



Krafla – Hola KJ-38

Borun 3. áfanga:
Jarðlagagreining og mælingar



ÍSOR-2008/071

Desember 2008

Skýrsla LV nr: LV-2008/204

Dags: Desember 2008

Fjöldi síðna: 49 Upplag: 5 Dreifing: Opin Takmörkuð til

Titill: Krafla – Hóla KJ-38. Borun 3. áfanga: Jarðlagagreining og mælingar

Höfundar/
fyrirtæki: Magnús Á. Sigurgeirsson, Anette K. Mortensen, Þorsteinn Egilson,
Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Friðgeir Pétursson

Verkefnisstjóri: Ásgrímur Guðmundsson f.h. LV Magnús Ólafsson f.h. ÍSOR

Unnið fyrir: Unnið af Íslenskum orkurannsóknum fyrir Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: _____

Útdráttur: Gerð er grein fyrir borun 3. áfanga hólunnar KJ-38 við Kröflu ásamt niðurstöðum rannsókna. Verkið var unnið fyrir Landsvirkjun. Hólan er staðsett skammt suðaustan við sprengigíginn Víti, á sama borplani og hólurnar KJ-34 og KJ-36. Hólan var skáboruð til hánorðurs með 30° halla. 3. áfangi hennar var boraður með jarðbornum Jötni. Endanlegt holudýpi varð 2700,1 m. Borun lauk þann 14. júlí á 32. verkdegi Jötuns á hólunni. Að borun lokinni var 7" leiðari settur í hóluna niður á 2650 m dýpi. Sýnum af borsvarfi var safnað og jarðlög og ummyndun greind samhliða borun. Hraunlög og innkot eru ráðandi í þessum hluta hólunnar. Allnokkrar æðar komu fram og eru þær stærstu á 2265 og 2420 m dýpi. Mikið skoltap var neðan 2200 m dýpis og um tíma var það algjört. Bergumyndun er almennt mikil en á milli er fersklegt innkotaberg. Ummyndunarsteindir benda til að ummyndunarhiti sé 270–300°C neðst í hólunni. Lítið er af kalsíti í þessum hluta hólunnar nema á einum kafla, á 1660–1870 m dýpi, sem bendir til að nokkrar kælingar gæti þar. Hefðbundnar borholumælingar voru gerðar, s.s. hitamælingar til að afla vitneskju um æðar og upphitun í hólunni og jarðlaga- og víddarmælingar til að kanna vídd hólunnar og jarðlög sem hún sker. Hólan var þrepaprófuð við borlok og reyndist ádælingarstuðull hennar vera um 3 (l/s)/bar. Borverk var unnið af Jarðborunum hf., Mannvit sá um eftirlit við fóðrun og steypingar en borholurannsóknir, ráðgjöf og boreftirlit við borun önnuðust Íslenskar orkurannsóknir (ÍSOR).

Lykilorð:

Krafla, Víti, KJ-38, jarðhitasvæði, háhiti, borhóla, jarðhitavirkjun, gufuöflun, jarðlög, ummyndun, vatnsæðar, borholumælingar, Saga, Jötunn

Gagnagrunnslykill hólunnar: B 58038

ISBN nr:

ISSN nr:

Undirskrift verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Efnisyfirlit

1 Inngangur	7
2 Jarðlög, ummyndun og æðar	10
2.1 Jarðlög	10
2.2 Innskot	17
2.3 Ummyndun	17
2.4 Vatnsæðar	20
3 Borholumælingar	21
3.1 Gírósmælingar	22
3.2 Krónuskipti	27
3.3 Jarðlagamælingar	28
3.4 Þrepaprófun holu KJ-38	34
Forþrep	34
Þrepaprófun eftir örvun	34
Upphafseiginleikar	37
Túlkun	38
4 Heimildir	43
Viðauki I: Jarðlög og jarðlagamælingar í KJ-38	44
Viðauki II: Skilgreiningar á forðafræðistærðum	47

Töflur

Tafla 1. <i>Vatnsæðar í 3. áfanga KJ-38</i>	20
Tafla 2. <i>Yfirlit yfir borholumælingar í 3. áfanga KJ-38</i>	21
Tafla 3. <i>Stefna og halli KJ-38 við borlok</i>	23
Tafla 4. <i>Samantekt yfir upphafseiginleikana sem notaðir eru í þrepaprófinu</i>	38
Tafla 5. <i>Samantekt yfir líkangerð sem valin var fyrir þrep nr. 1</i>	38
Tafla 6. <i>Mat á forðafræðistærðum fyrir þrep nr. 1</i>	39
Tafla 7. <i>Mat á forðafræðistærðum fyrir þrep nr. 3</i>	41
Tafla 8. <i>Samantekt forðafræðigilda sem fengust með hermireikningum úr þrepum 1 og 3</i>	42

Myndir

Mynd 1. <i>Staðsetning og áætluð stefna holu KJ-38 við Víti</i>	8
Mynd 2. <i>Hönnun holu KJ-38</i>	9
Mynd 3. <i>Jarðlög í KJ-38 á 1050–1800 m dýpi</i>	14
Mynd 4. <i>Jarðlög í KJ-38 á 1800–2600 m dýpi</i>	15
Mynd 5. <i>Skýringar við jarðlagasnið</i>	16

Mynd 6. Jarðlög, ummyndun og ummyndunarsteindir í 3. áfanga holu KJ-38.	18
Mynd 7. Upphitunarmælingar og ummyndun í holu KJ-38.	19
Mynd 8. Myndin sýnir framganginn í stefnu og halla holu KJ-38.	22
Mynd 9. Holuferill KJ-38 í 2651 m dýpi ásamt hönnunarferlum.	25
Mynd 10. Lega holuferils og staðsetning æða í vinnsluhluta holu KJ-38.	26
Mynd 11. Hitamæling við krónuskipti.	27
Mynd 12. Yfirlitsmynd jarðlagamælinga í lok borunar KJ-38.	28
Mynd 13. Hitamæling við upphaf jarðlagamælinga ásamt mismunahita.	30
Mynd 14. Jarðlagamælingar og jarðlagagreining úr KJ-38.	31
Mynd 15. Yfirlit um þætti sem stjórna mati á virkum poruhluta ásamt poruhlutamati.	33
Mynd 16. Stutt þrepapróf með mæli á 2650 m dýpi.	34
Mynd 17. Þrýstimæling í 1780 m á meðan þrepaprófinu stóð.	35
Mynd 18. Þrýstiferlar í tengslum við þrepaprófið 20. júlí.	36
Mynd 19. Hitamælingar í tengslum við þrepaprófið 20. júlí.	37
Mynd 20. Samsvörun á milli fræðilegs líkans og gagna sem safnað var fyrir þrep 1.	39
Mynd 21. Samsvörun á milli fræðilegs líkans og gagna sem safnað var fyrir þrep 3.	40
Mynd 22. Samsvörun á milli líkans og gagna.	41

1 Inngangur

Holan KJ-38 var boruð í þeim tilgangi að afla aukinnar orku vegna fyrirhugaðrar stækkunar Kröfluvirkjunar. Hola KJ-38 er staðsett á sama borplani og holur KJ-34 og KJ-36, sem er rétt norðan við Hveragil og austan við Víti (mynd 1). Með hliðsjón af árangri borunar holu KJ-36 var ákveðið að stefna holu KJ-38 yrði til norðurs, skáhallt á Hveragilsprunguna. Meginmarkmiðið er að kanna lekt sprungukerfanna til norðurs og vinnslueiginleika jarðhitavökvans (Anette K. Mortensen o.fl., 2008).

Innan Kröfluöskjunnar er öflugt uppstreymi jarðhitavökva á tveimur stöðum, við Leirhnjúk og í Hveragili. Boranir hafa staðfest öflugt uppstreymi úr jarðhitakerfinu í Hveragili. Aflmesta holan í Kröflu, hola KJ-34, er við norðanvert Hveragil og austan Vítis og er hún bein. Þegar skyggst er dýpra ofan í jarðhitakerfið með TEM- og MT-mælingum sýna þær að meginuppstreymi jarðhitakerfisins í Kröflu er annars vegar undir Leirhnjúk og hins vegar milli sprengigíganna í og austan við Hveragil (Knútur Árnason og Ingvar Þór Magnússon, 2001; Hjálmar Eysteinnsson og Arnar Már Vilhjálmsson, 2007). Það kemur heim og saman við niðurstöðu mælinga á gastreymi jarðhitagasa til yfirborðs (Ármannsson o.fl., 2007). TEM- og MT-mælingarnar benda til þess að meginuppstreymisrásir jarðhitavökvans tengjast að norðanverðu samsíða öskjubrotunum. Á grundvelli viðnámsmælinganna hefur áhugi aukist á að kanna svæðið norðan við Hveragilið með borunum til þess að skoða möguleika á hvort unnt sé að auka vinnslu úr jarðhitakerfinu til norðurs. Hveragilið skilur á milli Leirbotna og Suðurhlíða en svæðin sýna mismunandi eðliseiginleika. Jarðhitakerfið við Leirbotna einkennist af efri og neðri hluta. Efri hlutinn er 190–220°C heitur niður á 800–1200 m dýpi en hitinn í neðri hlutanum liggur við suðumarksferilinn.

Staðarnúmer holunnar í gagnagrunni ÍSOR er 58038.

Hnit holunnar eru (ISN93):

$$X = 603433 \text{ A} \quad Y = 581625 \text{ N} \quad Z = 605 \text{ m}$$

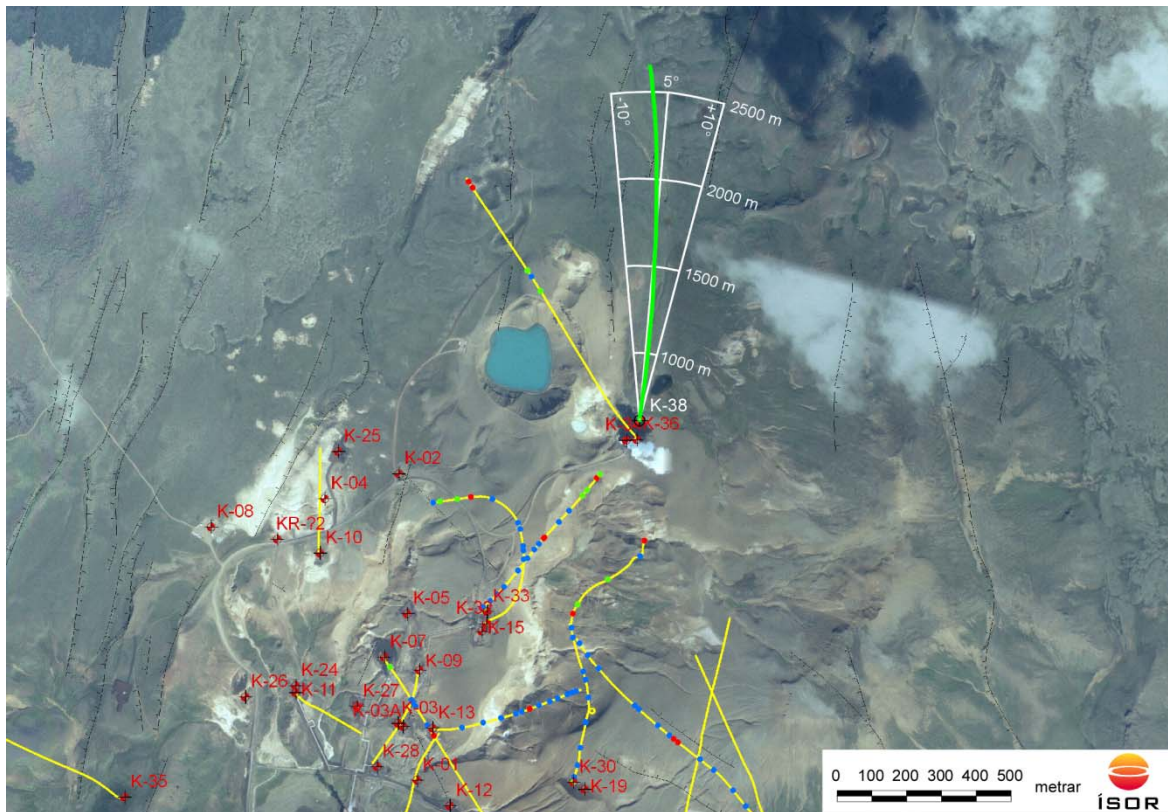
Jarðborinn Saga forboraði holuna niður á 86 m dýpi (m.v. borþall) fyrir yfirborðsfóðringu en síðan tók jarðborinn Jötunn við og boraði 1. áfanga fyrir 13³/₈" öryggisfóðringu í 307 m og 2. áfanga fyrir 9⁵/₈" vinnslufóðringu í 1051,1 m dýpi. Vinnsluhlutinn, sem hér er fjallað um, var boraður með 8¹/₂" krónu og fóðraður með 7" götuðum leiðara.

Holuhönnun gerði ráð fyrir að stefnuborun hæfist á um 320 m dýpi (KOP) með hallauppyggingu 1,5° á hverja 30 m þar til 30°±3° halla væri náð í 5°±10° stefnu. Gert var ráð fyrir að lengd holunnar yrði 2500 m og lárétt færsla samkvæmt ofangreindum forsendum tæpir 950 m. Það þýðir að raundýpi yrði um 2260 m (Anette K. Mortensen o.fl., 2008).

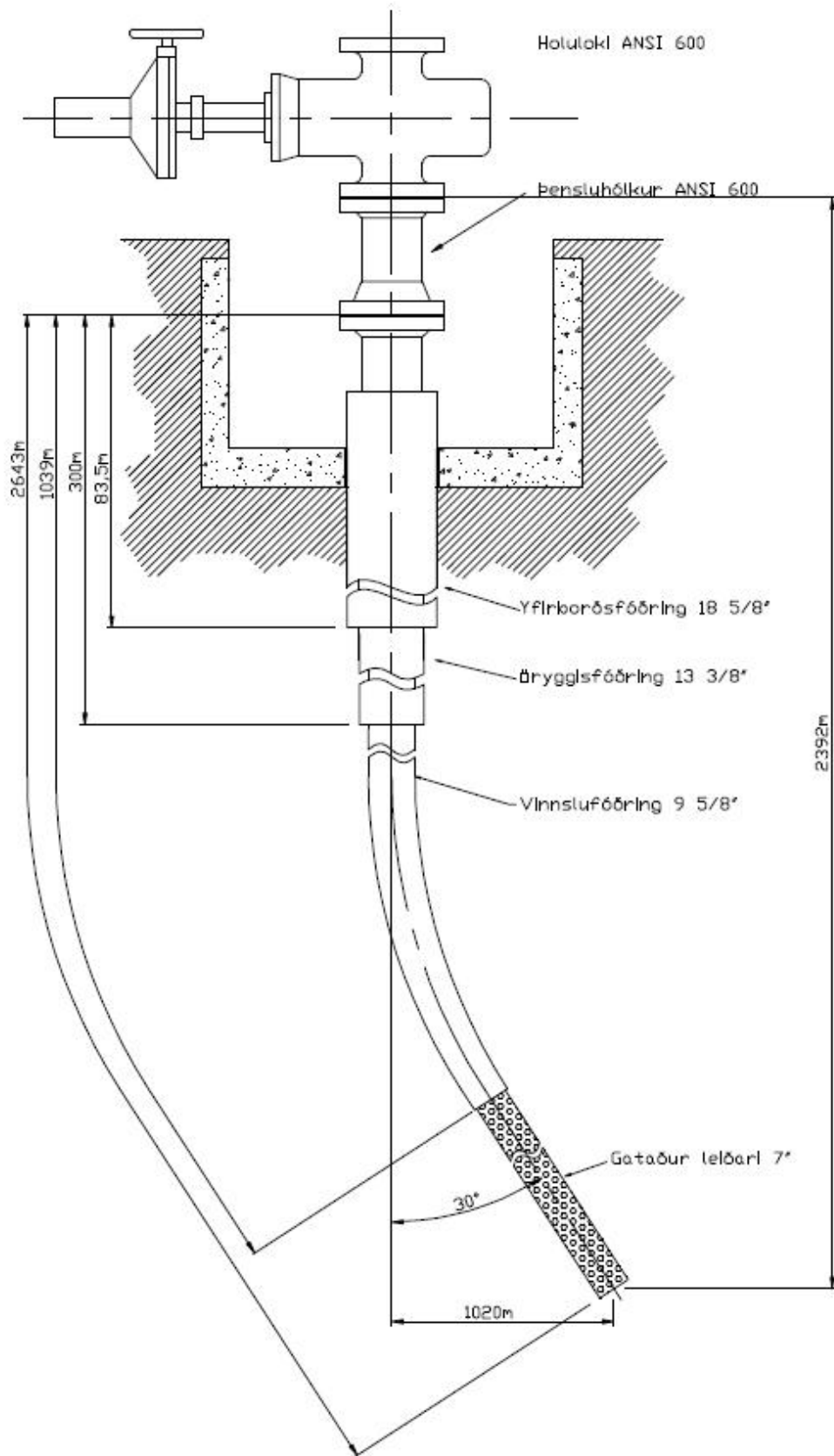
Tvær skýrslur eru gefnar út um borun 3. hluta KJ-38. Önnur skýrslan nær yfir borsögu og borgögn sem safnað var samhliða borun en hin nær yfir greiningu jarðlaga og mælingar ÍSOR-manna á borstað. Í fyrrnefndri skýrslunni eru jafnframt birtar allar dagskýrslur frá borun 3. áfanga KJ-38.

Allar dýptartölur eru miðaðar við borpall Jötuns, sem var 6,86 m yfir jörðu, nema annað sé tekið fram.

Borverkið er unnið af Jarðborunum hf. og rannsóknarþátturinn er unninn af Íslenskum orkurannsóknnum (ÍSOR). ÍSOR var með boreftirlit meðan á borun stóð en við fóðrun og frágang holu var það í höndum verkfræðistofunnar Mannvits.



Mynd 1. Staðsetning og áætluð stefna holu KJ-38 við Víti.



Mynd 2. Hönnun holu KJ-38.

2 Jarðlög, ummyndun og æðar

Svarfsýni úr borun KJ-38 voru tekin á tveggja metra dýptarbili af starfsmönnum Jarðborana. Allt svarf var greint á borstað af jarðfræðingum frá Íslenskum orkurannsóknum (ÍSOR). Yfirlit um jarðlög holunnar, frá 1050–2700 m dýpi, má sjá á myndum 3 og 4. Skýringar við jarðlagasnið eru á mynd 5.

2.1 Jarðlög

1050–1104 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Þétt, grágrænt, fín-meðalkorna basalt. Ummyndun er almennt mikil en inni á milli koma kaflar þar sem ummyndun er minni og líklega er þar um innskot/innskotsæðar að ræða. Möguleg innskot gætu verið á 1050–1052, 1054–1056, 1064–1066, 1078–1080 og 1100–1104 m dýpi.

1104–1116 m dýpi: *Meðalgrófkorna basalt*. Milligrófkorna basalt. Dálítið af dulkorna bergi í bland.

1116–1148 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Fín-millikorna basalt, ljósgrágrænt. Epidót er áberandi.

1148–1162 m dýpi: *Meðalgrófkorna basalt*. Milligrófkorna basalt, ferskara en ofar, hugsanlega að mestu innskot.

1162–1176 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*

1176–1204 m dýpi: *Meðalgrófkorna basalt*. Jafnkorna, millikorna basalt. Nokkuð af dulkorna bergi í bland.

1204–1214 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Talsvert af dulkorna bergi efst, millikorna, frekar ferskt berg neðar. Innskot.

1214–1224 m dýpi: *Meðalgrófkorna basalt*. Jafnkorna, millikorna basalt

1224–1248 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Fínkorna, mikið ummyndað berg.

