



**ORKUSTOFNUN**

**RANNSÓKNASVIÐ - Reykjavík, Akureyri**

## **Forðafraeðistuðlar**

**Athugun á reiknuðum  
*cementation factor*  
út frá viðnámsmælingum**

**Sigvaldi Thordarson  
Gunnar Gunnarsson  
Ómar Sigurðsson**

**Unnið fyrir Auðlindadeild Orkustofnunar**

**2003**

**OS-2003/002**



**Sigvaldi Thordarson**  
**Gunnar Gunnarsson**  
**Ómar Sigurðsson**

## **Forðafraeðistuðlar**

**Athugun á reiknuðum *cementation factor*  
út frá viðnámsmælingum**

**Unnið fyrir Auðlindadeild Orkustofnunar**

**OS-2003/002**

**Janúar 2003**



<b>Skýrsla nr.:</b> OS-2003/002	<b>Dags.:</b> Janúar 2003	<b>Dreifing:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
<b>Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill:</b> Forðafræðistuðlar Athugun á reiknuðum <i>cementation factor</i> út frá viðnámsmælingum		<b>Upplag:</b> 30
		<b>Fjöldi síðna:</b> 22
<b>Höfundar:</b> Sigvaldi Thordarson Gunnar Gunnarsson Ómar Sigurðsson		<b>Verkefnisstjóri:</b> Ómar Sigurðsson
<b>Gerð skýrslu / Verkstig:</b> Rannsókn bergeiginleika		<b>Verknúmer:</b> 8-720105
<b>Unnið fyrir:</b> Auðlindadeild Orkustofnunar		
<b>Samvinnuaðilar:</b>		
<b>Útdráttur:</b> Í skýrslunni er leitast við að meta notagildi jöfnu Archie's, sem lýsir sambandi rafviðnáms og grops í bergi, til að afla ákveðinna upplýsinga um bergeiginleika, þ.e hvort greina megi milli sprungulektar og venjulegs grops með því að setja mæligildi úr borholumælingum inn í þessa jöfnu. Notuð voru mæligögn úr holu LL-03 við Nefsholt í Holtum. Athugun á því hvernig viðnám breytist með gropi bergs í þessari holu sýnir að dreifing mælinganna er mjög mikil og því er erfitt að meta stuðulinn $m$ í jöfnunni, svokallaðan <i>cementation factor</i> . Viðnámsgildi virðast einnig kerfisbundið of lág og af þeim sökum fást einnig of lág gildi fyrir $m$ -stuðulinn. Rakin er úrvinnsla gagnanna og nefnd nokkur atriði sem skýrt gætu niðurstöðurnar.		
<b>Lykilorð:</b> Forðafræði, jafna Archie's, grop, lekt, bergviðnám, rafviðnám, borholuvökvi, borhola LL-03		<b>ISBN-númer:</b>
		<b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b>
		<b>Yfirlitari af:</b> PI

## EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR.....	5
2. GÖGN OG ÚRVINNSLA .....	5
3. NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA .....	17
4. HEIMILDIR .....	18
VIÐAUKI.....	19

## TÖFLUR

Tafla 1. <i>Reikningar á bestu línu fyrir viðnám vs. grop.</i> .....	10
Tafla 2. <i>Borholumælingar á Íslandi gerðar af GeoForschungsZentrum (GFZ) í Potsdam, Pýskalandi.</i> .....	20

## MYNDIR

Mynd 1. <i>Mælingar sem notaðar voru við úrvinnsluna.</i> .....	6
Mynd 2. <i>Bergviðnámsstuðull vs. grop – óleiðrétt gögn.</i> .....	7
Mynd 3. <i>Bergviðnámsstuðull vs. grop – <math>R_w</math> hitaleiðrétt.</i> .....	8
Mynd 4. <i>Bergviðnámsstuðull vs. grop – <math>R</math> víddarleiðrétt og <math>R_w</math> hitaleiðrétt.</i> .....	9
Mynd 5. <i>Bergviðnámsstuðull vs. grop – <math>R</math> víddarleiðrétt, <math>R</math> og <math>R_w</math> leiðrétt að 30°C.</i> .....	10
Mynd 6. <i>Áhrif víddar- og hitaleiðréttinga á mælt viðnám í LL-03.</i> .....	11
Mynd 7. <i>Samband viðnáms og grops í LL-03, dýptarbilið 100–225 m.</i> .....	12
Mynd 8. <i>Samband viðnáms og grops í LL-03, dýptarbilið 225–350 m.</i> .....	12
Mynd 9. <i>Samband viðnáms og grops í LL-03, dýptarbilið 350–475 m.</i> .....	13
Mynd 10. <i>Samband viðnáms og grops í LL-03, dýptarbilið 475–600 m.</i> .....	13
Mynd 11. <i>Samband viðnáms og grops í LL-03, dýptarbilið 600–725 m.</i> .....	14
Mynd 12. <i>Samband viðnáms og grops í LL-03, dýptarbilið 725–850 m.</i> .....	14
Mynd 13. <i>Samband viðnáms og grops í LL-03, dýptarbilið 850–1000 m.</i> .....	15
Mynd 14. <i>Cementation factor, <math>m</math>, sem fall af dýpi í holu LL-03.</i> .....	16
Mynd 15. <i>Samanburður á viðnámsmælingum Orkustofnunar (OS) og GeoForschungs-Zentrum (GFZ).</i> .....	21

## 1. INNGANGUR

Í þessari skýrslu er reynt að varpa ljósi á hvort nota megi jöfnu Archie's á einfaldan hátt til að fá upplýsingar um ákveðna bergeiginleika, en hún lýsir sambandinu milli rafviðnáms og grops bergs. Hugmyndin er að athuga hvort greina megi á milli sprungulektar og venjulegs grops með þessum hætti. Hér verða notuð gögn frá holu LL-03 í Nefsholti, Holtum (staðarnúmer 83443), sem er á lágheitsvæði og staðsett á vestari brún eystra gosbeltisins á sunnanverðu landinu. Bergið þar er að mestu 2,5–3 milljón ára gömul basalt hraunlög (frá Hreppamynduninni) með móbergslögum inni á milli auk einstakra setlaga. Sprungur eru algengar á þessu svæði og tengjast þær Suðurlandsbrotabeltinu.

Jafna Archie's lýsir sambandinu milli viðnáms og grops á eftirfarandi hátt:

$$F = \frac{R}{R_w} = a\phi^{-m}$$

þar sem  $R$  er rafviðnám bergsins (hér notast við 64" skautabil),  $R_w$  er viðnám borholuvökvans og  $F$  nefnt bergviðnámsstuðull (*formation factor*),  $\phi$  er grop en  $a$  og  $m$  eru fastar ( $m$  er gjarnan kallað *cementation factor*, eða samlímingarstuðull).

Þó eitthvað hafi verið reynt að nota samband viðnáms og grops til að segja fyrir um ráðandi þætti í lekt svæða (t.d. Benedikt Steingrímsson o.fl. 1984) hefur það ekki náð neinni fótfestu sem stöðluð úrvinnsluáferð hér á Orkustofnun, sennilega vegna þess hversu dreifð gögnin eru, og því erfitt að fá raunhæfan samanburð.

