



Vinnslueiginleikar Laugarnessvæðisins.  
Jarðfræðilega vangaveltur

**Guðmundur Ómar Friðleifsson**

**Greinargerð GÓF-97-03A**

## Vinnslueiginleikar Laugarnessvæðisins Jarðfræðilega vangaveltur

### 1. Fyrirliggjandi gögn

Jarðfræðilega séð ætti að vera hægt að skilgreina og skipta vinnslusvæði jarðhitakerfisins í Laugarnesi í ákveðnar einingar sem ættu að sýna svipuð viðbrögð við vatnsvinnslu. Skiptingin liggur þó ekki beint við því að hin mismunandi jarðfræðifyrirkæri hafa áhrif á hvort annað. Þannig getur sprunga, misgengi eða gangur haft yfirgnæfandi áhrif á niðurdráttareinkenni ákveðina borholna, mismunandi ummyndun getur leitt til breytilegra eiginleika í annars sambærilegum berggerðum, og sömu bergeiningar, eins og t.d. móbergshryggir, geta haft ólíka vinnslueiginleika eftir því hvar þeir eru skornir af borholum. Við þetta bætist að borholur eru ekki jafndreifðar um svæðið og upplýsingar er berggerðir og ummyndun þeirra eru því misgóðar frá einum stað til annars. Jafnframt hagar svo til að vinnslusvæðið og umhverfi þess er að mestu undir rofmislægi og er því hulið af tiltölulega ungum setlögum og grágrýtishraunum. Jarðfræðikort koma því að litlu gagni hvað varðar dreifingu og legu misgengja og þéttleika innskota. Af því má ljóst vera að okkur er nokkur vandi á höndum.

Til úrlausnar höfum við orðið að nálgast vandamálið frá tveimur hliðum, annars vegar jarðfræðilega og hins vegar jarðeðlisfræðilega. Þessir greinargerð fjallar um hina jarðfræðilegu nálgun. Meðfylgjandi myndasíður eru úr skýrslu höfundar um "Jarðfræði Laugarnessvæðisins í Reykjavík" (1), en eintök af skýrslunni sjálfri er að sjálfsgöðu hægt að fá hjá OS eða HR.

Á myndunum eru sýnd staðsetningar flestra eldri borholna, og aðalatriði jarðfræðigagna sem lesin hafa verið út úr borsvarfi, svo sem ætlaða legu misgengja, samsetningu jarðlagastaflans og ummyndun hans. Í þessu sambandi er rétt að geta þess að borsvarf og kjarnar úr gömlu HS-holum höfðu löngu glatast áður en að ofangreindri samantekt kom, og einungis gagnaslitrur fundust um sumar þeirra. Í Viðauka I í skýrslunni (1) er skrá yfir allar þessar holur og dýpi þeirra, sem rétt er að benda á, og í Viðauka II er nákvæm skipting í jarðlagasyrpur í holum RV-1 til RV-22, en syrpuskipting í yngri RV-holum er unnin upp úr skýrslum um þær.

Á síðustu árum hafa verið boraðar nokkrar hitastigulsholur til viðbótar sem varða Laugarnessvæðið, og er jarðlaga og ummyndunargreiningu lokið í flestum þeirra (2,4,5,6). Gögn úr eftirfarandi HS-holum voru því skoðuð í samhengi við fyrirliggjandi gögn (1) : HS-23 (316 m) í Bústaðahálsi (5), HS-31 (380 m) í Vatnagörðum (5), HS-33 (344 m) í Geldinganesi (5), HS-36 (990 m) í Nauthólsvík (4), HS-40 (348 m) í Örfirisey (6) og HS-44 (1265 m) í Geldinganesi (2). Staðsetning þessar holna er handteiknuð inn á á kortin sem sýna dreifingu laumontíts og epidóts í berggrunni Reykjavíkur.

Strik jarðlaga í berggrunni Reykjavíkur er NA-lægt og halli jarðlaga er talinn vera milli 8-10° til SA. Nærri Geldinganesi og þar austur frá er mældur halli 15-12° til SA.

