsetning borhola og jarðlagasniða.

2. FYRRI RANNSÓKNIR

2.1 Jarðfræði og ummyndun

Engar jarðlagalýsingar eru til á elstu holunum, svarf og kjarnar löngu týnt og einungis slitur hafa fundist af ónákvæmum jarðlagasniðum (t.d. úr H-16). Sæmileg jarðlagasnið eru til af nokkrum yngri H-holanna, en engar jarðlagalýsingar. Lýsingar á jarðlögum í gömlu gufubors-holunum (RV-1 til RV-22) eru ekki til, en nákvæm jarðlagasnið, sem unnin voru af Þorsteini Thorsteinssyni, eru til af þeim öllum og eru sniðin varðveitt í örfáum ljósrituðum eintökum. Athugun sú sem hér er lýst byggir að stórum hluta á þeim sniðum. Þorsteinn tók saman jarðfræðigögnin og birti í grein með Jónasi Elfassyni (1970). Í skýrslu um jarðhitarrannsóknir á höfuðborgarsvæðinu (Jens Tómasson o.fl., 1977) er jarðfræðisnið Þorsteins og Jónasar frá 1970 birt ásamt stuttri lýsingu, en ekki minnst á hugsanleg misgengi.

Á árunum 1978 til 1979 voru boraðar tvær dýpstu jarhitaholur landsins, RV-34 (3085 m) og RV-35 (2857 m). Tilgangurinn með þeim var m.a. að kanna hversu gæft vatnskerfi C væri. Jarðlagasnið var gert af báðum holunum samtímis borun, en bráðabirgðaskýrslur um holurnar ekki teknar saman fyrr en 6 árum síðar (Árný E. Sveinbjörnsdóttir o.fl., 1985; Guðmundur Ó. Friðleifsson o.fl., 1985).

Næsta hola á Laugarnessvæðinu, RV-38, var boruð árið 1982 í 1488 m dýpi (Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1982). Hún er rétt við holu RV-4. Yngsta holan, RV-40, var loks boruð 1984 rétt við gömlu Þvottalaugarnar þar sem fyrsta borholan var boruð 1928. Um hana hafa verið ritaðar nokkrar skýrslur (Guðmundur Ó. Friðleifsson o.fl., 1985; Helga Tulinius o.fl., 1984a; Jens Tómasson o.fl., 1984; Winai Yaowanoyothin, 1984). Í lokaskýrslu um holuna (Guðm. Ó. Friðleifsson o.fl., 1985) er mynd Þorsteins frá 1970 í aðalatriðum staðfest með jarðlagasniði frá vestri til austurs, frá RV-4, RV-38, RV-34, RV-35 til RV-40. Jarðlagahalli var metinn 6-7° til suðausturs, sem er í samræmi við jarðlagahalla kvartera berggrunnisins á yfirborði á Kjalarnesi og austur af Reykjavík. Misgengi voru ekki aðgreind fremur en í mynd Þorsteins og Jónasar frá 1970. Helsta nýjung sem fékkst úr jarðlagagreiningu yngstu holanna fólst í greiningu á ísúrum og súrum jarðlögum neðan 1500 m dýpis, sem greindust með geisla-mælingum (gamma-mælingum) í borholunum. Ísúr og súr jarðlög finnast einnig á Elliðaársvæðinu og auðveldar það tengingu á milli svæða. Í eldri djúpu holunum á báðum svæðum höfðu ísúru lögin (basalt-andesít) yfirleitt verið greind sem dul-fínkornótt, dökk þóleítlög, enda nær ógjörningur að greina á milli þessara berggerða í ummynduðu svarfi, nema með allnákvæmum bergfræðiathugunum.

Umyndun bergs á Laugarnessvæðinu hefur fengið öllu minni umfjöllun en ummyndun bergs á nálægum lágheitsvæðum. Skýringar á því er trúlega að leita til þess, hve snemma á öldinni byrjað var að bora í Laugarnessvæðið. Þó eru til gagnlegar lýsingar á ummyndun í borholum RV-14 (sem kennd hefur verið við Fúlutjörn) og holu RV-4 við Nóatún (Guðmundur E. Sigvaldason, 1966). Að þeim undanskildum voru ekki til aðrar upplýsingar um ummyndun í holum RV-1 til RV-22 nema um fyrsta fundarstað epidóts sem Þorsteinn Thorsteinsson merkti inn á jarðlagasniðin af holum RV-1 til RV-22. Lauslega var fjallað um ummyndun í holum RV-34 og RV-35. Vitneskja um þróun ummyndunnar á svæðinu (þ.e. sögu jarðhitakerfisins) byggist því að mestu á athugunum á holum RV-38 og RV-40 (Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1982; Guðmundur Ó. Friðleifsson o.fl., 1985; Winai Yaowanoyothin, 1984). Gagnaskortur um dreifingu og þróun ummyndunnar á Laugarnessvæðinu háði úttekt þessari nokkuð. Bætt var úr brýnustu þörf með því að athuga hve djúpt var niður á fyrsta fundarstað laumontíts í flestum RV-holun-

um, og það ásamt dýpi á epidót notað til að leggja mat á sprungu- og brotasögu svæðisins.

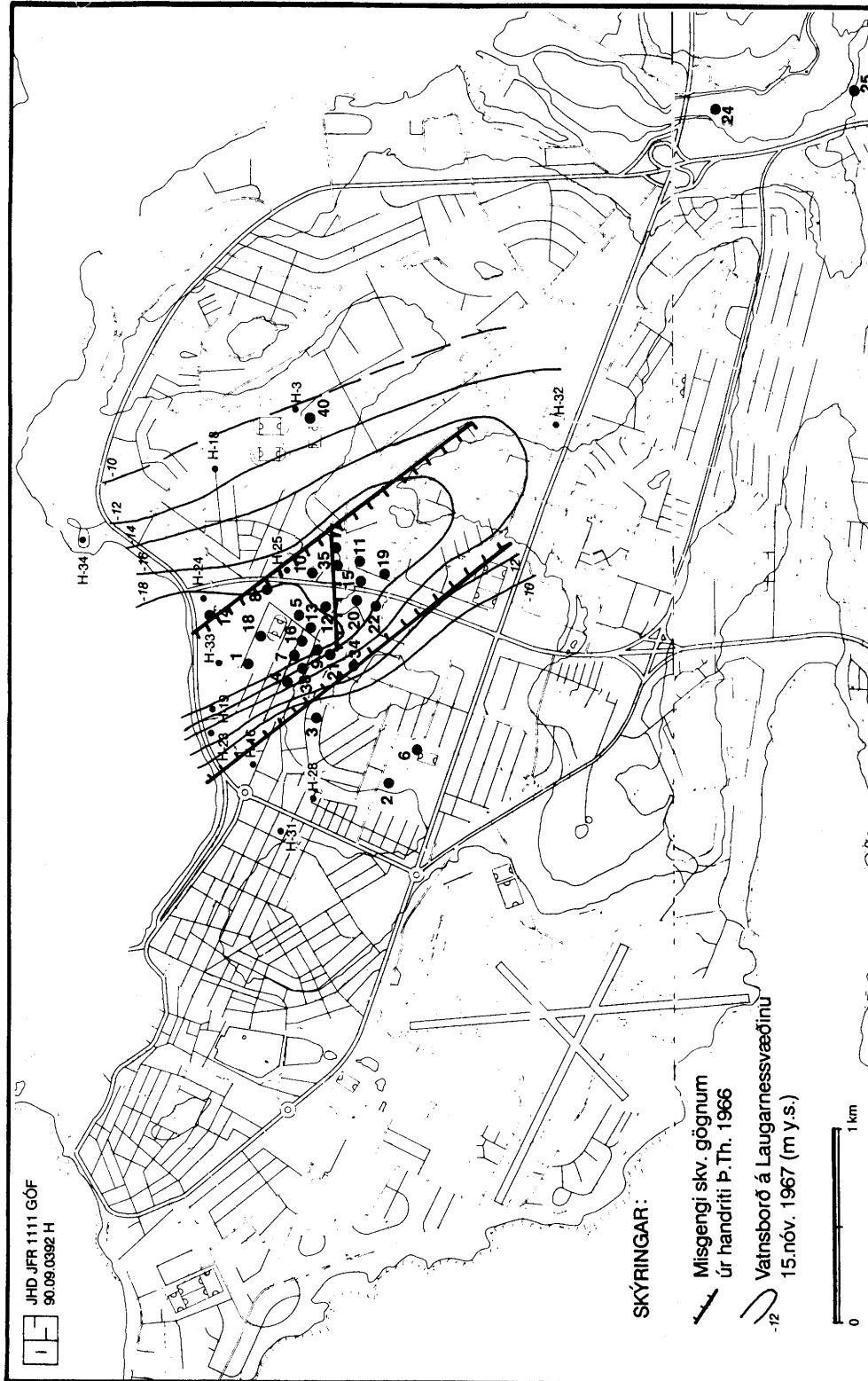
2.2 Fordæfraedi og jarðfraedi

Þorsteinn Thorsteinsson fylgdist um árabíl með vatnsborðsbreytingum í borholum vegna vinnslu í Laugarnesi. Fyrstu gögnunum var safnað 1965-1966 og niðurstöður teknar saman í handriti dagsettu í apríl 1967. Þar er túlkun Þorsteins á jarðlögum og misgengjum í jarðlagastaflanum skýrt sett fram í máli og myndum, svo sem getið var í inngangi, auk þess sem greint er frá niðurstöðum vatnsborðsmælinganna á sama hátt. Í handritinu sýndi Þorsteinn þrjú stór misgengi á Laugarnessvæðinu. Tvö stefna NV-SA og mynda 60-100 m djúpan sigdal með stefnu á jarðhitasvæðið við Elliðaár. Þriðja misgengið stefnir nærri A-V. Við það er sig sunnan megin um 40-60 m. Premur árum síðar fengu misgengin það litla umfjöllun í grein Þorsteins og Jónasar Elfasonar (1970) að þau komu ekki til umræðu í greinum um jarðhitasvæðin í Reykjavík næstu tvo áratugin. Í grein Þorsteins og Jónasar (1970) er rætt um að jarðlagahalli sé heldur meiri á vestanverðu svæðinu (þ.e. milli hola RV-3, RV-2 og RV-6) en um miðbik þess og austanvert svæðið, auk þess sem svonefnd leiðarlög virtust jafnframt vera 25-125 m ofar í staflanum en svipuð lög í miðju og austanverðu svæðinu. Neðar á sömu síðu (bls. 1193) er þessu þannig lýst, en mynd eða kort fylgir ekki: *"Although the drilling area is too limited in areal extent to reveal a detailed structural picture of the three hydrothermal systems, existing data indicate a disruption of the continuity of the Laugarnes strata on two sides. Towards the southeast by a northwest striking fault system suspected from the attitude of key beds in wells G2, G3 and G6, and towards the east by Vatnagarðar intrusive and perhaps a system of northeast striking dip slip, strike faults."* Á blaðsíðu 1199 er aftur minnst á misgengin í tengslum við vatnsborðslækkun á svæðinu, þar sem góð fylgni reyndist milli ætlaðs sigdals og vatnsborðslækkunarinnar. *"Tectonically, however, it disagrees with the surface geology of the Reykjavík region to the east, which is characterized by numerous northeast striking step faults"*.

Samkvæmt samtali við Þorstein er ástæða þess að misgengin fengu ekki meiri umfjöllun á sínum tíma sú, að menn trúðu ekki um of á tilvist þeirra, þar sem stefnan var nær þvert á svæðislæga sprungu- og misgengjastefnu eins og að ofan greinir, auk þess sem nokkur vantrú var uppi um gæði svarfgreininga til slíkra athugana á þeim tíma. Síðan hefur oftast en ekki komið í ljós að mörg lágheitsvæði eru eimitt á skurðpunktum tveggja megin sprungustefna og er svo að sjá sem Laugarnessvæðið sé engin undantekning í því efni. Ekki er ósennilegt að NV-SA misgengin séu einmitt þær fyrirstöður sem beini heitum jarðvatnsstraumi upp á við til yfirborðs. Ef sú ályktun er rétt þá verðskulda ofangreind misgengi talsvert meiri athygli í umfjöllun um jarðhitasvæðið í Laugarnesi en verið hefur til þessa. NV-SA misgengin væru þannig frumorsök þess að lágheitsvæðið í Laugarnesi er yfirleitt til í þeirri mynd sem við þekkjum í dag, sem heitt vatnsgæft svæði nærri yfirborði.

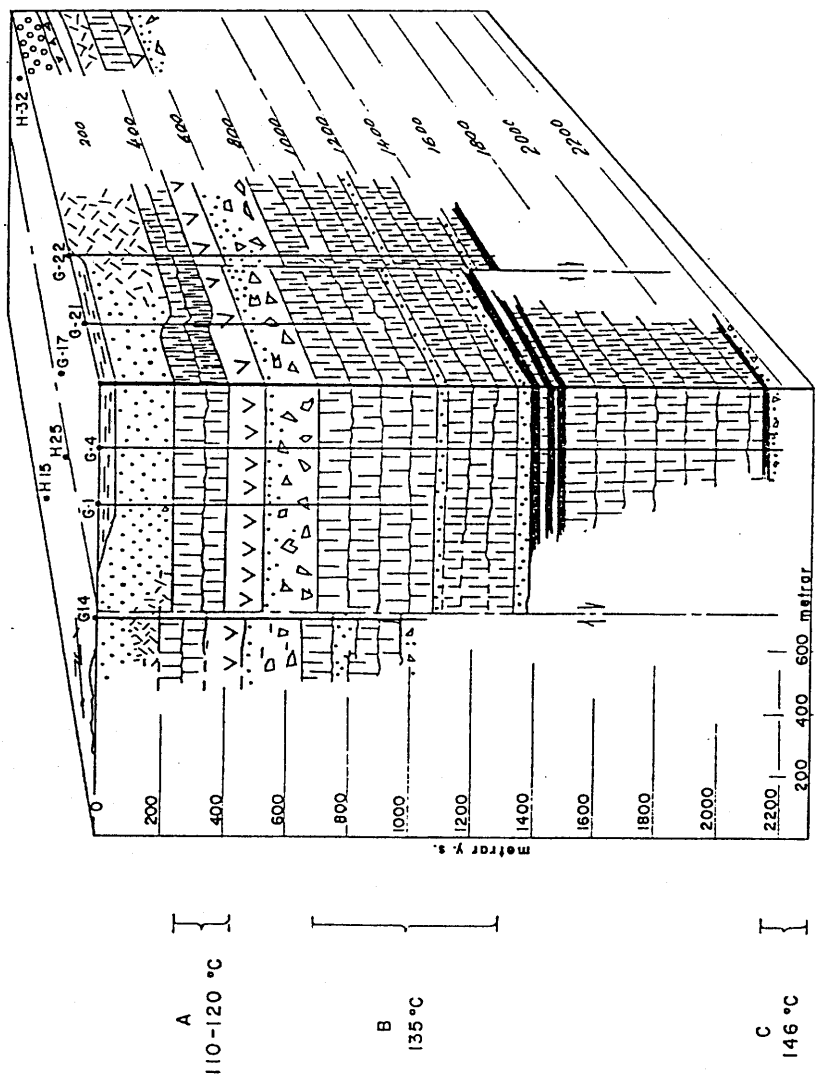
Á mynd 1 er sýnd staðsetning borhola í Reykjavík og á Seltjarnarnesi, ásamt legu þeirra jarðlagasniða sem fjallað er um í þessari skýrslu. Á mynd 2 eru gögn frá Þorsteini Thorsteinssyni (1967) um legu misgengja á Laugarnessvæðinu hins vegar dregin fram í dagsljósið og borin saman við kort af vatnsborðslækkun á svæðinu, sem mæld var 15. nóvember 1967 og birtist í grein Þorsteins og Jónasar (1970). Fylgni milli vatnsborðslækkunar og ætlaðra misgengja er auðsæ.

Mynd 3 er tekin óbreytt úr handriti Þorsteins frá 1967. Þar koma fram öll þau aðalatriði sem að ofan hafa verið rædd, þ.e. stefna misgengja og sigdalsins norðaustan megin og svo lega vatns-



Mynd 2. Gögn um misgengi og vatnsborð frá 1966/1967.

JARÐHITASVÆÐI Í REYKJAVÍK
JARÐLAGASKIPUN.



Mynd 3. Jarðlagalíkan frá 1966.

RAFORKUMÁLASTJÓRI
1966 *BJK*

kerfanna A, B og C. Vísað er til jarðlags sem kallað er dólerít á myndinni rétt neðan við 400 m dýpi. Í endurtúlkaðri mynd er myndun þessi kölluð dyngjuhraun. Ísúru jarðlögin sem getið var að ofan eru aðgreind sem lítið ummyndað basalt á mynd 3. Lengst til vinstri á myndinni eru vatnskerfin A, B og C aðgreind. Kerfi A nær frá 250-650 m dýpi. Vatnshiti er 110-120°C. Kerfi B nær frá 730-1250 m dýpi, og þar er vatn heldur heitara eða um 135°C. Vatnskerfi C var svo skilgreint neðan við 2150 m dýpi þar sem vatnshiti var 146°C. Allar holur á svæðinu lentu í vatnsæðum í A. Allar nema tvær (RV-17 og H-27) skáru vatnsæðar í B, en einungis ein hola (RV-4) hitti í vatnsæð í C. Heildarvatnstakan skiptist í 18%, 80% og 2% milli vatnskerfa A, B og C (Þorsteinn Thorsteinsson og Jónas Elfsson, 1970).

Fram til 1962 var heita vatnið nær allt fengið úr sjálfrennandi borholunum, en fyrsta borholudælan var tekin í notkun 1959. Vatnstaka var mismikil eftir árstíðum frá 1962 til 1963, eins og æ síðan, en niðurdráttar fór strax að gæta eftir að byrjað var að dæla úr holunum. Öllu vatni hefur verið dælt úr holunum síðan 1967. Vatnshæð í byrjun er metin hafa verið um 70 m yfir sjávarmáli en í dag fer vatnsborð 60-70 m niður fyrir sjávarmál þegar mestu er dælt. Niðurdráttur er því um 130 m. Skýr NV-SA stefna á vatnsborðslækkun kom fram strax og reglulegar mælingar hófust eins og sýnt er á mynd 2 (Þorsteinn Thorsteinsson, 1967; Þorsteinn Thorsteinsson og Jónas Elfsson, 1970). Síðar var líkt eftir svörun jarðhitakerfisins við vinnslu með reiknilfkönum í þeim tilgangi að sjá fyrir hvort nauðsyn sé á breytingu á vatnstökuaðferð í næstu framtíð. Vatnsleiðni, geymslu- og lektarstuðlar jarðhitakerfisins voru ákvarðaðir með því að aðlaga forðafræðireikninga að mældum vatnsborðsbreytingum. Í ljós kom að góð samsvörun milli mælinga og reikninga fæst því aðeins að lekt svæðisins sé breytileg eftir stefnum. Mældur niðurdráttur í borholum og reiknuð gildi fyrir vatnsleiðni, geymslu- og lektarstuðla eiga það öll sammerkt að stefna NV-SA (Snorri P. Kjaran, 1986), eins og mynd 2 gefur til kynna. Það má því e.t.v. segja að Snorri hafi leitað langt yfir skammt í leit að ráðandi vatnleiðnistefnu með því að skoða hitastigulskort og mjög svo gróft þyngdarkort frá 1954 (Trausti Einarsson, 1954) í stað þess að beina sjónum að sigdal Þorsteins frá 1967. Sýnir það e.t.v. best hversu sigdalurinn gleymdist gjörsamlega í allri umfjöllun um Laugarnessvæðið eftir 1970.