1248–1256 m dýpi: *Meðalgrófkorna basalt*. Millikorna basalt, ferskara en ofar, líklega innskot.

1256–1266 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Mikið ummyndað, ljósgrænt berg. Mikið er af kvars efst í einingunni og granat er áberandi neðst.

1266–1276 m dýpi: *Meðalgrófkorna basalt*. Aukning í meðalkorna, ferskara bergi. Efst er kvars algengt. Mögulegt, þunnt innskot neðst.

1276–1288 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Dulkorna, dökkgrátt berg. Hugsanlegt innskot. Hlutfall meðalkorna basalts eykst neðst.

1288–1294 m dýpi: *Meðalgrófkorna basalt*. Talsvert af dulkorna bergi. Annars meðalkorna basalt sem er sæmilega ferskt.

1294–1352 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Basaltsyrpa, dulkorna/fínkorna og jafnkristallað basalt. Í bland vottar fyrir fersku, dökkgráu og þéttu basaltinnskoti. Helstu útfellingar eru epidót, amfiból, kvars, pýrít, pyrrhótít, gróffjaðraður leir og mögulega granat. Nánast ekkert kalsít er til staðar.

- 1352–1366 m dýpi: *Meðalgrófkorna basalt*. Pýrít er algengt.
- 1366–1434 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Einsleit syrpa af fín-meðalkorna basalti. Á 1400–1402 m dýpi er bergið grófara. Helstu útfellingar eru epidót, wollastónít, prehnít, kvars, gróffjaðra leir, granat og pýrít.
- 1434–1506 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Millikorna basalt, jafnkorna og einsleitt. Mögulegt innskot er á 1494 m dýpi, gæti verið ísúrt samkvæmt jarðlagamælingum.
- 1506–1512 m dýpi: *Meðalgrófkorna basalt*. Bergið verður grófara en ofar. Mikið af kvasi en einnig eru til staðar epidót, wollastónít, amfiból, pyrrhótít, pýrít og gróffjaðra leir. Ekkert kalsít.
- 1512–1592 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Millikorna basalt. Dálítið er af fín-dulkorna bergi á 1548 og 1566 m dýpi, sennilega innskotsæðar.
- 1592–1666 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Fín-dulkorna, grátt, plagíóklasstakdílótt basalt – sennilega innskot. Bergið er almennt lítið ummyndað og þétt. Niður á við verður bergið heldur grófara, plagíóklasdílótt, fín-meðalkorna basalt. Samkvæmt jarðlagamælingum gæti verið um þróað basalt að ræða á 1550–1640 m dýpi. Kvars, leir og pýrít eru helstu ummyndunarsteindir.
- 1666–1680 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Ljósgrátt til ljósgrænt, mjög ummyndað, fínkorna, millikorna basalt. Allmargar gerðir ummyndunarsteinda eru sjáanlegar, s.s. kalsít, epidót, aktinólít, gróffjaðra leir, granat, wollastónít og pýrít. Kalsít kemur inn en það hafði ekki sést á löngum kafla fyrir ofan þessa einingu.
- 1680–1708 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Grábrúnt, fínkorna basalt, minna ummyndað en ofar. Líklega innskotsberg. Kalsít er ennþá algengt, dálítið af ljósu ummynduðu bergi í bland.
- 1708–1718 m dýpi: *Basaltbreksía*. Blanda af dul-meðalkorna basalti og hvítu mjög ummynduðu bergi. Ferskt berg einnig í bland. Breksíulegt.
- 1718–1724 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Ummyndun eykst, hvítt og grænt fínkorna berg.
- 1724–1752 m dýpi: *Meðalgrófkorna basalt*. Millikorna basalt, mögulegt innskot. Wollastónít er áberandi.
- 1752–1760 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Allskörp skil, ummyndun eykst. Ljósgrátt fínkorna berg.
- 1760–1772 m dýpi: *Meðalgrófkorna berg*. Bergið verður grófara, millikorna. Líklega innskot. Samkvæmt jarðlagamælingum gæti verið um ísúrt/súrt berg að ræða.
- 1772–1816 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Bergið er fínkorna og mjög ummyndað efst í einingunni en frá 1782–1800 m dýpi er ummyndun minni en verður svo aftur mikil neðst. Epidót og prehnít eru áberandi ummyndunarsteindir. Líklega er um innskot að ræða.
- 1816–1852 m dýpi: *Meðalgrófkorna basalt*. Fínkorna basalt með dálítið af glerkornum. Prehnít er áberandi en einnig granat, kalsít og pýrít.

- 1852–1872 m dýpi: *Fín-meðalkorna berg*. Fínkorna basalt, lítið glerjað. Samkvæmt jarðlagamælingum er líklega súrt innskot efst í þessari einingu.
- 1872–1878 m dýpi: *Súrt, dul-meðalkorna berg* . Talsvert af hvítum kornum með votti af málm. Súrt innskot, líklega granófýr (kemur fram í jarðlagamælingum).
- 1878–1886 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Fínkorna basalt, mögulega innskot.
- 1886–1900 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Ferskara, grábrúnt berg. Þétt Fín-meðalkorna, sennilega innskot. Ekkert kalsít til staðar og jafnframt lítið af pýríti.
- 1900–1904 m dýpi: *Ísúrt, dul-meðalkorna berg* . Ljóst og grátt berg, gæti verið ísúrt berg samkvæmt jarðlagamælingum.
- 1904–1936 m dýpi: *Fín-meðalkorna berg*. Fínkorna, grátt og þétt, dílalaust berg. Prehnít er áberandi. Líklega innskot. Gæti verið ísúrt berg samkvæmt jarðlagamælingum.
- 1936–2026 m dýpi: *Fín-meðalkorna berg*. Fínkorna og grátt, dílalaust berg. Samkvæmt gammamælingu gæti verið um þróað basalt eða ísúrt berg að ræða. Bergið er nokkuð sprungið neðan til í einingunni. Prehnít er áberandi en kalsít er horfið.
- 2026–2094 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Ferskara og heldur grófara en jafnframt fínkorna basalt. Lítið af ummyndunarsteindum en þær helstu eru prehnít, wollastónít, amfiból, kvars, pýrít og kalsítvottur. Mögulega innskot neðst í einingunni.
- 2094–2142 m dýpi: *Meðalgrófkorna basalt*. Grófara, ljósgrátt, millikorna basaltinnskot.
- 2142–2162 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Fínkorna, plagíóklasdílótt basalt.
- 2162–2170 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Ljóst berg, fínkorna og meira ummyndað en ofar. Skyndileg aukning í pýríti. Vottur af kalsíti kemur einnig fram.
- 2170–2190 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Bergið verður minna ummyndað, gráleitt, þétt og dílalaust. Pýrít er algengt. Helstu ummyndunarsteindir eru amfiból, granat, kvars, prehnít og pýrít. Kalsít er horfið.
- 2190–2256 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Sams konar berg og ofar nema hvað stöku plagíóklasdílur sjást.
- 2256–2266 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Bergið verður heldur grófara, fremur ferskt og plagíóklasríkt berg. Mögulega innskot.
- 2266–2438 m dýpi: *Svarf vantar*
- 2438–2448 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Ljósgrátt/grátt fín-meðalkorna basalt. Þétt og fersklegt berg, sennilega innskot. Dálítið er af grófara basalti með Fe-Ti oxíðum í bland. Á stöku stað eru merki að pýroxen breytist í amfiból. Lítið er af útfellingum. Helstu ummyndunarsteindir eru amfiból, wollastónít, leir og epidót.
- 2448–2470 m dýpi: *Svarf vantar*
- 2470–2524 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Grátt, fín-meðalkorna basalt. Þétt og fersklegt basaltinnskot. Svarf vantar frá 2500–2504 og 2508–2514 m dýpi.

2524–2530 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Grátt, einsleitt, fín-meðalkorna basalt. Þétt og fersklegt innskot.

2430–2536 m dýpi: *Svarf vantar*

2536–2566 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Grátt, einsleitt, fín-meðalkorna basalt. Þétt og fersklegt innskot.

2566–2572 m dýpi: *Svarf vantar*

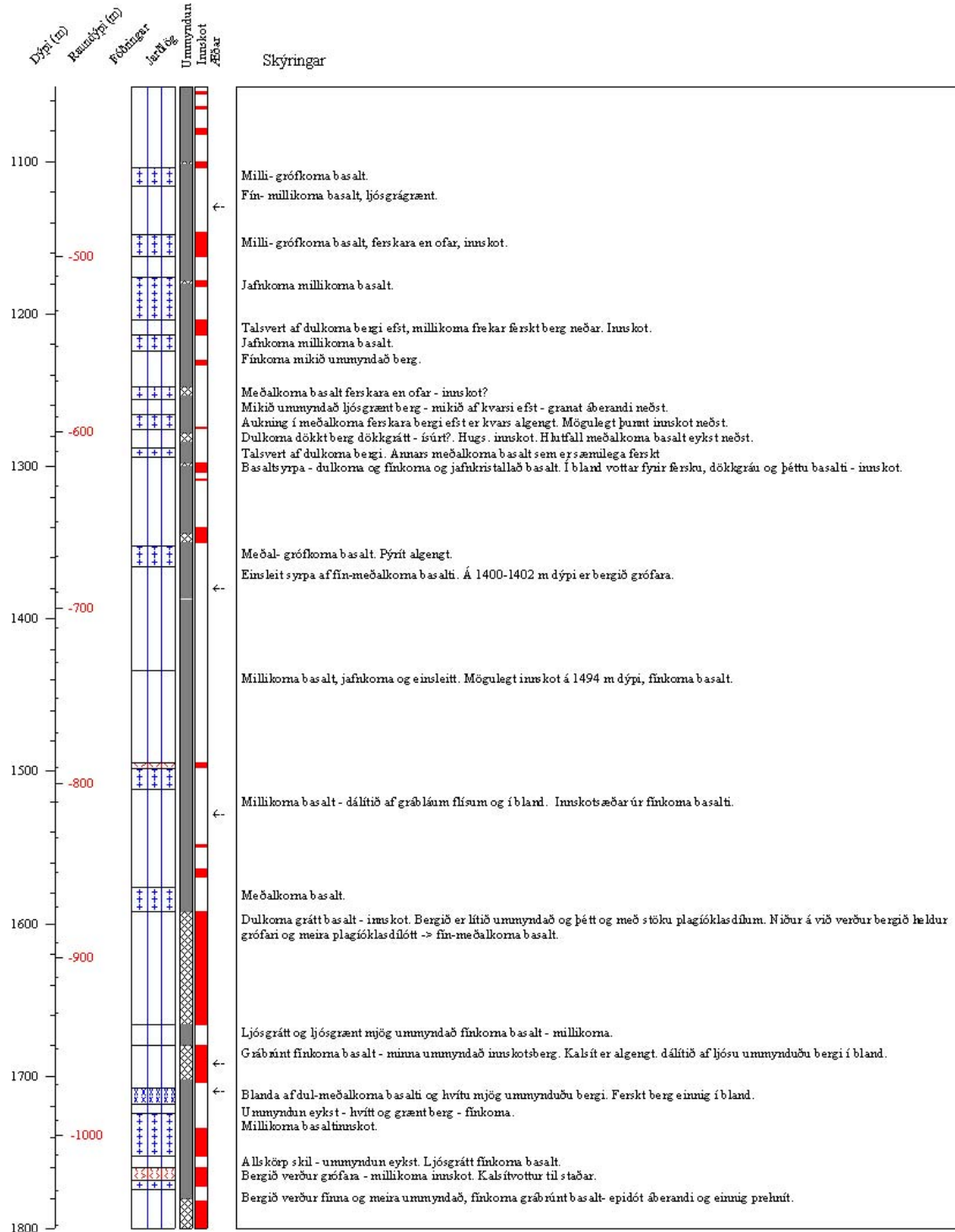
2572–2582 m dýpi: *Fín-meðalkorna basalt*. Grátt, einsleitt, fín-meðalkorna basalt sem er jafnkorna. Þétt og fersklegt innskot. Lítið er af útfellingum. Samkvæmt jarðlagamælingum gæti verið þunnt, ísúrt innskot á um 2580 m dýpi. Helstu ummyndunarsteindir eru wollastónít, grænt amfiból, leir og epidótvottur.

2582–2700 m dýpi: *Svarf vantar*

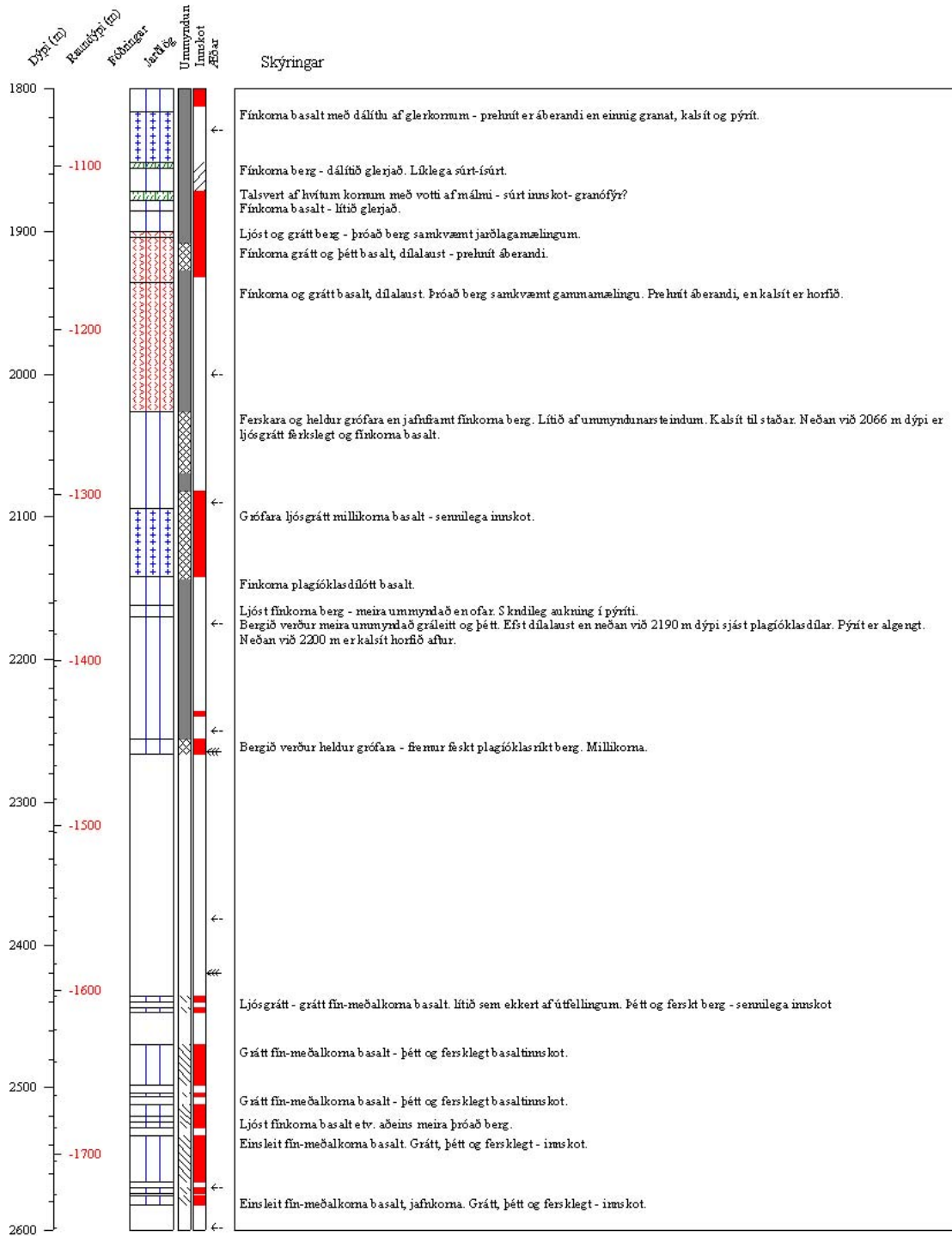
Jarðlögum í KJ-38 ber ekki sérlega vel saman við jarðlög í holunum KJ-34 og KJ-36 svo langt sem séð verður en ekkert svarf kom upp fyrir neðan 1800 m dýpi í KJ-34 og fyrir neðan 1604 m dýpi í KJ-36. Fyrir neðan 1050 m dýpi í eldri holunum báðum, þó sérstaklega í KJ-34, er meira af móbergi, basalttúffi og breksíum en í KJ-38. Einnig er súrt berg meira áberandi í þeim. Sameiginlegt er öllum holunum að meginhluti jarðlagastaflans er úr fín-millikorna basaltinnskotum (Ásgrímur Guðmundsson o.fl. 1999; Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 2008).

Staður: Krafla, Viti
 Holunafn: KJ-38

 Bor: Jötunn
 Djúptarbil: 1051-2700,1 m Verkhliuti: 3 áfangi

 Staðarnúmer: 58038
 Starfsmenn: MAS, AKM/ÞEG, FP, SH, ÁH


Mynd 3. Jarðlög í KJ-38 á 1050–1800 m dýpi.





Mynd 4. Jarðlög í KJ-38 á 1800–2600 m dýpi.

Skýringar við jarðlagasnið og bergummyndun





Berggerðir

	Hraunlagakargi
	Basalttúff
	Basaltbreksía
	Glerjað basalt
	Fín-meðalkorna basalt
	Meðal-grófkorna basalt
	Grófkorna basalt
	Ísúrt túff
	Ísúr breksía
	Ísúrt dul-meðalkorna berg
	Ísúrt grófkorna berg
	Súrt túff
	Súr breksía
	Súrt dul-meðalkorna berg
	Súrt grófkorna berg
	Jökulberg
	Eðjusteinn
	Sandsteinn
	Möl og steinar
	Svarf vantar




Innskot

	Innskot
	Hugsanlegt innskot



Ummýndunarstig

	Engin ummyndun
	Lítill ummyndun
	Meðal ummyndun
	Mikil ummyndun

Vatnsæðar

	Lítill æð
	Meðal æð
	Stór æð

Greining ummyndunarsteinda

	Svarfgreining örugg
	Svarfgreining óviss

Mynd 5. Skýringar við jarðlagasnið.

2.2 Innskot

Mikið er af innskotum í holu KJ-38 (myndir 3 og 4). Frá 1050–1360 m dýpi er mikið af smáinnskotum. Þykkt þeirra fer ekki yfir 12 m, flest eru á 4–6 m þykk út frá svarfgreiningu. Frá um 1600–1950 m dýpi koma fyrir mun þykkari innskot, allt að 70 m þykk. Á tæplega 2100 m dýpi er stakt, þykkt innskot. Neðan 2450 m dýpis er nánast eingöngu um innskot að ræða. Líklegt er að í eyðunni frá 2265–2450 m (vegna mikils skoltaps) sé jarðlagastaflinn mestmegnis úr innskotum en jarðlagamælingar benda eindregið til að svo sé (mynd 14). Gott samræmi er á milli staðsetninga innskota út frá svarfgreiningu og jarðlagamælinga en innskotin koma vel fram í nifteindamælingunni (sjá kafla 3). Langflest innskotin eru úr basalti en í ljósi jarðlagamælinga, einkum gammamælinga, gætu nokkur þeirra verið af meira þróaðri samsetningu. Þetta á einkum við innskot á um 1760 og 1850–1930 m dýpi.