Þorsteinn Thorsteinsson og Jónas Elíasson (1970) (7), skiptu vatnsgæfum jarðlögum í þrjá flokka: Vatnskerfi A, 100-110°C heitt á 250-650 m dýpi; vatnskerfi B 135°C heitt á 730-1250 m dýpi, og vatnskerfi C 146°C heitt neðan við 2000 m dýpi. Vatnstakan milli þeirra skiptist í 18%, 80 % og 2 %.

## 2. Endurskoðun gagna og viðbætur

Greinilegt er frá athugun á ummyndun í Laugarnessvæðinu (1) að samband er á milli dreifingar laumontíts og stefnu ætlaðra misgengja á svæðinu, sem gefur til kynna að heitt (>120°C) jarðhitavatn hafi leita upp með þeim allt upp á 200 metra dýpi þar sem grynnt er. Kæling er jafnframt meiri nær misgengjunum en fjær, eins og sést á legu 120°C jafnhitalínu í umræddum jarðlagasniðum. Túlkun á ummyndunargögnum úr holu RV-38 (1) benda til að jarðhitavatn í Laugarneskerfinu hafi kólnað um 20-30 °C gráður frá því fyrir um 10.000 árum. Sést það m.a. á því að lághita zeólítar (<120°C) yfirprenta laumontít frá 200 m dýpi í RV-38 niður á 1000 m dýpi, og í holu RV-40 frá 300 m dýpi niður fyrir 1700 m dýpi. Jafnframt sést á legu 120°C jafnhitalínunnar að varmanámið hefur verið langmest austan til á svæðinu við holu RV-40 við Þvottalaugarnar, en þar var jú aðal uppstreymið á árum fyrr. Væntanlega má af því draga þá ályktun að besta náttúrulega lektin hafi verið þeim megin á svæðinu, og sé þar enn.

Því vaknar sú spurning hvort ekki væri reynandi að skilgreina vatnsgæfar einingar út frá útliti 120°C jafnhitalínunnar, og ætlaðra misgengja á svæðinu. Þannig mætti hugsa sér að langs eftir Laugardalnum væri einhvers konar renna með 80-110°C vatnshita, sem næði niður á um 2 km dýpi. Önnur NV-SA-læg renna grynri, þrengri og minna lek lægi langs eftir NV-SA-læga misgenginu, 80-120°C heit, milli ca. 100-500 m o.s.frv.

*Innlegg 1 : Afmarka tvo til þrjá missstóra rétthyrnigslaga kassa með NA-SV læga stefnu beggja megin vinnslusvæðisins, langs eftir misgengjunum, og innan þess langs eftir A-V misgenginu.*

Athugun á gögnum úr nýju hitastigulsholunum gaf eftirfarandi niðurstöðu. Fyrst var skoðuð hola HS-40 (6) í Örfirisey. Í henni er Reykjavíkurgrágrýtið talið ná niður á 48 m dýpi. Bergið er glerjað of hugsanlega eitthvað bólstrað í botninn. Ekkert setlag sást sem svarað gæti til Elliðavogsssetsins. Næst er um 60 m þykk feldspat stakdílótt hraunlagasyrpa niður á 110 m dýpi. Þá önnur hraunlagasyrpa úr fremur fínkorna basalti, með tveim grófkornóttari hraunlögum á 200 m dýpi og 250 m. Þunnt setlag er undir efra laginu. Loks tekur við móbergsmýndun neða 270 m dýpis sem nær niður á botn holunnar í 348 m dýpi.

Ef gert er ráð fyrir 8-10° halla til SA þá ætti ákveðið jarðlag í HS-40, sem næði t.d. yfir í RV-14 við Fúlutjörn að vera 350-440 m neðar þar, en um 2,5 km eru á milli holna. Toppurinn á móbergsmýndun neðan 270 m í HS-40 lenti þá á 700-800 m dýpi eftir því hvor talan væri notuð, og svipað ef gert væri ráð fyrir að 100 m misgengi með sigi austan megin væri á milli holna. Tengingin reyndist ekki sannfærandi miðað við jarðlagaskipan í RV-14 ofan 700 m dýpis, en þar er um 200 m þykk móbergsmýndun í RV-14. Því var reynd tenging milli grófkorna hraunlagsins í holu