2.3 Aðrar rannsóknir og umræða

Af öðrum rannsóknum er varða Laugarnessvæðið ber helst að geta ýmissa jarðeðlifræðilegra mælinga. Má þar nefna hitastigulskort, segulkort og þyngdarkort sem miklu hafa ráðið í allri umræðu um eðli jarðhitasvæðanna í Reykjavík fram til þessa. Leitast var við að ná í sem mest af haldbærum upplýsingum út úr jarðeðlisfræðigögnum til samanburðar við jarðfræðigögnin. Fékk ég þá m.a. Ólaf G. Flóvenz til að tölvuteikna nýjustu gögn um segul- og þyngdaranómalfur af Reykjavík og nágrenni. Nýju þyngdar- og segulkortin, eins og hin gömlu, líða hins vegar helst fyrir það, að mati Ólafs, hve langt er á milli mælipunkta, sem veldur því að nálgun að jafnþyngdar- og jafnsegullínum er gróf. Því er ljóst að kortin staðfesta hvorki né hafna fyrirbæri eins og þeim sigdal sem hér er til umfjöllunnar. Til dæmis má nefna að engir mælipunktar eru til yfir sjó frá Laugarnesi upp á Kjalarnes. Stærð og lögun þyngdaranómalfa gæti því breyst verulega ef mælipunktum væri fjölgað. Þannig gæti hæðarhryggur í þyngdarkortinu milli Laugarness og Kjalarness orðið að tveim hæðarbungum með dal á milli, ef meira yrði mælt. Sem stendur er net mælipunkta einfaldlega ekki nógu þétt til að sjá finni drætti í jarðfræðimyndinni. Þyngdarhryggurinn hefur þó jafnan verið talinn tengjast miklu magni innskota í megineldstöð, en segullægðin afleiðing sterkrar öfugrar segulmögunnar sömu innskota. Ekki er óeðlilegt að þyngdarhryggurinn liggja þvert á svæðislæga ganga-, misgengja- og sprungustefnu, ef miðsvæði

eldstöðvarinnar hefði færst í stuttum skrefum til suðausturs með tíma, svipað og Hengilssvæðið er túlkað í dag frá Hveragerði að Hengli. Varðandi Laugarnessvæðið sérstaklega sést þó ekki tiltakanlega mikið af innskotum í borholunum, enda er vinnslusvæðið utan við jaðar þyngdarhæðarinnar eins og vikið er að síðar. Ingvar B. Friðleifsson (1973; og í Jens Tómasson o.fl. 1977) skýrði mynstrið með samlíkingu við Sfamska tvfbura, þar sem Kjalarnes og svæðið norður af Viðey væru sitt hvor miðjan í samvaxinni eldstöð sem nefna má Kjalarnes I og II. Kjalarnes I vestan megin væri því einskonar forveri Kjalarnes II austan við, svipað og megineldstöðin í Hveragerði er forveri megineldstöðvarinnar í Hengli.

Haukur Jóhannesson (1985) setur fram hugmynd um að sérstök eldstöð sé í syðri hluta Kjalarnes II og nefndi hana Viðeyjareldstöð, og setti jafnframt fram tilgátu um öskju. Viðey er þar inni í sigkatli eða öskju, og öskjurima dregur hann eftir flugsegulmælingum frá Hunting Survey Corporation Limited (1963) og svo eftir samanburði á jarðlagasniðum í borholum utan og innan við ætlaðan öskjurima (Haukur Jóhannesson, 1985), væntanlega eftir jarðlagasniðum Þorsteins Thorsteinssonar eða handriti hans án þess að vísað sé til þeirra heimilda. Leitað var umsagnar Karls Gunnarssonar jarðeðlisfræðings um ofangreint flugsegulkort. Á því segist hann sjá greinilegt kantfrávik sem liggur út Laugardalinn með stefnu 17° vestan við norður, og endar eða truflast austan við Engey. Svipuð stefna og einkenni á segulsviðinu finnast á spildu frá þessum kanti austur að Gufunesi. Frávikíð í Laugardalnum mætti túlka sem misgengi eða kant á vel afmörkuðu innskotasvæði. Bergið austan við er sterkt öfugt segulmagnað, a.m.k. í samanburði við bergið vestan við. Hámarksdýpi á segulskrokkinn metið með "straight-slope" aðferð er um 300 m neðan flughæðar eða um 150 m undir yfirborði lands í Laugardalnum. Karl álitur að flugsegulkort þetta sé eitt það hentugasta til túlkunar á strúktúr sem gert hefur verið á Íslandi. Flughæð er hæfileg, mæling nákvæm, línur þéttar og nokkuð nákvæmlega staðsettar (Karl Gunnarsson skrifl. uppl.).

Ofangreint kantfrávik er um 0,5-1 km km austan við stóra norðvestlæga misgengið sem er undir grágrýti og seti nærri gatnamótum Nóatúns og Skipholts. Það misgengi gæti verið samsíða kantfrávikinu (sjá síðar), og eins Fúlutjarnarmisgengi Þorsteins Thorsteinssonar (sjá myndir 2 og 3) en það misgengi afmarkar sigspilduna til austurs. Fúlutjarnarmisgengið er nánast í eða rétt vestan við kantfrávikíð. Það er því ekki hægt að tengja kantfrávikíð og vestara misgengið saman og þar með falla þau rök sem gætu mælt með öskjuhugmynd Hauks frá 1985, a.m.k. hvað vinnslusvæðið í Laugarnesi varðar. Kantfrávikíð er einfaldlega austan við vinnslusvæðið.

Allir eru sammála um að umtalsverður innskotapéttleiki í Viðey og undir Laugarnesinu skýri þyngdarfrávikíð. Í því sambandi má vísa til holu RV-40 í Laugardalnum sem er um 0,5 km austan við segulkantfrávikíð. Þar eru hraunlög og innskot ráðandi berggerðir í efstu 500 m holunnar, þar af var túlkað innskot á bilinu 200-450 m (Guðm.Ó. Friðleifsson o.fl., 1985) (sjá þó síðar). Jafnframt var það ein af niðurstöðum sömu skýrslu að efri hluti holu RV-40 væri all frábrugðinn efri hluta holna á vestursvæðinu þar sem móbergsmýndanir voru mun þykkari, sem etv. mátti skýra með innskotinu. Á miðju vinnslusvæðinu ná setlög og móbergsmýndanir frá yfirborði niður á 200-300 m (sjá myndir aftar). Það blasir því við að öfugt segulmögnuð jarðlög og innskot nærri yfirborði austan við vinnslusvæðið skýra kantfrávikíð, og verður vikið að því síðar.

Í ljósi þess sem að ofan er sagt og að neðan greinir hefur mér reynst erfitt að sjá ástæðu þess að taka hluta af Kjalarneseldstöð II og gera að sérstakri megineldstöð. Með þeirri hugmynd er stórt innskot í Þverfelli og keilugangasveimur norðan Sundanna slitin úr samhengi við eldstöðvar-

miðju. Á margumræddu flugsegulkorti frá Huntings má t.d. sjá krappa segullægð yfir Þverfellsinnskotinu og sveigir hún til norðausturs innundir Esju. Þverfellsinnskotinu sjálfu hallar hins vegar niður til suðvesturs innundir Sundin. Ef sú vitneskja væri t.d. yfirfærð beint á sveigðar segullægðir umhverfis Viðey myndi innskotum þar ekki halla innundir ætlaða miðju Viðeyjaröskju heldur útundan henni til vesturs og norðvesturs. Eins er það nokkur galli á öskjuhugmynd Hauks Jóhannessonar (1985) að ekki skuli sjást nein öskjubrot í gamla berggrunninum suður af Leirvogi á þeim eina stað á svæðinu þar sem þau gætu þó sést á yfirborði.

Að lokum má svo geta hér nýlegs rannsóknarverkefnis sem Vísindasjóður styrkti og Freyr Þórarinnsson sá um. Verkefnið fólst í rannsókn og þróun tölvuvinnslu jarðeðlisfræðilegra gagna með nýrri aðferð stefnugreiningar og stefnusúunar. Ekki verður reynt að leggja mat á notagildi gagnaúrvinnslunnar hér, en þess má geta til fróðleiks að með beitingu slíkrar úrvinnslu fæst bæði segullægð og þyngdarhæð í sömu stefnu og sigspildan á Laugarnessvæðinu er ætluð hafa, þ.e. NV-SA, þvert á gosbeltið (OSSI, 1989). Í ljósi þess sem að ofan er sagt um þéttleika mælipunkta verður ekki fjölyrt um samsvörunina frekar. Þessum aðferðum hefur ekki verið beitt á segulkort Huntings frá 1959.

3. ENDURSKOÐUN GAGNA OG VIÐBÆTUR

Þegar úttekt var gerð á seltubreytingum í Laugarnessvæðinu og orsökum þeirra 1987 var byrjað á því að skoða gömul gögn um H-holurnar. Í ljós kom að nákvæm snið á löngum strimlum voru til um holur H-22 (160-260 m), H-23 (120-300 m), H-26 (0-300 m) og H-27 (0-400 m). Handlitað jarðlagasnið af sömu holum ásamt holum H-24, H-25, H-28, H-29 og H-30 fannst líka, en án jarðlagaskýringa. Búinn var til greiningarlykill fyrir jarðlagasniðið og það nýtt til hins ýtrasta. Loks fundust þrjú handlituð jarðlagasnið, merkt með fangamarkinu G.B., af holum H-5, H-16 og H-17 eða H-19. Þau eru bæði ónákvæmari en hin fyrri og skýringalaus, og enn þurfti því að bregða til túlkunar á litum, og er skýrt frá þessu í gagnaskýrslu Hitaveitu Reykjavíkur (1988). Hugsanlegt er að fleiri jarðlagasnið af gömlu holunum kunni að leynast í geymslum í Reykjavík, og mættu þau gjarnan komast til Hitaveitu Reykjavíkur í varðveislu, ef finnst. Borsvarf og kjarnar úr H-holunum eru löngu glataðir og endurgreining á holunum því ekki möguleg. Er það nokkuð bagalegt, einkum hvað holu H-16 við Rauðarárstíg varðar. Spurningin er hvort stærsta misgengið í Reykjavík liggur norðan eða sunnan við holuna. Veik vísbending af litasniðinu bendir til að misgengið liggi sunnan við holuna, og er reiknað með að svo sé. Velt var vöngum yfir því hvort jarðeðlisfræðilegar mælingar í borholunni gætu hjálpað upp á sakirnar. Lagt er til að slíkar mælingar verði gerðar. Þar sem nákvæm gögn skortir um holu H-16 verður að skilja við þessa skýrslu með óvissu um endanlega staðsetningu misgengisins. Á mynd 2 hefur Þorsteinn Thorsteinsson dregið misgengið rétt norðan við holu H-16, en ástæðan fyrir því er fallin í gleymsku, að sögn Þorsteins.

Farið var vandlega yfir jarðlagasnið Þorsteins af holum RV-1 til RV-22. Sniðin eru nákvæm en bjóða skoðanda þó oft upp á að velja berggerðarheiti. Hlutfallslegt magn nokkurra berggerða er þannig sýnt á sama dýpi í sniðunum, og var það gert vegna blöndunar svarfs á leið upp holuna í borun. Tiltölulega auðvelt er að túlka jarðlagasniðin og draga saman helstu berggerðir til að nota við gerð einfaldaðra jarðlagasniða. Niðurstaðan er birt í Viðauka 2, og svo á jarðlagasniðunum, sem vikið er að síðar.

Upplýsingar um jarðlög í holum RV-34, RV-35, RV-38 og RV-40 voru sóttar beint í skýrslur um holurnar, og framsetning gagnanna samræmd eftir bestu getu. Að undanskildum efstu jarðlögnum (Reykjavíkurgrágrýtinu og Elliðaavogssetinu) var jarðlögum skipt í fjóra flokka: 1) Móberg, 2) Basalthraun, 3) Dyngjuhraun og 4) Ísúr og súr jarðlög. Handteiknuð voru mörg jarðlagasnið og handteikning fjögurra þeirra birt í gagnaskýrslu hitaveitunnar (1988).

Það markverðasta sem kom út úr endurtúlkun gagnanna var fyrst og fremst tvennt. Annars vegar kom í ljós 100-200 m djúp sigdæld á Laugarnessvæðinu, sem stefnir NV-SA í átt að Elliðaársvæðinu, og hins vegar grágrýtisdýngja sem leyndist á nokkur hundruð metra dýpi undir Laugarnessvæðinu, þykkust undir Laugardalnum (holu RV-40). Grágrýtisdýngjan myndaðist á hlýskeiði á ísöld og samanstendur af nokkrum grófkornóttum lekum hraunlögum, sem eru hluti af vatnskerfi A, sem áður er getið. Í eldri gögnum eru þessi dyngjuhraun ýmist kölluð dólerít, díabas eða grófkornótt basaltlög. Nú eru tvær fyrri nafngiftirnar eingöngu notaðar um innskotsberg, en höfðu víðtækari merkingu áður fyrr. Vandí er að greina á milli grófkorna dyngjuhrauna og basaltinnskota í borsvarfi og því óhjákvæmilegt annað en að berggerðaheiti hafi verið önnur á fyrstu tíð svarfgreininga á landinu en nú. Þannig féll höfundur þessarar skýrslu í þá gryfju með samstarfsmönnum að ofmeta magn grófkorna innskota í holu RV-40 í Laugardalnum. Endurskoðun á svarfinu og samanburður við möluð svarfsýni úr grágrýtisdýngjum á Reykjanesi sýndi að stór hluti af grófkornóttu basalti gat allt eins verið dyngjuhraun.

Þegar ofangreindar niðurstöður lágu fyrir var ákveðið að yfirfara gögnin betur og leita að hugsanlegum veikleikum í jarðfræðimyndinni. Það var gert með endurgreiningu á borsvarfi úr Laugarnesholunum eftir því sem tilefni var, athugun á því hvort dyngjan og sigdalurinn kynnu að finnast á Elliðaársvæðinu þar sem laska þurfti að taka jarðlagagögn saman að nokkru leiti og endurgreina til samræmis, og loks með athugun á ummyndun bergsins í þeim tilgangi að sjá hvort fylgni væri milli ætlaðra misgengja og ummyndunar.

Endurgreining á völdum köflum úr gömlu RV-holunum á Laugarnessvæðinu og á Elliðaársvæðinu gáfu ekki tilefni til að vantagesta jarðlagagreiningum Þorsteins Thorsteinssonar eða Jens Tómassonar, sem tók við svarfgreiningum af Þorsteini þegar boranir hófust á Elliðaársvæðinu. Heiti einstakra jarðlagamyndana tók þó minni háttar breytingum, svo sem endurtúlkun á ætlaðri grágrýtisdýngju sem hér er talin ná til vestustu borholanna á Elliðaársvæðinu, og svo endurtúlkun á basaltríkum breksfum sem ýmist geta tilheyrt glerrískum hraunum eða bólstrabergsmyndunum. Við slíkar aðstæður er óhjákvæmlegt að endurskoða þurfi fyrri túlkun, eftir því sem borholum fjölgar á viðkomandi borsvæði. Gögn um allar borholur á Elliðaársvæðinu eru til ásamt með jarðlagalýsingum og ummyndunargreiningum, sem gerði samanburð mögulegan. Tekið var tillit til allflestra birtra gagna um jarðlög og ummyndun á Elliðaársvæðinu (Jens Tómasson, 1988; Jens Tómasson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1974; Jens Tómasson og Þorsteinn Thorsteinsson, 1981; Jens Tómasson o.fl., 1975, 1977; Ómar Bjarki Smáráson o.fl., 1984a,b, 1985,a,b,c, 1988; Helga Tulinius o.fl., 1984b, 1986).

Gögn um jarðhitasvæðið undir Seltjarnarnesi eru mjög aðgengileg og auðveldar það samanburð milli svæða (Jens Tómasson o.fl., 1975, 1977; Hrefna Kristmannsdóttir, 1983; Árný E. Sveinbjörnsdóttir, óbirt jarðlagagreining úr holu SN-6; Árný E. Sveinbjörnsdóttir og Jens Tómasson, 1984; Svanbjörg H. Haraldsdóttir, 1984a,b; Helga Tulinius o.fl., 1987). Gögn um jarðlög, ummyndun og berghita voru tínd til úr ofangreindum heimildum og nýtt við gerð jarðlagasniðs langs eftir Reykjavík frá austri til vesturs.

Sem fyrr segir var tiltölulega auðvelt að finna gögn um dreifingu epidóts á Laugarnessvæðinu. Tilgangurinn með því var að sjá hvort fylgni væri milli dýpis á epidót og legu ætlaðra misgengja. Rannsóknir á útkulnuðum háhitasvæðum sýna að grynna er á epidót við öskjujaðra en utan og innan öskjubrotanna (Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1983). Stafar það af góðri lekt næst öskjurimum samtmis því sem háhitakerfi eru hvað virkust. Heitt vatn leitar upp með brotabeltunum og stjórnar suðuferillinn vatnshitanum upp til yfirborðs. Ef grynna væri á epidót í holunum sem eru næst stóra norðvestlæga misgenginu myndi það styðja við hugmyndina um að misgengið væri öskjubrot. Ef engin fylgni sæist benti það til hins gagnstæða.

Svipað gildir um dreifingu laumontíts. Fylgni milli dýpis á laumontít og legu misgengja gæti bent til að samband sé á milli í þá veru að heitt vatn leiti eða hafi leitað upp eftir misgengjunum. Laumontít er talið myndast á hitabilinu 120°C til 180°C (Hrefna Kristmannsdóttir og Jens Tómasson, 1978). Laumontít er því einkar áhugavert því hiti í Laugarnessvæðinu er það hár að laumontít er enn að myndast neðan 1000 m dýpis á vinnslusvæðinu. Ofan 1000 m dýpis virðist skyndileg innrás kalds sjávarvatns í lok ísaldar hafa bundið enda á myndun laumontíts í sprungum (sjá síðar), en sá atburður skiptir engu máli í sambandi við aldur misgengjanna því þau er í öllu falli eldri en grágrýtið (þ.e. eldri en 200 þúsund ára). Ef fylgni sést hins vegar milli misgengjanna og laumontíts, en ekki epidóts, gefur það aldur misgengjanna óbeint til kynna, og væru misgengin þá tiltölulega ung. Jafnframt gæti fengist mat á það hversu miklir áhrifavaldar misgengin væru um dreifingu jarðhitans.