2.3 Ummyndun

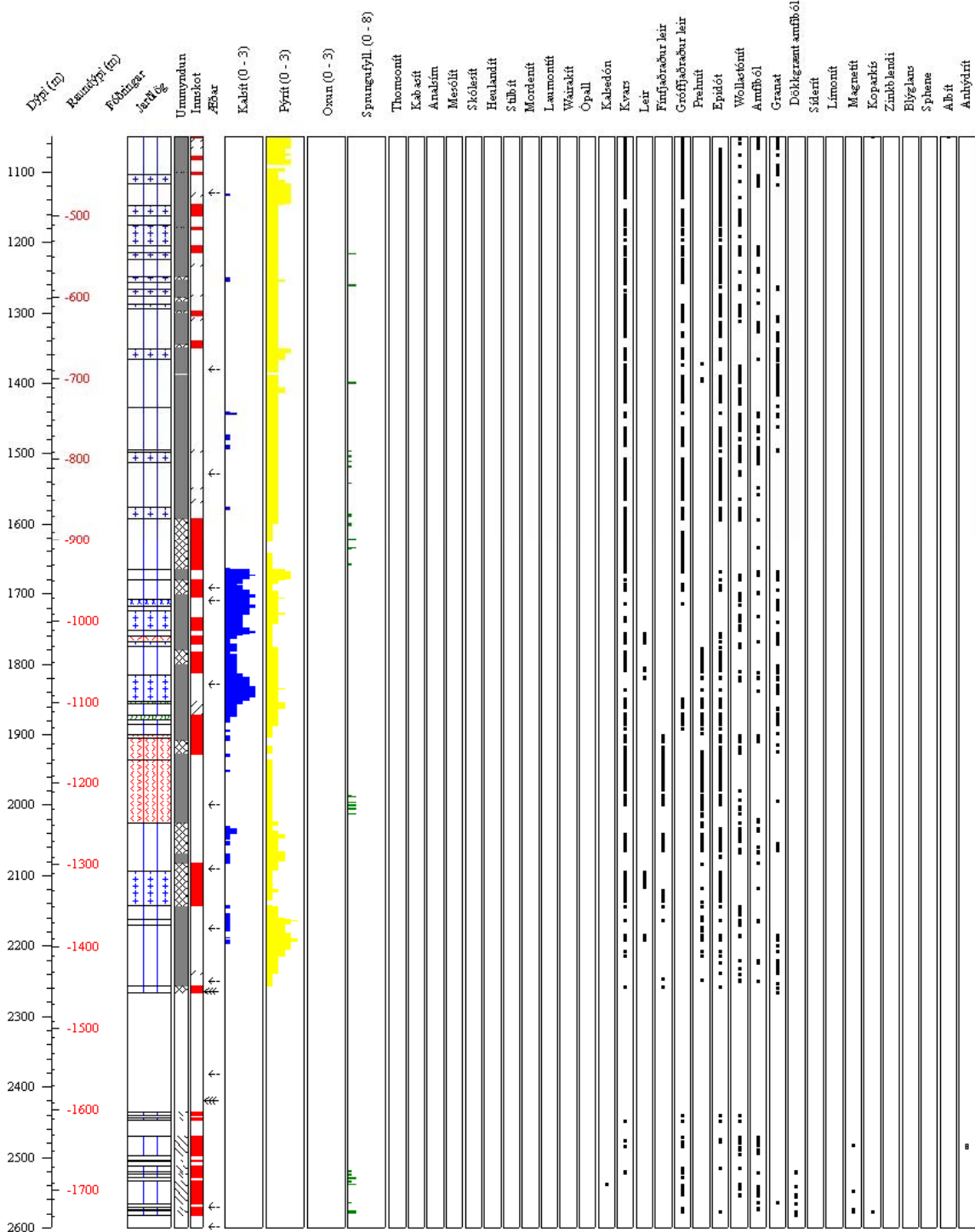
Lítið sem ekkert kalsít er í svarfi frá 1050–1666 m dýpi. Þaðan og niður á 1870 m dýpi er kalsít fremur algengt en þar fyrir neðan og í botn holu er nánast ekkert kalsít til staðar (mynd 6). Svo virðist sem nokkur kólnun í jarðhitakerfinu sé frá 1666–1870 m dýpi. Fremur lítið er af pýrít í holunni, neðan 1050 m dýpis, og fyrir neðan um 2260 m er nánast ekkert pýrít í jarðlögum. Ummyndun er almennt mikil en er í sumum tilvikum í meðallagi eða lítil, einkum í innskotum. Helstu ummyndunarsteindir eru gróffjaðra leir, epidót, kvars, prehnít, wollastónít, amfiból og granat. Fínfjaðra leir sést enn fremur frá 1900–2250 m dýpi. Steindirnar benda til að ummyndunarhitinn í holunni sé um 270–300°C.

Á mynd 7 eru sýndar þrjár upphitunarmælingar úr KJ-38 eftir að borun lauk, frá júlí–september 2008. Á myndinni er einnig sýndur reiknaður suðumarksferill, miðað við að vatnsborð sé á 100 m dýpi, og hvar helstu ummyndunarsteindir koma inn. Samkvæmt síðustu mælingunni, frá 26. september, fer hitinn lítið upp fyrir 200°C fyrr en kemur á tæplega 1700 m dýpi en þá vex hann hratt á um 150 m kafla í um 270°C. Neðan 2100 m dýpis er hitinn orðinn meiri en 300°C. Samræmi er ekki gott á milli ummyndunarhita, samkvæmt ummyndunarsteindum, og mælds hita ofan 1750 m dýpis. Bendir það til að nokkur kæling hafi orðið í jarðlögum í efri hluta holunnar, þ.e. á 300–1700 m dýpi. Samkvæmt ummynduninni hefur hitinn verið við suðumark frá yfirborði niður á að minnsta kosti 600–700 m dýpi áður en kerfið varð fyrir kælingu. Kalsít er talið myndast fljótlega eftir að háhitakerfi verða fyrir kælingu. Samkvæmt svarfgreiningu er kalsítvottur einungis á stöku stað í holu KJ-38 frá 860–1660 m dýpi (mynd 6). Á því dýptarbili hefur jarðhitakerfið orðið fyrir u.þ.b. 50–70°C kælingu og er því nokkur ráðgáta hversu lítið kalsít er í berginu.

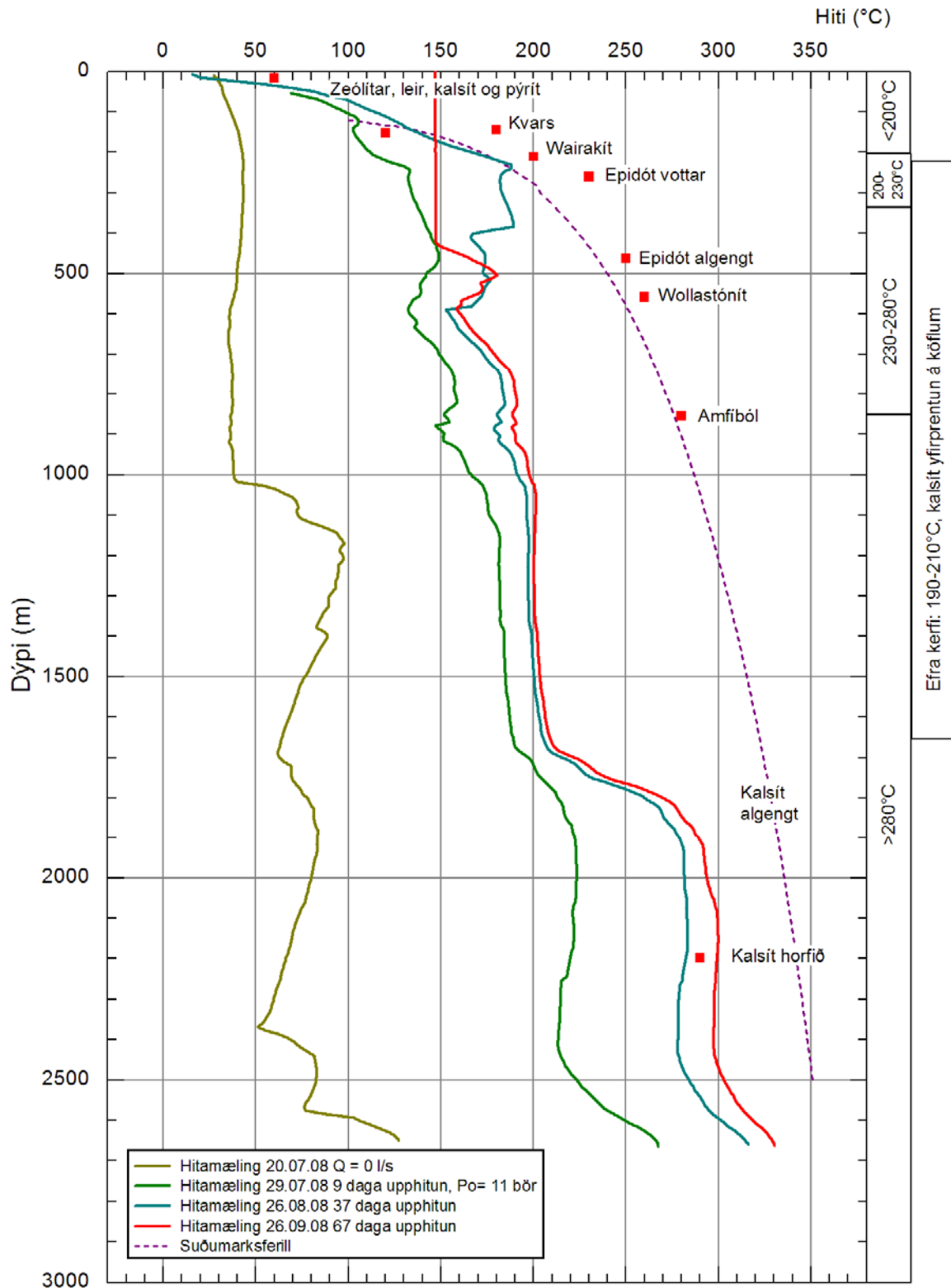
Sýnt hefur verið fram á að jarðhitakerfið við Leirbotna sé tvískipt, með efri og neðri hluta (m.a. Anette K. Mortensen o.fl., 2008). Efri hlutinn er 190–210°C heitur niður á 800–1200 m dýpi en hitinn í neðri hlutanum liggur við suðumarksferilinn. Tvískipting kerfisins kemur geinilega fram í holu KJ-38. Bendir flest til að efra kerfið nái nokkru dýpra norðaustan við Víti (rúmlega 1550 m í raundýpi) en við Vítismó og í Leirbotnum.

Staður: Krafla, Viti
 Holunafni: KJ-38

 Bor: Jötunn
 Dýptarbil: 1051-2700,1 m
 Verkhlutí: 3 áfangi

 Staðarnúmer: 58038
 Starfsmenn: MAS, AKM/PEg, FP, SH, ÁH


Mynd 6. Jarðlög, ummyndun og ummyndunarsteindir í 3. áfanga holu KJ-38.



Mynd 7. Upphitunarmælingar og ummyndun í holu KJ-38.

2.4 Vatnsæðar

Við hitamælingar og skoltapsmælingar komu fram vísbendingar um fjölda æða í KJ-38, flestar þó smáar. Stærstu æðarnar eru taldar vera á 2265 og 2420 m dýpi. Í töflu 1 er samantekt yfir æðar og vísbendingar um æðar sem greindust í holunni.

Tafla 1. Vatnsæðar í 3. áfangu KJ-38.

Dýpi [m]	Stærð	Skoltap	Athugasemdir
1130	lítil	0 l/s	Kemur fram á hitamælingu. Innstreymi í holu.
1382	lítil	5 l/s	Kemur fram á hitamælingu. Innstreymi í holu. Skoltap kom fyrst fram í holunni á 1211 m dýpi og hélst það nokkuð stöðugt 5–6 l/s niður í 1800 m dýpi.
1528	lítil	5–6 l/s	Kemur fram á hitamælingu. Innstreymi í holu.
1692	lítil	5–6 l/s	Kemur fram á hitamælingu. Innstreymi í holu.
1709	lítil	5–6 l/s	Kemur fram á hitamælingu. Innstreymi í holu.
1829	lítil	~9 l/s	Kemur fram á hitamælingu. Skolvatn fer út úr holu.
2000	lítil	~12 l/s	Aukið skoltap. Mismunahiti lækkar.
2085	lítil	~12 l/s	Kemur fram á hitamælingu. Skolvatn fer út úr holu.
2175	lítil	~16 l/s	Mismunahiti lækkar. Skoltap eykst, á 2200 m dýpi var skoltapið 22 l/s.
2243	lítil	~22 l/s	Kemur fram á hitamælingu. Innstreymi í holu.?
2250	lítil	~22 l/s	Kemur fram á hitamælingu. Skolvatn fer út úr holu.
2265	stór	22 l/s – algjört	Kemur fram á hitamælingu. Skolvatn fer út úr holu. Stöðvun borunar vegna krónuskipta, skoltap var 20 l/s fyrir upptekt en verður algjört í upptekt.
2380	Lítil	30 l/s	Kemur fram á hitamælingu. Skolvatn fer út úr holu. Neðan við 2320 m dýpi byrjaði skolvatn að skila sér til yfirborðs aftur. Holan þéttist smám saman og neðan við 2460 m dýpi hafði skoltapið minnkað í 30 l/s en dælt var um 40 l/s á holuna í borun.
2420	stór	30 l/s	Kemur fram á hitamælingu. Skolvatn fer út úr holu.
2568	lítil	32 l/s	Kemur fram á hitamælingu. Skolvatn fer út úr holu.
2600	lítil/ meðal	Algjört	Kemur fram á hitamælingu. Skolvatn fer út úr holu. Á 2596 m dýpi varð algjört skoltap en á 2660 m dýpi byrjaði skol að skila sér til yfirborðs. Við lok borunar á 2700 m dýpi var skoltap 38 l/s.

3 Borholumælingar

Í töflu 2 er yfirlit um þær mælingar sem gerðar voru í 3. áfanga holu KJ 38 og skiptast þær í fjóra meginþætti:

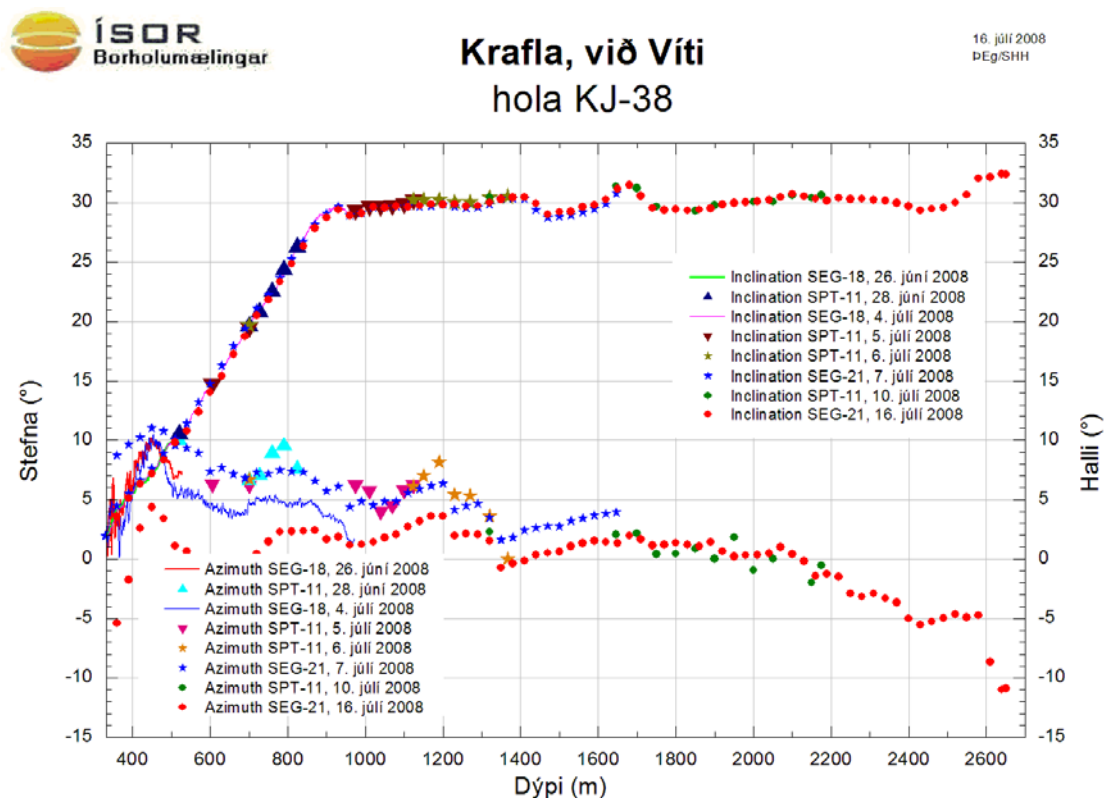
1. Gírómælingar til að fylgjast með halla og stefnu holunnar.
2. Hitamælingar við krónuskipti. Kanna æðar, kælingu og upphitun.
3. Jarðlagamælingar við borlok áfangans. Samræma svarfgreiningu við jarðlagalýsingar. Mæla útvöskun með víddarmælingu og kanna hvort rýma þurfi fyrir niðursetningu leiðara.
4. Prepapróf til að fá mat á afkastagetu holunnar og árangurinn af borun holunnar.

Tafla 2. Yfirlit yfir borholumælingar í 3. áfanga KJ-38.