HS-40 á 250 m dýpi og botnsins á dyngjuhraunasyrpunni í RV-14 ofan 450 m dýpis. Sú jarðlagatenging er einhvern veginn meira sannfærandi. Holu HS-40 í Örfirisey var því varpað inn í einfaldaða jarðlagasniðið frá (1) langs eftir Reykjavík frá Seltjarnarnesi inn á Ártúnshöfða (sjá meðfylgjandi myndasiður). Brá þá svo við að jarðlagasniðið í Örfirisey passar svo vel inn í gömlu myndina að ekki þarf einu sinni að leiðrétta hana. Hún breytist því ekki með nýjum gögnum. Jarðlög samkvæmt því eru því um 200 m neðar inni á Laugarnessvæðinu, sem svarar til 6° SA-lægs halla, í stað 8-10°. Það gæti m.a. bent til að eitthvað af NA-lægum misgengjum með sigi vestan megin lægju undir miðborg Reykjavíkur, ef hallinn er ekki bara minni.

Rétt er því að líta svo á að gamla jarðlagasniðið langs eftir Reykjavík, ásamt ummyndunarsniðinu og túlkuðum hitasniðum, sé nothæft innlegg í reikninga á vinnslueiginleikum Laugarnessvæðisins.

***Innlegg 2.** Skilgreina tvo til þrjá stóra kassa vestan við Laugarnessvæðið. Sá efsti gæti legið ofan móbergsmýndana á langsníðsmýndinni, vestan frá Örfirisey (400 m) og austur að H-28 við Rauðarárstíg (7-800 m), vinnslueiginleikar væru svipaðir í öllu laginu og hiti frá 20-80°C. Næsti kassi gæti náð niður í ísúra bergið á ca. 900 m í Örfirisey í ca. 12-1300 m við H-28, hiti lægi á bilinu 80-120°C hækkandi til austurs. Þriðji kassi væri svo neðam þessa dýpis niður á ca 2000 m dýpi með hita frá ca 100-130°C hækkandi austur.*

*Velta má fyrir sér eða prófa blokkir sem samsvöruðu hvítu, bláu og gulu svæðunum á ummyndunarsniðinu og láta hita fylgja jafnhitalínunum. Niðurstaðan yrði trúlega hliðstæð þar sem um "óendanlega" stórar blokkir er að ræða með lítt þekkta eiginleika.*

Þá var búið til einfallt jarðlagasnið samsíða NA-lægu striki jarðlaga, milli holna HS-36 í Nauthólsvík um HS-23 við Bústaðaháls, í HS-31 í Vatnagörðum, og holum HS-33 og HS-44 í Geldinganesi síðan varpað inn í sniðið (1 km austar undan 12° halla) og svo RV-40, RV-19 og RV-35 (3) inni á vinnslusvæðinu, en þær liggja mjög nærri sniðlínunni. Niðurstaða varð eftirfarandi:

Unnt er að tengja saman jarðlög frá Nauthólsvík að ætluðu NV-SA-lægu misgengi. Þar þarf að fella móbergsmýndun niður um rúma 100 m, og gera ráð fyrir að dyngjubasalt hafi hlaðist að misgengisstallinum austan megin, og einungis 1-2 dyngjuhraun hafi ná til Nauthólsvíkur. Þykk móbergsmýndun er efst í holu RV-19 skv. túlkuðu jarðlagasniði (1), sem illgerlegt er að tengja við RV-35 nema sem dallfyllu í sigdæld.