## 2. GÖGN OG ÚRVINNSLA

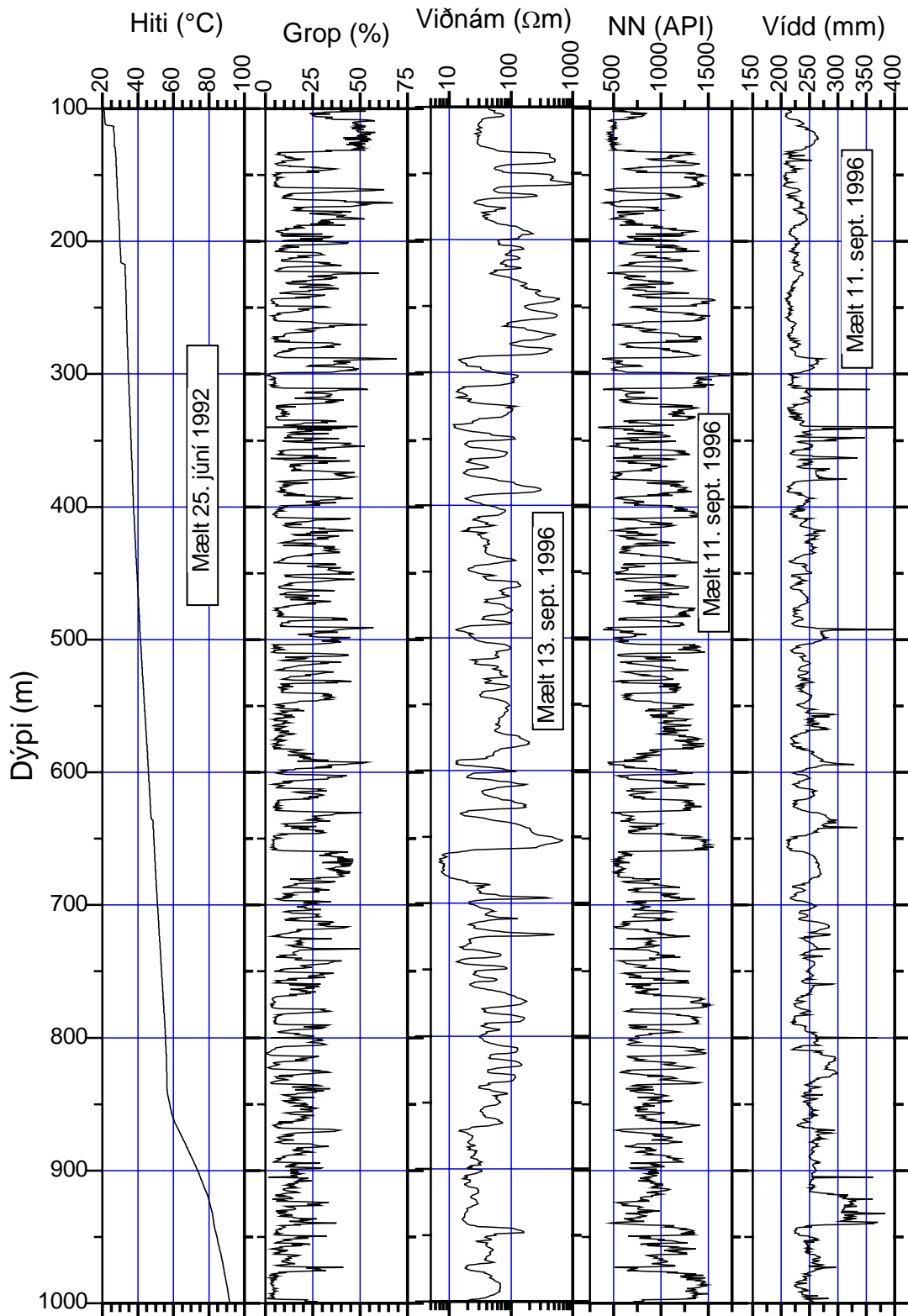
Við úrvinnsluna voru notuð eftirfarandi gögn frá holu LL-03:

- Hitamæling frá 25-06-1992 (svunta 12062)
- Víddarmælingar, XY, frá 11-09-1996 (svuntur 17708 og 17709)
- Nifteindamæling frá 11-09-1996 (svunta 17704)
- Viðnámsmæling frá 13-09-1996 (svunta 17736)

Þessar mælingar, ásamt reiknuðu gropi, eru sýndar á mynd 1, en auk þeirra var leiðni mæld í vökvásýnum sem tekin voru í holunni 18-10-1977.

Grop sem fall af dýpi í holunni var fundið út frá nifteindamælingunni, en víddarmælingin var notuð til leiðréttinga, og hita- og víddarmælingarnar voru einnig notaðar til að framkvæma leiðréttingar á mældu viðnámi.

Leiðni borholuvökvans var mæld á tveimur dýpum árið 1977, annarsvegar á 105 m dýpi, en þar reyndist leiðnin vera 469  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , og hinsvegar á 212 m dýpi, en þar reyndist leiðnin vera 510  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Að meðaltali gefur þetta viðnám uppá um 20,45  $\Omega\text{m}$  og er sú stærð notuð fyrir  $R_w$  og gert ráð fyrir að mælt hafi verið við  $\sim 23^\circ\text{C}$ .



Mynd 1. Mælingar sem notaðar voru við úrvinnsluna.