Gögn um dreifingu laumontíts á Laugarnessvæðinu þurfti að vinna frá grunni í öllum holum nema RV-38 og RV-40. Var það einkar tímafrek vinna þar sem svarfsýnin úr holum RV-1 til RV-22 voru öll í svarfdósum. Frá og með holu RV-23 á Elliðaáarsvæðinu hefur svarf úr öllum jarðhitaholum landsins verið líft upp á spjöld, sem er til mikils hagræðis við fljótheita athuganir og hvers kyns samanburð á milli borhola. Laumontít er auðgreind steind, staflaga og svo lín að mylja má milli fingra. Á Reykjavíkursvæðinu kemur hún fyrir í tvenns konar formi (skv. Jens Tómassyni o.fl. 1977, bls 37-38), annars vegar í blaðlaga mjólkurlituðum, fínkorna útfellingamassa og hins vegar í löngum stangarlaga möttum kristalklösum. Sú fyrri finnst undantekningarlaust ofan til í holunum. Þar sem engar þunnsneiðar eru til af svarfi úr holum RV-1 til RV-22 voru gerðar nokkrar röntgengreiningar á fínkorna, línunum, hvítum útfellingaklösum úr nokkrum holum (RV-1, RV-8, RV-12 og RV-34) í þeim tilgangi að fullvissa sig um að þar væri laumontít á ferðinni en ekki aðrir zeólítar eða kísilútfellingar (opall). Niðurstaðan var ótvírætt sú að um laumontít var að ræða, enda auðgreint í borsvarfi á lit og hörku.

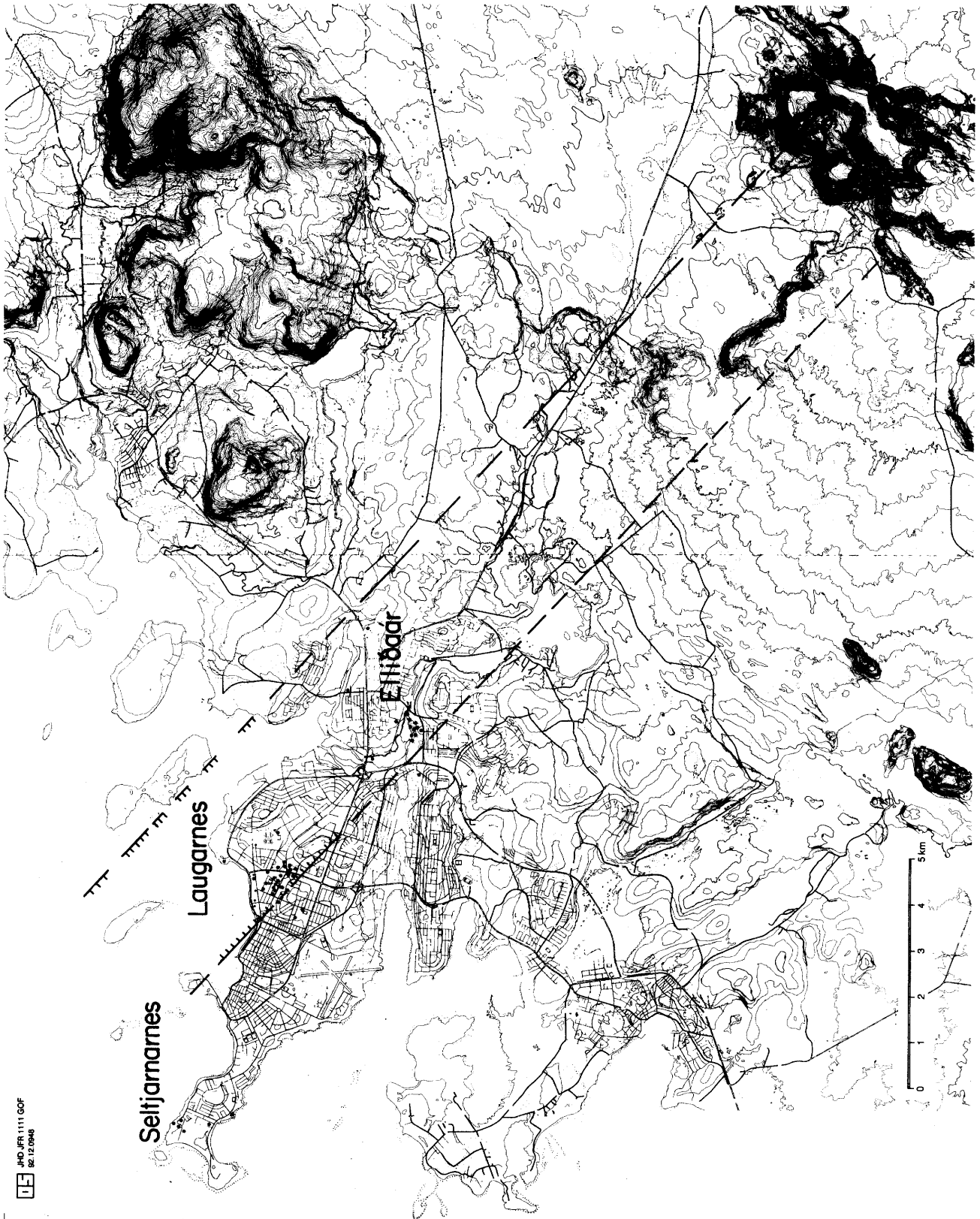
Í töflu 1 er birt yfirlit um minnsta dýpi á laumontít og epidót. Taflan skýrir sig að mestu sjálf. Laumontít kemur nær eingöngu fyrir sem sprungufylling næst yfirborði, og þá oftast í örtiltu magni í svarfsýnunum. 100 til 200 m neðar eykst magn þess umtalsvert, er steindin verður algeng holu- og sprungufylling (sjá t.d. athugasemd með RV-15). Í mörgum tilvikum eru nokkrir tugir metra á milli fyrsta fundarstaðar og þess næsta svo sem fram kemur í töflunni.

Engin tók voru á því að kanna dreifingu annarra steinda en epidóts og laumontíts á Laugarnessvæðinu. Ljóst var að gagnasöfnun yrði umfangsmeiri en tíminn leyfði og bæði yrði að notast við smásjár- og röntgengreiningar, auk svarfgreininga. Æskilegt væri að dreifing annarra ummyndunarsteinda yrði könnuð áður en langt um líður. Til dæmis hefur komið í ljós að dreifing lághitazeólíta í holum RV-38 og RV-40 er í samræmi við núverandi hita á svæðinu. Jafnframt bendir nákvæm greining á ummynduninni í sömu holum til þess að jarðhitakerfið hafi snöggkólnað ekki alls fyrir löngu, er kaldur sjór komst niður í vatnsleiðara A og B. Kólnunin sést á því að laumontít hætti að myndast í opnum sprungum, myndun anhydríts tók við og síðan myndun lághitazeólítsins skólesíts, sem fyllti sprungurnar (Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1982). Steindin anhydrít er ekki í jafnvægi í jarðhitakerfinu í dag og myndast nær eingöngu í saltara vatni við svipað hitastig og nú ríkir á Laugarnessvæðinu. Leiddar voru líkur að því að innrás salta vatnsins hafi gerst nærri ísaldarlokum fyrir u.þ.b. 10.000 árum (Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1987). Ýtarleg athugun og könnun á útbreiðslu þessarar fyrri kólnunar og seltuaukningar gæti komið að gagni við mat á framvindu seltuvandamálsins sem nú veldur vandræðum við nýtingu vatns úr Laugarnessvæðinu.

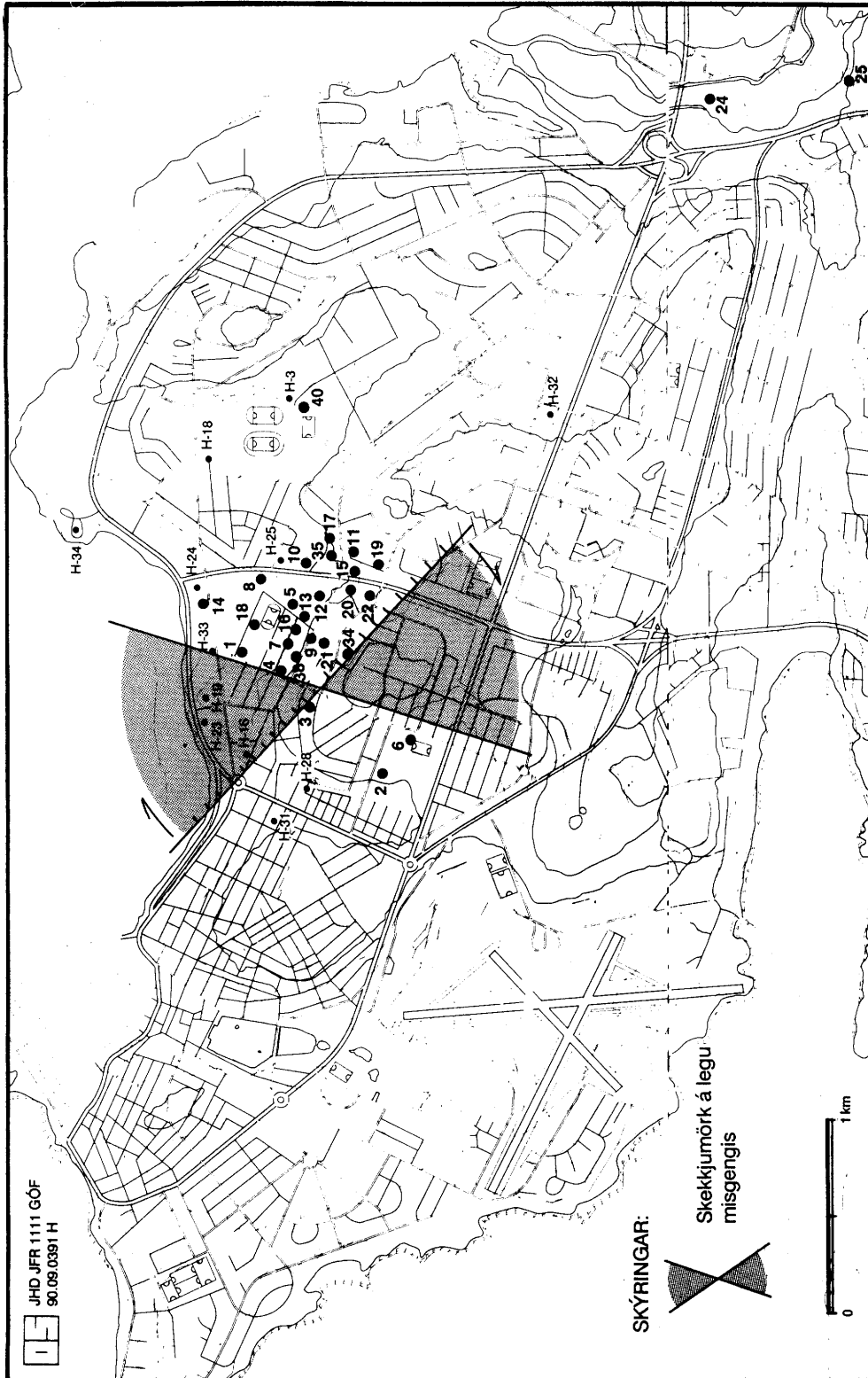
4. JARÐFRÆÐI- OG JARÐHITASNIÐ AF REYKJAVÍK

Á mynd 1 er sýnd staðsetning flestra borhola í Reykjavík og lega þeirra jarðlagasniða sem fjallað er um hér að neðan. Áður en til þess kemur er rétt að skoða ætlaða misgengjastefnu aðeins nánar. Svo sem fram kom í grein Þorsteins Thorsteinssonar og Jónasar Elfssonar (1970) var nokkur vantrú uppi á sínum tíma á að NV-SA misgengi á Laugarnessvæðinu ættu við rök að styðjast. Sé nú misgengislína sem liggur sunnan holu H-16, norðan holu RV-3 og sunnan við holu RV-34 (sjá mynd 1) framlengd sem bein lína í austurátt sést að línan lendir rétt sunnan við og samsíða Sandfelli og Rjúpnadalahnúkum, upp af Rjúpnadölum á Bláfjallaleiðinni (mynd 4). Annar NV-SA móbergshryggur er litlu norðar á línu eftir Arnarþúfum upp á kollinn á Vífilfellum og á Sauðdalahnúkum. Móbergshryggur þessi gaus á síðasta kuldaskiði ísaldar (yngri en 100.000 ára) og liggur mislægur ofan á NA-SV móbergshrygg sem nær suður fyrir Bláfjöll. Aldur NV-SA móbergshryggjanna bendir til að djúplægt NV-SA sprungubelti sem óhjákvæmilega fæddi goshryggina, hafi myndast tiltölulega nýlega jarðfræðilega séð. Ef bein lína er dregin frá Vífilfellum um Arnarþúfur til Reykjavíkur, þá liggur skurðpunktur línunnar um Grafarholt og út sunnið rétt sunnan Viðeyjar. Ef einhvert samband er þarna á milli, sem er alls ekki gefið, gæti það bent til þess að sigspildan undir Laugarnesinu væri nærri 4 km breið. Eins má benda á að NA-SV móbergshryggirnir frá Vífilfelli austur í Stóra Meitil eru endasleppir til norðurs um nokkurn vegin sömu NV-SA stefnuna. Freistandi er að álykta að sigspildan í Laugarnesinu og þverhryggirnir eigi sér sameiginlega skýringu í djúplægu veikleika- eða sprungubelti í jarðskorpunni í NV-SA stefnu. Endurteknar jarðskorpuhreyfingar á slíkri brotalöm myndu óhjákvæmilega skapa ákjósanleg skilyrði fyrir volgt og heitt vatn og virka sem einskonar jarðhitagildra. NV-SA sprungubeltið yrði þannig frumorsök þess að nýtanlegt jarðhitavatn leynist undir Laugarnesinu. Ekki eru það þó ýkja jarðfræðileg vinnubrögð að draga þráðbeinar línur milli fjarlæggra stað þvfi misgengi og sprungur vilja gjarnan sveigja eða hliðrast til. Til dæmis lendir beina línan frá Laugarnesi í Rjúpnadalahæðir á milli holu K-1 og hinna holanna á Elliðaársvæðinu. Leitað var sérstaklega að þvfi með endurgreingu á holum K-1 og RV-25 hvort möguleiki væri á að stórt misgengi lægi á milli þeirra, en svo reyndist ekki vera. Eins líklegt er að NV-SA misgengið nái ekki inn á Elliðaársvæðið eða sé sunnan við holu K-1 undir Breiðholtsmýrinni. Má í þvfi sambandi minnst Breiðholtsvolgra sem eru löngu horfnar, en þær lágu þó í norðlæga stefnu. Ef misgengislínan sem Þorsteinn teiknaði (mynd 2) væri t.d. framlengd austur lenti hún rétt sunnan við holu K-1. Ekki fæst hins vegar úr þvfi skorið hér hvort misgengið í Laugarnesi nái til Elliðaársvæðisins.

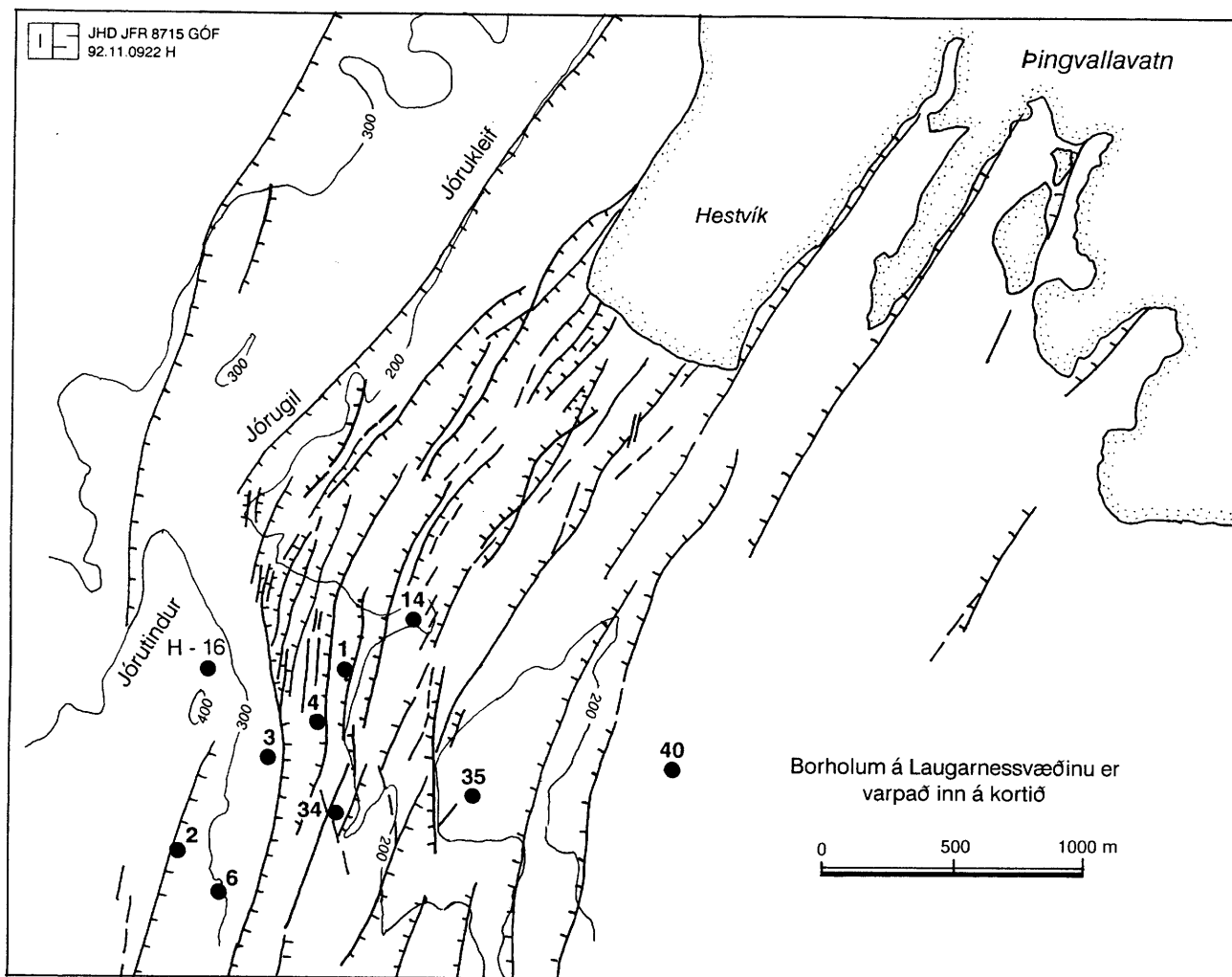
Eins og getið var um í undirkafla 2.2 og kafla 3 þá eru jarðfræðigögn úr holu H-16 við Rauðará svo bágborin að ekki fæst úr þvfi skorið hvort misgengið liggur norðan eða sunnan við holuna. Hins vegar er ljóst eins og fram kemur á jarðlagasniðunum síðar, að stóra misgengið liggur á milli hola RV-3 og RV-4 annars vegar, og hola RV-6 og RV-34 hins vegar. Eins er ljóst að hola RV-1 er innan sigspildunnar. Ef að hola H-16 væri utan við sigspilduna þá gæti misgengislínan legið einhvers staðar á þeim geira sem sýndur er á mynd 5, sem sýnir mestu mögulegu skekkjumörk á legu misgengisins út frá borholugögnum. Ekki fæst úr þvfi skorið með vissu hvar misgengið liggur nákvæmlega. Æskilegt væri að athuga hvort mælingar í holu H-16 gætu minnkað óvissuna. Hér verður gert ráð fyrir að misgengið liggi rétt sunnan við holuna (sbr. kafla 3), um Skúlatorg, vestur í mynna Reykjavíkurhafnar í stefnu á Akurey.