Síðan er illgerlegt að tengja milli holu RV-35 við Undraland yfir í holu RV-40 við Laugardalshöllina, nema með því að gera ráð fyrir að farið sé upp úr sigdalnum margumrædda, um eitt eða fleiri misgengi, þannig að heildar uppgangur nemi 100-150 m. Neðri hluta holu RV-40 er vont að tengja til SV, og ljóst sem fyrr að borholur vantar tilfinnanlega á spildunni milli RV-35 og RV-40, til NV um Teigana. Hluti af grófkorna berginu í holu RV-40, milli 200 og 460 m, sem ýmist hefur verið túlkað sem dólerítinnskot eða hraundyngja, nema hvort tveggja komi til, er í sjálfu sér minnsta vandamálið í jarðfræðimyndinni. Móbergsmýndunina undir þarf einhvern veginn að skýra líka því hún er um 150 m ofar í Laugardalnum en í holunum vestan megin á vinnslusvæðinu. Því verður ekki séð annað en notast verði við fyrirliggjandi mynd (1) um að aðal vinnslusvæðið sé innan rúmlega 100 m djúprar sigspildu .

Engin leið er að tengja af viti milli RV-40 og HS-31, en móbergsmýndun í efri hluta HS-31, má auðveldlega tengja um þekkt móberg í Viðey, í þykka móbergsmýndun efst í holum HS-33 og HS-44 í Geldinganesi. Basaltið undir í öllum þessum holum mætti líka spyrða saman. Engin innskot greindust í 380 m djúpri holu í Vatnagörðum, og í Geldinganesi fundust fyrst alvarlegu innskotin fyrst á um 500 m dýpi, en þaðan má heita að greinst hafi samfelld innskot niður á botn holunnar í 1265 m dýpi.

Ef litið er á ummyndunarmýnstrið, þá rís laumontít-beltið um 100 m frá RV-19 og RV-35 yfir til RV-40 þar sem laumontít er á 300 m dýpi, og síðan upp um aðra 200 m yfir til HS-31 þar sem laumontít finnst á 100 m dýpi, eins og í HS-33 og HS-44. Sama er að segja um dreifingu epidóts, nema hvað upprisið innundir Laugardalinn og Sundin er margafallt dramatískara, því epidót beltíð svífur upp úr 1140-1300 m dýpi í RV-19 og RV-35 uppi í 500 m dýpi í RV-40, og er á sama 500 m dýpinu í HS-44 í Geldinganesi. Eins og sést á meðfylgja litmyndum í jarðlagasniði B-B'-B'' frá (1), þá er fall 120°C jafnhitalínunar ennþá dramatískara, en í gagnstæða átt, því 120°C línan fellur niður um ca. 2 km, úr u.þ.b. 500 m dýpi inni á vinnslusvæðinu, niður fyrir 2.2 km við Þvottalaugarnar og holu RV-40 í Laugardalnum.

Jaðarsvæðið undir Laugarásnum verður trúlega að skilgreinast út frá jarðeðlisfræðigögnum meðan holur vantar, og sömuleiðis skilveggur milli Laugarnessvæðisins og Elliðaársvæðisins, ef einhver er? Langsniðsmýndin frá Seltjarnanesi inn á Ártúnsholt sér engan skilvegg í vatnleiðni, nema þá helst sem einhvers konar kuldapoll milli svæða, þar sem epidótbeltið rís hæst. Þar hafa bæði 100°C og 120°C jafnhitalínurnar hnigið niður um 1-2 km, og því spurning hvort kaldara vatnið haldi ekki uppi þrýsting milli svæðanna.

**Innlegg 3.** *Gamla myndin um sigdalinn vestan Laugardals á aðal vinnslusvæðinu stendur enn. Grágrýtisdýngja með innskotum, eða stórt innskot milli 200 og 450 m í RV-40 í Laugardalnum skiptir litlu máli varðandi vatnslekt, og epidót beltíð er undir grófa berginu á þessu dýptarbili. Þetta berg kann hins vegar að sjást í þyngdar og segulmælingum, og rétt er að áréttu að ekkert móberg sést í Laugardalnum fyrr en neðan 500 m dýpis (miðað við RV-40), meðan það er um 200 m þykkt næst yfirborði litlu vestar, þ.e.a.s undir mislæginu sem markað er af Elliðavogssetimu og Reykjavíkurgrágrýtinu. Borholur vantar tilfinnanlega í Laugardalnum og Teigunum til að fá heilsteyptari jarðlagamynd af austurhluta sigdalsins. Hins vegar er ljóst út frá dramatísku falli 120°C jafnhitalínunnar í átt að holu RV-40, að þar hlýtur að vera all sæmileg lekt í jarðlagastaflanum, og þá trúlegast samsíða sprungum eða innskotum. Þar þarf því að skilgreina all vænan kassa. Ekki er mér ljós sprungustefnan sem gömlu Þvottalaugarnar komu upp með, en sú sprunga er líklegast mest afgerandi hvað fall 120°C línuna varðar. Út frá fyrirliggjandi mynd verður hún látin hafa NV-SA stefnu frá Laugarnesi inn Laugardalinn og afmarkasta af Teigunum suðvestan megin og Laugarásvegi norðaustan megin. Kaldara svæðið virðist reyndar teygja sig langleiðina að Elliðaársvæðinu og mætti e.t.v. skoða sem "þrýstistíflu" milli svæðanna, sem veiti kaldara vatni að báðum til að mæta niðurdrætti?*