Dags.	Tími	Mæling	Dýptarbil	Tilgangur	Skrá	Athugasemdir
04.07.2008	19:40-21:58	Stefna (°réttvísandi)	24-974	Halli & stefna	R20080704	Q=10 l/s
05.07.2008	07:44-10:10	Stefna (°réttvísandi)	605-1124	Halli & stefna	KJ-38(05-07-2008)	Q=-10 l/s,
06.07.2008	07:42-10:20	Stefna (°réttvísandi)	700-1367	Halli & stefna	KJ-38(06-07-2008)	Q=-10 l/s,
07.07.2008	12:12-15:07	Stefna (°réttvísandi)	7-1646	Halli & stefna	R200807070953	Q=-10 l/s,
10.07.2008	00:02-01:53	Stefna (°réttvísandi)	1320-2175	Halli & stefna	R200807070953	Q=-30.0 l/s,
10.07.2008	10:40-12:00	Hiti	15-2258	Krónuskipti	H200807101040	Q=-25.0 l/s,
14.07.2008	17:46-19:15	Hiti	10-2630	Jarðlög	H200807141746	Q=-25.0 l/s
14.07.2008	22:05-23:40	XY-Vídd, X	1010-2597	Jarðlög	X2008071422056	Q=-25.0 l/s
14.07.2008	22:05-23:40	XY-Vídd, Y	1010-2597	Jarðlög	Y2008071422056	Q=-25.0 l/s
15.07.2008	02:40-03:48	Viðnám 16"	1030-2597	Jarðlög	S200807150240	Q=-25.0 l/s
15.07.2008	02:40-03:48	Viðnám 64"	1030-2597	Jarðlög	L200807150240	Q=-25.0 l/s
15.07.2008	02:40-03:48	Sjálfsþenna	1030-2597	Jarðlög	A200807150240	Q=-25.0 l/s
15.07.2008	07:03-09:20	Dual-Neutron, Near	1000-2597	Jarðlög	N200807150703	Q=-25.0 l/s
15.07.2008	07:03-09:20	Dual-Neutron, Far	1000-2597	Jarðlög	F200807150703	Q=-25.0 l/s
15.07.2008	07:03-09:20	Gamma	1000-2597	Jarðlög	G200807150703	Q=-25.0 l/s
16.07.2008	01:47-05:07	Stefna (°réttvísandi)	30-2650	Halli & stefna	R200807160036	Q=0.0 l/s
18.07.2008	17:18-18:49	Hiti	10-2650	Örvun	H200807181718	Q=-20.0 l/s, 40m botnfall
18.07.2008	17:18-18:49	Prýstingur	10-2650	Örvun	P200807181718	Q=-20.0 l/s, 40m botnfall
18.07.2008	18:53-00:38	Hiti	2595-2595	Örvun	T200807181853	Breytilegt rennsli: -60 l/s og 0 l/s
18.07.2008	18:53-00:38	Prýstingur	2595-2595	Örvun	P200807181853	Breytilegt rennsli: -60 l/s og 0 l/s
19.07.2008	00:39-00:42	Hiti	2595-2650	Örvun	H200807190039	Q=0.0 l/s
19.07.2008	00:39-00:42	Prýstingur	2595-2650	Örvun	P200807190039	Q=0.0 l/s
19.07.2008	00:42-02:09	Hiti	10-2650	Örvun	H200807190042	Q=0.0 l/s
19.07.2008	00:42-02:09	Prýstingur	10-2650	Örvun	P200807190042	Q=0.0 l/s
20.07.2008	01:45-02:49	Hiti	0-1780	Þrepapróf	H200807200145	Q=-45.0 l/s
20.07.2008	01:45-02:49	Prýstingur	0-1780	Þrepapróf	P200807200145	Q=-45.0 l/s
20.07.2008	02:50-05:55	Hiti	1780-1780	Þrepapróf	T200807200250	Q=-45.0 l/s, dQ= 20 l/s Þrep 1
20.07.2008	05:56-10:29	Prýstingur	1780-1780	Þrepapróf	P200807200250	Q=-25.0 l/s, dQ= 20 l/s Þrep 1
20.07.2008	05:56-10:29	Hiti	1780-1780	Þrepapróf	T200807200556	Q=-45.0 l/s, dQ= 20 l/s Þrep 2
20.07.2008	05:56-10:29	Prýstingur	1780-1780	Þrepapróf	P200807200556	Q=-35.0 l/s, dQ= -10 l/s Þrep 2
20.07.2008	10:29-13:35	Hiti	1780-1780	Þrepapróf	T200807201029	Q=-45.0 l/s, "dQ= -10 l/s" Þrep 3
20.07.2008	10:29-13:35	Prýstingur	1780-1780	Þrepapróf	P200807201029	Q=-45.0 l/s, dQ= -10 l/s Þrep 3
20.07.2008	13:35-13:59	Hiti	1780-2650	Þrepapróf	H200807201335	Q=-45.0 l/s
20.07.2008	13:35-13:59	Prýstingur	1780-2650	Þrepapróf	P200807201335	Q=-45.0 l/s
20.07.2008	13:59-14:54	Hiti	2650-2650	Þrepapróf, æðar	T200807201359	Q=0.0 l/s
20.07.2008	13:59-14:55	Prýstingur	2650-2650	Þrepapróf, æðar	P200807201359	Q=0.0 l/s, Slökkt á dælum kl. 14
20.07.2008	14:54-16:21	Hiti	0-2650	Æðar	H200807201454	Q=0.0 l/s, Slökkt á dælum kl. 14
20.07.2008	14:54-16:21	Prýstingur	0-2650	Æðar	P200807201454	Q=0.0 l/s, Slökkt á dælum kl. 14

3.1 Gírómælingar

Halla- og stefnumælingar í 3. áfanga eru gerðar til þess að fylgjast með því hvort holan fylgdi tilætluðum ferli. MWD-tæki stefnuboraranna gefur réttar upplýsingar um hallann á holunni á meðan þess tækis nýtur við en það er sjaldnast sett inn í BHA eftir krónuskipti og svo var einnig í KJ-38. Samkvæmt vinnureglu voru þýskur SEG-mælir og sænskur SPT-mælir notaðir á víxl til að fylgjast með innbyrðis breytingum eða frávikum. Miðað við niðurstöður SPT-mælingar 10. júlí og SEG-mælingu 16. júlí er lokamælingin frá 16. júlí notuð til að kortleggja feril holunnar (tafla 3). Frá 2100–2400 m breytist stefnan jafnt úr 2° réttvísandi í 355° og frá 2400–2600 m helst hún þar. Í neðstu 70 m holunnar verður skyndibreyting á stefnunni í 349° og ekki er ástæða til að rengja þá mælingu. Frá 2500 m greinist einnig hallaaukning upp á 2–3° þ.a. hallinn neðst er um 32,5°. Mynd 8 sýnir stefnu- og hallamælingarnar eftir því sem holan boraðist og þar kemur fram hvernig stefnan breytist skyndilega á lokametrinum.

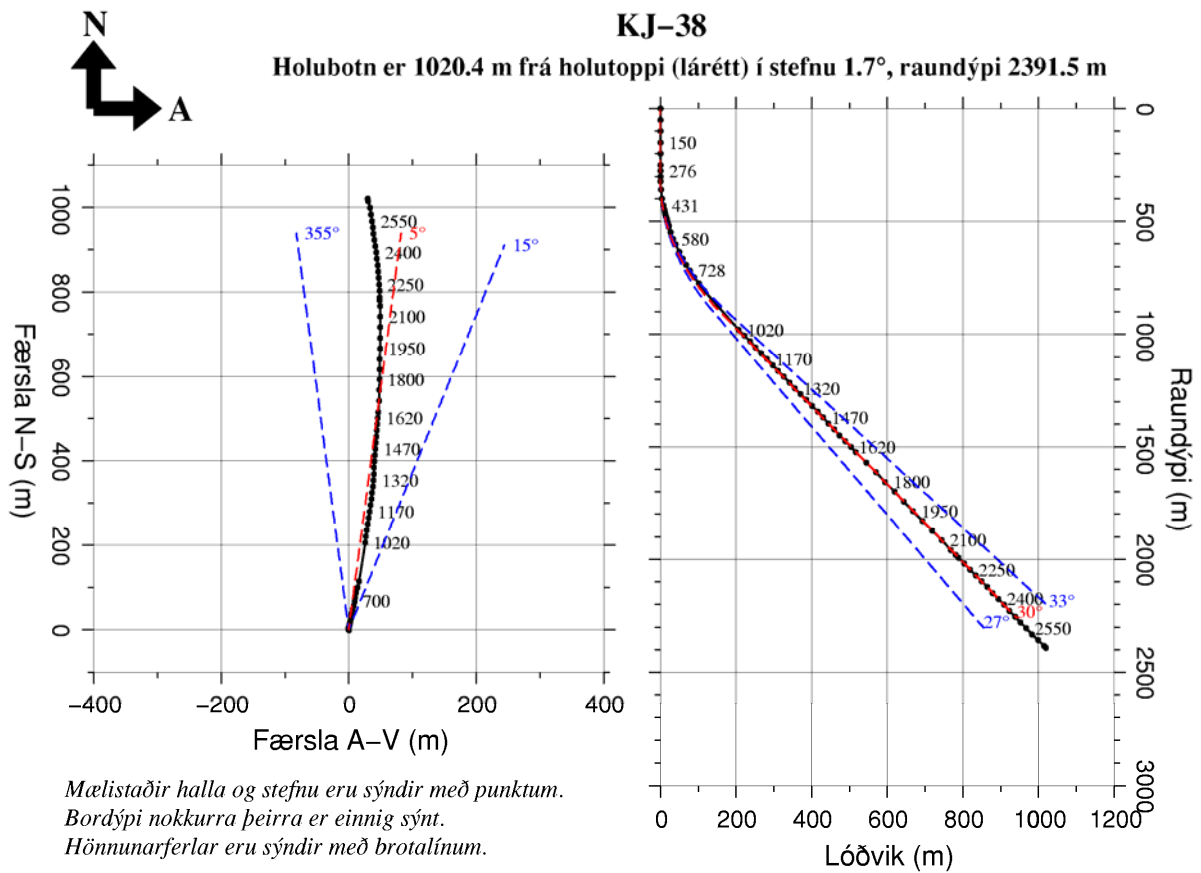


Mynd 8. Myndin sýnir framganginn í stefnu og halla holu KJ-38.

Tafla 3. Stefna og halli KJ-38 við borlok.

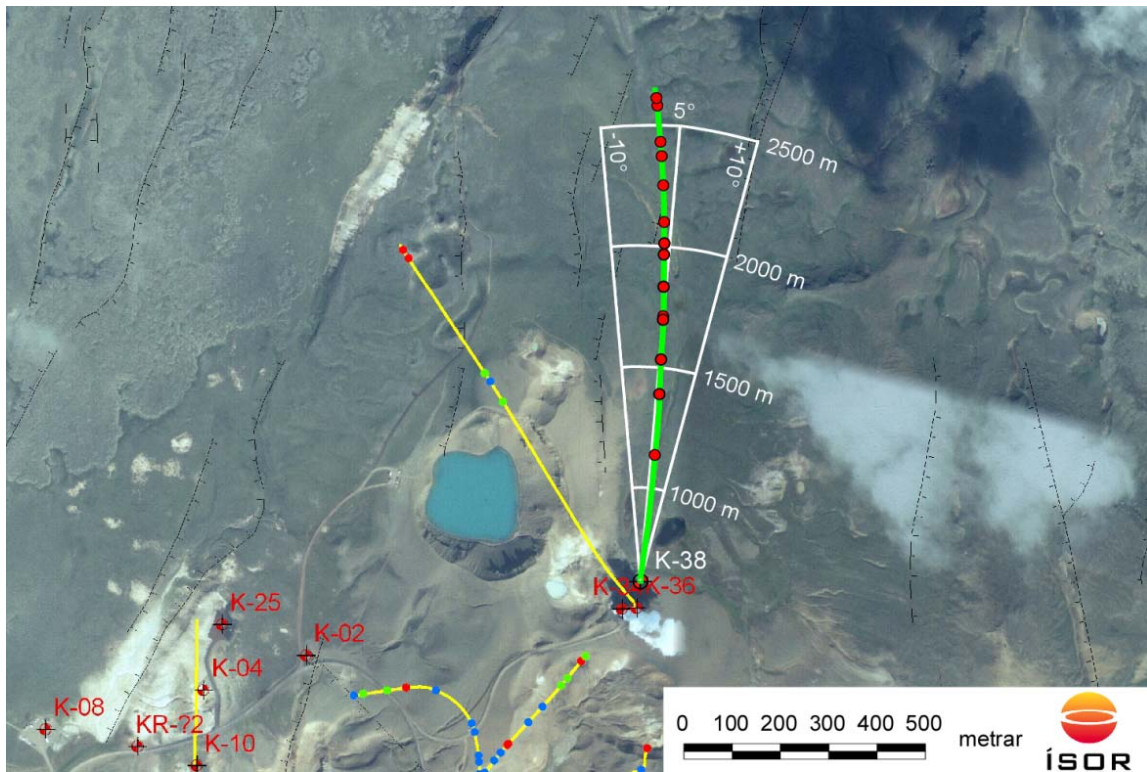
Mælt dýpi	Halli	Stefna (°)	Lárétt færsla	Raundýpi (m)	Austur	Norður
0	0.00	0.00	0.0	0.0	603433.0	581625.0
50	0.18	135.65	0.1	50.0	603433.1	581624.9
100	0.21	108.54	0.2	100.0	603433.2	581624.9
150	0.29	22.75	0.3	150.0	603433.3	581624.9
200	0.19	278.90	0.3	200.0	603433.3	581625.1
250	0.31	253.99	0.1	250.0	603433.1	581625.1
276	0.53	289.32	0.1	276.0	603432.9	581625.1
300	0.59	282.07	0.3	300.0	603432.7	581625.1
324	1.20	355.91	0.6	324.0	603432.5	581625.4
360	2.59	3.12	1.7	360.0	603432.6	581626.6
400	5.65	9.46	4.4	399.9	603432.9	581629.4
431	6.90	11.95	7.8	430.7	603433.6	581632.8
450	7.23	10.06	10.1	449.5	603434.0	581635.1
460	7.57	9.63	11.4	459.4	603434.2	581636.3
470	8.27	9.29	12.8	469.3	603434.5	581637.7
480	8.93	8.83	14.3	479.2	603434.7	581639.2
490	9.54	8.17	15.9	489.1	603434.9	581640.8
500	9.78	7.57	17.6	499.0	603435.2	581642.4
510	10.12	6.92	19.3	508.8	603435.4	581644.1
520	10.29	7.34	21.1	518.6	603435.6	581645.9
526	10.53	7.07	22.1	524.5	603435.7	581647.0
550	11.93	9.32	26.8	548.1	603436.4	581651.6
580	13.81	7.55	33.5	577.3	603437.4	581658.2
605	14.53	6.38	39.6	601.6	603438.1	581664.3
640	16.37	8.80	48.9	635.3	603439.4	581673.5
670	18.17	8.50	57.8	664.0	603440.7	581682.3
700	19.86	7.42	67.6	692.3	603442.1	581692.0
728	21.30	7.40	77.5	718.5	603443.3	581701.8
760	22.49	8.86	89.4	748.2	603445.0	581713.6
790	24.38	9.50	101.3	775.7	603446.9	581725.3
824	26.26	7.59	115.8	806.5	603449.1	581739.7
1020	29.58	4.52	207.5	979.6	603458.6	581830.9
1050	29.57	4.83	222.3	1005.7	603459.8	581845.7
1080	29.66	4.82	237.1	1031.7	603461.1	581860.4
1110	29.70	5.55	252.0	1057.8	603462.4	581875.2
1140	29.64	5.87	266.8	1083.9	603463.9	581890.0
1170	29.70	6.13	281.7	1109.9	603465.4	581904.8
1200	29.87	6.33	296.6	1136.0	603467.1	581919.6
1230	29.66	4.12	311.5	1162.0	603468.4	581934.4
1260	29.54	4.46	326.3	1188.1	603469.5	581949.2
1290	29.61	4.63	341.1	1214.2	603470.7	581964.0

Mælt dýpi	Halli	Stefna (°)	Lárétt færsla	Raundýpi (m)	Austur	Norður
1320	29.87	3.45	355.9	1240.2	603471.7	581978.8
1350	30.32	1.59	370.9	1266.2	603472.4	581993.8
1380	30.33	1.79	386.1	1292.1	603472.8	582009.0
1410	30.31	2.40	401.2	1318.0	603473.4	582024.1
1440	29.39	2.59	416.1	1344.0	603474.1	582039.0
1470	28.75	2.77	430.6	1370.2	603474.7	582053.6
1500	28.83	2.73	445.1	1396.5	603475.4	582068.0
1530	28.95	3.20	459.5	1422.8	603476.2	582082.5
1560	29.18	3.41	474.1	1449.0	603477.0	582097.1
1590	29.43	3.67	488.8	1475.2	603477.9	582111.7
1620	29.89	3.78	503.6	1501.2	603478.9	582126.5
1646	31.38	2.06	516.9	1523.6	603479.6	582139.8
1700	31.19	2.16	544.9	1569.8	603480.6	582167.8
1750	29.67	0.40	570.1	1612.9	603481.2	582193.1
1800	29.40	0.43	594.7	1656.4	603481.3	582217.7
1850	29.31	0.86	619.1	1700.0	603481.6	582242.2
1900	29.76	0.00	643.7	1743.5	603481.8	582266.9
1950	29.95	1.83	668.6	1786.8	603482.2	582291.8
2000	30.05	359.06	693.5	1830.1	603482.4	582316.8
2050	30.04	0.00	718.5	1873.4	603482.2	582341.8
2100	30.60	0.43	743.7	1916.6	603482.3	582367.0
2150	30.39	358.00	769.0	1959.6	603481.9	582392.4
2175	30.61	359.46	781.6	1981.2	603481.7	582405.1
2190	30.14	358.73	789.2	1994.1	603481.5	582412.7
2220	30.37	358.51	804.2	2020.0	603481.2	582427.8
2250	30.29	357.09	819.3	2045.9	603480.6	582442.9
2280	30.31	356.83	834.4	2071.8	603479.8	582458.0
2310	30.22	357.10	849.4	2097.8	603479.0	582473.1
2340	30.16	356.69	864.4	2123.7	603478.2	582488.2
2370	29.95	356.33	879.3	2149.6	603477.2	582503.2
2400	29.68	354.99	894.1	2175.7	603476.1	582518.1
2430	29.34	354.46	908.7	2201.8	603474.8	582532.8
2460	29.47	354.73	923.3	2227.9	603473.4	582547.4
2490	29.55	355.03	938.0	2254.0	603472.1	582562.2
2520	30.00	355.34	952.8	2280.1	603470.8	582577.0
2550	30.63	355.09	967.8	2306.0	603469.6	582592.1
2580	32.03	355.25	983.3	2331.6	603468.2	582607.6
2610	32.13	351.33	999.0	2357.0	603466.4	582623.4
2640	32.39	349.02	1014.7	2382.4	603463.6	582639.2
2651	32.33	349.12	1020.4	2391.7	603462.5	582645.0



Mynd 9. Holuferill KJ-38 í 2651 m dýpi ásamt hönnunarferlum.

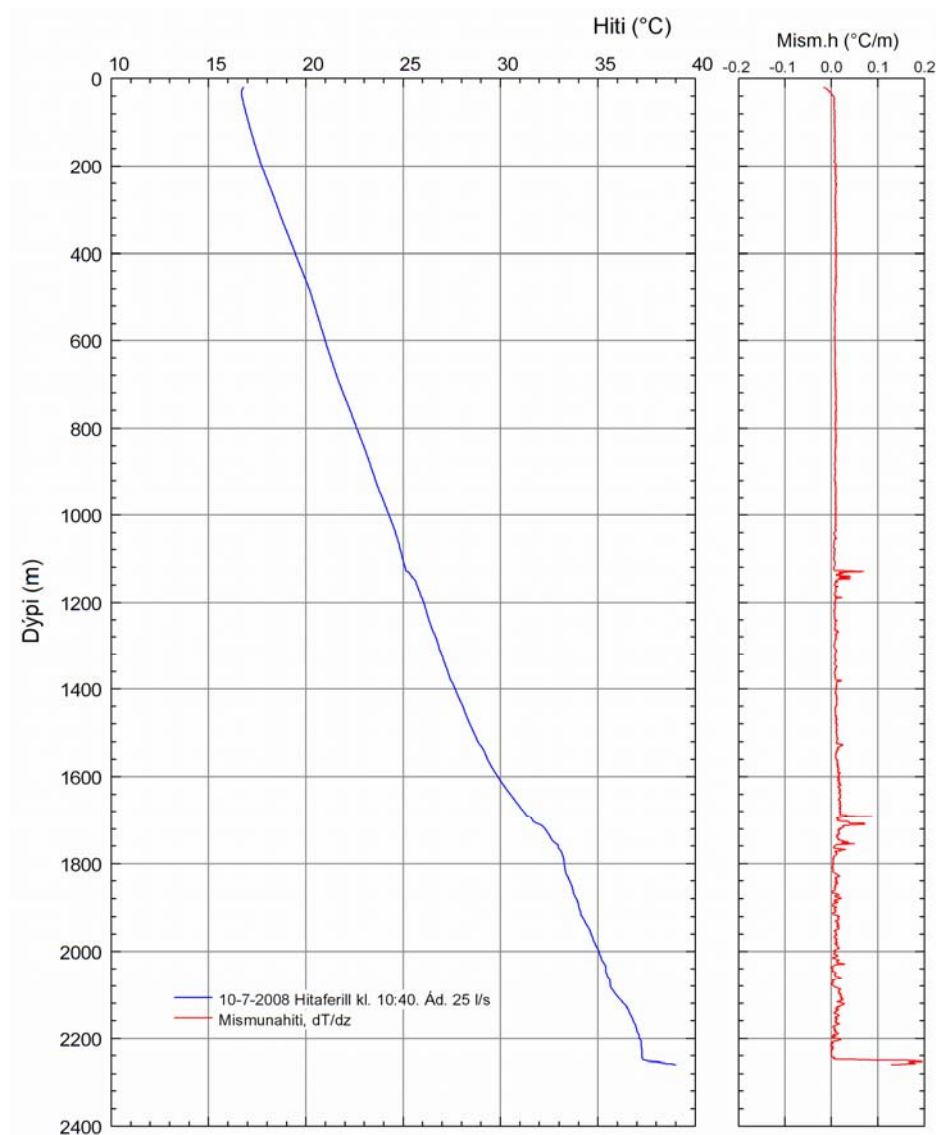
Mynd 9 sýnir braut holunnar í bæði lóðréttu og láréttu plani ásamt hönnunarforsendum hennar og einnig að holuferillinn er vel innan hönnunarforsendanna. Mynd 10 sýnir hvernig holuferillinn varpast upp á loftmynd af svæðinu.