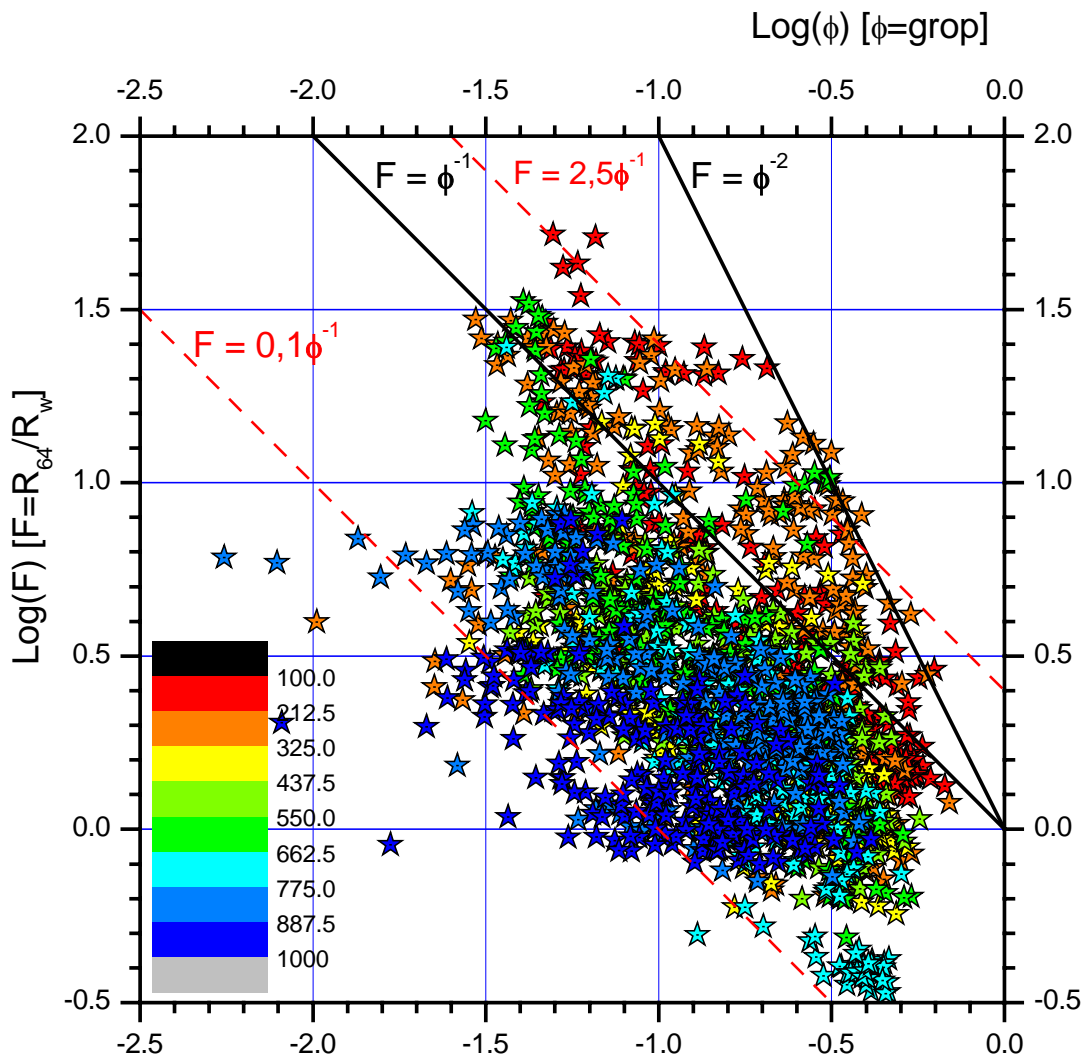


Fyrsta skrefið var að skoða hvernig gögnin líta út á Log-Log grafi, þar sem  $R/R_w$  er teiknað á móti  $\phi$ , en skv. jöfnu Archie's ætti þá að fást:

$$\text{Log}\left(\frac{R}{R_w}\right) = \text{Log}(a) - m\text{Log}(\phi)$$

Útkoman úr því er sýnd á mynd 2, en þar sést að gögnin dreifast töluvert og ekki er auðvelt að sjá hver halli línu í gegnum safnið er, auk þess sem fastinn  $a$  er mjög illa ákvarðaður. Líklega mætti finna dýptarbil í holunni þar sem betra samband fengist, enda er það oft reynt þegar meta á fastana  $a$  og  $m$  (t.d. Stefánsson and Tulinius 1983), en svo virðist sem hluta mæligildanna megi nálga með beinni línu sem svo hliðrist til fyrir næsta sett af mæligildum.

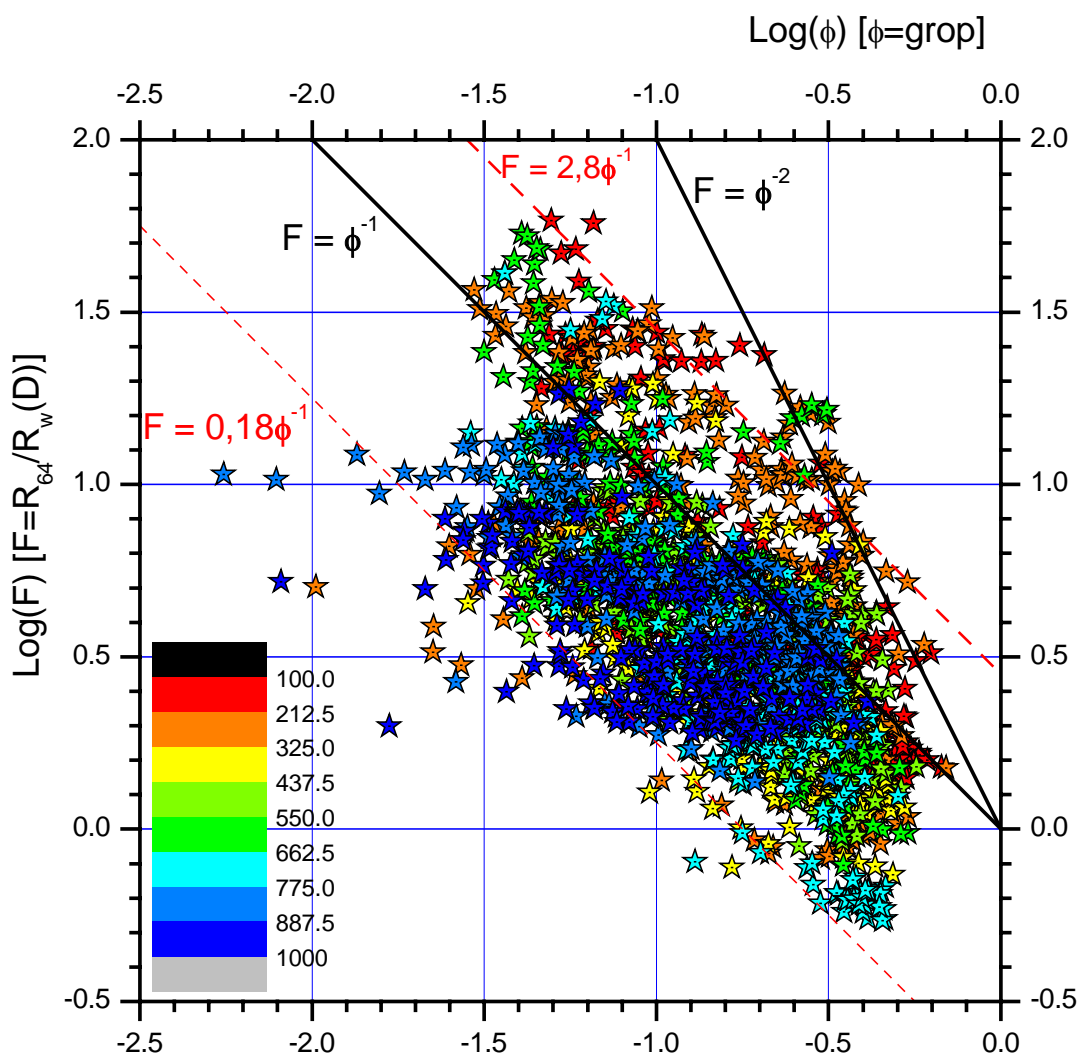
Á myndum 2–5 hefur verið bætt við línur með hallatölu -1 sem eiga að afmarka nokkurn veginn þá dreifingu sem er í gögnunum. Þessar línur eru ekki reiknaðar á neinn hátt, heldur staðsettar eftir auganu og hafa því enga fræðilega merkingu.



Mynd 2. Bergviðnámsstuðull vs.  $\phi$  – óleiðrétt gögn.