### 3 Niðurstaða

Afmörkuð eru 3 svæði langs meðfram ætluðum misgengissprungum. Það lengsta og jafnframt það dýpsta er norðaustan megin, þar sem gögnin eru reyndar minnst. Það nær niður á **2 km dýpi**, frá Rauðasandi inn Laugardalinn suður að Glæsibæ a.m.k., og er því **2 km langt og um 700 m breitt**. Þennan kassa mætti númera **1**. Suðvestan megin nær misgengissvæðið niður á **500 m dýpi** frá sjó og suður á Grensásveg, og er því **2 km langt**, en einungis gefin **100 m breidd**. Þessi kassi er númer **2**. Inn á vinnslusvæðinu er jafndjúp misgengisrenna, þvert yfir svæðið milli holna RV-21 og RV-35, **50 m breið, 500 m djúp og 700 m löng**. Sá kassi er númer **3**.

Sigspildunni sjálfri mætti skipa í fimm til sex kassa, sem númeraðir eru 4, 5, 6, 7, 8, 9.

**Kassi 4 er óendanlega víður, en einungis 50-100 m þykkur**, og inniheldur Reykjavíkurgrágrýtið og Elliðavogsetin. Allir hinir eru kassarnir innan sigspildunnar eru **600 m breiðir, 2000 m langir og misþykkir**.

**Kassi 5 er 250 m þykkur**, frá 50-300 m dýpi, og inniheldur mestmegnis móberg.

**Kassi 6 er 300 m þykkur**, og inniheldur mestmegnis basalthraun, sem sum hver eru velleiðandi, og í heild er kassi 6 betur leiðandi en kassar 5 og 7.

**Kassi 7 er 150 m þykkur**, og inniheldur mestmegnis móberg, en jafnframt nokkuð af basalthraunum.

**Kassi 8 er a.m.k. 1250 m djúpur**, frá u.þ.b. 750 m dýpi niður fyrir 2 km dýpi og er mest megnis úr basalthraunum.

Bilið milli 2-3 km er ekki talið skipta verulegu máli, en mætti þess vega skilgreina sem **kassa 9**, með lélegri lekt en kassi 8.

Norðaustan við sigspilduna verður skilgreint svæði frá Laugarnesi og Sundahöfn suður að Bústaðahverfi, a.m.k. **1 km breitt, 3 km langt, og 2 km djúpt**. Því mætti e.t.v tvískipta um 100 °C jafnhitalínu, ofan og neðan 1200 m dýpis. Vatnshiti í efri hluta eykst úr 20-40°C upp í 100°C, en í neðri hluta frá 100-120°C. Kassa þennan mætti hvort heldur sem er skoða sem tregleiðandi, eða velleiðandi í nánú þrýstisambandi við Laugarnekerfið, þannig að valdið hafi umtalsverðri kólnun í eystri misgengiskassanum. Svæðið er hólfað í **kassa 10 og 11**.

Suðvestan við sigspilduna mætti síðan skilgreina 3 kassa til viðbótar, **númer 12, 13 og 14**. Þeir væru allir **1 km breiðir, 5 km langir**. **Kassi 12 yrði 500 m djúpur, kassi 13 yrði 1 km á dýpt, og kassi 14 yrði 500 m djúpur**. Þykkt kassanna mætti breyta eða aðlaga skamkvæm ummyndunarmyndinni í langsniðnu, og hitafari yrði haldi í samræmi við sömu mynd. Kassar 12, 13 og 14 yrðu tregleiðandi og í aðalatriðum minni áhrifavaldar en kassi 10.