Mynd 10. Lega holuferils og staðsetning æða í vinnsluhluta holu KJ-38.

3.2 Krónuskipti

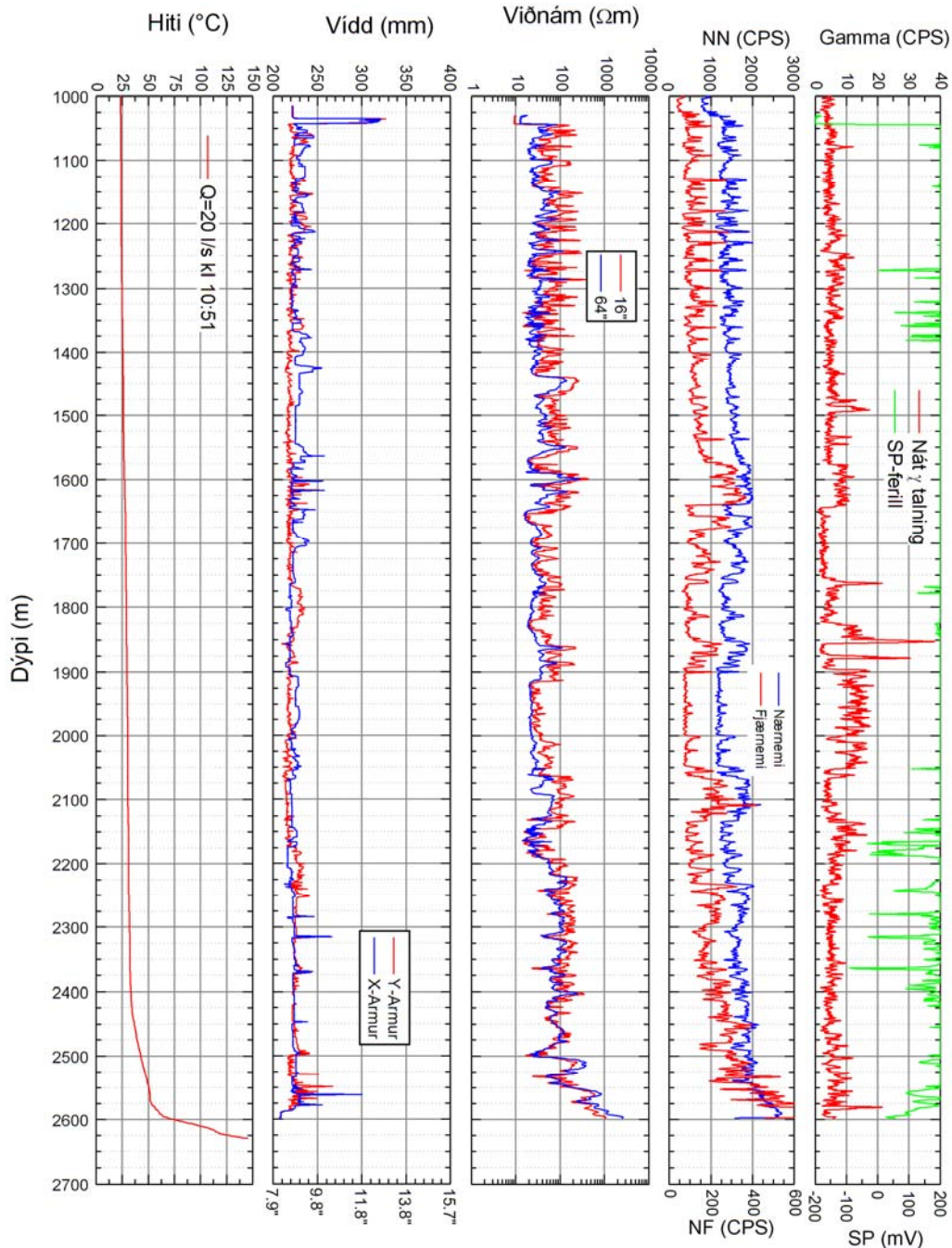
Síðdegis þann 9. júlí var borun stöðvuð í 2265 m til að fara í krónuskipti og taka MWD-tækið úr strengnum. Fyrir upptekt var 20 l/s skoltap í holunni en eftir skolun og upptekt fimm standa varð algjört skoltap í holunni. Eftir upptektina var holan hitamæld og þar sést að holan kælir sig til botns (mynd 11). Með hitamælingunni er sett upp línurit sem sýnir mismunahitann (dT/dz) og á því grafi sjást nokkrar veikburða innstreymisæðar á 1130, 1382, 1528, 1692 og 1709 m dýpi. Á 1829 m dýpi er útstreymi sem og við 2085 m en við 2243 m skilar megnið af skolvatninu sér út og nægir það til að kæla holuna til botns. Merkjanlegar breytingar við 2028 og 2062 m benda til innstreymis en ekki skal þó fullyrt að svo sé. Niðurstaða hitamælingarinnar er sú að stöðug kæling er til botns holunnar.



Mynd 11. Hitamæling við krónuskipti.

3.3 Jarðlagamælingar

Jarðlagamælingar hófust kl. 17:45 þann 14. júlí með hitamælingu og lauk að morgni 15. júlí kl. 9:30. Mælingarnar voru gerðar við 25 l/s ádælingu. Eftir hitamælinguna varð ljóst að jarðlagamælingarnar yrðu ekki gerðar niður fyrir 2600 m vegna of hás hita fyrir mælana (mynd 12).

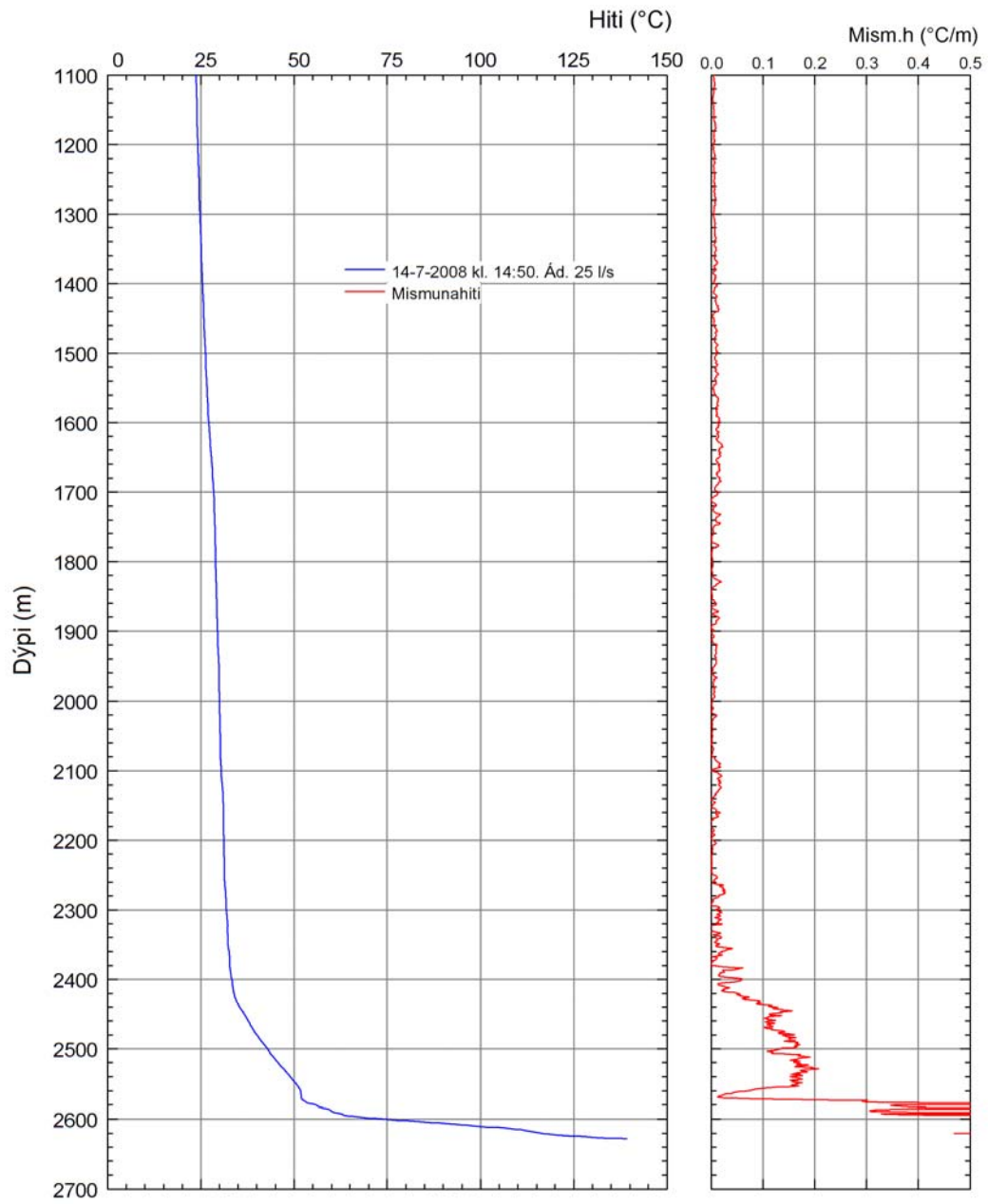


Mynd 12. Yfirlitsmynd jarðlagamælinga í lok borunar KJ-38.

Hitamælingin er sýnd á mynd 13 ásamt mismunahita. Neðsta æð í holunni er á 2600 m dýpi. Mjög lítið rennsli er niður fyrir 2568 m en í þessari hitamælingu er meint innstreymi ofarlega í holunni ekki mjög greinilegt. Útstreymi kælivatns út í æðar er á 2250, 2380, 2420, 2568 og 2600 m dýpi. Samkvæmt hita- og skoltapsmælingum eru helstu æðar holunnar á 2265 og 2420 m dýpi.

Í víddarmælingunni sést að holan er nokkuð slétt sem vafalítið ræðst af því að þétt basaltlög og innskot eru ráðandi í henni. Stór skápur er neðan við vinnslufóðringu og holan er dálítið útvöskuð á 1760–1840 m dýpi og í kringum 2200 m dýpi. Við æðina á 2568 m dýpi er myndarlegur skápur eða útvöskun í holunni. Neðan við skápinn, undir fóðringunni og niður undir 2300 m, er holan greinilega sporöskjulaga.

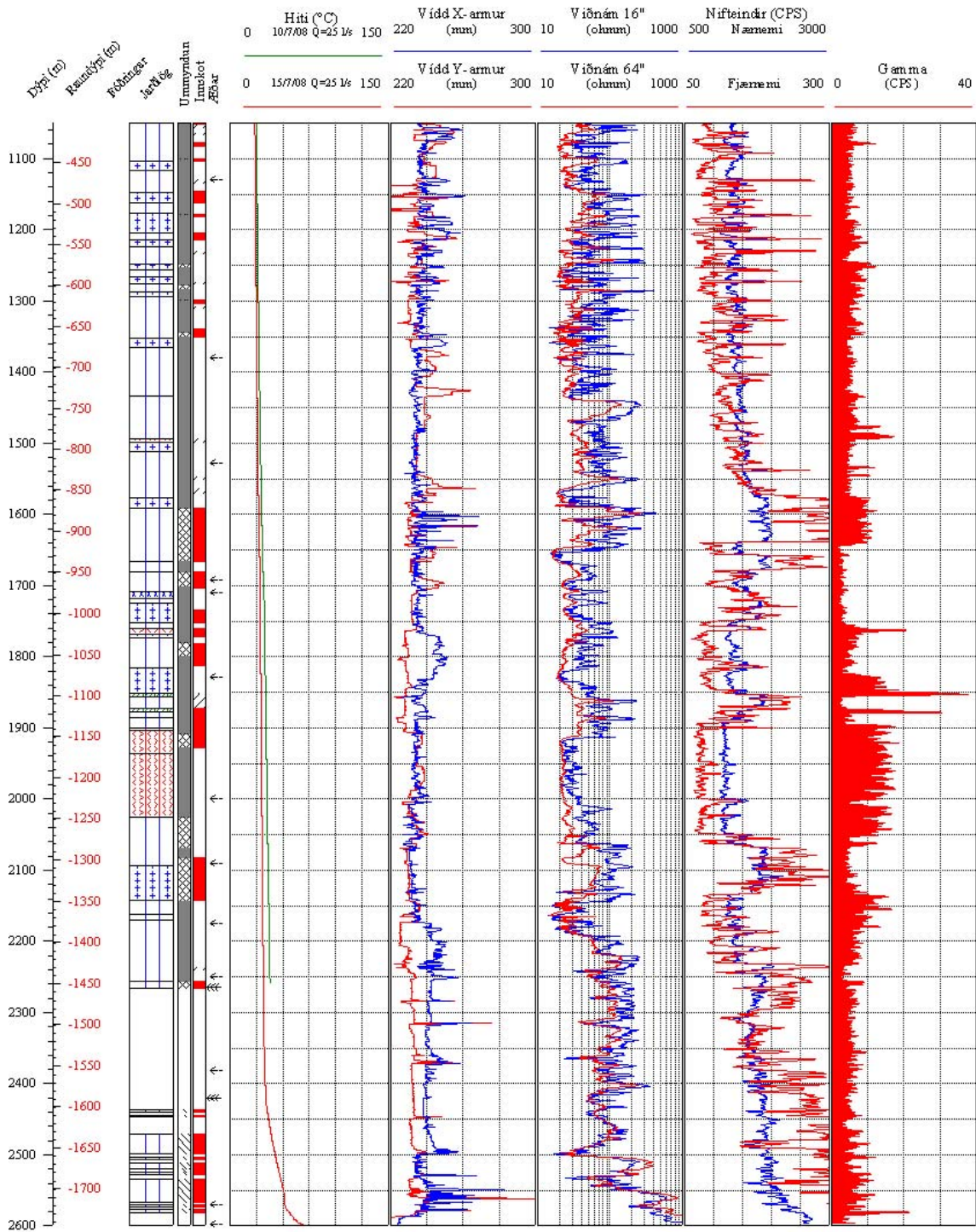
Þegar viðnáms- og nifteindamælingar og mælingar á náttúrulegri γ -geislun eru bornar saman sést að mikið er um innskot og þunn hraunlög úr fersku og þéttu bergi. Gott samræmi er á milli svarfgreiningar og jarðlagamælinga varðandi staðsetningu á innskotum í holunni (mynd 14). Á 1050–1350 m dýpi voru mörg þunn innskot í holunni og á svipuðu dýptarbili sjást einnig mörg há útslög í viðnámi og nifteindageislun, sem einnig bendir til þunnra laga af fersku, þéttu bergi. Á 1580–1900, 2050–2150, 2225–2300 og 2475–2600 m dýpi gefa mælingar til kynna að bergið sé þétt (vatnssnautt) og ferskt (hátt hlutfall fjárnemi/nárnemi og hátt viðnám) og ber því vel saman við dýptarbil þar sem innskot hafa verið skilgreind í svarfgreiningu. Viðnámið er um 50 Ω m niður á 2200 m dýpi, nema við innskotin. Viðnámið er síðan hærra, um 100 Ω m, á 2200–2500 m dýpi en neðst í holunni hækkar viðnámið síðan verulega, í meira en 1000 Ω m. Gammamælingin er notuð til að greina á milli bergs með mismunandi samsetningu. Basískt berg er ráðandi í holunni, enda náttúruleg gammageislun yfirleitt lág. En á 1760, 1850 og 1875 m dýpi, þar sem áberandi toppar koma fram í gammageislun, bendir mælingin til að þar séu þunn lög af súru eða ísúru bergi, e.t.v. innskot. Á bilinu 1560–1640 og 1900–2050 m bendir gamma-geislun einnig til að bergið sé meira þróað í samsetningu. Í viðauka I eru jarðlagamælingar og jarðlög sýnd í meiri upplausn en á mynd 14.



Mynd 13. Hitamæling við upphaf jarðlagamælinga ásamt mismunahita.

Staður: Krafla, Viti
 Holunafni: KJ-38

 Bor: Jötunn Skolvökvi: Vatn
 Dýptarbil: 1051-2700,1 m Verkhliuti: 3 áfangi

 Staðarnúmer: 58038
 Starfsmenn: MAS, AKM/PEg, FP, SH, ÁH


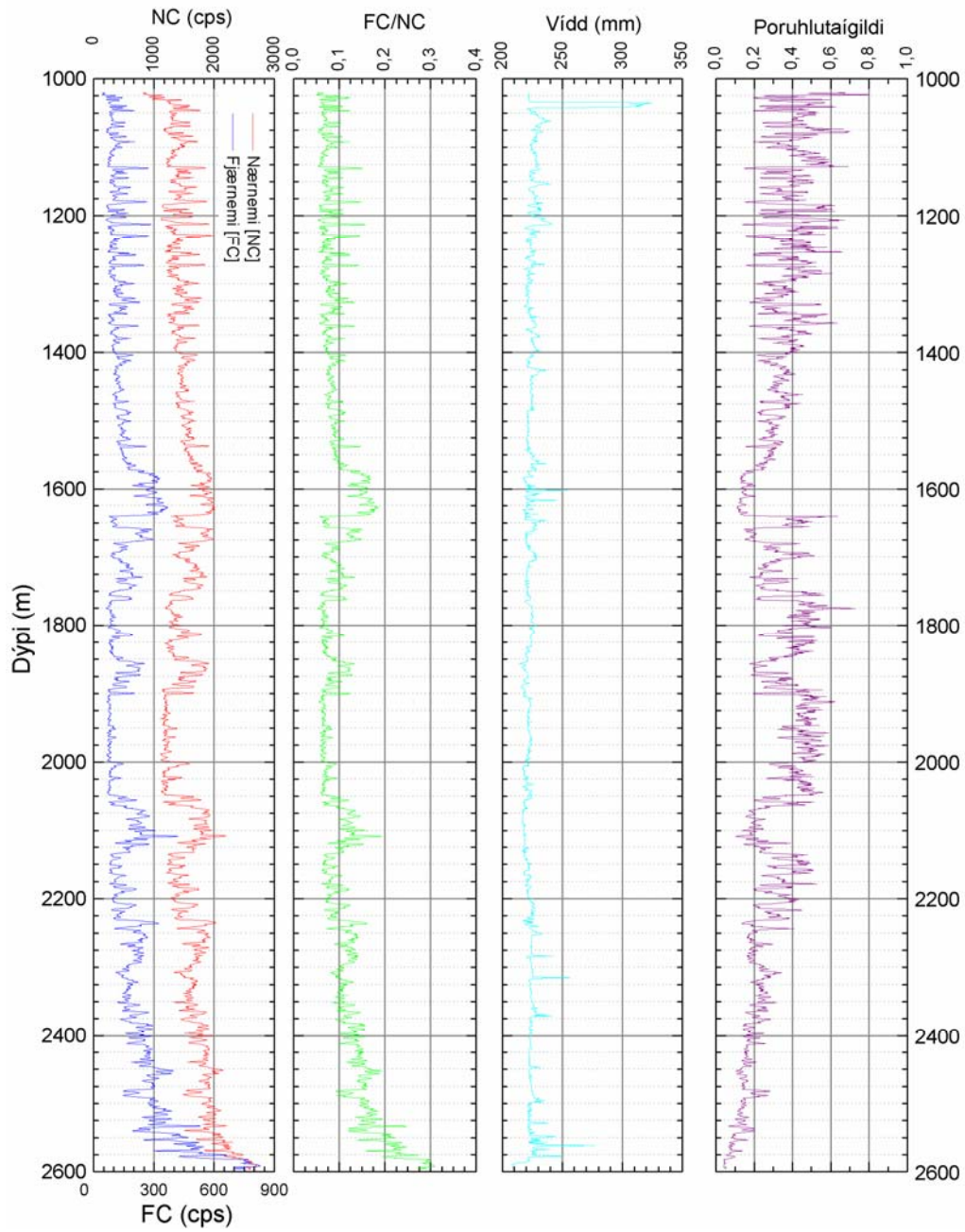
Mynd 14. Jarðlagamælingar og jarðlagagreining úr KJ-38.