Næst var farið út í að reyna ýmsar einfaldar leiðréttingar á viðnámsgögnunum, en mælt viðnám er t.d. háð vídd holu og hitastigi (sjá t.d. Stefánsson and Tulinius 1983; Flóvenz et al. 1985; GOI 1975). Byrjað var á að leiðrétta  $R_w$  að því hitastigi sem ríkir í holunni, en til þess var notast við jöfnuna (Flóvenz et al. 1985):

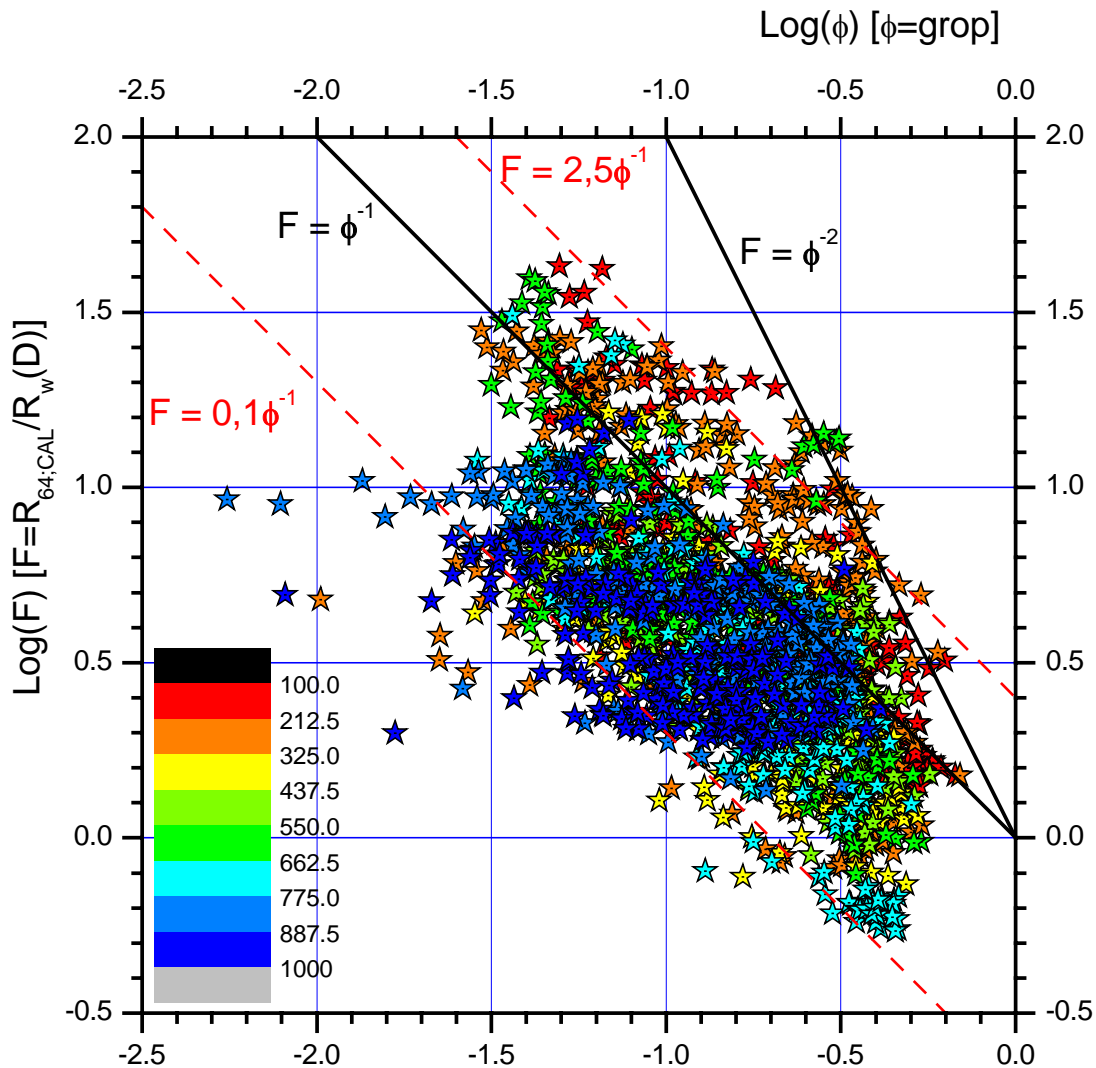
$$R_w = \frac{R_{w_0}}{1 + \alpha(T - T_0)}$$
 þar sem  $R_{w_0}$  er viðnám vökvans við  $T_0$ ,  $\alpha$  er hitaviðnámsstuðull sem er nálægt  $0,023^\circ\text{C}^{-1}$  fyrir  $T_0 = 23^\circ\text{C}$ . Þessi gögn eru sýnd á mynd 3.



**Mynd 3.** Bergviðnámsstuðull vs. grop –  $R_w$  hitaleiðrétt.

Næsta leiðrétting sem reynd var, var að leiðrétta mælt viðnám í holu fyrir vídd holunnar og nota einnig hitaleiðrétt  $R_w$ . Víddarleiðréttingin er gerð með forritinu bhmrtw, og eru niðurstöðurnar sýndar á mynd 4.

Að lokum var víddarleiðrétta viðnámið einnig reiknað inn að  $30^\circ\text{C}$ , en til þess var notað forritið rtc0, síðan var  $R_w$  einnig reiknað að  $30^\circ\text{C}$  og hlutfallið  $R/R_w$  reiknað fyrir holuna og eru niðurstöðurnar sýndar á mynd 5.