**Kassa 15** mætti síðan skilgreina sem innskotakassa undir hafsbotni, líklega sæmilega leiðandi “þrýstistíflu”, svipað og gildir um kassa 10, en jarðhitagögn skortir um svæðið undir hafsbotninum.

Kassarnir eru sýndir á meðfylgjandi mynd 1.

- (1) Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1990. Jarðfræði Laugarnessvæðisins í Reykjavík. OS-90035/JHD-07, 63 bls.
- (2) Guðmundur Ó. Friðleifsson, Þórður Arason, Helga Tulinius og Benedikt Steinsgrímsson, 1996. Hóla HS-44 í Geldinganesi. OS-96053/JHD-33 B, 29 bls.
- (3) Guðmundur Ó. Friðleifsson, Helga Tulinius, Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Gísli Guðmundsson og Guðlaugur Hermannsson, 1985. Reykjavík, Hóla RV-35, Borun og Borholurannsóknir. OS-85106/JHD-61 B, 90 bls.
- (4) Jens Tómasson, 1993. Hóla HS-36 í Nauthólsvík. Jarðlög ummyndun og vatnsæðar. OS-93067/JHD-33 B, 9 bls.
- (5) Jens Tómasson, Helga Tulinius og Benedikt Steinsgrímsson, 1994. Höfuðborgarsvæði, holur HS-23 til HS-35. Jarðfræði og jarðlagamælingar. OS-94023/JHD-11 B, 68 bls.
- (6) Sigurður Sveinn Jónsson, Helga Tulinius, Þórður Arason, Guðmundur Ómar Friðleifsson og Benedikt Steingrímsson, 1996. Höfuðborgarsvæði, holur HS-35 og HS-37 til HS-43. OS-JHD-96068/JHD-38 B, 40 bls.
- (7) Þorsteinn Thorsteinsson og Jónas Eliásson, 1970. Geohydrology of the Laugarnes Hydrothermal System in Reykjavik, Iceland. Geothermics – Special Issue 2: bls. 1191-1204.

	tap l/s	A-leiðari %	B-leiðari %	C-leiðari %	A-leiðari	B-leiðari	C-leiðari
RV-1	4,00		100,00			4,00	
RV-2	3,60	8,00	92,00		0,30	3,30	
RV-3	2,50		100,00			2,50	
RV-4	9,20		18,00	82,00		1,70	7,50
RV-5	7,60		100,00			7,60	
RV-6	0,20		100,00			0,20	
RV-7	11,70	31,00	69,00		3,60	8,10	
RV-8	12,50	0,00	5,00	95,00		0,60	11,90
RV-9	13,40		100,00			13,40	
RV-10	21,10		16,00	84,00		3,30	17,80
RV-11	30,00		100,00	0,00		30,00	
RV-12	35,10	0,00	92,00	8,00		32,30	2,80
RV-13	9,30	3,00	7,00	90,00	0,30	0,60	8,40
RV-14	8,40	4,00	96,00		0,30	8,10	
RV-15	25,00		100,00			25,00	
RV-16	22,50	0,00	95,00	5,00		21,40	1,10
RV-17	12,50		100,00			12,50	
RV-18	0,80			100,00			0,80
RV-19	37,40	0,00	11,00	89,00		4,40	33,00
RV-20	34,80	1,00	99,00		0,30	34,50	
RV-21	37,90	1,00	12,00	87,00	0,30	4,60	33,00
RV-22	16,90	0,00	100,00			16,90	
RV-34	32,00	0,00	72,00	28,00		23,00	9,00
RV-35	100,00	30,00	44,00	26,00	30,00	44,00	26,00
RV-38	31,00		100,00			31,00	
RV-40	4,00		50,00	50,00		2,00	2,00
	523,40	7,00	64,00	29,00	35,10	335,00	153,30