Mynd 4. Misgengi/sprungur og móbergshryggir.



Mynd 5. Skekkjumörk á legu NV-læga misgengisins.



Mynd 6. Nokkrum RV-holum (númer) varpað inn á sprungukort af Hengilssvæðinu.

Í ljósi framangreindra skekkjumarka þá er hugsanlegt að skýra megi sigdalinn með tilvísun til hliðstæðu í virka gosbeltinu. Suður af Hestvík í Þingvallavatni (mynd 6) má t.d. sjá áberandi norðlæga sveigju á misgengjum í Hengilssprungusveimnum (Knútur Árnason o.fl., 1986). Hún afmarkar sigspildu af hliðstæðri stærð og vinnslusvæðið í Laugarnessvæðinu eins og best sést með því að varpa nokkrum RV-holum inn á sprungukortið. Á grundvelli fyrirliggjandi gagna fæst þó ekki úr því skorið hvort sigdalurinn á Laugarnessvæðinu er af svipuðum toga spunninn í sprungusveim suður úr Kjalarnes II eldstöðinni. Til þess þyrfti að afmarka sigdalinn betur með því að fjölga borholum. Hins vegar er ekkert sem mælir gegn því að sigdalurinn sé skýrður með þessum hætti, og útilokar það reyndar ekki að djúplæg tengsl í jarðskorpunni liggi á NV-SA línu frá Laugarnesi í Vífilfell.

Tafla 1. Jarðhitasvæðið í Laugarnesi. Minnsta dýpi á laumontít og epidót.

Borhola	Dúpi	Laumontít	Epidót	Athugasemd
RV-1	1067	222/384	615	* XRD-greint
RV-2	660	588	N	**
RV-3	730	171	N	
RV-4	2200	355	700	
RV-5	740	283/349	N	***
RV-6	768	600	N	
RV-7	750	366	N	
RV-8	1395	287/340	1280	XRD-greint
RV-9	860	188	N	
RV-10	1366	200/291	790	
RV-11	927	362	N	
RV-12	1360	137/295	1220	XRD-greint
RV-13	1463	225	800	
RV-14	1026	365	775	
RV-15	1014	280/310	N	Mikið laum. > 400 m
RV-16	1300	430	820	
RV-17	634	384	N	
RV-18	1440	351	1165	
RV-19	1239	um 400	1140	
RV-20	764	um 300	N	
RV-21	797	360	695	
RV-22	1583	210/240	1280	
RV-34	3085	274	1000	XRD-greint
RV-35	2857	370	1300	
RV-38	1488	um 200	700	
RV-40	2191	um 300	500	

* : Allar dýptartölur í metrum

** N : Táknað að epidót finnst ekki í holunni

*** : Þar sem tvær dýptartölur eru gefnar vísar sú fyrri til fyrsta funds á laumontíti í svarfi, en sú seinni til næsta funds. (Ath. þó að svarf vantar í RV-1 milli 300 og 384 m).

Mynd 7 sýnir dýpi á laumontít á öllum borsvæðum á Reykjavíkursvæðinu, allt upp til Korpu (hola RV-42). Óneitanlega rekur maður strax augun í það hversu fáar borholur eru utan skilgreindra lágheitsvæða. Eins er auðsætt á myndinni að lang grynnt er á laumontít á Laugarnes-svæðinu, sem er í samræmi við talsvert hærri hita þar en á Seltjarnarnesi eða við Elliðaár. Grynna er á laumontít undir Seltjarnarnesi en við Elliðaár, sem líka er í samræmi við núverandi hita í svæðunum. Álfka djúpt er á laumontít við Korpu og á Seltjarnarnesi, sem er í samræmi við mat Jens Tómassonar (1988) um hækkandi hita norðan við Elliðaársvæðið.

Sé fylgni milli laumontíts og misgengja nú skoðuð blasir við samræmið milli NV-SA læga misgengisins annars vegar og svo A-V læga misgengisins frá Þorsteini Thorsteinssyni (á mynd 3) hins vegar. Misgengin hafa því haft áhrif á lekt á Laugarnessvæðinu á þann hátt að heita vatnið sem laumontít myndaðist úr ($> 120^{\circ}\text{C}$) leitaði upp með misgengjunum. Það gefur vísbendingu um aldur misgengjanna sem opinna vatnsleiðara, en ekki um upphalflegan aldur þeirra.

Sem fyrr segir benda gögn úr holu RV-38 (Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1982, 1987) til þess að Laugarnessvæðið hafi kólnað um einhverja tugi $^{\circ}\text{C}$ fyrir 10.000 árum. Í holu RV-38 er laumontít yfirprentað af yngri lághitazeólítum á dýptarbilinu frá u.þ.b. 200 m niður undir 1000 m dýpi. Í holu RV-40 í Laugardal, sem hvergi nær 120°C , finnast lághitazeólítar allt niður á 1700 m dýpi, líkast til yfirprentaðir á laumontít frá 300 m dýpi niður í 1700 m (Guðmundur Ó. Friðleifsson o.fl., 1985). Ekki eru til nákvæmar upplýsingar um þróun ummyndunar í öðrum holum og væri þarft verk að bæta úr því. Gagna um kælinguna ásamt með gögnum um saltmengun út frá dreifingu anhydríts væri t.d. hægt að afla. Til dæmis finnst anhydrít einungis milli 500 og 700 m í holu RV-38, en frá 700 m niður á 1700 m dýpi í holu RV-40. Efri mörkin gefa e.t.v. til kynna dýpið á 120°C jafnhitalínuna þegar kælingin af völdum salts vatns hófst. Fróðlegt væri líka að vita hvort svæðið hefur kólnað samfelt frá því að háhitavirkni ríkti fyrir u.þ.b. 2 milljónum ára, eða hvort jarðhitasvæðið kólnaði niður fyrst og hitnaði síðan aftur við tilurð sigdalsins, sem virðist vera yngri en háhituummyndunin (sjá aftar). Nákvæm ummyndunarrannsókn gæti svarað slíkum vangaveltum og aukið skilning á eðli og orsökum lághitavirkinnar.

Dreifing epidóts undir Reykjavík er sýnd á mynd 8. Þar bregður svo við að grynna er á epidót undir Elliðaánum en Seltjarnarnesi, öfugt við laumontít, og munar allt að því 800 m hve dýpra er á epidót úti á nesi. Bendir það til að jarðhitasaga lághitasvæðanna sé ólík. Jafnframt er grynna á epidót norðan til á Elliðaásvæðinu en sunnan, sem vísar til gamallar háhitavirkni í norðri (þ.e. í Kjalarnes II eldstöðinni). Sé litið sérstaklega á dreifingu epidóts á Laugarnessvæðinu þá sést engin fylgni milli þess og NV-SA læga misgengisins. Hins vegar mætti með góðum vilja ímynda sér fylgni milli norðlægrar stefnu og epidóts, auk þess sem smá tunga teygir sig til austurs nær samsíða A-V misgengi Þorsteins á mynd 3. Að undanskilinni holu RV-40, sem er talsvert austar en hinar, þá snardýpkar á epidót frá vestri til austurs, og sama virðist vera upp á teningnum til suðurs miðað við holu RV-34 (sem er mjög nærri stóra misgenginu). Þar sem epidót finnst ekki í holu RV-3 (730 m djúp) er ljóst að 700 m jafndýptarlína myndi lokast til norðurs eða vesturs og ekki fannst epidót í holu RV-6 sem nær 768 m dýpi. Gagnaskortur úr holu H-16 takmarkar mat vestan holu RV-1.

Í ljósi þess sem fyrr var sagt um fylgni milli öskjumisgengja og dýpis á epidót, þ.e. að grynnt sé á epidót yfir öskjurimum, þá virðist nær ógjörningur að koma öskjumisgengi fyrir með norðlægrri stefnu inn á milli hola RV-3 og RV-34. Enginn vafi er hins vegar á því að stórt misgengi er milli hola RV-3 annars vegar og hola RV-4 og RV-34 hins vegar (sbr. mynd 5). Myndin af dreifingu epidóts styður því ekki öskjuhugmynd Hauks Jóhannessonar (1985).

Vitað er að um þúsund metrar hafa rofist ofan af Reykjavíkursvæðinu á seinni hluta ísaldar. Sömu jarðlagasyrpur og finnast í Esju eru til dæmis í berggrunni Reykjavíkur, svo sem síðar verður vikið að. Mörg hundruð metrar af bergi hafa því hulið Reykjavíkursvæðið forðum tíð þá er háhitavirkni ríkti á núverandi lághitasvæðum (Ingvar B. Friðleifsson, 1985). Á virkum háhitasvæðum finnst epidót gjarnan á örfárra hundruða metra dýpi. Minnsta dýpi á epidót á Laugarnessvæðinu skv. töflu 1 að viðbætti svo sem hálfri Esju væri hins vegar nærri 1 km og

þaðan af meira. Dreifing epidóts gefur því til kynna að lághitasvæðin í Reykjavík séu við suður-jaðar gamla háhitasvæðisins.

Á myndum 9 og 10 eru sýnd tvö NA-SV jarðlaga-, ummyndunar- og hitasnið þvert á ætlaðan sigdal. Lega sniðanna er sýnd á mynd 1. Sniðið á mynd 10 er jafnframt framlengt til austurs að holu RV-40 við gömlu Þvottalaugarnar. Fyrst er rétt að benda á að öll misgengi eru eldri en Reykjavíkurgrágrýtið og sðkvarteru setlögin undir því. Bæði sniðin gefa mjög svipaða mynd af sigdalnum. Stórt misgengi er á milli RV-3 og RV-4 á mynd 9 og RV-6 og RV-34 á mynd 10. Dyngjuhraunin reyndust haldgóð leiðarlög. Tekið er tillit til A-V misgengis Þorsteins Thorsteinssonar (á mynd 2) við gerð mynda 9 og 10. Hins vegar er lega misgengis á NA-verðu svæðinu ekki eins afdráttarlaus og stóra misgengið vestar. Á mynd 10 virðist t.d. misgengi vera á milli hola RV-5 og RV-13, og jafnframt á milli hola RV-10 og RV-8. Misgengin virðast mynda stalla á móti stóra misgenginu. Með því að framlengja sniðinu sðan til austurs að holu RV-40 kemur fram sú mynd sem skýrt getur kantfrávikíð á flugsegulkortinu frá 1959. Aðalatríðið er það að hraunastaffli og grágrýtisdýngja eru undir Laugardalnum neðan Elliðavogssettlaganna, allt niður á 460 m dýpi, en móbergsmýndun í efstu 200-300 m sniðanna í sigdalnum vestar. Á mynd 10 þarf að taka tillit til suðaustlægs jarðlagahalla upp á 5-10° þar sem sniðlínni er snúíð til austurs. Því þarf annað hvort að gera ráð fyrir að jarðlagamyndanir neðar í holunni, t.d. ísúru lögin á 1,5 km dýpi, þykkni innundir Laugardalinn, eða reikna þarf með einu eða fleiri misgengjum með sigi til vesturs milli holu RV-40 og vinnslusvæðisins eins og gefið er til kynna á myndinni. Jafnframt má benda á að jarðlagahalli innan sigspildunnar er sáralftill ef nokkur, og þá fremur að stóra misgenginu í suðvestlæga átt en ekki frá því til norðvesturs eins og búast mætti við ef stóra misgengið ætti nokkuð skylt við öskjubrot. Fjölgar því enn rökum gegn öskjuhugmyndinni margnefndu.

Neðan 700 m dýpis í vinnslusvæðinu gefa jarðlagagögn ekki eins afdráttarlaus misgengi til kynna og ofar. Líklegt er að innskot valdi nokkru um misræmi milli hola auk þess sem nákvæmni svarfgreininga kann að hafa minnkað vegna svarfblöndunar. Gögnin ofar úr holunum eru hins vegar svo afdráttarlaus að ekki þarf að fjölyrða frekar um tilveru stóra misgengisins. Til að ákvarða nákvæmlega legu stallamisgengjanna austar á svæðinu þyrfti að beita ýtarlegum samanburðargreiningum á svarfsýnum úr holunum. Ef til slíks samanburðar kæmi í framtíðinni væri æskilegt að fá mælingar á geislavirkni úr dýpstu holunum í þeim tilgangi að nýta ísúru lögin sem leiðarlög. Ekki fæst hins vegar skorið úr um fjölda misgengja milli holu RV-40 og vinnslusvæðisins nema holum verði fjölgað.

Auk jarðlaganna er dreifing laumontíts, epidóts og berghita sýnd á myndum 9 og 10. Samanburður á myndunum sýnir að dýpra er á epidót í sniðinu á mynd 10 en á mynd 9, í samræmi við mynd 8. Laumontít sýnir hins vegar svipað mynstur á báðum myndum. Lega sprungna eða misgengja hefur greinileg áhrif á dreifingu laumontíts, í samræmi við þá vitneskju að laumontít kemur undantekningarlaust fyrir sem sprungufylling efst í holunum. Greinileg fylgni er milli laumontíts og misgengja. Athyglivert er að bera saman dreifingu laumontíts og 120°C jafnhita-línunnar. Sé miðað við að 120°C sé sá lágmarkshiti sem þarf til að laumontít myndist má virða fyrir sér kólnun á lághitasvæðinu. Svæðið hefur alls staðar kólnað frá fyrri tíð, og þar af lang mest við holu RV-14, sem er næst sjó af holunum á vinnslusvæðinu. Er það í samræmi við það álit að kólnunin niður fyrir 120°C hafi orðið tiltölulega seint í sögu jarðhitasvæðisins. Hins vegar er líklegt að a.m.k. hluti af laumontítinu hafi myndast í tengslum við gamla háhitakerfið ofan við epidótbeltið. Nákvæma ummyndunarrannsókn þarf til að greina á milli þess og laumontítsins sem myndaðist vegna lághitavirkni. Sem stendur eru einungis til gögn úr holum

RV-38 og RV-40 um yngsta laumontítið. Gagnaskortur um yngsta laumontítið í öðrum holum veikir því alla umræðu um nýlegu kælinguna og tímasetningu hennar. Einkum á það við ef kólnunin var ekki samfelld úr háhita í lághita. Gögn úr holum RV-38 og RV-40 (laumontít → anhydrít + leir → skólesít í sömu sprungufyllingum) benda þó til þess að kælingin hafi byrjað nokkuð skyndilega. Hugsanlegt er t.d. að 120°C jafnhitalínan hafi verið nærri 700 m dýpi í holu RV-40 (miðað við dreifingu anhydríts, sjá fyrr) er kælingin hófst, en núverandi berghiti er litlu lægri eða 110-115°C frá 800 m niður í 2100 m (Guðmundur Ó. Friðleifsson o.fl., 1985). Hugsanlegt er að kælingin þar hafi því einungis numið 5-10°C og að samanburðurinn sé nothæfur á Laugarnessvæðinu, a.m.k. hvað mismun milli RV-14 og hinna holanna varðar svip- að og í holu RV-40 sem hvergi nær 120°C hita. Hins vegar er rétt að hafa nokkurn fyrirvara um slíkan samanburð á Elliðaár- og Seltjarnarnessvæðunum í tengslum við mynd 11.

Mynd 11 sýnir einfaldað jarðлага-, ummyndunar- og berghitasnið frá austri til vesturs frá Seltjarnarnesi austur í Árbæjarhverfi. Myndin sýnir reglulega lagskiptingu hallandi jarðлага frá vestri til austurs, og skýrir sig í aðalatriðum sjálf. Hún er byggð á öllum tiltækum gögnum af jarðhitasvæðunum, svo sem greint var frá í kafla 3. Gögnin voru samræmd, endurskoðuð og síðan túlkuð þar sem gagnaskortur kom til. Til dæmis má nefna að ísúra bergið á Seltjarnarnesi hefur allt verið greint sem fínkorna basalt en ekki basalt-andesít. Tilfinnanlega skortir þar mælingar á geislavirkni í einhverri borholunni til staðfestingar á túlkuninni sem sett er fram á mynd 11 varðandi ísúru jarðlögin.

Túlkunum er hins vegar haldið í lágmarki. Þannig eru ekki sýnd nein misgengi, sem ekki er örugg vissa fyrir, svo sem um stóra misgengið á Laugarnessvæðinu. Ef jarðfræðikort af Esju er skoðað (Ingvar B. Friðleifsson, 1973) má sjá þar fjölmörg stór misgengi sem stefna til Reykjavíkur. Líklegt er að einhver þeirra nái til borgarinnar, sem hefði þau áhrif að jarðlagahalli á mynd 11 minnkaði heldur. Slík misgengi gætu verið lek og er því ekki útilokað að nýtanlegt heitt vatn finnist víðar undir Reykjavík, svo sem í nágrenni Öskjuhlíðar eins og stungið hefur verið upp á. Aðalatriði varðandi jarðlagasniðið á mynd 11 er þó það, að það sýnir einungis einfaldaða mynd af berggrunni Reykjavíkur. Til dæmis um það bæði tekið tillit til holu RV-40 í Laugardalnum varðandi grágrýtisdýngjuna og holu H-32 á horni Miklubrautar og Grensásvegur um móbergið yfir dýngjunni (sbr. snið Þorsteins Thorsteinssonar og Jónasar Elfássonar 1970). Dýngjan hins vegar þykkar til norðurs og er yfir 200 m þykk í holu RV-40, líklega frá 230-450 m með innskoti. Þar er dýngjan hulin hraunlagastafla en lítið sem ekkert sést af móbergi svo sem sýnt er á mynd 10. Landslagsáhrifum sem þessum er ekki hægt að koma inn í eitt og sama jarðlagasniðið svo vel sé.