Geisla­mælingar­nar voru gerðar með tækjabúnaði frá Robert­son en upplausn þeirra er meiri en annarra mæla sem hafa verið notaðir. Til að mynda fer nifteindamælingin fram í tveimur nemum í mismunandi fjarlægð frá nifteindakeldunni á enda mælipróbunnar (fjarnemi og nænemi). Nifteindamælingin er gefin upp sem talning á nifteindum á tímæiningu (CountsPerSecond) og er hér ekki umreiknuð í API-gildi. Með mælingum frá tveggja nema mæli er með auðveldum hætti unnt að umreikna nifteindasvörunina yfir í virkan poruhluta (sjá umfjöllun síðar). Svipað gildir um mælingu á náttúrulegri gamma­geislun. Hún er gefin upp í CPS en samanburður við API-kvörðun eldri geisla­mælisins hefur ekki farið fram.

Eins og áður segir er nifteindasvörun jarðlaganna mæld með tveggja nema mæli (Dual Neutron Sonde) sem er kvarðaður fyrir poruhluta í kalksteini en sú kvörðun hefur verið umreiknuð fyrir basalt (Valgarður Stefánsson og Benedikt Steingrímsson, 1980) og er notuð hér. Mikill kostur við tveggja nema mælingar á nifteindasvörun er að áhrif holu­víddar á mælinguna jafnast mikið til út og áhrifin eru vel þekkt.

Útreikningur á virkum poruhluta byggist á hlutfalli nifteindasvörunar á hvorum nema fyrir sig, nænema (Near Count) og fjærnema (Far Count). Mynd 15 sýnir mælingarnar, hlutfallið FC/NC milli mælinganna, vídd holunnar og loks metinn poruhluta út frá mælingunum og áhrifum víddar á þær. Grafið sem sýnir poruhlutamatið (virkur poru­hluti) er dregið í lítilli upplausn en er til þess fallið að gefa góða mynd af skiptingu jarð­laganna þegar mælingarnar eru teiknaðar í hærri upplausn þar sem söfnunarbilið við nifteindamælinguna var 0,1 m. Þegar poruhlutagildin fara í og yfir 1 eru aðstæður í holunni komnar langt út fyrir það sem kvörðunin á raunverulegum poruhluta kalksteins nær yfir, þ.e. sprungur og miklar útvaskanir. Basalthraunlög og þétt innskot koma greini­lega fram þar sem poruhlutinn reiknast minni en 0,2. Þar sem poruhlutinn reiknast mjög hár (0,4–0,7) er um að ræða þétt jarðlög með vatnsríkum steindum en við þær aðstæður er e.t.v. ekki rétt að tala um poruhluta í jarðfræðilegri skilgreiningu þess orðs.

Krafla, Víti Hóla KJ-38

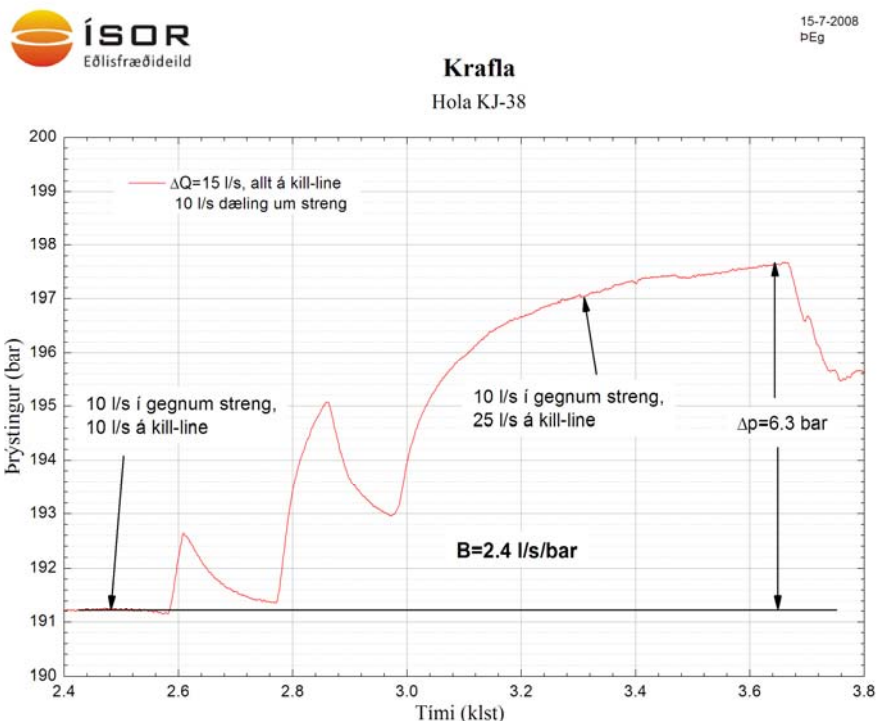


Mynd 15. Yfirlit um þætti sem stjórna mati á virkum poruhluta ásamt poruhlutamati.

3.4 Preprófun holu KJ-38

Forþrep

Að lokinni holferilsmaelingunni var gert stutt þrýstiprep til að kanna lektarstöðu holunnar og örvunarþörf, auk þess að sækja viðmiðunarstærðir til að geta með góðum hætti metið árangur örvunaraðgerða. Mælingin var gerð í streng að kvöldi 15. júlí 2008 með því að haldið var stöðugri dælingu, 10 l/s, í gegnum streng en dælingu um kæfingarstút breytt. Eitthvað höfðu fyrirmæli mælingamanns misskilist þannig að dælingunni í gegnum strenginn var breytt. Því var snarlega kippt í liðinn en fyrir vikið tók þessi aðgerð lengri tíma en ráðgert var í byrjun. Niðurstöður þrepsins eru sýndar á mynd 16, lektarmatið (ádælingarstuðull) er um 2,4 (l/s)/bar. Gögnin sem söfnuðust gáfu ekki tækifæri til líkanreikninga.



Mynd 16. Stutt þrepapróf með mæli á 2650 m dýpi.

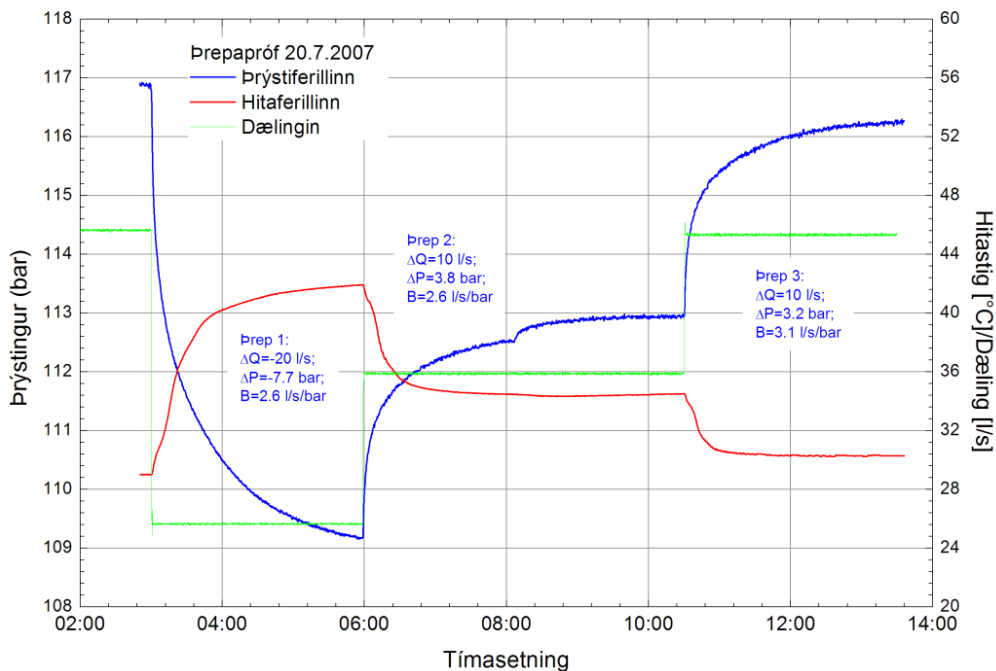
Preprófun eftir örvun

Framkvæmd þrepaprófsins í KJ-38 var með þeim hætti að eftir örvun var holan látin jafna sig með 46 l/s ádælingu í um 5 klst. Mældýpið var valið 1780 m út frá fyrirliggjandi hitamælingum og upplýsingum um þróun skolþrýstings í borun.

1. þrep: Þrýstimæli komið fyrir á 1780 m og dæling minnkuð úr 45,5 l/s í 25,5 l/s.
2. þrep: Dæling augin úr 25,5 l/s í 36 l/s.
3. þrep: Dæling augin úr 36 l/s í 45,3 l/s.

Þrýstimælingin við þrepaprófið er sýnd í heild á mynd 17 ásamt hitamælingu og dælingu eins og hún skráðist í siritakerfi Jötuns.

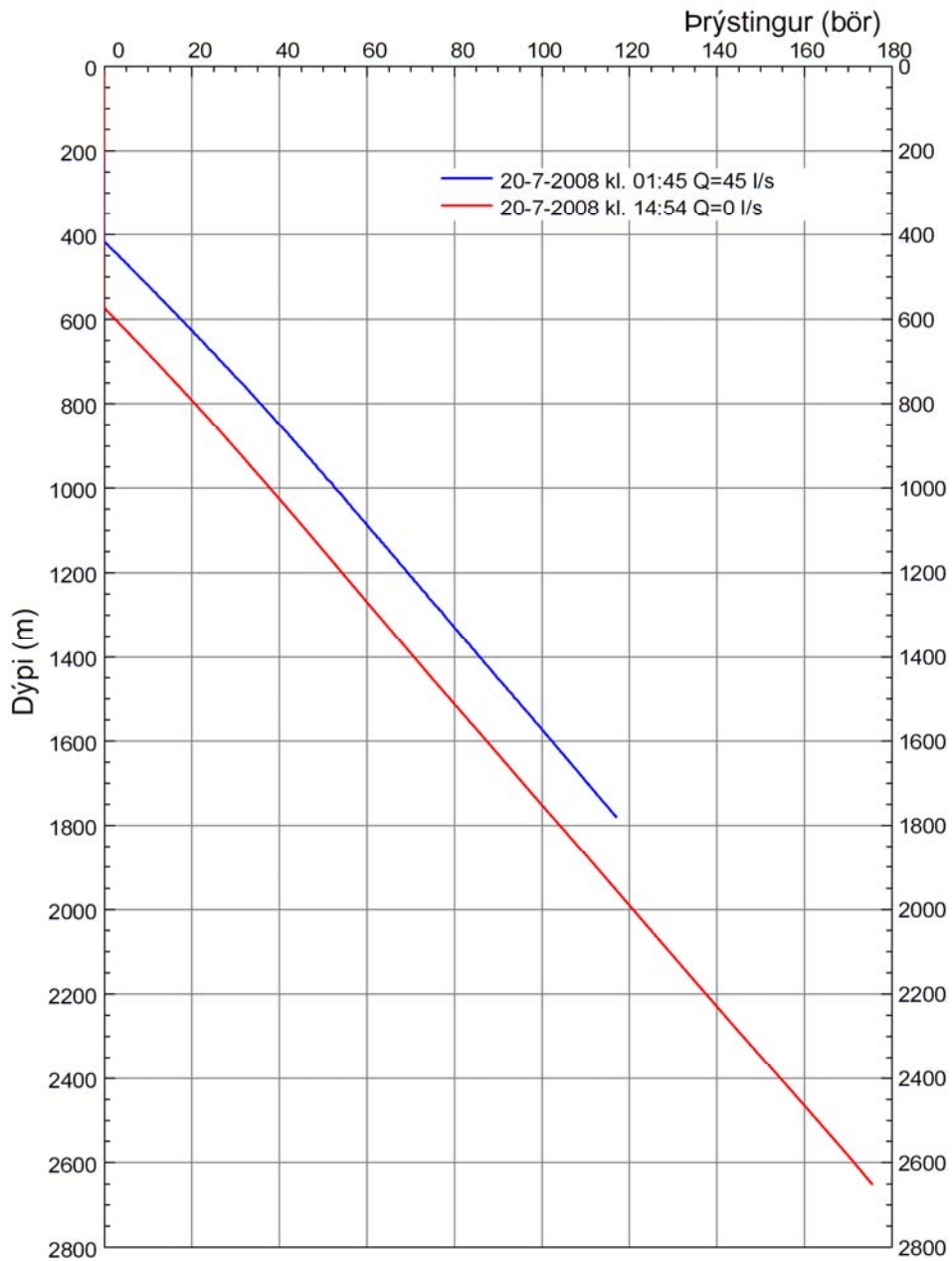
Krafla
Hóla KJ-38



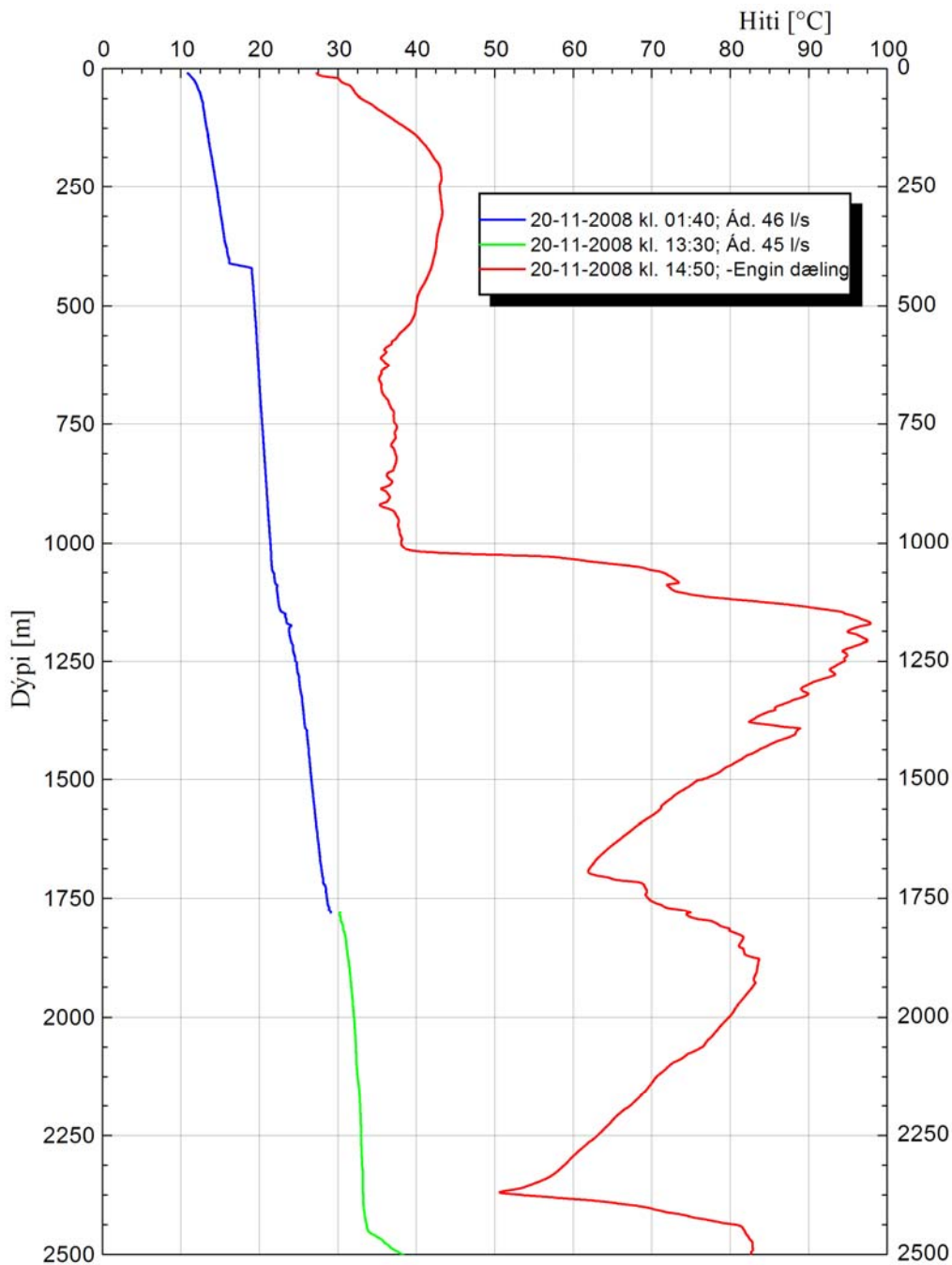
Mynd 17. Þrýstimæling í 1780 m á meðan þrepaprófinu stóð. Einnig eru bæði hitastig og dæling sýnd á myndinni. Hnykkur í þrýstiferli um kl. 8:10 er óútskýrður.

Í tengslum við þrepaprófið 20. júlí voru mældir hita- og þrýstiferlar (myndir 18 og 19). Mælingar voru gerðar eftir að leiðarinn var kominn í holuna. Í mælingunni niður holuna fyrir þrepaprófið var dælingin 46 l/s en við mælinguna upp var slökkt á dælingu í þeirri von að afhjúpa betur „leyndar“ æðar í holunni.

Mynd 19 sýnir hitamælingarnar niður og upp holuna í tengslum við þrepaprófunina. Eftir lokin á 3. þrepi var mæli slakað til botns við 45 l/s dælingu og er þar var komið var slökkt á dælum og beðið með mæli við botn leiðarans í tæpa klukkustund. Athygli vekur að hitnunin þar er nærri 40°C sem er klár vísbending um að eitthvert rennsli er fyrir hendi niður við botninn. Hitaferillinn sem er mældur við enga ádælingu meðan mælir er dreginn upp holuna eftir að prófuninni er lokið sýnir urmul af smærri sem stærri æðum um alla holu neðan fóðringar.



Mynd 18. Þrýstiferlar í tengslum við þrepaprófið 20. júlí. Þegar ádælingunni sleppir fellur vatnsborðið niður undir 580 m.



Mynd 19. Hitamælingar í tengslum við þrepaprófið 20. júlí.

Upphafseiginleikar

Við túlkun á þrepaprófunum þarf að gefa upp ákveðna upphafseiginleika sem gert er ráð fyrir að séu þekktir með nokkurri vissu. Þessar stærðir þurfa ekki endilega að vera réttar (ef geisli holu er undanskilinn) til þess að þrepaprófið skili áreiðanlegri niðurstöðu en með góðu mati á upphafseiginleikum má leiða út enn frekari upplýsingar um jarðhitageyminn, t.d. virka lekt og þykkt jarðhitageymisins. Gildi á upphafseiginleikum fyrir þrepaprófið sem hér er fjallað um eru sýnd í töflu 4.