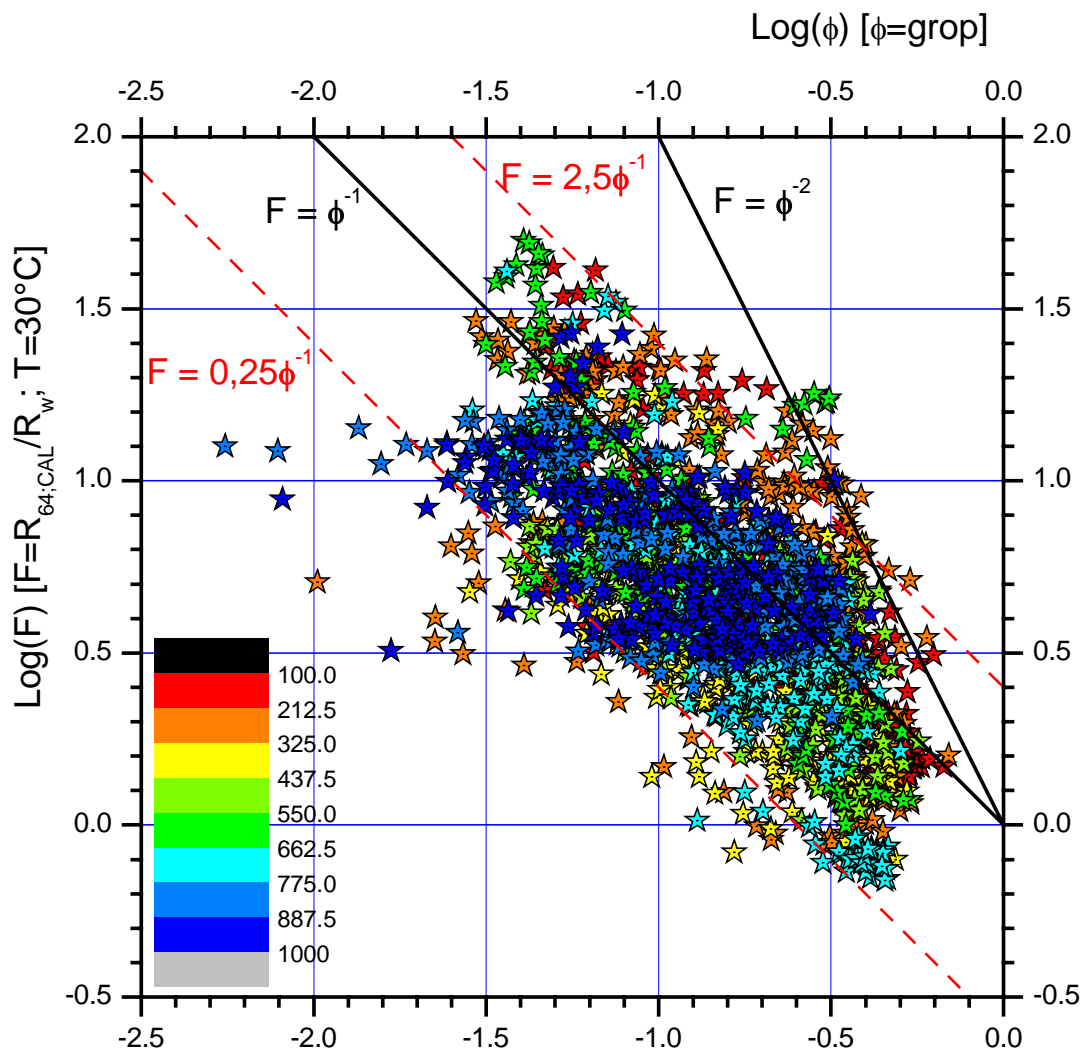


**Mynd 4.** Bergviðnámsstuðull vs. grop –  $R$  víddarleiðrétt og  $R_w$  hitaleiðrétt.

Áhrif víddar- og hitaleiðréttinga á hinn mælda viðnámsferil má sjá á mynd 6. Þar sést að víddarleiðréttingin er smávægileg, en hitaleiðréttingin er töluverð í heitari hluta holunnar.

Í heild má segja að leiðrétting viðnáms þjappi gögnunum saman, þ.a. gögnin virðast með þeim verða betri í einhverjum skilningi. Þau sýna þó enn töluverða dreifingu og langt í frá að auðvelt sé að sjá hvort þau fylgi frekar línu með hallatöluna -1 eða -2, þ.e. hvort um sprungulekt eða gropið berg sé að ræða.

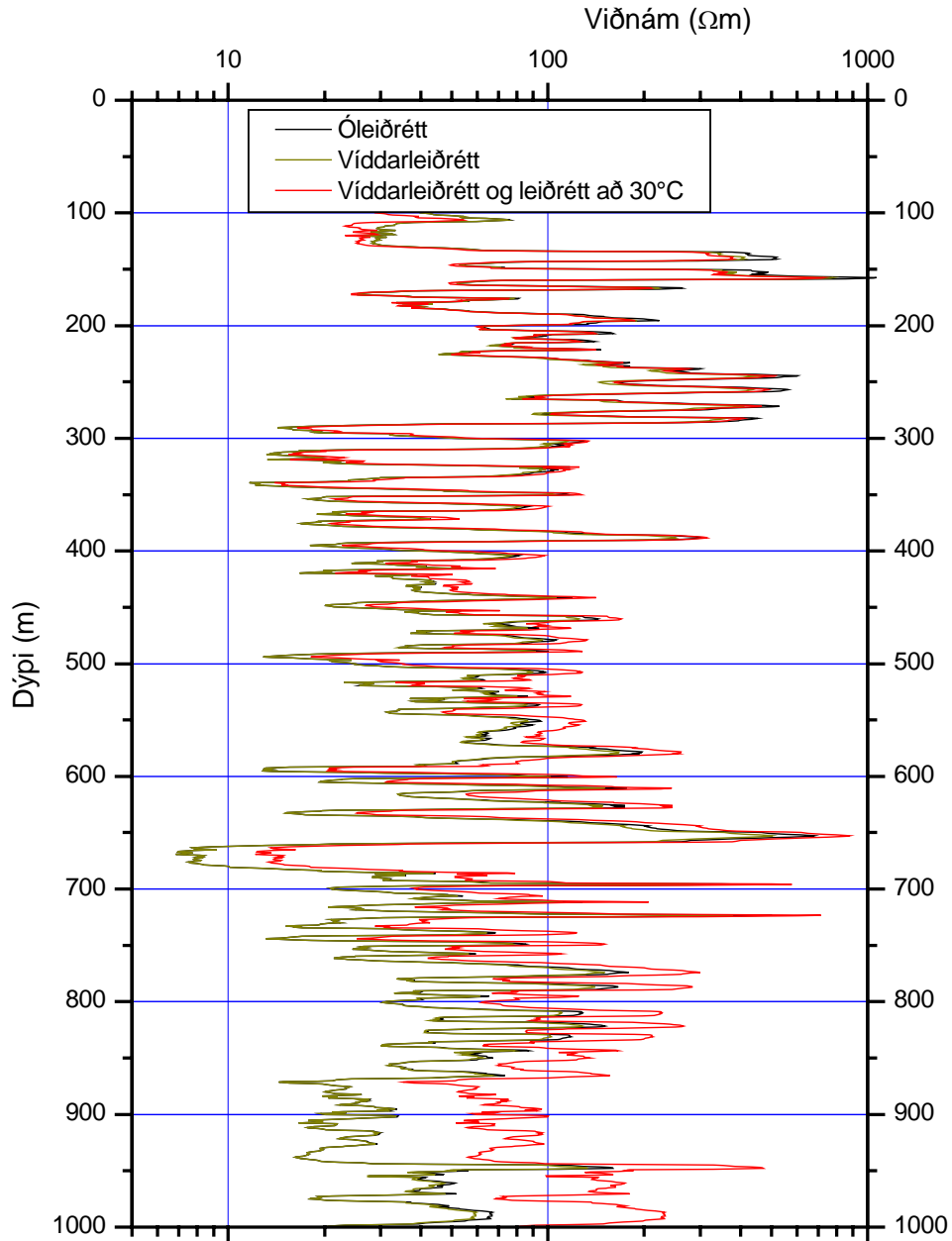
Venja virðist vera fyrir því að reikna bestu línu í gegnum gagnasöfn sem þessi, þó að það sé alls ekki ljóst að slíkt hafi einhverja fræðilega þýðingu, en útreikningar á línunum gegnum þau gagnasöfn sem sýnd eru á myndum 2–5 eru dregnir saman í töflu 1. Bestu línur sýna að *cementation factor*,  $m$ , er í öllum tilfellum stærri en 0,5 að meðaltali (athuga ber að hallatalan í jöfnu Archie's er  $-m$ ), en eins og vikið var að hér að framan er dreifingin mikil og má ímynda sér að ef gagnasafninu er skipt í nokkur dýptarbil þá megi finna bestu línur gegnum þau sem jafnvel hafi sömu hallatölu, en hliðrist til (þ.e.  $a$  breytist) milli dýptarbila. Hins vegar er mjög óljóst hvaða þýðingu fastinn  $a$  hefur, oft er hann settur sem 1 og jafnvel hafa menn dregið í efa að hann geti haft annað fræðilegt gildi ef skoðað er hvað gerist þegar gropið stefnir á 1 (t.d. Bussian 1982).