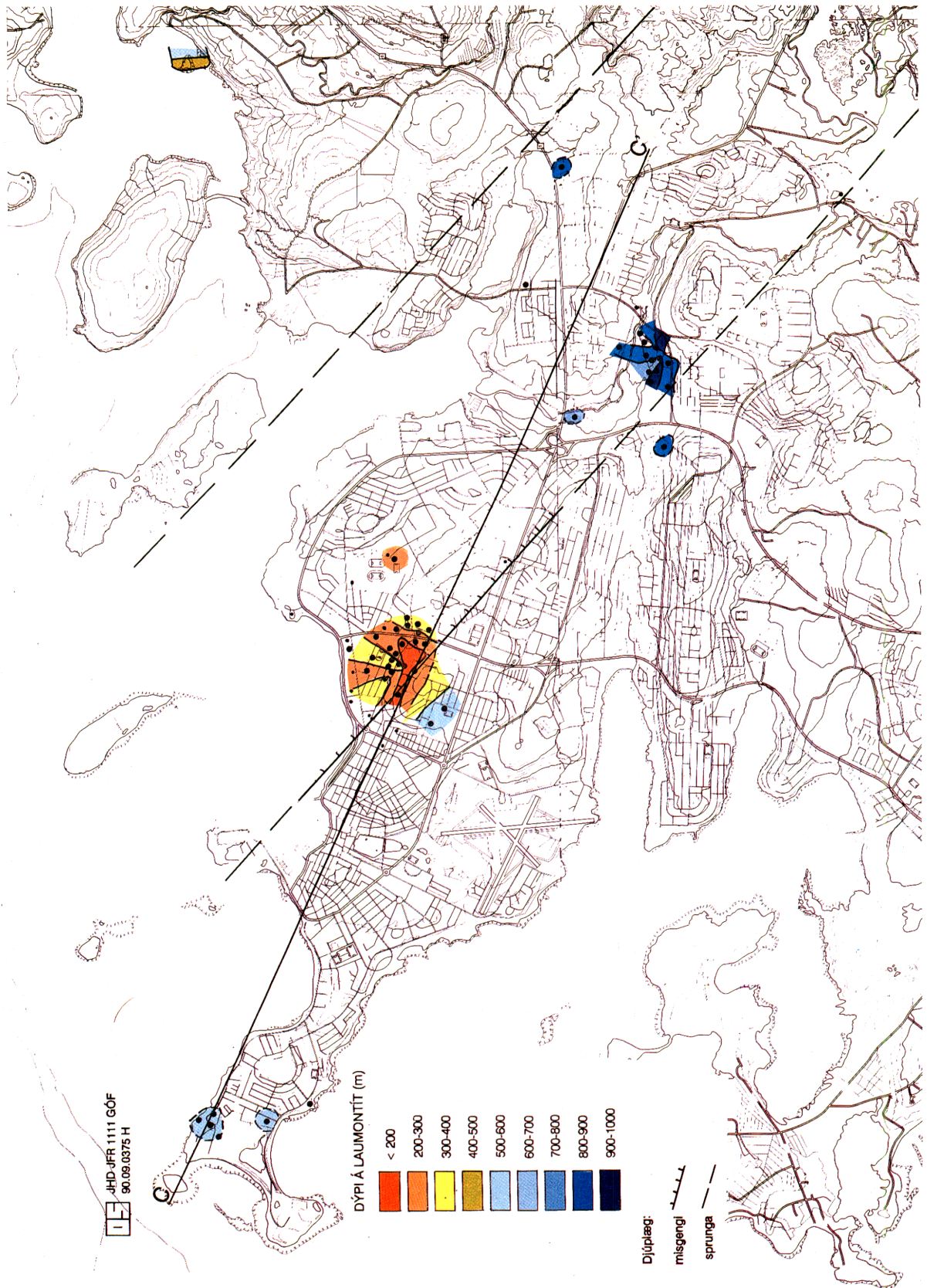
Grágrýtisdýngjan undir Laugardalnum er þannig sýnd á réttum stað í jarðlagastaflanum á mynd 11. Auðsætt er á jarðlagasniðinu hve magn móbergs eykst til austurs. Er það í samræmi við kortlagningu á Esju (Ingvar B. Friðleifsson, 1973). Tenging milli jarðlagasyrpa í Esju og á Seltjarnarnesi var sett fram í skýrslu um höfuðborgarsvæðið (Jens Tómasson o.fl. 1977). Sama tenging er notuð hér og eru tölusettar jarðlagasyrpur eða einingar (E 1 til E 26) úr Esju frá Ingvari sýndar í töfluformi í Viðauka 3. Nokkur Esjunúmer eru jafnframt sett inn á jarðlagasniðið á mynd 11, og fæst gott samræmi milli jarðlagasyrpa í borholunum og í Esju. Til dæmis runnu dýngjuhraun á Esjusvæðinu þegar dýngjan í Laugardalnum var hvað virkust í byrjun eins hlýskeiðs á ísöld. Dýngjan og basaltið ofan við eru tengd við Esjueiningar E14-E16 sem eru öfugt segulmagnaðar frá Matuyama segulskeiðinu, rétt um 2 milljóna ára gamlar. Kemur það vel heim og saman við segulkantfrávikið í Laugardalnum á kortum Huntings Survey Corporation frá 1959, svo sem rætt var í kafla 2.3. Aldur jarðlaganna er gefinn til kynna í Viðauka 3, þar

sem lesa má að berggrunnur Reykjavíkur sé 2,8 til 1,8 milljóna ára gamall.

Einfölduð mynd af ummyndunarbeltum og tveim jafnhitalnum er sýnd á mynd 11 eins og á myndum 9 og 10. Á sama hátt og á myndum 9 og 10 má bera saman 120°C jafnhitalnuna og dýpi á laumontít, og gefur sá samanburður hugmynd um kólnun lághitasvæðanna á Seltjarnarnesi og við Elliðaár, sé gert ráð fyrir sambærilegri kólnunnarsögu og á Laugarnessvæðinu. Kælinguna á Elliðaársvæðinu hefur Jens Tómasson (1988) skýrt með varmanámi. Ef það sama á við um hin svæðin þá gefur mynd 11 tilefni til að ætla að kælingin sé með ólíkum hætti á hinum svæðunum. Varðandi Laugarnessvæðið sérstaklega þá hallast ég fremur að því að varmanám myndi að mestu eiga sér stað nær miðju eldstöðvarinnar norðan við Laugarnessvæðið og að jaðrarnir væru á niðurstreymissvæðum, þ.e.a.s. ef skýringin á lághitasvæðunum liggur í varmanámi úr jarðskorpu sem verið hefur í samfeldri hægfara kólnun síðastliðnar 2 milljónir ára. Í þeim skilningi mætti hugsa sér að Laugarnessvæðið sjálft væri einungis staðbundið uppstreymissvæði í misgengjagildru sem afmarkar sigdalinn, og heitara en hin svæðin vegna nálægðar við varmagjafann. Elliðaársvæðið gæti þá verið á mörkum uppstreymis og niðurstreymis. Ef skýringin á lághitasvæðunum lægi hins vegar í mun skammlíffari og staðbundnari varmanámsfyrirbærum þá mætti t.d. skýra mismun milli svæðanna með betri lekt á Elliðaársvæðinu en á hinum svæðunum. Laugarnessvæðið ætti þá að vera treggæfast í þeim skilningi að því héldist betur á varmanum. Í dag er vinnsluferillinn þó í grófum dráttum sá að einungis er hægt að taka 0,75 (l/s)/m niðurdrátt úr Elliðaársvæðinu en 1,5 (l/s)/m niðurdrátt úr Laugarnessvæðinu. Hér verður ekki fjölyrt frekar um uppruna og eðli lághitasvæðanna en einungis bent á það að nákvæm skoðun á þróun ummyndunar í svæðunum og samanburður á milli þeirra er eina tiltæka aðferðin til að líta á hitafarssögu fortíðarinnar. Slík athugun hefur ekki verið framkvæmd nema lauslega í tveim borholum á Laugarnessvæðinu til þessa, og verða það niðurlagsorð þessarar skýrslu.



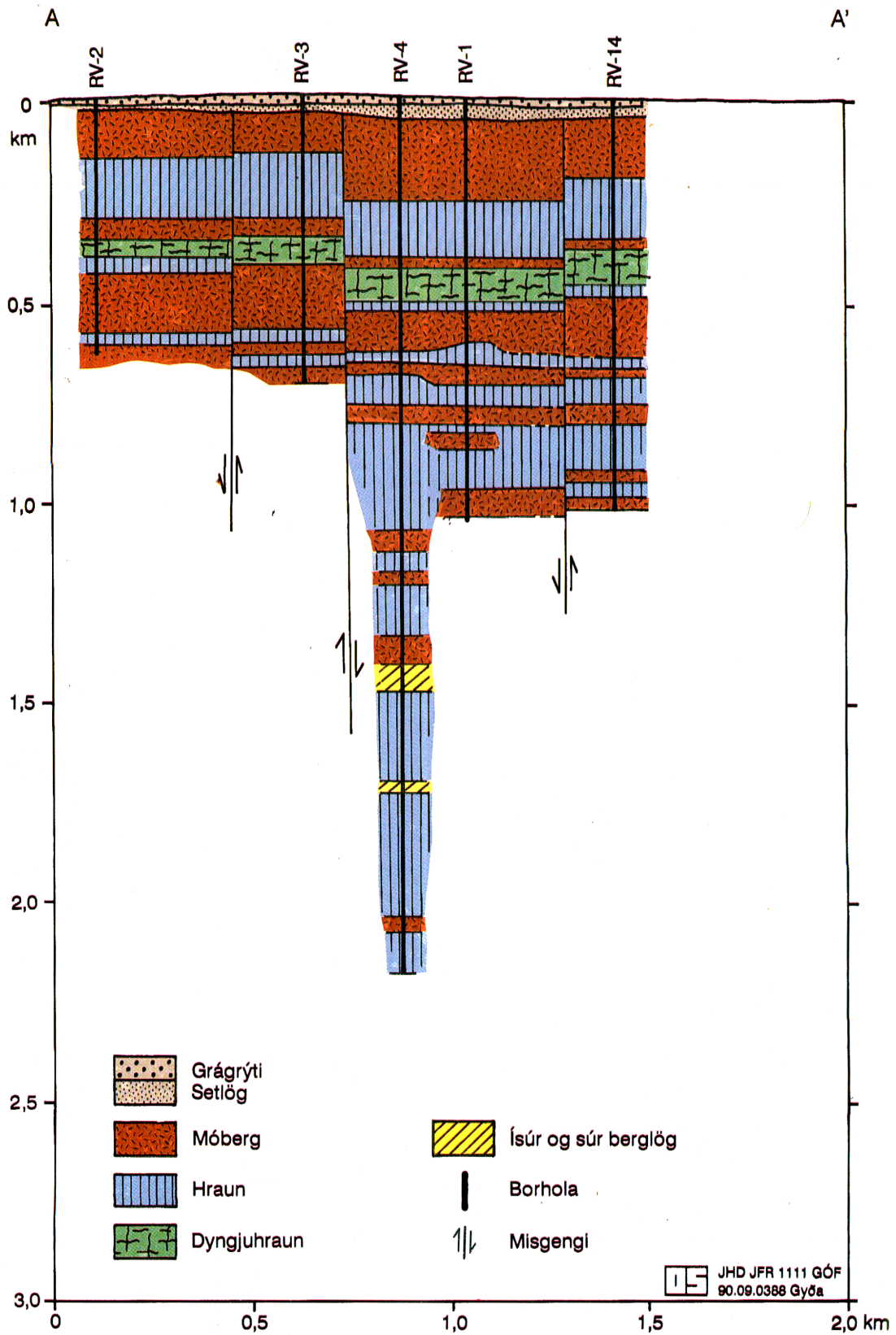
Ljósmynd af Reykjavík og nágrenni. (Ljós. Oddur Sigurðsson).



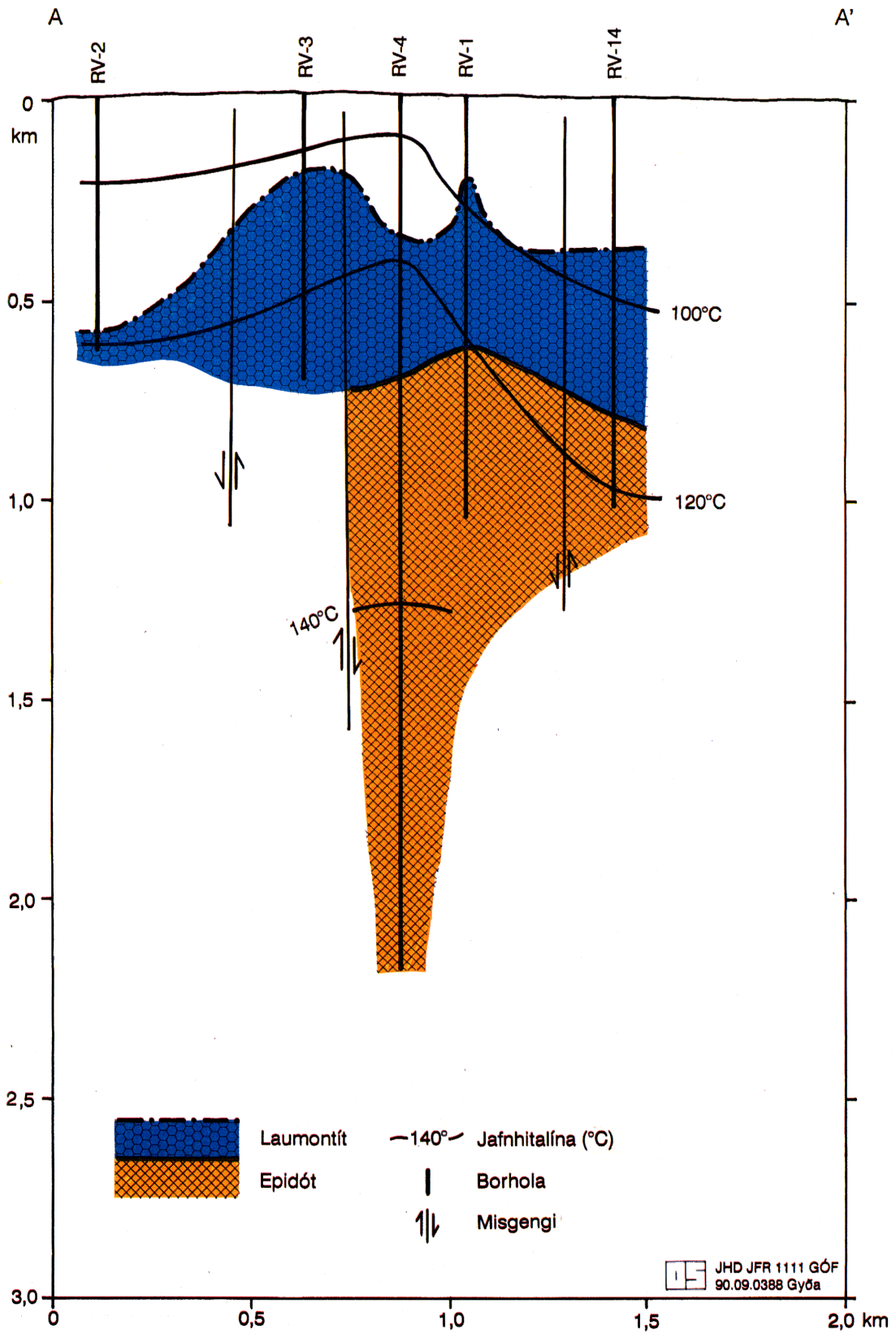
Mynd 7. Dýptarkort af laumontíttí í Reykjavík.



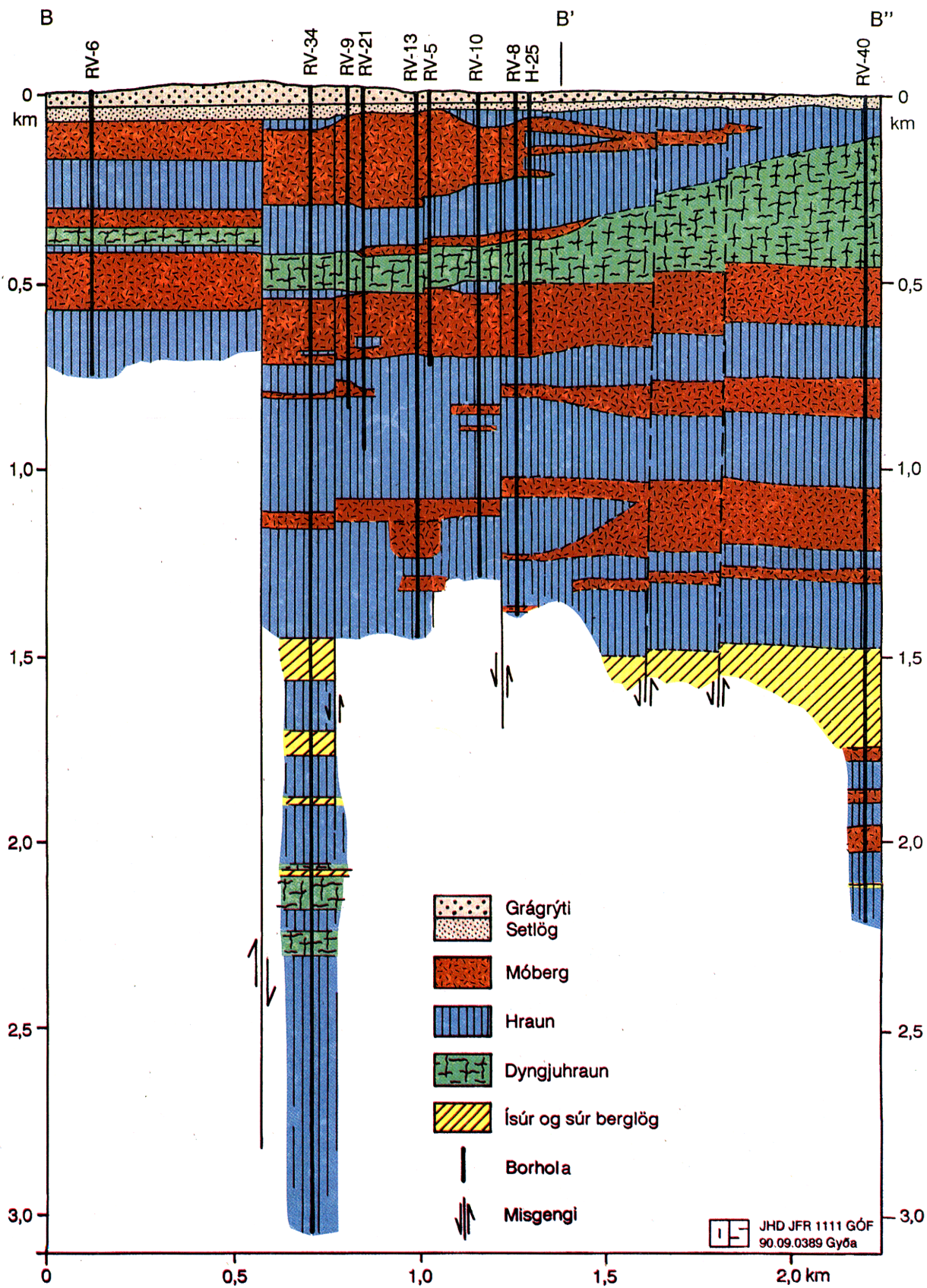
Mynd 8. Dýptarkort af epidóti í Reykjavík.