Tafla 4. Samantekt yfir upphafseiginleikana sem notaðir eru í þrepaprófinu.

Eiginleiki (tákn)	Gildi	Eining
Áætlað kerfishitastig (T_{est})	280	[°C]
Áætlaður kerfisþrýstingur (P_{est})	130	[Bar]
Geisli holu (r_w)	0.11	[m]
Grop (ϕ)	0.15	[-]
Skriðseigja jarðhitavökva (μ)	$9.5 \cdot 10^{-5}$	[Pa·s]

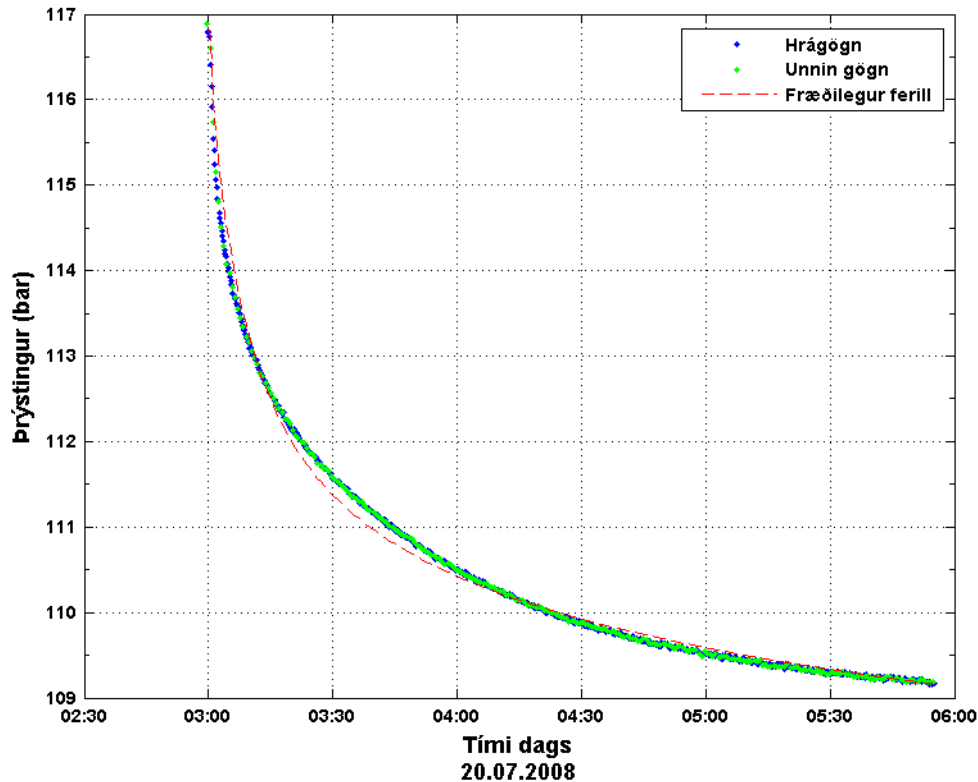
Túlkun

Þeirri gerð líkans sem best þótti passa við þrýstingsviðbragð í þessu þrepaprófinu er lýst í töflu 5.

Tafla 5. Samantekt yfir líkangerð sem valin var fyrir þrep nr. 1.

Þrepaprófunarlíkan - Þrep nr. 1	
Geymir	Einsleitur
Jaðar	Í óendanlegu
Holugerð	Fastur tregðustuðull
Holurýmd	Föst holurýmd

Þrep 1: Dæling minnkuð úr 46 l/s í 25,5 l/s. Aðferðir ólínulegrar bestunar eru notaðar til þess að finna forðafræðistuðlana sem gefa besta samsvörun á milli gagnapunkta og fræðilegs líkans og sýnir mynd 20 hvernig líkanviðbrögðin falla að gagnapunktunum.



Mynd 20. Samsvörun á milli fræðilegs líkans og gagna sem safnað var fyrir þrep 1.

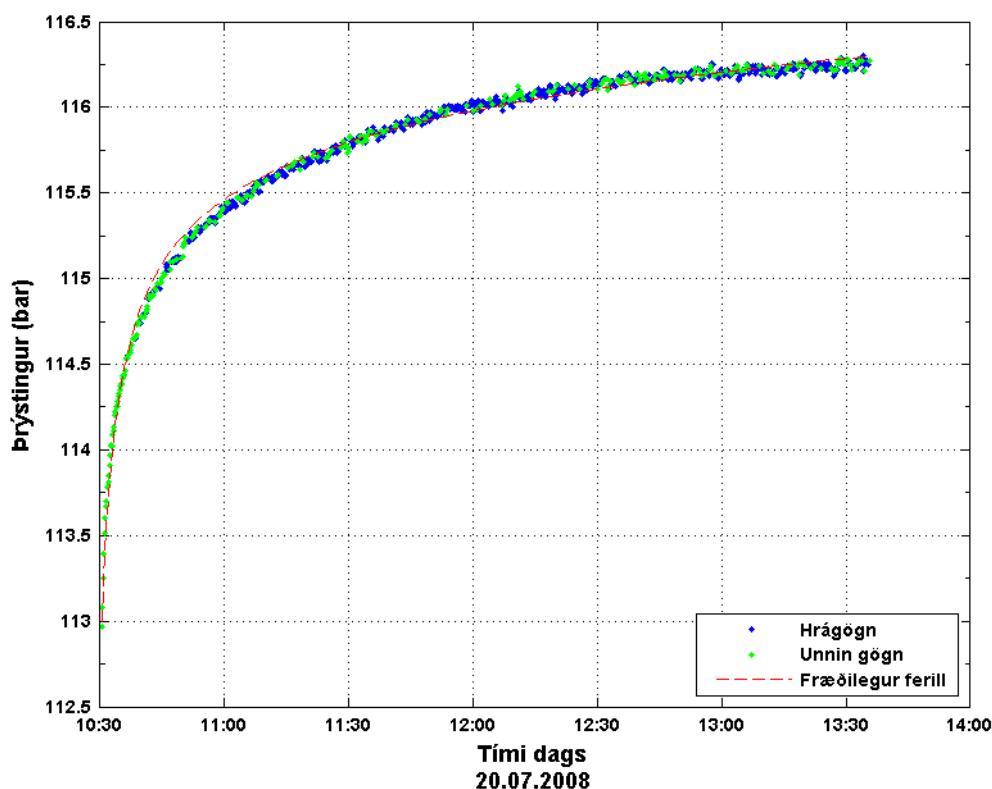
Forðafræðistærðirnar sem eiga við líkanið sem notað var eru birtar í töflu 6. Þau gildi sem gefin eru fyrir hverja stærð eru niðurstöður úr ólínulegri aðhvarfsgreiningu sem notuð er til að finna bestu fylgni milli gagnanna og fræðilegs líkans. Þessir reikningar gefa enn fremur óvissumat á stærðunum sem sýnt er sem 95% (efri og neðri) öryggismörk, auk þess sem reiknaður er fráviksstuðull C_v (e. coefficient of variation) en hann er skráður í prósentum í töflu 6. Skýringar á forðafræðistuðlum má nálgast í viðauka II.

Tafla 6. Mat á forðafræðistærðum fyrir þrep nr. 1.

Eiginleiki (Tákn)	Gildi	95% öryggisb. Neðri mörk	95% öryggisb. Efri mörk	Fráviks- stuðull [%]	Eining
Vatnsleiðni (T)	$1,64 \cdot 10^{-8}$	$1,62 \cdot 10^{-8}$	$1,66 \cdot 10^{-8}$	0,5	$m^3/(Pa \cdot s)$
Vatnsrýmd (S)	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	8	$m^3/(Pa \cdot m^2)$
Tregðustuðull (s)	-0,87	-0,92	-0,82	5	-
Föst holurýmd (C)	$1,37 \cdot 10^{-5}$	$1,31 \cdot 10^{-5}$	$1,43 \cdot 10^{-5}$	2	m^3/Pa
Ádælingarstuðull (II)	2,7				(l/s)/bar

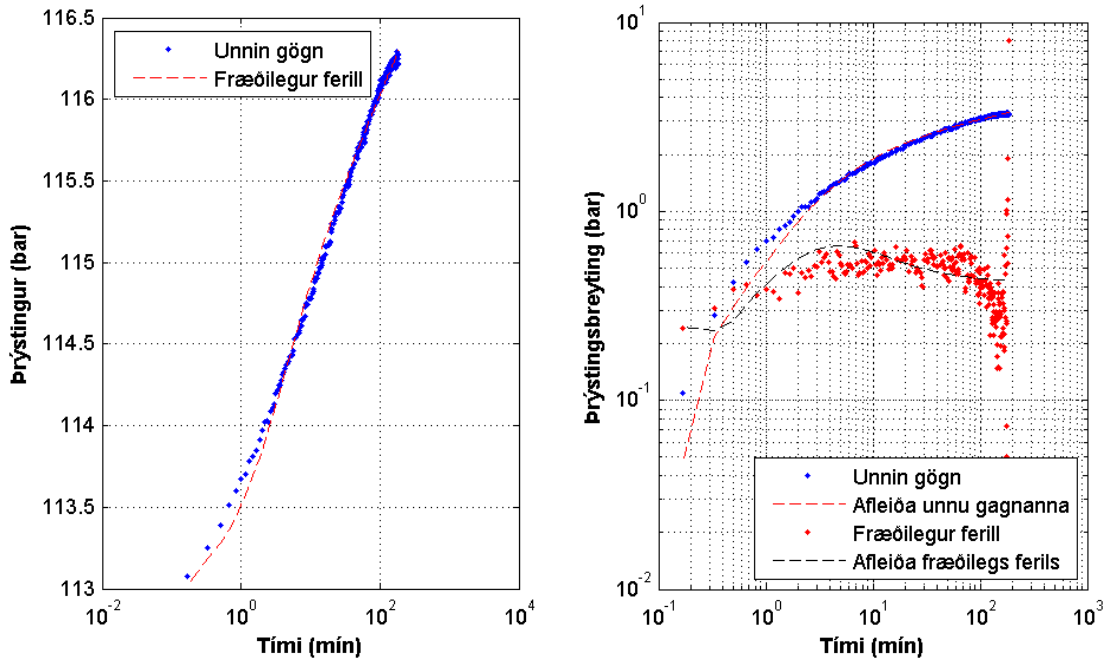
Þrep 2: Eins og sjá má á mynd 17 kemur fram óútskýrður hnykkur í þrýstimælingunni sem gerir það að verkum að líkankeyrsla á gögnin nær ekki fram. Dæling í þessu þrepi var aukin úr 25,5 l/s í 35 l/s og mat á ádælingarstuðlinum er 2,6 (l/s)/bar.

Þrep 3: Í þessu lokaþrepi var dælingin aukin úr 35 l/s í 45,5 l/s og á mynd 21 er sýnt hvernig líkanið fellur að gagnapunktunum.



Mynd 21. Samsvörun á milli fræðilegs líkans og gagna sem safnað var fyrir þrep 3.

Mynd 22 sýnir tvo ferla fyrir þrep nr. 3, annars vegar á lógaritmískum tímaskala og línulegum þrýstingskala (vinstri) og hins vegar á lógaritmískum skala fyrir bæði tíma og þrýstingsbreytingu (hægri). Ferillinn á myndinni til hægri sýnir einnig afleiðu þrýstings margfaldaða með tímanum sem liðinn er frá upphafi þrepsins en sá ferill gefur góða vísbendingu um hvers kyns líkan er líklegt til þess að falla vel að viðkomandi gagnasafni.



Mynd 22. Samsvörun á milli líkans og gagna sýnd með lógaritmískum tímaskala (vinstri) og með bæði lógaritmískum tímaskala og þrýstingssskala (hægri).

Þær forðafræðistærðir sem eiga við líkanið sem notað var eru birtar í töflu 7. Þau gildi sem gefin eru fyrir hverja stærð eru niðurstöður úr ólínulegri aðhvarfsgreiningu sem notuð er til að finna bestu fylgni milli gagnanna og fræðilegs líkans. Þessir reikningar gefa enn fremur óvissumat á stærðunum sem sýnt er sem 95% (efri og neðri) öryggismörk, auk þess sem reiknaður er fráviksstuðull C_v en hann er skráður í prósentum í töflu 7.

Tafla 7. Mat á forðafræðistærðum fyrir þrep nr. 3.

Eiginleiki (Tákn)	Gildi	95% öryggisb. Neðri mörk	95% öryggisb. Efri mörk	Fráviksstuðull [%]	Eining
Vatnsleiðni (T)	$2,01 \cdot 10^{-8}$	$1,99 \cdot 10^{-8}$	$2,04 \cdot 10^{-8}$	0,7	$m^3/(Pa \cdot s)$
Vatnsrýmd (S)	$5,9 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-6}$	$6,6 \cdot 10^{-6}$	6,58	$m^3/(Pa \cdot m^2)$
Tregðustuðull (s)	-0,40	-0,43	-0,38	7	-
Föst holurýmd (C)	$7,4 \cdot 10^{-6}$	$7,1 \cdot 10^{-6}$	$7,8 \cdot 10^{-6}$	2,4	m^3/Pa
Ádælingarstuðull (II)	3,2				(l/s)/bar

Niðurstöður þrepaprófsins í KJ-38 eru þær að holan er boruð í kerfi með jaðar kerfisins í „óendanlegri“ fjarlægð frá holunni en það þýðir að á þeim tíma sem hvert þrepanna tekur sést ekki til ytri marka kerfisins. Samantekt forðafræðistærðanna sem reiknaðar voru fyrir gögnin sem söfnuðust í þrepum 1 og 3 má sjá í töflu 8. Þar kemur fram að vatnsleiðnin er af stærðargráðu sem telst fremur einkennandi fyrir íslensk háhitakerfi. Vatnsrýmdin er fremur há sem bendir til tvífasa áhrifa í jarðhitageyminum.

Eins og sjá má er tregðustuðullinn neikvæður sem merkir að rennslistregðan inn í holuna er tiltölulega lítil. Samkvæmt líkanreikningunum er ádælingarstuðull holunnar í kringum 3 (l/s)/bar. Holan KJ-38 hefur því lektargildi (ádælingarstuðul) undir meðallagi miðað við aðra holur í Kröflu.

Miðað við stutt þrepapróf sem gert var fyrir örvunaraðgerðir og gaf ádælingarstuðul um 2,4 (l/s)/bar hefur örvunin haft einhver áhrif þó svo þau hafi ekki verið sérstaklega mikil.

Tafla 8. Samantekt forðafræðigilda sem fengust með hermireikningum úr þrepum 1 og 3.

Eiginleiki (Tákn)	þrep 1	þrep 2	þrep 3	Eining
Vatnsleiðni (T)	$2,0 \cdot 10^{-8}$	-	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$m^3/(Pa \cdot s)$
Vatnsrýmd (S)	$5,9 \cdot 10^{-6}$	-	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$m^3/(Pa \cdot m^2)$
Tregðustuðull (s)	-0,4	-	-0,9	-
Föst holurýmd (C)	$7,4 \cdot 10^{-6}$	-	$14 \cdot 10^{-6}$	m^3/Pa
Ádælingarstuðull (II)	3,2	[2,6]	2,7	(l/s)/bar

4 Heimildir

- Anette K. Mortensen, Ásgrímur Guðmundsson og Magnús Ólafsson (2008). *Krafla – Hóla KJ-38, forsendur og holuhönnun*. Íslenskar orkurannsóknir. ÍSOR-08059, 18 bls.
- Ármannsson, H., Fridriksson, Th., Wiese, F. Hernández, P. og Pérez, N. (2007). *CO₂ budget of the Krafla geothermal system, NE-Iceland*. Water-Rock Interaction (Editors T. D. Bullen and Y. Wang), Taylor & Francis Group, London, 182–192.
- Ásgrímur Guðmundsson, Bjarni Gautason, Bjarni Richter, Guðlaugur Hermannsson, Kjartan Birgisson, Ómar Sigurðsson, Sigurður Sveinn Jónsson og Sigvaldi Thordarson (1999). *Krafla – Hóla KJ-34. 3. áfangi: Borun fyrir vinnsluhluta frá 1031 í 2002 m dýpi*. Orkustofnun OS-99101.
- Ásgrímur Guðmundsson, Sigurður Sveinn Jónsson, Bjarni Gautason, Sigvaldi Thordarson, Þorsteinn Egilson, Friðgeir Pétursson, Elfar J. Eiríksson, Ragnar B. Jónsson, Halldór Ingólfsson og Kristján Haraldsson (2008). *Krafla – Víti. Hóla KJ-36, 3. áfangi*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2008/042.
- Grant, Malcolm A., Donaldson, Ian G., Bixley, Paul F. (1982). *Geothermal reservoir engineering*. N.Y. Academic press, 369.
- Hjálmar Eysteinnsson og Arnar Már Vilhjálmsson, (2008). *MT- og TEM-mælingar við Kröflu 2007*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-07291, 44 bls.
- Knútur Árnason og Ingvar Þór Magnússon (2001). *Niðurstöður viðnámsmælinga í Kröflu*. Orkustofnun, Rannsóknasvið. OS-2001/062, 72 bls.
- Valgarður Stefánsson og Benedikt Steingrímsson (1980). *Geothermal logging I. Introduction to techniques and interpretation*. Orkustofnun OS80017/JHD09.