Mynd 5. Bergviðnámsstuðull vs. grop –  $R$  víddarleiðrétt,  $R$  og  $R_w$  leiðrétt að  $30^\circ\text{C}$ .

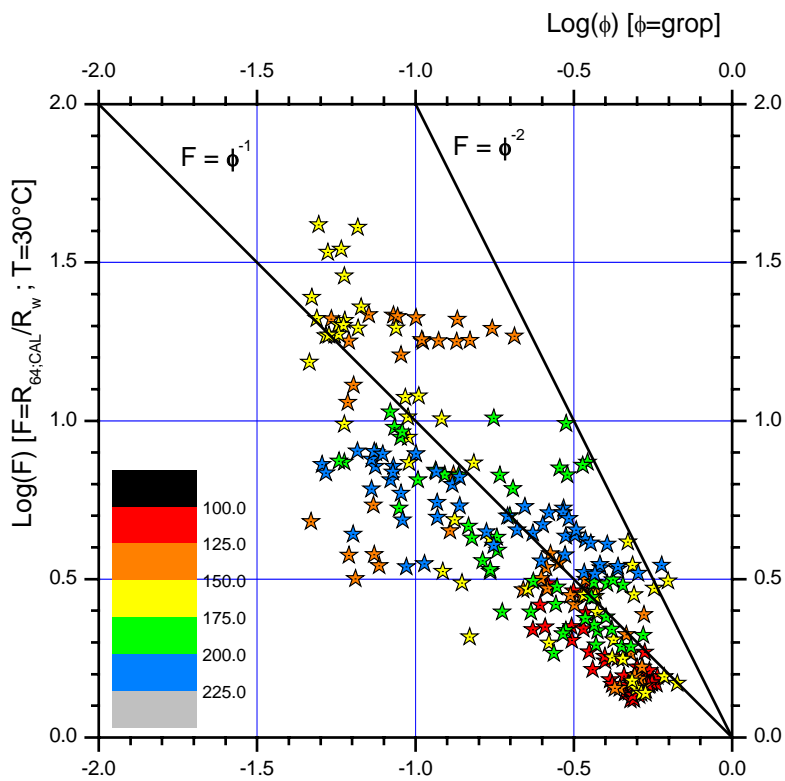
Tafla 1. Reikningar á bestu línu fyrir viðnám vs. grop.

Gögn af mynd:	Fastinn $\text{Log}(a)$ og skekkja	Hallatala og skekkja	Leiðrétting viðnáms
2	$-0,010 \pm 0,020$	$-0,631 \pm 0,020$	Óleiðrétt
3	$0,020 \pm 0,018$	$-0,707 \pm 0,020$	$R_w$ hitaleiðrétt
4	$0,038 \pm 0,016$	$-0,656 \pm 0,018$	$R$ víddarleiðrétt og $R_w$ hitaleiðrétt
5	$0,078 \pm 0,016$	$-0,712 \pm 0,018$	$R$ víddarleiðrétt, $R$ og $R_w$ reiknað að $T=30^\circ\text{C}$

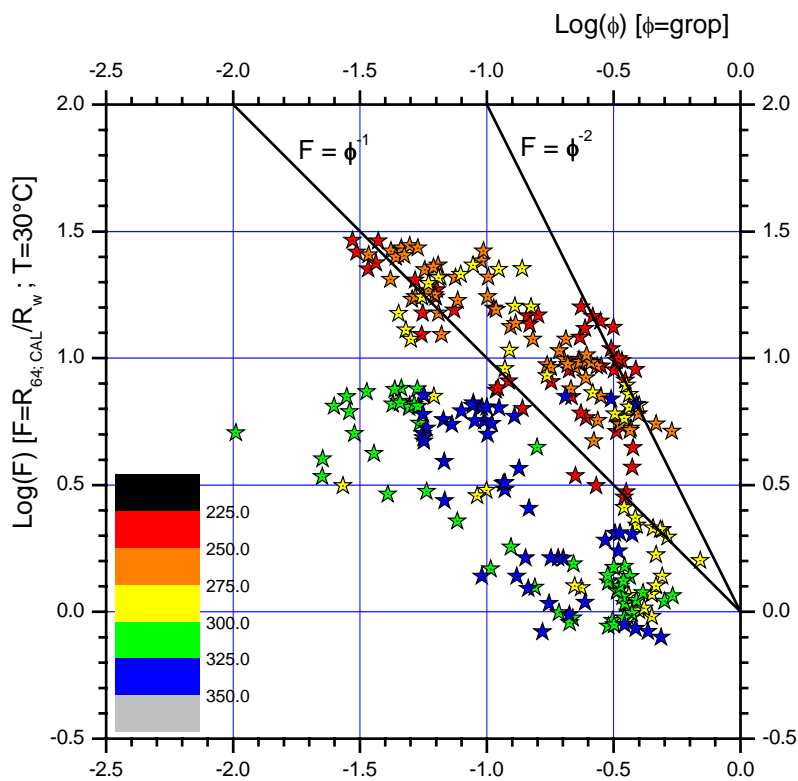


**Mynd 6.** Áhrif víddar- og hitaleiðréttinga á mælt viðnám í LL-03.

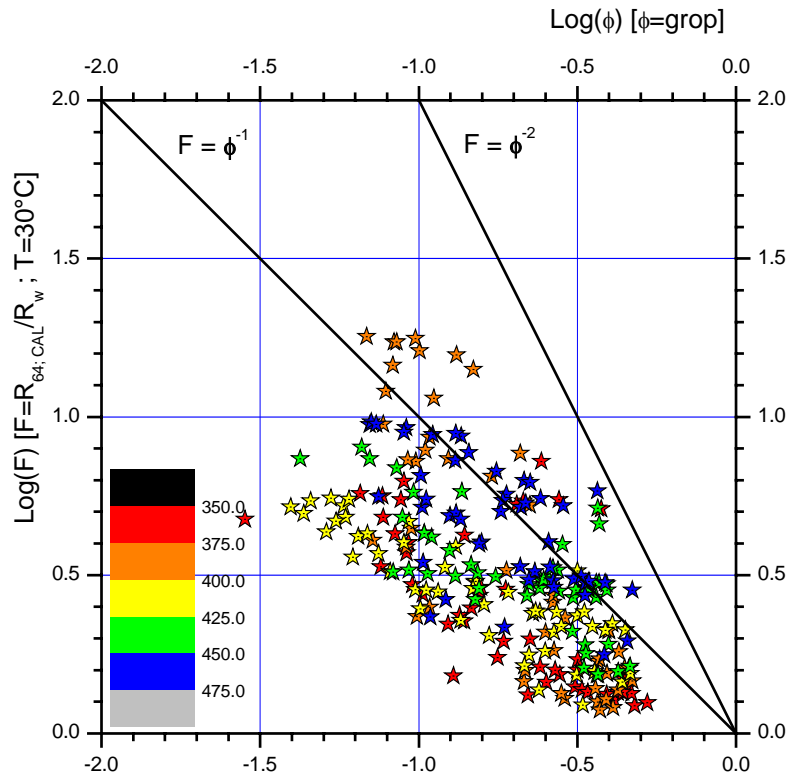
Til að athuga hvort ákveðin dýptarbil í holunni fylgdu jöfnu Archie's betur en önnur var dýptarbilinu 100–1000 m skipt upp í 7 dýptarbil (6 þeirra voru 125 m, en það dýpsta var 150 m). Notast var við leiðrétt viðnámsgögn, þau sem sýnd eru í heild á mynd 5, þ.e.a.s.  $R$  er víddarleiðrétt og  $R$  og  $R_w$  er reiknað að  $T=30^\circ\text{C}$ . Þetta er sýnt á myndum 7–13.