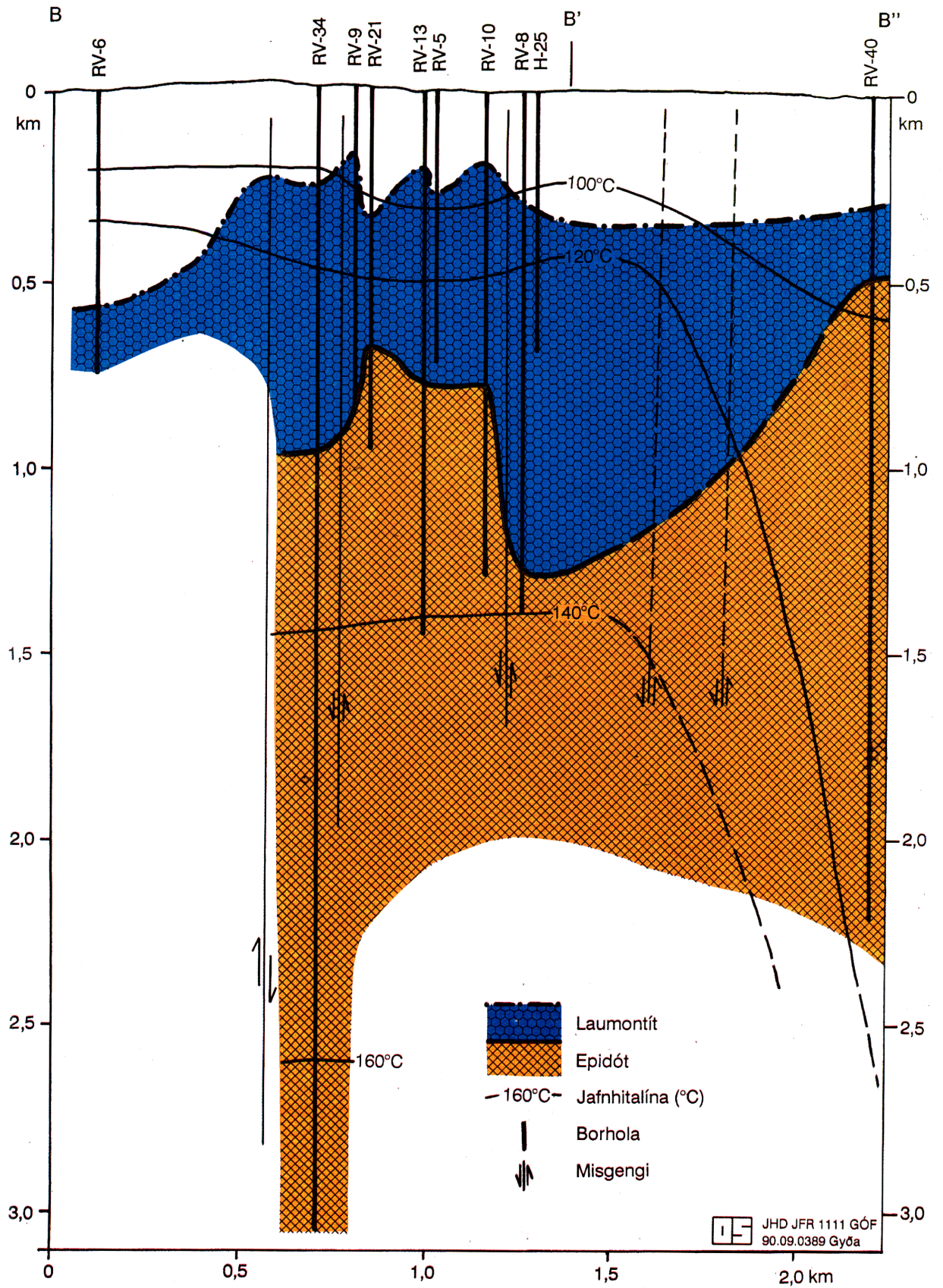
Mynd 9. Jarðlagasnið A.



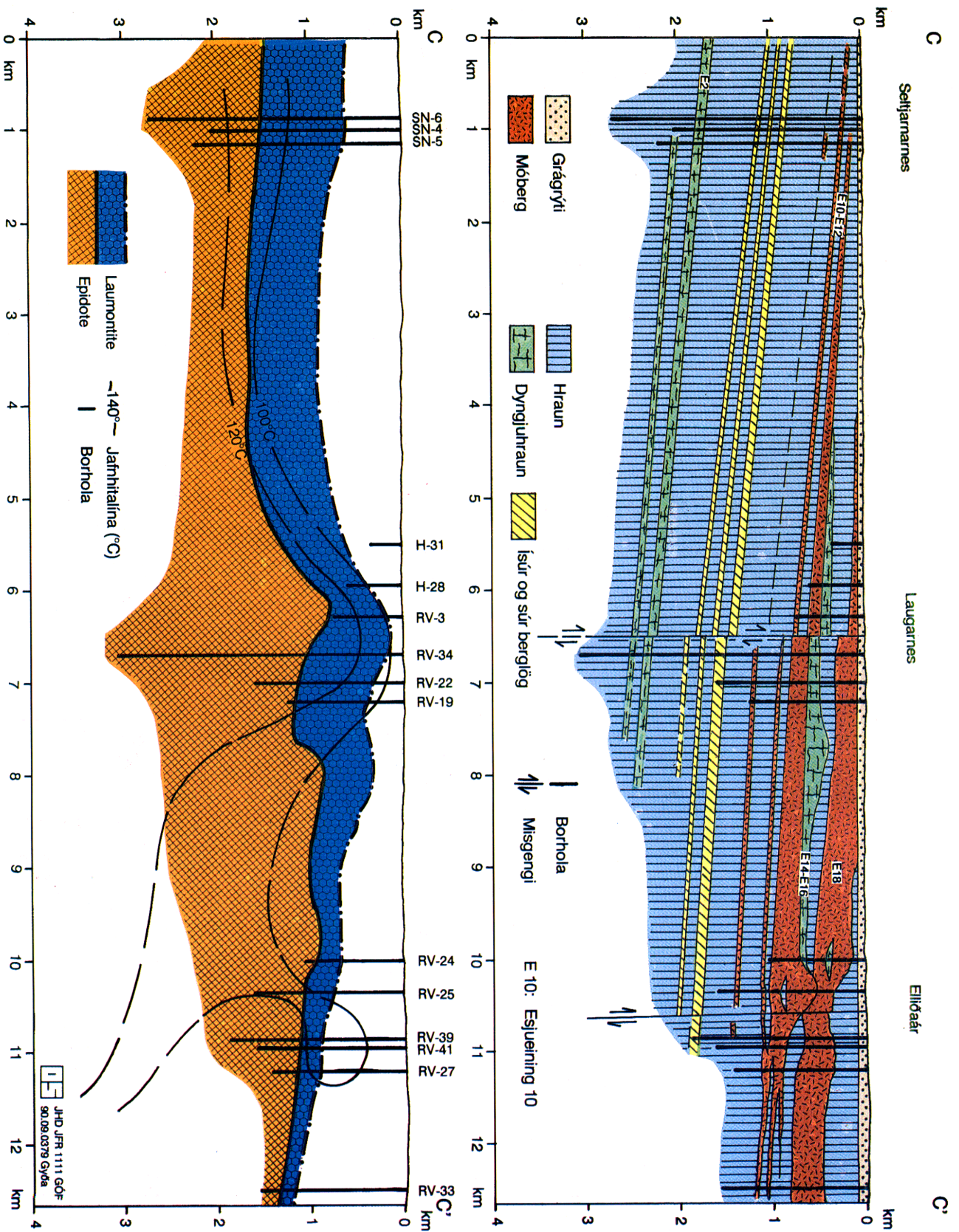
Mynd 9. Hita- og ummyndunarsnið A.



Mynd 10. Jarðlagasnið B.



Mynd 10. Hita- og ummyndunarsnið B.



Mynd 11. Jarðlagasnið C.

5. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Endurskoðun á jarðfræði- og jarðeðlisfræðigögnum af Laugarnessvæðinu sýnir að jarðhitakerfið virðist liggja innan NV-SA sigspildu. Hugmynd þessi er ekki ný en hefur fram til þessa fengið litla umfjöllun. Sigið er mest suðvestan til, um 150 m (myndir 9 og 10). Fylgni er milli lektar og niðurdráttar og stefnu sigspildunnar í þeirri mynd sem hún er sett fram hér. Sigspildan er talin ein af frumorsökum þess að jarðhitasvæðið í Laugarnesi er til í núverandi mynd.

Skarpt kantfrávik á flugsegulkorti frá 1959 liggur um 0,5 km austan við stærsta misgengið. Kantfrávikíð má skýra með öfugt segulmögnum hraunlögum og innskotum sem eru í efstu 500 m berggrunnins austan sigspildunnar, auk þess sem gera þarf ráð fyrir einu eða fleiri misgengjum með vestlægu sigi í kantfrávikinu (mynd 10). Í sigspildunni sjálfri er móberg hins vegar ráðandi berggerð í efstu 200-300 m. Á þessum grundvelli, meðal annars, er ekki fallist á þá hugmynd að stóra misgengið sé öskjubrot eins og stungið hefur verið upp á.

Orsök sigspildu þvert á ríkjandi sprungustefnu er ekki unnt að skýra til hlítar á grundvelli fyrir- liggjandi gagna. Einkum er það vegna óvissu um stefnu stærsta misgengisins. Ef stærsta misgengið er framlengt til suðausturs inn í gosbeltið lendir línan í NV-SA móbergshrygg frá síðasta kuldaskiði ísaldar. Ekki fæst skorið úr því hvort misgengið og móbergið eigi sér sameiginlegan uppruna í sprungu- og veikleikabelti með þessari stefnu í jarðskorpunni. Spildan sem NV-SA móbergshryggirnir við Vífilsfell afmarka er um 4 km breið. Jafnbreið spilda norðuraustur frá stóra misgenginu myndi ná að Viðey (mynd 4).

Ef stefna stóra misgengisins er norðlægari en hér er gefið til kynna þá mætti hugsanlega skýra sigdalinn með hliðstæðum sigdal í virka gosbeltinu norður af Hengli. Sá hlykkjast til norðurs út úr NA-SV sprungubelti rétt suður af Hestvík í Þingvallavatni, og er á breidd á við vinnslusvæðið í Laugarnesi (mynd 6). Ekki er unnt að skera úr um það hvort sigdalurinn í Laugarnessvæðinu sé af svipuðum toga og þyrfti að fjölga borholum til að ákvarða útlínur sigdalsins betur.

Endurtúlkun á gögnum úr holu RV-40 í Laugardalnum í samhengi við vinnslusvæðið vestar bendir til að grágrýtisdyngja liggja undir Laugardalnum á 200-500 m dýpi. Dyngjuhraunin hafa reynst notadrjúg leiðarlög til kortlagningar á misgengjum í berggrunni svæðisins, auk þess sem efsta vatnsæðakerfið (A) er að hluta til í þeim. Dyngjan og hraunlagasyrpan ofan við eru tengdar við Esjueiningar E14 til E16 sem eru öfugt segulmagnaðar frá Matuyama tímabilinu, um 2 milljóna ára gamalar. Segulmögnum í þessum hraunum skýrir kantfrávikíð á flugsegulkortinu sem að ofan greinir. Jarðlagahalli er óverulegur innan sigspildunnar, og mælir það gegn öskjuhugmyndinni.

Dýpi á epidót að viðbættu nokkur hundruð metra rofi á ísöld benda til að Laugarnessvæðið sé á suðurjaðri megineldstöðvar vel utan hugsanlegs öskjurima en ekki á slíkum rima. Ekki er fylgni milli dreifingar epidóts og NV-læga misgengisins. Hins vegar sést fylgni milli dreifingar laumontíts og misgengja á svæðinu. Gefur það til kynna að norðvestlægu brotin séu virkir vatnsleiðarar í núverandi lághitakerfi, en jafnframt að brotin séu yngri en gamla háhitakerfið sem epidót myndaðist í.

Samanburður á dýpi á laumontíti og 120°C jafnhitalínu í ljósi ummyndunargagna úr holum RV-38 og RV-40 benda til að nýleg kæling á lághitasvæðinu hafi orðið mest í nágrenni holu RV-14, sem er næst sjó innan vinnslusvæðisins. Kælingin er talin hafa byrjað í lok ísaldar. Þessi kæling er af öðrum toga en sú sem hefur haft seltuaukningu í för með sér samfara vinnslu.

Sú kann að tengjast NA-SV sprungum en verður þó einungis vart í borholum sem eru með vatnsæðar í vatnskerfi A.

Einfölduð mynd af berggrunni Reykjavíkur er sett fram og rædd lauslega í ljósi jarðhitasvæðanna (mynd 11). Móbergsmýndanir sýna áberandi þykknun til austurs. Jarðlagaeiningar eru tengdar við jarðlagaeiningar í Esju og aldur berggrunnins í Reykjavík metinn út frá þeim. Berggrunnurinn, neðan mislægs grágrýtis og setlaga (<200.000 ára), er 2,8 til 1,8 milljóna ára gamall.

6. HEIMILDIR

- Árný Erla Sveinbjörnsdóttir og Jens Tómasson, 1984. Seltjarnarnes. Hola SN-05. Jarðlagaskipan og borsaga. Orkustofnun, OS-84091/JHD-41 B.
- Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Helga Tulinius, Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson og Guðlaugur Hermannsson, 1985. Reykjavík Hola RV-34. Borun og borholurannsóknir. Orkustofnun, OS-85095/JHD-52 B. 124 s.
- Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1982. Reykjavík Hola RG-34. Borun Jarðlög og Ummyndun. Orkustofnun, OS82034/JHD05 B. 18 s.
- Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1983. Mineralogical evolution of a hydrothermal system. GRC-trans. 7: 147-152.
- Guðmundur Ó. Friðleifsson, Helga Tulinius, Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Gísli Guðmundsson og Guðlaugur Hermannsson, 1985. Reykjavík Hola RV-35. Borun og Borholurannsóknir. Orkustofnun, OS-85106/JHD-61 B. 90 s.
- Guðmundur Ó. Friðleifsson, Helga Tulinius, Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson og Guðlaugur Hermannsson, 1985. Reykjavík, Hola RV-40. Rannsóknir og tengsl holunnar við aðra hluta Laugarnessvæðisins. Orkustofnun, OS-85023/JHD-06. 46 s.
- Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1987. Áhrif Ísaldarloka á jarðhitasvæðin í Reykjavík. Ágrip erindis á ráðstefnu Jarðfræðafélags Íslands um Ísaldarlok á Íslandi, sem haldin var 28 apríl 1987.
- Guðmundur E. Sigvaldason, 1966. Bráðabirgðaskýrsla um jarðefnafræðilegar rannsóknir á jarðhitavatni Reykjavíkur. (21 s., 3 töflur, 16 myndir). Vélritað handrit.
- Haukur Jóhannesson, 1985. INNES, náttúrufar, minjar og landnýting. 3. Jarðfræði Innesja. Náttúrufræðistofnun Íslands. Staðarvalsnefnd, desember 1985: 17-22.
- Helga Tulinius, Jens Tómasson, Guðlaugur Hermannsson, Þorsteinn Thorsteinsson, Héðinn Ágústsson og Sigurður Benediktsson, 1984a. Reykjavík, Hola RV-40. Borun frá 36 m í 300 m og steyping 9 5/8" fóðringar. Orkustofnun, OS-84018/JHD-04 B. 17 s.
- Helga Tulinius, Jens Tómasson, Gísli Guðmundsson, Sigurður Benediktsson, Héðinn Ágústsson, 1984b. Reykjavík Hola RV-41. Borun fyrir 13 3/8" fóðringu í 437 m. Orkustofnun, OS-84058/JHD-18 B. 19 s.
- Helga Tulinius, Ómar Bjarki Smáráson, Jens Tómasson, Ingvar Birgir Friðleifsson og Guðlaugur Hermannsson, 1986. Hitastigulsboranir árið 1984 á Höfuðborgarsvæði. Holur HS-14 til HS-22. Orkustofnun, OS-86060/JHD-22 B.
- Helga Tulinius, Amanda L. Spencer, Guðmundur Böðvarsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Þorsteinn Thorsteinsson og Árný E. Sveinbjörnsdóttir, 1987. Reservoir studies of the Seltjarnarnes Geothermal Field, Iceland. Orkustofnun, OS-87032/JHD-07. 55 s.
- Hitaveita Reykjavíkur, 1988. Selta á Laugarnessvæði. Hitaveita Reykjavíkur - Orkustofnun Jarðhitadeild, 199 s.