Viðauki I: Jarðlög og jarðlagamælingar í KJ-38



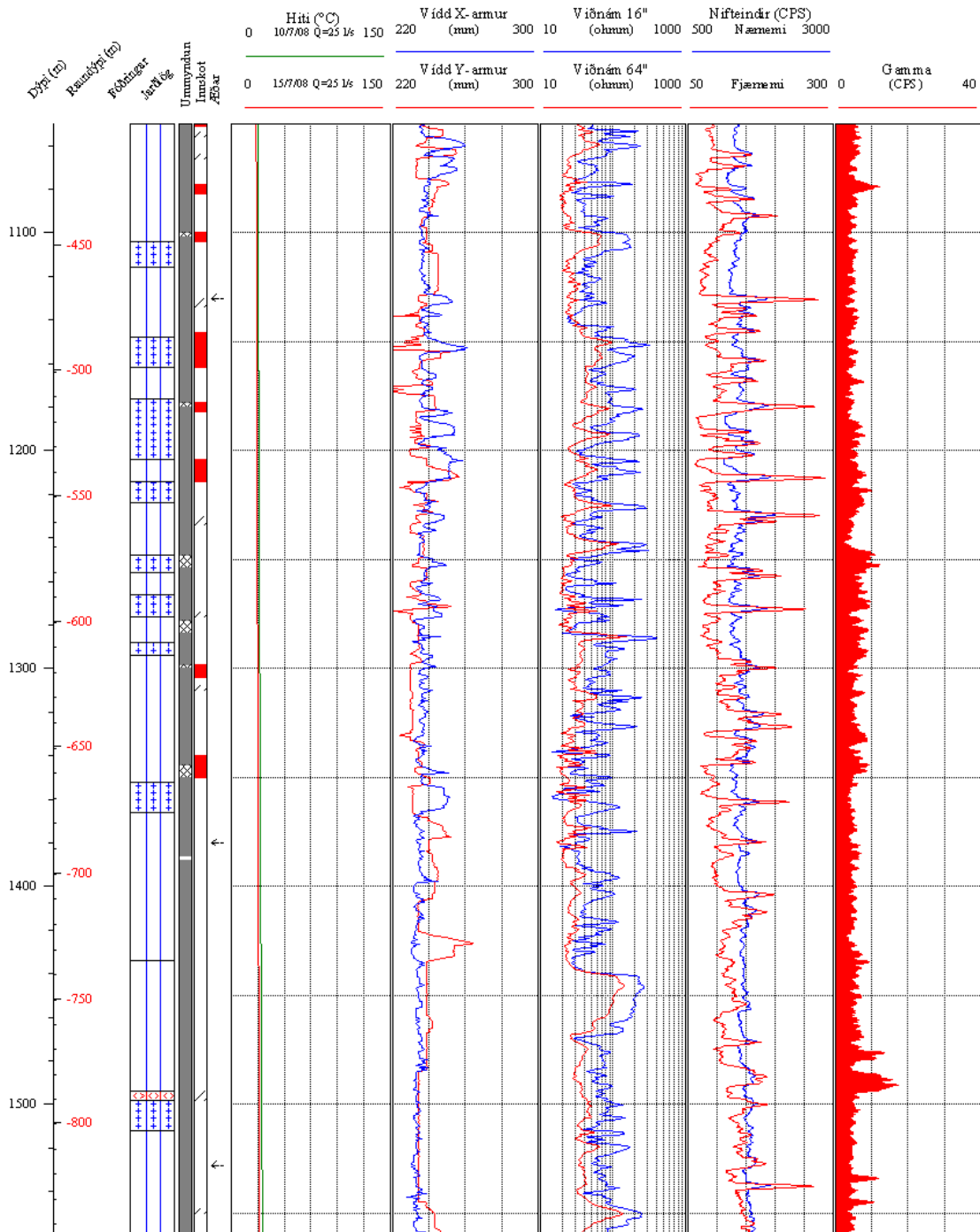
Krafla, Viti

15.07.2008

Staður: Krafla, Viti
Holunafn: KJ-38

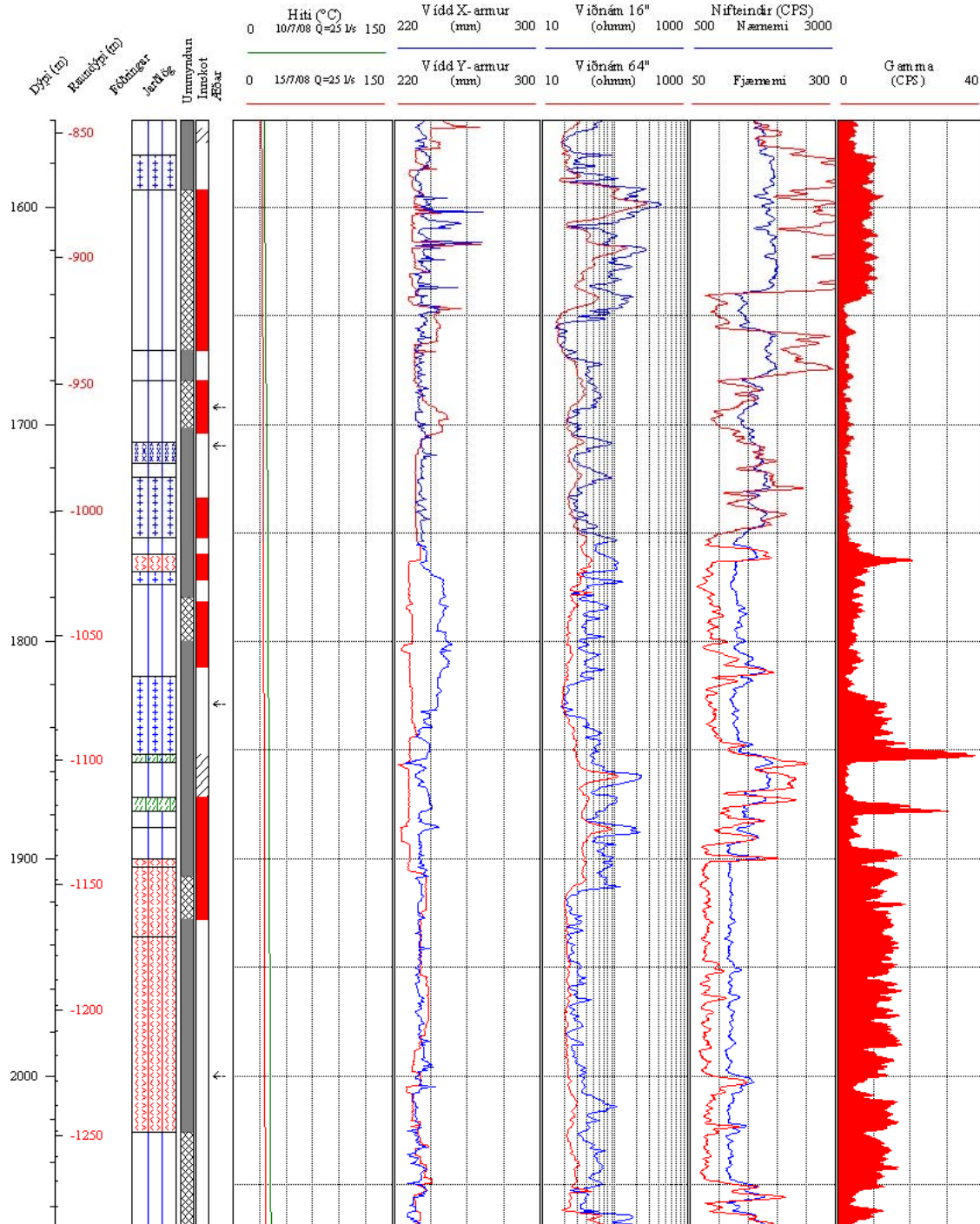
Bor: Jötunn Skolvökt: Vatn
Dýptarbil: 1051-2700,1 m Verkluti: 3 áfangi

Staðarnúmer: 58038
Starfsmenn: MAS, AKM/PEg, FP, SH, ÁH



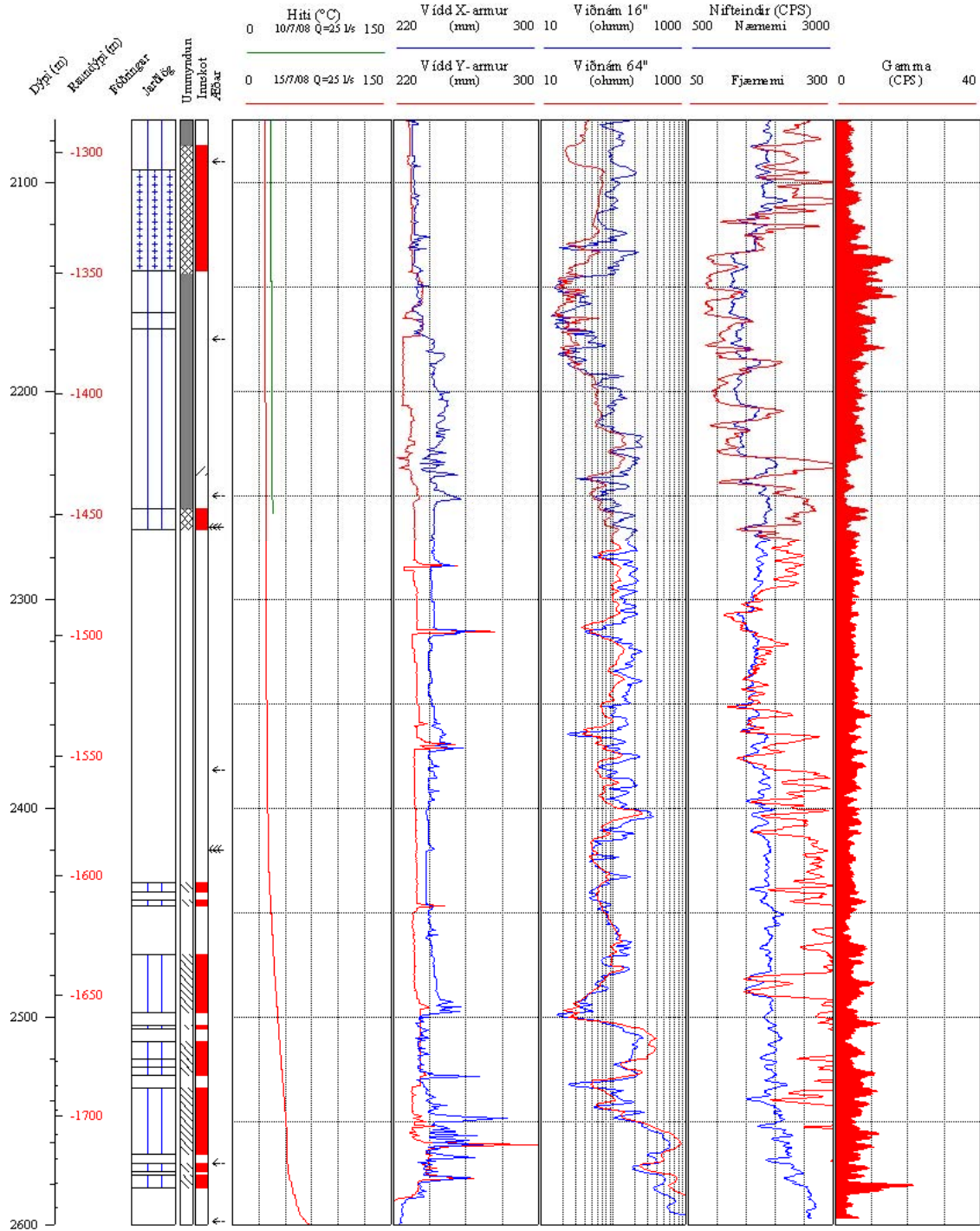
Staður: Krafla, Viti
 Holunafn: KJ-38

 Bor: Jötunn
 Dýptarbil: 1051-2700,1 m
 Verkhlutí: 3 áfangi

 Staðarnúmer: 58038
 Starfsmenn: MAS, AKM/PEg, FP, SH, ÁH


Staður: Krafla, Viti
 Holunafn: KJ-38

 Bor: Jötunn
 Dýptarbil: 1051-2700,1 m
 Verkluti: 3 áfangi

 Staðarnúmer: 58038
 Starfsmenn: MAS, AKM/PEg, FP, SH, ÁH


Viðauki II: Skilgreiningar á forðafræðistærðum

Hér á eftir fylgir stutt skilgreining á þeim forðafræðistærðum sem nefndar eru í þessari skýrslu. Þar að auki er leitast við að skýra eðlisfræðilega merkingu hvernar stærðar til þess að dýpka skilning lesandans á niðurstöðum þrepaprófsins.

Upphafseiginleikar

Áætlað kerfishitastig (T_{est} , *e. estimated reservoir temperature*) og áætlaðan kerfisþrýsting (P_{est} , *e. estimated reservoir pressure*) skal gefa upp sem meðaltal fyrir þann hluta jarðhitakerfisins sem þrepaprófið nær að kanna. Þessi gildi eru notuð til þess að áætla skriðseigju jarðhitavökvans og heildarsamþjappanleika kerfisins.

Geisli holu (r_w , *e. wellbore radius*) er meðalgeisli holunnar á því dýpi sem jarðhitageymirinn spannar.

Skriðseigja jarðhitavökva (μ , *e. dynamic viscosity of reservoir fluid*) er mat á meðalskriðseigju vökvans við það ástand sem talið er ríkja í jarðhitageyminum umhverfis holuna. Ef um er að ræða tveggja fasa flæði má nálgast meðalskriðseigjuna sem þýtt meðaltal (*e. harmonic average*) seigjunnar, vegið með magni hvors fasa, þ.e. $\mu_t = (x_w/\mu_w + x_s/\mu_s)^{-1}$, þar sem x_w er massahlutfall vatns og x_s er massahlutfall gufu (Horne, 2006).

Heilarsamþjappanleiki (c_t , *e. total compressibility*) lýsir því hvernig jarðhitavökvinn (ásamt jarðlögunum) breytir um rúmmál sem fall af þrýstingi. Leiðir til þess að reikna samþjappanleika eru aðeins mismunandi eftir aðstæðum í jarðhitakerfinu en frekari umræðu um það má t.a.m. finna í fræðiriti um jarðhitakerfi eftir Grant o.fl. (1982). Heildarsamþjappanleiki vatnsfasakerfa er yfirleitt um 10^{-9} , í gufufasa-kerfi er hann um 10^{-7} en í tvífasakerfi er samþjappanleikinn mestur, eða um 10^{-6} .

Grop (ϕ , *e. porosity*) er það rúmmálshlutfall sem getur rúmað vatn í jarðlögum varmageymisins.

Prepaprófsstuðlar

Vatnsleiðni (T , *e. transmissivity*) er eiginleiki sem segir til um hæfni jarðhitageymisins umhverfis holuna til þess að leiða vökva. Vatnsleiðnin er skilgreind sem hlutfall lektarþykktar og skriðseigju jarðhitavökvans (kh/μ) og gefur hún því óbeint mat á lekt á svæði umhverfis holuna. Vatnsleiðnin gefur til kynna hversu mikið vatn kemst að eða frá holunni m.v. einingarbreypingu í þrýstingi, óháð örvun í næsta nágrenni (~1-2 m) holunnar (sjá umfjöllun um tregðustuðul). Vatnsleiðni í jarðhitakerfum getur verið nokkuð breytileg en á Íslandi er hún yfirleitt af stærðargráðunni 10^{-8} [$m^3/(Pa \cdot s)$].

Vatnsrýmd (S , *e. storativity*) hefur eininguna [$m^3/(Pa \cdot m^2)$ eða m/Pa] og á að lýsa því hversu mikill vökvi safnast fyrir á fermetra í varmageyminum fyrir einingaraukningu í þrýstingi. Því hefur vatnsrýmdin mikil áhrif á það hversu hratt þrýstingsbylgjan ferðast í gegnum jarðhitakerfið. Vatnsrýmd er skilgreind sem margfeldi grops ϕ , þykktar h og heildarsamþjappanleika c_t , þ.e. $S = \phi c_t h$. Vatnsrýmdin er háð samþjappanleika og getur því verið mjög breytileg eftir tegund varmageymisins (Grant o.fl., 1982). Algeng gildi fyrir vatnsfasakerfi

á Íslandi eru u.þ.b. 10^{-8} [$\text{m}^3/(\text{Pa}\cdot\text{m}^2)$] en tvífasakerfi gætu haft vatnsrýmd af stærðargráðunni 10^{-5} [$\text{m}^3/(\text{Pa}\cdot\text{m}^2)$].

Tregðustuðull holu (s, e. skin) er lýsandi fyrir þá örvun eða tregðu gegn rennsli sem hefur skapast í næsta nágrenni holunnar vegna borana og/eða örvunaraðgerða. Ef örvun hefur orðið er stuðullinn neikvæður en jákvæður ef þétting hefur orðið í holunni, t.d. vegna svarfs í æðum. Algengast er að tregðustuðull sé neikvæður í jarðvarmaholum á Íslandi og er oft á bilinu -2 til -1. Tregðustuðullinn er stundum umreiknaður yfir í virkan geisla borholu, þ.e. þann geisla sem borholan virðist hafa vegna áhrifa tregðustuðulsins. Virkur geisli er gefinn með formúlunni, $r_{eff} = r_w e^{-s}$ þar sem r_w er geisli holunnar (Horne, 1995). Loks er vert að nefna að tregðustuðull og vatnsrýmd eru innbyrðis háðar stærðir í mörgum þrepaprófunarlíkönunum en það veldur aukinni óvissu í mati á hvorum þessara eiginleika fyrir sig.

Holurýmd (C, e. wellbore storage) lýsir því hversu mikið af því rúmmáli vatns sem dælt er á holuna, fer upphaflega í það að fylla holuna sjálfa, í stað þess að renna út í jarðhitageyminn. Þegar dælt er úr holu er þetta öfugt. Þá lýsir holurýmd því rúmmáli sem dælt er úr holunni áður en jarðhitageymirinn fer að gefa vatni inn í holuna. Holurýmd hefur einnig mikil áhrif á mælingar ef umalsverð breyting verður á eðlismassa vökvans í holunni verður á meðan á þrepinu stendur. Mikilvægt er að gera ráð fyrir holurýmd í þrepaprófunarlíkönunum þegar ádæling (eða vinnsla) er mæld við holutoppinn til þess að hægt sé að fá gott mat á vatnsleiðni, vatnsrýmd o.s.frv. en að öðru leyti er þessi stærð lítt notuð í forðafraði.

Könnunargeisli (r_e , e. radius of investigation) er geisli þess sívalningslaga svæðis umhverfis holuna sem reikna má með að þrýstibylgjan vegna þrepsins nái til. Þessi stærð er í flestum tilfellum gróft mat og frekar ætluð til þess að gefa hugmynd um stærðagráðu. Þegar jaðar-áhrif sjást í mælingum má nota könnunargeislann til þess að meta gróflega fjarlægðina að jaðrinum.

Ádælingarstuðull (II, e. injectivity index) er oft notaður til þess að fá gróft mat á tengingu holu við jarðhitageyminn. Í þessari skýrslu er hann gefinn með einingunni [(L/s)/bar] en skilgreining ádælingarstuðuls er

$$II = \frac{\Delta Q}{\Delta P}$$

þar sem breyting í ádælingu/vinnslu er $\Delta Q = Q_{lok\ þreps} - Q_{upph.\ þreps}$ og $\Delta P = P_{lok\ þreps} - P_{upph.\ þreps}$. Í Well Tester forritinu sem notað var í þessu tilfelli er ádælingarstuðullinn reiknaður út frá þrýstingsgildum fræðilega ferilsins en ekki gögnunum sem safnað var.

Afleiddir stuðlar

Reikna má tvo athyglisverða forðafraeðieiginleika með því að tvinna saman upphafsstuðlana og niðurstöður þrepaprófsins. Þrepaprófið gefur mat á vatnsleiðni (T) og vatnsrýmd (S) og miðað við gefin gildi á gropi (ϕ), samþjappanleika (c) og skriðseigju (μ) má reikna virka lekt (k) og þykkt (h) jarðhitakerfisins á eftirfarandi hátt:

$$h = \frac{S}{\phi c_t} \quad \text{og} \quad k = \frac{T\mu}{h}$$

Hér skal tekið fram að óvissa í þessu mati er í réttu hlutfalli við samanlagða óvissu hvers hinna undirliggjandi stuðla og því ætti almennt einungis að líta á útkomuna sem mat á stærðargráðu. Þetta getur oft verið gagnlegt, t.a.m. til þess að athuga hvort stærðargráður á vatnsleiðni og vatnsrýmd samræmast hugmyndalíkani af svæðinu.

Virk lekt (k , e. *effective permeability*) er mælikvarði á hæfni jarðlaganna umhverfis holuna til þess að leiða vökva. Lekt hefur SI-eininguna [m^2] en oftast er hún mæld í einingunni Darcy, $1 \text{ D} \approx 10^{-12} \text{ m}^2$. Lekt í jarðhitakerfum á Íslandi er gjarna á skalanum 1–100 mD (milliDarcy), þ.e. 10^{-15} til 10^{-13} m^2 .

Þykkt jarðhitageymisins (h , e. *formation thickness*) er mat á lóðréttri þykkt þeirra jarðlaga sem eru í virku sambandi við holuna. Þetta mat er nokkuð breytilegt milli holna en er oft á bilinu 100–1000 m.

Heimildir

Grant, Malcolm A., Donaldson, Ian G. og Bixley, Paul F. (1982). *Geothermal reservoir engineering*. N.Y. Academic press, 369 bls.

Horne, Roland N. (1995). *Modern well test analysis. A computer-aided approach. 2nd ed.* Palo Alto Petroway Inc., 257 bls.

Horne, Roland N. (2006). *PE-269 Geothermal Reservoir Engineering. Lecture Notes* Department of Petroleum Engineering, Stanford CA.