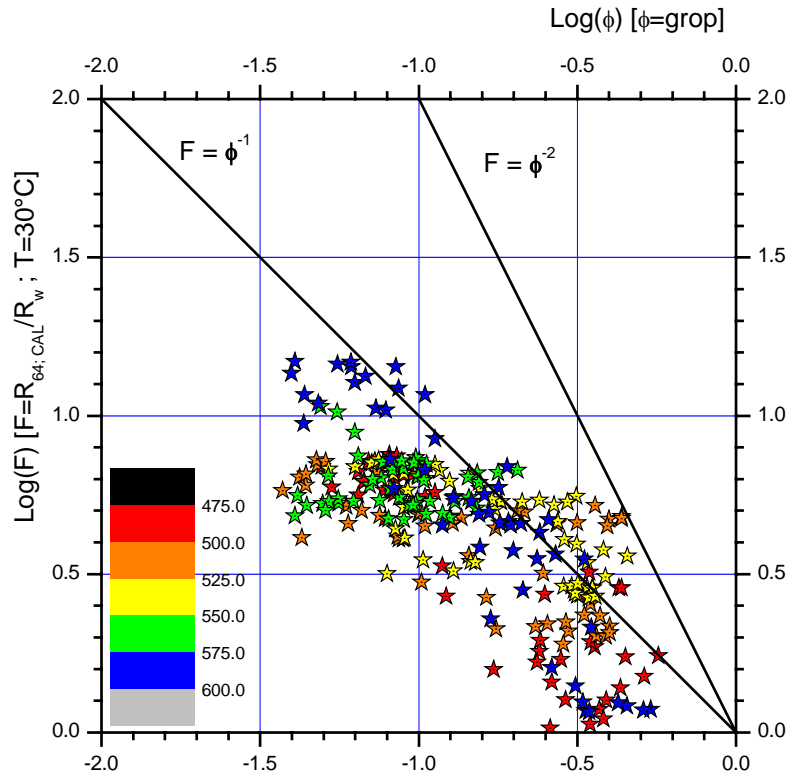
Mynd 7. Samband viðnáms og grops í LL-03, dýptarbilið 100–225 m.



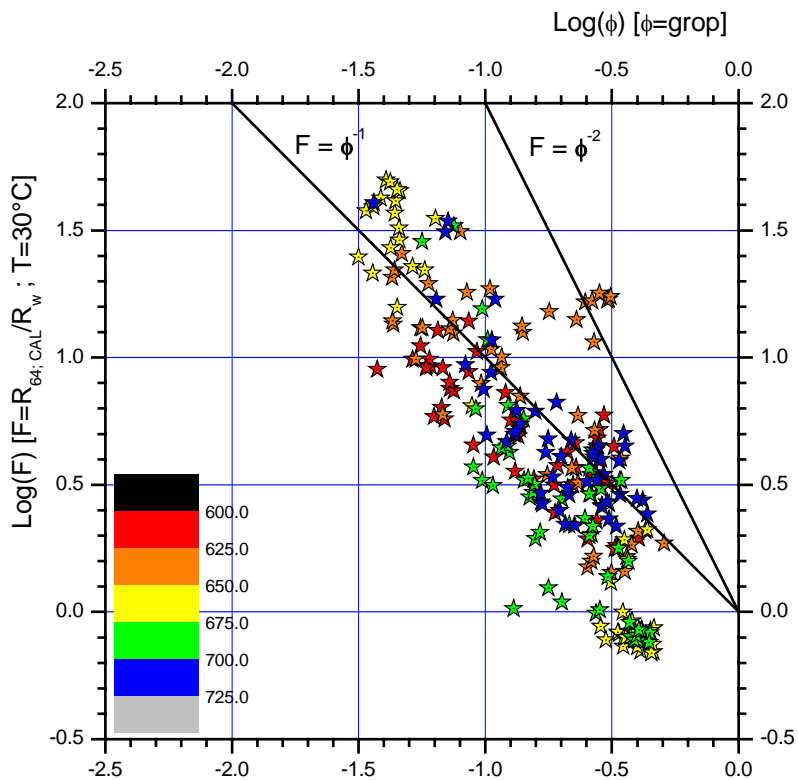
Mynd 8. Samband viðnáms og grops í LL-03, dýptarbilið 225–350 m.



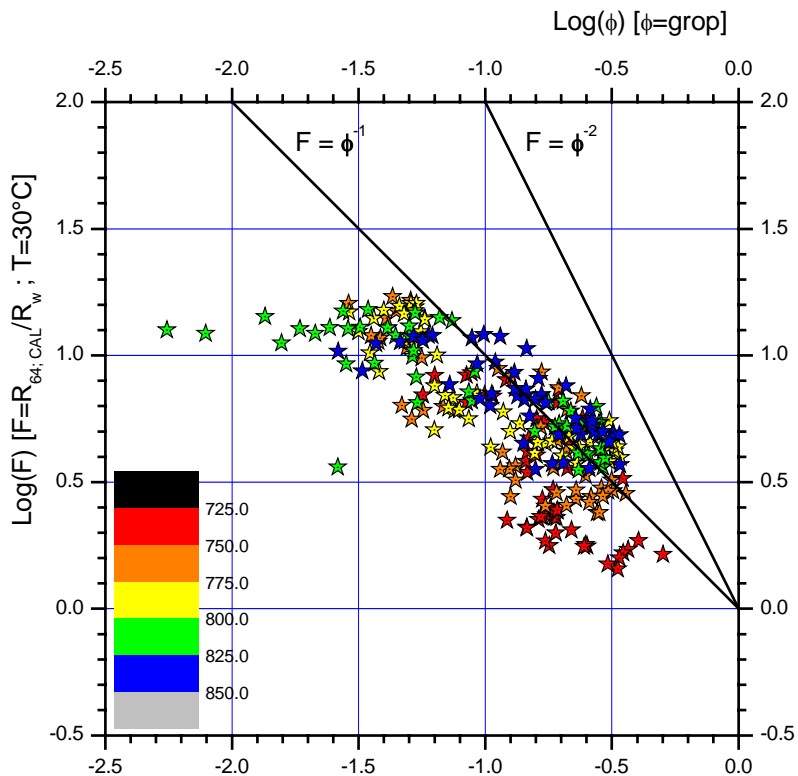
Mynd 9. Samband viðnáms og grops í LL-03, dýptarbilið 350–475 m.



Mynd 10. Samband viðnáms og grops í LL-03, dýptarbilið 475–600 m.