- Hrefna Kristmannsdóttir og Jens Tómasson, 1978. Zeolite zones in geothermal areas in Iceland. Natural zeolites. Occurrence, Properties, Use (ed. Sand and Mumpton). Pergamon Press. 277-284.
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1983. Breytingar á efnasamsetningu jarðhitavatns á Seltjarnarnesi á tímavælinu 1970-1983. Orkustofnun, OS-83106/JHD-27 B.
- Hunting Survey Corporation Limited, 1963. Report on the interpretation of an airborne magnetic survey, carried out in September 1959, near Reykjavík, Southwest Iceland, for the State Electricity Authority of Iceland. 10 s og óleiðrétt flugsegulkort.
- Ingvar Birgir Friðleifsson, 1973. Petrology and structure of the Esja Quaternary Volcanic Region, southwest Iceland. D.Phil. ritgerð, Oxfordháskóli. 208 s.
- Ingvar Birgir Friðleifsson, 1985. Jarðsaga Esju og nágrennis. Árbók Ferðafélags Íslands 1985: 141-172.
- Jens Tómasson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1974. Investigation of three low-temperature geothermal areas in Reykjavík and its neighbourhood. Proceedings, International symposium on water-rock interaction: 243-249.
- Jens Tómasson, Ingvar Birgir Friðleifsson og Valgarður Stefánsson, 1975. A Hydrological Model for the Flow of Thermal Water in SW-Iceland with Special Reference to the Reykir and Reykjavík Thermal Areas. Second U.N. Symp. on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco: 643-648.
- Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Ingvar Birgir Friðleifsson, 1977. Höfuðborgarsvæði. Jarðhitarannsóknir 1965-1973. Orkustofnun, OSJHD 7703. 109 s. og 96 myndir.
- Jens Tómasson og Þorsteinn Thorsteinsson, 1981. Borun G-36 (RV-36). Greinargerð Orkustofnunar JT/PTh-81/01.
- Jens Tómasson, Gísli Guðmundsson, Guðmundur Ó. Friðleifsson, Helga Tulinius og Þorsteinn Thorsteinsson, 1984. Reykjavík Hola RV-40. Borun vinnsluhluta holunnar. Orkustofnun, OS-84035/JHD-10 B. 65 s.
- Jens Tómasson, Helga Tulinius, Ingvar Birgir Friðleifsson, Ómar Bjarki Smáráson og Þorsteinn Thorsteinsson, 1984. Hitastigulsboranir fyrir H.R. árið 1984. Greinargerð Orkustofnunar JT-HTul-IBF-ÓBS-PTh-84/02.
- Jens Tómasson 1988. Elliðaáarsvæðið. Uppruni og eðli jarðhitans. Orkustofnun, OS-88027/JHD-03.
- 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. Orkustofnun, OS-86014/JHD-02. 125 s.
- Ómar Bjarki Smáráson, Helga Tulinius, Jens Tómasson, Guðlaugur Hermannsson, Héðinn Ágústsson og Sigurður Benediktsson 1984a. Reykjavík, Hola RV-39. Borun fyrir 13 3/8" fódringu. Orkustofnun, OS-84036/JHD-11 B. 83 s.

- Ómar Bjarki Smáráson, Helga Tulinius, Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Einar Gunnlaugsson, Guðlaugur Hermannsson og Héðinn Ágústsson, 1984b. Reykjavík, Hóla RV-39. Borun vinnsluhluta frá 495 m í 2100 m. Orkustofnun, OS-84109/JHD-47 B. 36 s.
- Ómar Bjarki Smáráson, Helga Tulinius, Þorsteinn Thorsteinsson, Jens Tómasson, Þórir Sveinbjörnsson og Vidgís Hjaltadóttir, 1985a. Reykjavík. Hóla RV-42 við Korpuós. Borun og þrýtiprófun. Orkustofnun, OS-85063/JHD-28 B. 20 s.
- Ómar Bjarki Smáráson, Helga Tulinius, Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Guðlaugur Hermannsson, Gísli Guðmundsson og Héðinn Ágústsson 1985b. Reykjavík hóla RV-37. Borun og rannsóknir. Orkustofnun, OS-85109/JHD-63 B.
- Ómar Bjarki Smáráson, Helga Tulinius, Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Guðlaugur Hermannsson og Héðinn Ágústsson, 1985c. Reykjavík, Hóla RV-36. Borun og rannsóknir. Orkustofnun, OS-85113/JHD-66 B. 27 s.
- Ómar Bjarki Smáráson, Helga Tulinius, Guðlaugur Hermannsson, Þorsteinn Thorsteinsson, Jens Tómasson, Vigdís Harðardóttir, 1988. Reykjavík, Hóla RV-41, Borholurannsóknir. Orkustofnun, OS-880226/JHD-02.
- OSSI, 1989. Innanhúsfréttir Orkustofnunar. Fornar brotalamir II (FP/SGM). Nr 297. 1989-2-2.
- Snorri Páll Kjaran, 1986. Geothermal Reservoir Engineering Experience in Iceland. Nordic Hydrological Conference, Reykjavík, August 11-13, 1986, 27 s.
- Stefánsson, V. Guðmundsson, Á. and Emmerman, R., 1982. Gamma ray logging in Icelandic rocks. The Log Analyst, XXIII, No.4: 11-16.
- Svanbjörg H. Haraldsdóttir 1984a. Seltjarnarnes, Hóla SN-2. Borholumælingar. Orkustofnun, OS-84060/JHD-20 B.
- Svanbjörg H. Haraldsdóttir 1984b. Seltjarnarnes, Hóla SN-5. Hitamælingar. Orkustofnun, OS-84061/JHD-21 B.
- Winai Yaowanoiyothin, 1984. Hydrothermal Alteration in Borehole RV-40, Reykjavik, Iceland. UNU Geothermal Training Programme, Iceland. Report 1984-12. 36 s.
- Þorsteinn Thorsteinsson, 1959-1966. Óbirt jarðlagasnið af holum RV-1 til RV-22.
- Þorsteinn Thorsteinsson, 1967. Vatnsborðsmælingar í borholum í Reykjavík og nágrenni 1965-1966. Óbirt handskrifað handrit frá því í apríl 1967. (17 s. og 10 myndir).
- Þorsteinn Thorsteinsson og Jónas Elfásson, 1970. Geohydrology of the Laugarnes Hydrothermal System in Reykjavík, Iceland. Geothermics - Special Issue 2: 1191-1204.
- Trausti Einarsson, 1954. A gravity survey of Iceland. Vísindafélag Íslendinga. no. XXX, 22 s.

ENGLISH SUMMARY

A detailed geological and structural evaluation of the Laugarnes Geothermal Field in central Reykjavík is presented. Unexpectedly, a NV-SA graben (figs. 1, 2, 3, 4, 5, 6) enveloping the well field was rediscovered a few years ago during an evaluation of the geothermal system in relation to a prominent salinity increase observed in some of the exploited wells. As it turned out, however, this graben had been discussed earlier in an unpublished manuscript by the chief geologist (P. Thorsteinsson, 1967) to whom this report is dedicated. In a publication few years later (P. Thorsteinsson and J. Elfasson, 1970) a geological model was presented without an emphasis being laid on the graben, yet discussed to a limited extent (see citation p. 8). For an unknown reason this apparent subsidence structure was forgotten for the next two decades, despite the fact that a neat correlation existed between the direction of maximum drawdown of the watertable and the graben (fig. 2).

The Laugarnes geothermal field is the cradle of geothermal exploitation in Iceland and the municipal district heating services, the hitaveitas. The first wells in the field were drilled in 1928-1930, then in 1940 (upto well H-16), and then from 1954-1961 (H-17 to H-34). A much larger drillrig was used from 1958 for deep drilling of wells RV-1 to RV-22 until 1963. Most of the present work is based on the stratigraphy of wells RV-1 to RV-22, in addition to four younger wells, RV-34 (3085 m), RV-35 (2857 m), RV-38 and RV-40 (see appendix I).

In accordance with the early geological model, three main aquifer systems are distinguished: A) 100-120°C hot at 250-650 m depth, yielding 18% of the water; B) 135°C hot at 730-1250 m depth, yielding 80% of the total, and C) 146 °C hot, below 2 km depth, yielding 2% in 1970 (P. Thorsteinsson and J. Elfasson, 1970). Artesian flow of hot water was exploited until 1962 while the first downhole pump was sunk in 1959. The initial pressure in the geothermal system was equivalent to a watertable 70 m above sea level but today the water level is about 70 m below sea level during maximum pumping.

A use was made of all available geological data on the Laugarnes field. The data, however, often proved incomplete and called for additional drill-cutting analysis of host rocks and secondary minerals within the Laugarnes field, and to some extent in the Ellidaár field too. Only fragmental data exists from the oldest wells (H-wells) and all drill-cuttings and drill-cores are long lost. Detailed stratigraphic profiles from P. Thorsteinsson are available from wells RV-1 to RV-22, but no written descriptions apart from those already cited. These stratigraphic profiles needed to be reinterpreted, basically though revealing a similar structure as concluded by Thorsteinsson in the manuscript cited above from 1967. A note is made to the first appearance of epidote in Thorsteinsson's profiles, apart from which the only data on the secondary mineralogy is on wells RV-4 and RV-14 (G.E. Sigvaldason, 1966). Progress reports exist on wells RV-34 (Á.E. Sveinbjörnsdóttir et al., 1985) and RV-35 (G.Ó. Friðleifsson et al., 1985). The present author was directly involved in the drillhole research of wells RV-38 (G.Ó. Friðleifsson, 1982) and RV-40 (G.Ó. Friðleifsson et al., 1985; H. Tulinius et al., 1984; J. Tómasson et al., 1984; W. Yanowanoyothin, 1984). While a further study is needed, the severe lack of data on the secondary mineralogy and its distribution and evolution within the Laugarnes field was met by adding data on the laumontite distribution. The laumontite and epidote distribution is used for evaluation of the structural complex with respect to time and origin.

The Laugarnes field is marginal to a steep positive gravity anomaly and a negative magnetic anomaly, hitherto explained by high intrusive rock intensity and strong negative magnetism of the same intrusives. The geophysical pattern has been explained as reflecting two centres (Kjalarnes I and II) of the Kjalarnes central volcanic complex, the eastern one succeeding the western (I.B. Friðleifsson, 1973; J. Tómasson et al. 1977), in a similar fashion as the Hveragerði central volcano precedes the presently active Hengill central volcano. Cone sheet swarms are attached to both centres, in Kjalarnes II these are found in Viðey, just north of the Laugarnes field, and in the Þverfell region in Esja north of the bay. The geothermal fields in Reykjavík are marginal to these central volcanic complexes. H. Jóhannesson (1985) considered the southern half of the Kjalarnes II complex as a separate one, the Viðey central volcano, and proposed a caldera. His opinion was chiefly based on a low-flight aeromagnetic survey done by Hunting Survey Corporation in 1959, and on field work in the sparse outcrops of the early Pleistocene rocks within Reykjavík. A caldera fault, however, was not found within these early Pleistocene rocks where it should have been according to his map. He located the Laugarnes field on the other hand at the caldera rim, being aware of a large NW-SA fault with a NE-throw in the wellfield, but chiefly the idea was based on a sharp magnetic contrast on the aeromagnetic map from 1959.

The present study of the Laugarnes field does not support the hypothesis that the field is located within a caldera rim. The sharp magnetic contrast, for instance, is 0.5 km east of the main NV-SE fault, which was proposed as being the caldera fault. The lithological contrast between the wellfield and drillhole RV-40 on the other hand, quite adequately explains the magnetic anomaly as well as the sharp magnetic contrast. While sediments and hyaloclastite formations characterize the uppermost 200-300 m of the wellfield, lavas, lava shield and intrusive rocks dominate the top 500 m of well RV-40 (fig. 10). The lava formations are correlated to similar units in the Esja Region from the Matuyama reverse magnetic epoch (I.B. Friðleifsson, 1973, see appendix III), while the early Pleistocene rocks under Reykjavík from west to east are 2.8 to 1.8 m.y. old. Dip of the lavas within the graben is insignificant, providing an additional argument against a caldera relation of the Laugarnes depression.

Furthermore, evaluation of the epidote distribution within the Laugarnes field does not show a correlation with the caldera fault proposed by H. Jóhannesson (1985). In view of numerous studies of extinct and active central volcanoes an epidote-zone may be expected to bulge upwards at a caldera margin (e.g. G.Ó. Friðleifsson, 1983). Such a feature is not seen in the Laugarnes field. During late Pleistocene glacial erosion several hundred metres of volcanic rocks eroded of the Reykjavík area, which unconformably is covered by late Pleistocene sediments and lavas (< 200,000 yrs. old). With the addition of several hundred metres of rocks the epidote distribution within the Laugarnes field, and the other geothermal fields in Reykjavík, resembles epidote distribution at the flanks of central volcanic complexes, i.e. being below 1-2 km depths (fig. 11). Accordingly there is no evident support that the Laugarnes field, nor the Ellidaár field for that matter, is located at or near a caldera margin. The field, on the other hand, has all the essential characteristics of flanking the Kjalarnes II complex, i.e. low intensity of intrusive rocks and irregular distribution of epidote at depths.

A correlation can be seen between the laumontite distribution and the apparent northwestern subsidence structure. This implies the faults channelled the lower temperature fluids (120-180°C), and seems to suggest that the graben is somewhat younger than the high-temperature epidote formation (> 230°C), while the true age of the graben is unknown. The laumontite and

epidote distribution is shown on figures 7, 8, 9, 10 and 11, as well as the prominent subsidence structure enveloping the wellfield. Studies of drillholes RV-38 and RV-40 (G.Ó. Friðleifsson, 1982, 1987, et al., 1985) suggest that a prominent cooling of the Laugarnes low-T field occurred fairly recently, possibly at the end of Pleistocene upon cold seawater invasion during isostasy. This is deduced from a cooling sequence in young mineral veins as seen from margin to centre: laumontite -> anhydrite -> scolecite + clay; a salinity increase suggested by the anhydrite formation as the present day fluids are far below anhydrite saturation. From the anhydrite distribution, 500-700 m in RV-38 and 700-1700 m in RV-40, a 120°C isotherm is inferred at 500 m and 700 m depth respectively at the time of the cold seawater invasion. This speculation is used when comparing the depth of the laumontite zone to the present-day isotherms, suggesting the cooling of the low-T system has been most prominent closest to the sea (RV-14). This cooling, however, does not relate to the very recent salinity increase within aquifer A, resulted by extensive draw-down. A detailed secondary mineralogical study is proposed.

From the present data it is not possible to explain the NW-SE graben adequately within the volcano-tectonic environment. Partly this relates to the lack of detailed location of the largest faults (e.g. fig. 5). If the direction of the westernmost fault is as suggested on figs. 1, 2, and 4, a continuation of the fault meets with a NW-SE directed hyaloclastite ridges within the active rift zone close to Vífilsfell, some 20 km southeast of Reykjavík. These are perpendicular to the regional NE-SW fissure and fault swarms. The NW-SE volcanic fissures are of last glaciation age, i.e. younger than 100.000 years. If a graben had been attached to these hyaloclastite ridges a support for a link between the two would have been obvious. A NW-SE weakness zone, however, in the lower crust between the volcanic ridges and the Laugarnes graben can not be ruled out.

If the direction of the westernmost fault is more northerly (fig.5), the Laugarnes graben could possibly be explained as a kink-bend in an otherwise NE-SW extensional fracture swarm. Such bends, for instance, are found within the active fissure swarm just north of the Hengill central volcano near Þingvallavatn (fig. 6). The Laugarnes graben could easily be of a similar origin, just south of the Kjalarnes II volcano. This is demonstrated by projecting several of the key wells in Laugarnes into the subsidence structure in figure 6. At present the lack of knowledge on the true direction and extension of the Laugarnes graben hampers further speculations. The graben as such, however, can hardly be disputed and most likely is the structural trap of the graben the fundamental reason for the low-temperature field in Laugarnes.

VIÐAUKI I
Skrá yfir borholur

Gamlar H-holur í Reykjavík

Hola	Nafn	Dýpi	Mæling	Athugas.
H-1	Pvottalaugar	20		at nákv.
H-2	Pvottalaugar	96		
H-3	Pvottalaugar	140		
H-4	Pvottalaugar	48		
H-5	Pvottalaugar	246		x + borhr
H-6	Pvottalaugar	133		
H-7	Pvottalaugar	115		
H-8	Pvottalaugar	169		
H-9	Pvottalaugar	176		
H-10	Pvottalaugar	220		
H-11	Pvottalaugar	58		
H-12	Pv.-Múlavegur	65		
H-13	Pv.-Múlavegur	67		
H-14	Pv.-Engjavegur	85		
H-15	Pvottalaugar	656		x + borhr
H-16	Rauðará	770		x + borhr
H-17	Höfði	272		
H-18	Sundlaugar	697		
H-19	Höfði	472		(x + borhr)?
H-20	Breiðholt	385		
H-21	Holtavegur	287		
H-22	Nauthólsvík	260		x x
H-23	Steintún	340		x x
H-24	Fúlatjörn	392		x x
H-25	Sigtún	501		x x
H-26	Laugardalsvöllur	332		x x
H-27	Hátún	403		(x) x
H-28	Njálsgata/Rauðarárst.	575		
H-29	Öskjuhlíð	249		x
H-30	Vélamiðstöð	382		x
H-31	Stjörnuþó	369		
H-32	Grensásvegur	606		
H-33	Borgartún/Nóatún	435		
H-34	Laugarnestangi	399		
H-35	Breiðholtsmýri	194		
H-36	Njörvasund	286		

Hola	Nafn	Dýpi	Mæling	Athugas.
H-37	Rauðhólar	221		
H-38	Ártún	326		
H-39	Skyggfir	333		
H-40	Gufunes	251		
H-41	Árbæjarstífla	273		

RV-holur á Laugarnessvæðinu

Hola	Nafn	Dýpi	Mæling	Athugas.
RV-1	Nóatún	1067		Sölt
RV-2	Kjarvalsstaðir	650		Sölt
RV-3	Brautarh/Skipholt	732		Sölt
RV-4	Nóatún/Hátún	2198		Ósölt
RV-5	Laugarneshola	741		Vinnsluhola, ósölt
RV-6	Miklatún	770		Ósölt
RV-7	Hátún	752		Stífluð 50 m
RV-8	Sigtún/Kringlum.	1394		Ósölt
RV-9	Bílasmiðja 1	862		Vinnsluhola
RV-10	Undraland 1	1306		Vinnsluhola
RV-11	Lækjarhvammur 1	928		Vinnsluhola
RV-12	Laugavegur/Kringl.	1362		Ósölt
RV-13	Laugarnesv/Hátún	1463		Sölt ?
RV-14	Borgartún	1026		
RV-15	Lækjarhvammur 2	1014		Vinnsluhola
RV-16	Hátún/Laugarnesv.	1300		
RV-17	Undraland 2	634		Vinnsluhola, ósölt
RV-18	Ármanövöllur	1442		
RV-19	Lækjarhvammur 4	1239		Vinnsluhola
RV-20	Lækjarhvammur 3	764		Vinnsluhola
RV-21	Bílasmiðja 2	978		Vinnsluhola
RV-22	Háaleitisbraut	1583		
RV-34	Framvöllur	3085		(Vinnsluhola), > 60 ppm ósölt
RV-35	Undraland 3	2857		Vinnsluhola, > 60 ppm ósölt
RV-38	Hátún	1485		Vinnsluhola, > 60 ppm ósölt
RV-40	Laugardalur	2199		

VIÐAUKI II

**Jarðlagasýrpur í RV-1 til RV-22
á Laugarnessvæðinu**

Frumgögn við gerð einfaldra jarðlagasniða

Gufuborsholur eru allar til í jarðlagasniðum frá Þorsteini Thorsteinssyni (frá 1961-1965) (G-1 - G-22). G-holurnar heita nú RV-1 til RV-22. Sniðin eru bara til í myndum og eru alls konar laus jarðlög hér flokkuð sem mógberg og einfölduð.

G-1 = RV-1

H.y.s. 11 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-70 m	Vantar	
70-240 m	Móberg	
240-340 m	Basalt	
340-370 m	Vantar	
370-400 m	Basalt	
400-430 m	Vantar	(móberg þó 10 m ?)
430-540 m	Basalt	mest allt grófkornótt leiðarlög
540-610 m	Móberg	
610-660 m	Basalt	
660-720 m	Móberg	
720-770 m	Basalt	
770-810 m	Móberg	
810-840 m	Basalt	
840-885 m	Móberg	
885-980 m	Að mestu basalt	
980-1050 m	Mest móberg	
1050-1067 m	Basalt	

G-2 = RV-2

H.y.s. 22 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-20 m	Basalt	(grágrýti)
20-160 m	Móberg	(setlinsa sýnd í 40 m)
160-300 m	Basalt	
300-350 m	Móberg	(setkennt í bland)
350-400 m	Basalt	(grófkornótt leiðarlagið)
400-445 m	Basaltrfukur kafi	(borhraði bendi til hrauna & karga)
445-600 m	Móberg að mestu	(5 þunn basaltlög sýnd)
600-620 m	Basalt	3 lög með seti á milli skv. sniði
620-650 m	Móberg	

G-3 = RV-3

H.y.s. 27 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-50 m	Vantar	
50-60 m	Set	(Ífkl. Elliðaársetið)
60-150 m	Móberg	(túffríkt)
150-305 m	Basalt	
305-370 m	Móberg að mestu	(basalt frá 315-322 m)
370-430 m	Gróft basalt	(leiðarlagið)
430-590 m	Móbergstúff	
590-620 m	Basalt	í bland a.m.k.
620-655 m	Móbergsbreksfa	
655-685 m	Basalt	
685-730 m	Móberg	

G-4 = RV-4

H.y.s. 15 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-20 m	Rvk. grágrýti	(gráleitt basalt)
20-60 m	Set	(Ífkl. Elliðavogssetið)
60-190 m	Móberg	(nær hreint túff)
190-210 m	Móberg + basalt	(4 þunn lög & br. í borhr)
210-270 m	Móberg	
270-280 m	Basaltlag	
280-320 m	Móberg	
320-430 m	Basalt	dökkl. & gráleitt
430-510 m	Dólerít	eða gróft basalt leiðarlag
510-530 m	Basalt	einhvers konar
530-685 m	Móberg	(að mestu; þrjú basalhöft)
685-765 m	Basalt	Epidót í 700 m
765-820 m	Móberg	(780-800 m basalt)
820-1085 m	Basalt	
1085-1140 m	Móberg	
1140-1190 m	Basalt	
1190-1220 m	Móberg	(e.t.v. eitthvað þynnra)
1220-1355 m	Basalt	
1355-1425 m	Móberg	
1425-1490 m	Basalt	
1490-1600 m	Líklega andesít	(basalt í frumniði)
1600-1730 m	Basalt	(með móbergslögum)
1730-2060 m	Basalt	
2060-2090 m	Móbergsríkur kaffi	
2090-2198 m	Basalat	(breksuríkt)

G-5 = RV-5

H.y.s. 15 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-5 m	Set	
5-25 m	Basalt	Rvk.-grágrýti
25-50 m	Elliðavogssetið	
50-235 m	Móberg	
235-280 m	Basalt + móberg	
280-380 m	Basalt	
380-410 m	Móberg	
410-530 m	Grófbasaltið	
530-710 m	Móberg	
710-740 m	Basalt	

G-6 = RV-6

H.y.s. 28 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-50 m	Vantar	
50-90 m	Setlag	(Elliðavogssetið)
90-160 m	Móbergstúff	
160-190 m	Móbergstúff, breksfa	
190-320 m	Basalt	
320-375 m	Móberg	
375-420 m	Grófa basaltið	
420-435 m	Basalt	fínkornóttara
435-700 m	Móberg	að mestu
700-770 m	Basalt	

G-7 = RV-7

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-24 m	Grágrýti	
24-58 m	Set	
58-310 m	Móberg	
310-430 m	Basalt	
430-536 m	Grófa basaltið	Skoltap í 460 m
536-700 m	Móberg	(basalt með neðst)
700-750 m	Basalt	

G-8 = RV-8

H.y.s. 10 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-10 m	Grágrýti	
10-55 m	Breksfukent	& völuberg neðst
55-84 m	Basaltlög	
84-225 m	Móberg	(setlinsur nærri botni)
225-340 m	Basalt	(það sem sýnt er á sniði - Slitrótt set milli laga neðan til í syrpu)
340-400 m	Móbergsvöluberg	(trúlega basaltlag milli 365-380 m. Mikið um spurningamerki, svo þennan kafla má túlka sem móbergsblandin basaltlög)
400-410 m	Basalt	
410-515 m	Grófa basaltið	(a.m.k. tvískipt)
515-710 m	Móberg að mestu	(basaltlag á milli 635-655 m)
710-785 m	Basalt	
785-815 m	Móbergsríkur kafli	(þetta finnst í mörgum holum þar sen bergið er eitthvað breksfukent)
815-1030 m	Basaltlög	
1030-1092 m	Móbergsbreksfa	að mestu
1092-1240 m	Basalt	Epidót frá 1218 m
1240-1250 m	Móbergslinsa	
1250-1380 m	Basalt	
1380-1390 m	Móbergstúff	
1392-1395 m	Basalt	

G-9 = RV 9

H.y.s. 26 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-18 m	Vantar	
18-34 m	Grágrýti	
34-75 m	Ellidavogssetið	
75-80 m	Basaltlag	
80-445 m	Móberg	túffríkt í 310 m, skoltap
445-555 m	Grófa basaltið	
555-710 m	Móberg	Skoltap í 700 m
710-800 m	Basalt	Skoltap í 790 m
800-825 m	Móbergskafli	slitróttur. Skoltap í 820 m
825-862 m		eyða í sniði

G-10 = RV-10

H.y.s. 15,5 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-20 m	Basalt	
20-50 m	Móberg	(sýnt á sniði)
50-110 m	?	allar berggerðir, líkl. þó rétt að telja basalt í meirihluta
110-250 m	Móberg	yfirgnæfandi
250-378 m	Basalt	Skoltap í 370 m
378-415 m	Móberg	(leirsteinn neðst 1 m)
415-510 m	Grófa basaltið	Skoltap í 500 m
510-545 m	Basalt	fínkornóttara
545-716 m	Móberg	(basalt í 620-645 og 660-670 m)
716-838 m	Basalt	790 m Epidót
838-860 m	Móberg	
860-900 m	Basalt	
900-915 m	Móbergslag	
915-1090 m	Basalt	Skoltap í 1090 m
1090-1160 m	Móberg	með þrem basaltlögum
1160-1306 m	Basalt	

G-11 = RV-11

H.y.s. 25 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
4-30 m	Grágrýti	
30-35 m	Grár leir	Ellidavogssetið?
35-60 m	Grágrýtis völuberg	
60-80 m	Basalt	(tvískipt)
80-320 m	Móbergstúff	
320-400 m	Móbergsbreksfa	með leirlinum og þunnum basaltlögum
400-475 m	Agglomerat	sýnt á sniði með basaltlögum með reglulegu millibili. Bilið frá 320-475 er því vandtúlkað nema í samhengi við önnur snið
475-575 m	Stórkornótt berg	(grófa basaltið sýnt á sniði)
575-586 m	Móberg	
586-605 m	Basaltlög	tvö
605-725 m	Móberg	
725-765 m	Móberg	+ basaltlög
765-830 m	Basalt	
830-920 m	Agglomerat	
		Algjört skoltap í 927 m
		Botn í 928 m

G-12 = RV-12

H.y.s. 17 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-4 m	Jarðvegur	
4-25 m	Rvk. grágrýti	
25-65 m	Elliavogssetið	
65-250 m	Móberg	
250-360 m	Basalt	Skoltap í 326-7 m
360-436 m	Móberg	að mestu
436-525 m	Grófa basaltið	
525-725 m	Móberg	
725-820 m	Basalt	
820-1362 m	Móbergsbreksfa	nær samfellt niður skv. mfnnum einföldunum. Hér er þó misræmi við aðrar holur. Skoltap í 1236 m Epidót frá 1220 m dýpi

Eitthvað virðist hafa verið athugavert við berggreiningu eða sýni frá 800 m í botn. ÞTh setur þá athugasemd í sniðið að frá 820 m í botn sé "mikið um grál. og rauðl. "basalt" og agglomerat dökkl. basalt innkot".

Milli 960-1060 m eru sýnishorn sögð "óhrein v/borstangabrota" og milli 1250-1310 eru "Sýnishorn mjög léleg meðan skolað er með vatni". Jarðlagakaflanum milli 820-1312 er því rétt að taka með fyrirvara.

G-13 = RV-13

H.y.s. 17 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-10 m	Mór	a.m.k. að hluta til
10-25 m	Grágrýti	
25-60 m	Setlag	Elliavogssetið m.a. surtarbrandslinsa ofan á fínkornótta leirnum í miðju lagi
60-310 m	Móberg	túffríkt ofan 260 m
310-435 m	Basalt	móbergs- og setkennd lög frá 410-430 m
435-540 m	Grófa basaltið	á sniði kallað stórkornótt berg
540-710 m	Móberg	
710-1100 m	Basalt	móbergsríkir kaflar nærri 800 og 1000-1100 m Epidót inn á 800 m
1100-1255 m	Móberg	smá basalhöft nærri 1150 og 1200 m
1255-1300 m	Basalt	
1300-1340 m	Móberg	
1340-1463 m	Basalt	

G-14 = RV-14

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-15 m	Basalt	svarf vantar milli 15-20 m
20-40 m	Móberg	eða set (mest völuþberg)
40-150 m	Móbergstúff	einrátt (tvö basaltlög í 125-129 og 144-148 m)
150-180 m	Móbergsbreksfa	blönduð
180-190 m	Móbergsetlag	í botni myndunar (bendir til fjarlægðar frá upptökum)
190-210 m	Basaltlag	þykkt
210-270 m	Móbergsbreksfa	basaltrfk sýnilega og líklega setmynduð v/lagskiptingar og setlinsa sem sýndar eru á sniðinu
270-346 m	Basalt	mest dökkleitt basalt sem væri blátt í gömlu sniðunum
346-354 m	Setlag	m.a. lagskiptur leir. Set eða móberg virðist víða ofan á grófa basaltinu sem bendir til hlés í gosvirkni og rofs
354-360 m	Basalt	(dökkt) tilheyrir mynduninni undir
360-462 m	Grófa basaltið	engin skrafering er sýnd á sniði en athugasemd aftan snið er slegið utan um bilið með stórkornótt (dfla)berg Skoltap 365 m
462-488 m	Basalt	fínkornóttara
488-520 m	Móbergsríkur kafli	(breksfa & setkennt)
520-532 m	Basaltlög tvö	(sýnilega gosin ofan á móbergið og síðan leggst set yfir)
532-640 m	Móbergsbreksfa	& setlinsur, blandað
640-670 m	Basaltkafli	
670-690 m	Móbergsríkur kafli	
690-756 m	Basalt	
756-810 m	Móberg	ríkjandi berg & borhraði. Epidót frá 775 m
810-924 m	Basalt	
924-958 m	Móberg	
958-986 m	Basalt	
986-1026 m	Móbergsbreksfa	

G-15 = RV-15

H.y.s. 25 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-25 m	Rvk. grágrýti	
25-30 m	Setlinsa	blönduð
30-270 m	Móberg	með mörgum ásýndum túff, breksfur
270-395 m	Móbergsbreksfa	með setlögum alla leið
395-475 m	Basalt	með set millilögum neðst
475-555 m	Grófa basaltið	
555-570 m	Fínk. basalt	
570-725 m	Móberg	
725-845 m	Basalt	
845-895 m	Móbergskafli	með basaltlögum
895-1014 m	Basalt	

G-16 = RV-16

H.y.s. 16 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-5 m	Set	
5-25 m	Grágrýti	
25-55 m	Elliðavogssetið	
55-260 m	Móbergstúff	ríkjandi. Skoltap 160 og 260 m
260-405 m	Basalt	(móberg + set milli 340-405 líka)
405-520 m	Grófa basaltið	leiðarlag
520-540 m	Hraun	
540-690 m	Móberg	breksúkennt. Skoltap 650 m
690-1050 m	Mest basalt	820 epidót. Skoltap 750 og 860 m
1050-1124 m	Móberg	
1124-1300 m	Basalt	

G-17 = RV-17

H.y.s. 25 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-25 m	Basalt	
25-145 m	Móberg að mestu	Setlinsa undir
145-160 m	Basalt	
160-275 m	Móberg	mest
275-375 m	Basalt	mest
375-470 m	Móberg	
470-525 m	Gróft basalt	að mestu
525-555 m	Basalt	að mestu, móberg þó með
555-635 m	Móberg	

G-18 = RV-18

H.y.s. 11 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-6 m	Set mól	
6-22 m	Grágrýti	
22-54 m	Elliðavogssetið	sandsteinn efst/leir undir
54-80 m	Móbergstúff	
80-120 m	Móbergsbreksfa	(3 eitlar)
120-220 m	Móbergstúff	
220-290 m	Móbergsbreksfa	með seti og basalti
290-350 m	Basalt	(þunn setlög milli neðstu laga)
350-435 m	Grófa basaltið	(leirfyllt dólerít)
435-475 m	Basalt	
475-510 m	Móbergskennt lag	
510-550 m	Basalt	með þykkum millilögum
550-590 m	Móbergsbreksfa	
590-610 m	Basaltlag	með þunnu seti undir
610-660 m	Móberg	líklega að mestu
660-760 m	Basalt	
760-790 m	Móberg	
790-860 m	Basalt	
860-1080 m	Móberg	
1080-1440 m	Basalt	Epidót frá 1165 m

G-19 = RV-19

H.y.s. 28 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-25 m	Grágrýti	
25-40 m	Set	& tillít trúlega
40-290 m	Móberg	blandað
290-360 m	Móberg	með setlögum í Skoltap í botni
360-470 m	Basalt	með þykkum setlögum neðst, e.t.v. rétt að hafa mób. milli 400-440 m
470-530 m	Grófa basaltið	
530-560 m	fínkorna basalt	
560-574 m	Gróft basalt	
574-758 m	Móberg	
758-890 m	Basalt	
890-960 m	Móberg	
960-1060 m	Basalt	
1060-1105 m	Móberg	
1105-1140 m	Basalt	
1140-1200 m	Móberg	1140 epidót
1200-1239 m	Basalt	

G-20 = RV-20

H.y.s. 24 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
Yfirb.-32 m	Grágrýti	
32-45 m	Setlag	
45-70 m	Basaltrfkur kafli	
70-290 m	Móberg	
290-330 m	Basalt	
330-345 m	Móberg	
345-460 m	Basalt	setlag milli 450-460
460-578 m	Grófa basaltið	
578-745 m	Móberg	
745-765 m	Basaltrfkur kafli	að sjá Vatnsæðar nærri 300 og 370 m

G-21 = RV-21

H.y.s 26 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-32 m	Rvk.Grágrýti	
32-75 m	Ellidavogssetið	tvískipt (sandur í efri hluta)
75-355 m	Móbergstúff	í 330 m/basaltblandað í 355
355-435 m	Basalt	með breksfulögum
435-462 m	Móbergslag	með setlinsu
462-520 m	Grófa basaltið	set undir
520-540 m	Basalt	
540-672 m	Móberg	basaltlag milli 574-588
672-692 m	Basalt	Epidót í tæpl. 700 m
692-730 m	Pykkar breksfur	milli basaltlaga
730-810 m	Basalt	
810-825 m	Móbergskennt lag	
825-980 m	Basalt að mestu	

G-22 = RV-22

H.y.s. 30 m

Dýpi	Berggerð	Athugasemdir
0-32 m	Grágrýti	
32-53 m	Elliðavogssetið	að sjá
53-300 m	Móberg	Greinil. skoltap í 300 m
300-485 m	Basalt	gætu verið þunn breksfúlög með eitlum Greinil. skoltap í 450 m 460-470 Móberg; set neðan 476 m
485-550 m	Grófa basaltið	
550-594 m	Basalt	fínkornóttara
594-715 m	Móberg	
715-728 m	Basalt	
728-742 m	Móberg	
742-845 m	Basalt	(gráleitt ríkjandi)
845-875 m	Móbergskennt	
875-915 m	Basalt	(gráleitt ríkjandi)
915-935 m	Móbergskennt	
935-1160 m	Basalt	(gráleitt ríkjandi)
1160-1195 m	Móberg	
1195-1420 m	Basalt einrátt	Epidót frá 1280 m
1420-1475 m	Breksfur	fremur þykkar milli basaltlaga
1475-1583 m	Basalt á sniði	(dökkleitt ríkjandi e.t.v. fsúrt)

Hallamælt: Stefna S 56°A/frávik mest í 1000 m dýpi 23 m.

Ætti ekki að skipta máli í sniðum.

VIÐAUKI III

Jarðlagasýrpur í Esju

Jarðlagasýrpur í Esju

Aldur (M. á)	Eining	Segultími stefna	Berggerð (m)
1,8	26	Olduvai	Líparít móberg
	25	-- N --	Ólivín þóleiít móberg
	←		
	24	Matuyama	Þóleiít og ólivín þóleiít hraun
	23	-- R --	Líparít og basalt andesít móberg
	22	-- " --	Þóleiít hraun
	21	Reunion	Basalt - andesít móberg (öskjuvatn)
	20	-- N --	Þóleiít móberg (öskjuvatn)
	19	-- " --	Þóleiít og ólivín þóleiít hraun
	18	Matuyama	Basalt móberg
	17	-- R --	Þóleiít hraun
	16	-- " --	Ólivín þóleiít hraun
	15	-- " --	Basalt móberg
	14	-- " --	Ólivín þóleiít hraun og móberg
	2,4	13	-- " --
12		-- " --	Basalt móberg
11		-- " --	Þóleiít hraun
10		-- " --	Basalt móberg
9		-- " --	Þóleiít hraun
←			
8		Gauss	Þóleiít hraun
7		-- N --	Basalt móberg
6		-- " --	Ólivín þóleiít hraun
5		-- " --	Þóleiít hraun
4		-- " --	Basalt móberg
3		-- " --	Þóleiít hraun
2,8	2	-- " --	Ólivín þóleiít hraun
	1	-- " --	Þóleiít hraun
	←		