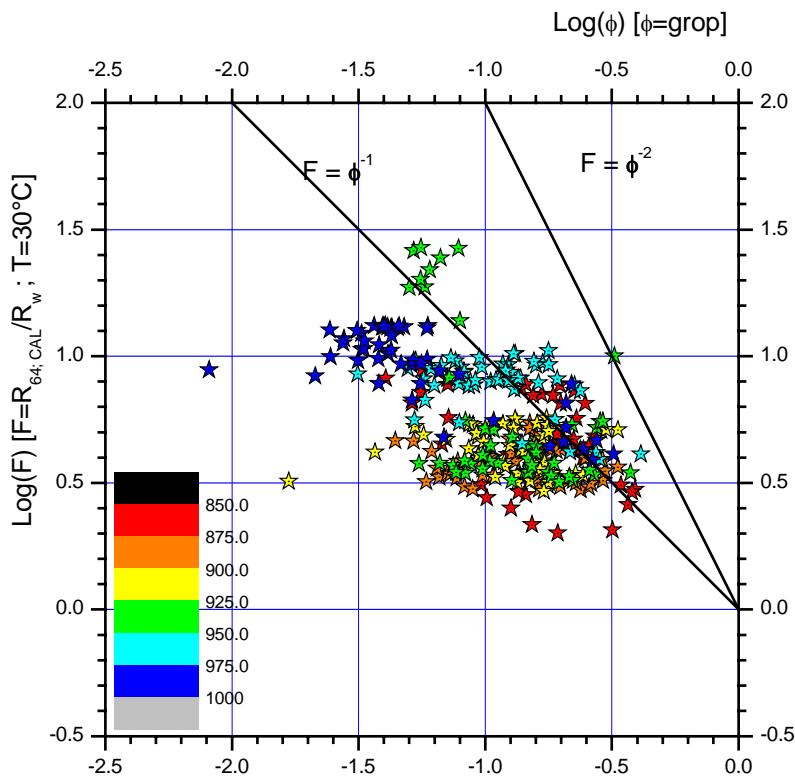


Mynd 11. Samband viðnáms og grops í LL-03, dýptarbilið 600–725 m.



Mynd 12. Samband viðnáms og grops í LL-03, dýptarbilið 725–850 m.

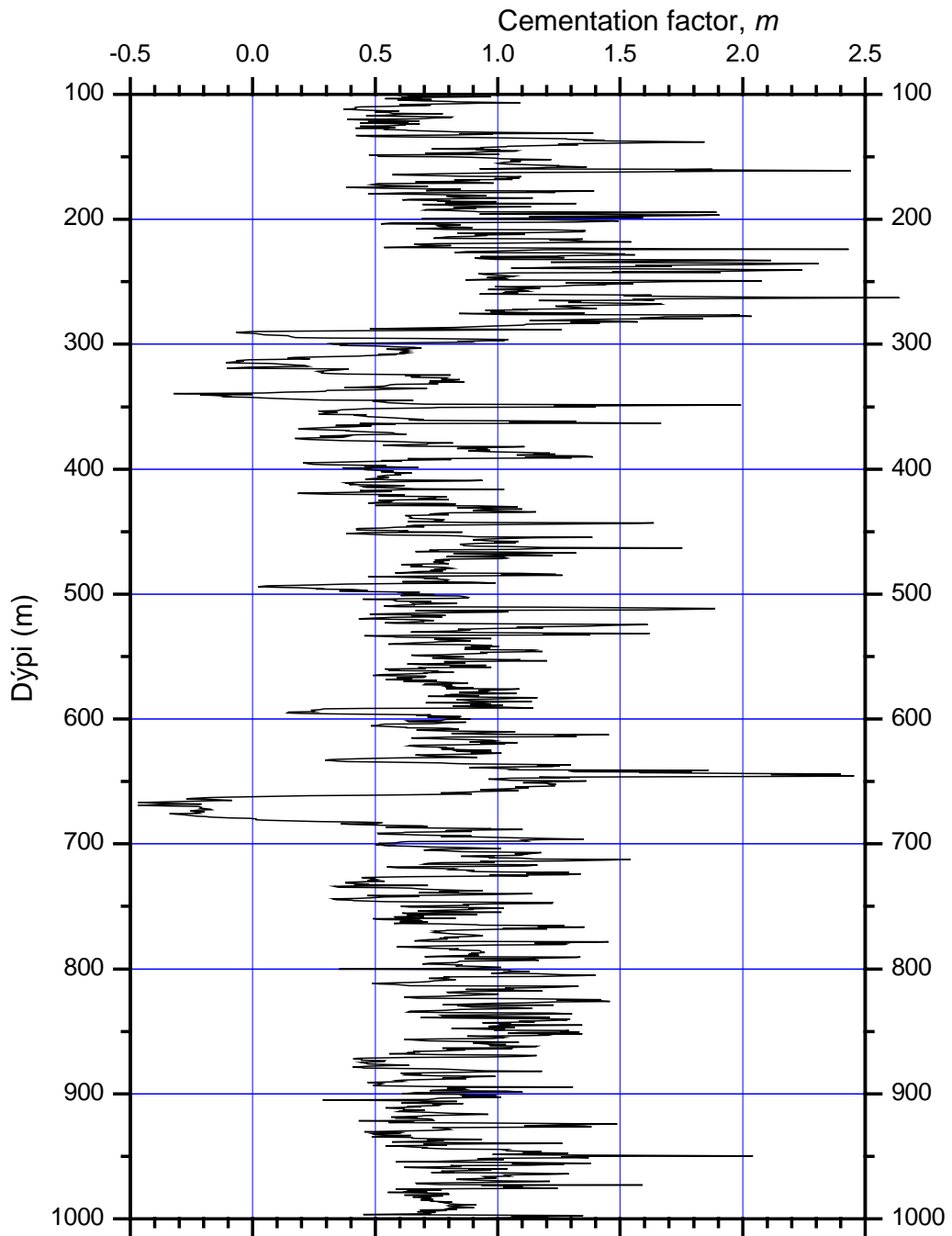




Mynd 13. Samband viðnáms og grops í LL-03, dýptarbilð 850–1000 m.

Á myndum 7–13 er í raun búið að búta holuna upp í 25 m dýptarbil með litaskiptingu innan myndanna. Ef glöggt er skoðað má sjá að sum dýptarbilin eru ágætlega línuleg, yfirleitt þá með hallatölu nærri -1, en svo má einnig sjá dýptarbil þar sem viðnám breytist tiltölulega lítið með gropi, t.d. dýptarbilin 200–225 m, 550–575 m, 875–925 m og 950–1000 m. Á þessum dýptarbilum er þá væntanlega eitthvað annað en gropið sem ræður viðnáminu, eða að einhverjir samverkandi þættir stjórni viðnámshegðuninni.

Breytingu á samlímingarstuðli (*cementation factor*),  $m$ , með dýpi má einnig skoða á þann hátt að reikna  $m$  með því að gefa sér að  $a=1$  og leysa jöfnu Archie's fyrir  $m$ . Hafa ber í huga að í umfjölluninni hér er fjallað um stuðulinn  $m$ , en ekki veldisvísinn í jöfnu Archie's, sem er  $-m$ . Breytingarnar á  $m$  voru skoðaðar fyrir leiðréttu viðnámsmælingarnar (hita- og víddarleidrét, sbr. mynd 5), og eru niðurstöðurnar sýndar á mynd 14. Ef gert er ráð fyrir að fræðilegt gildi  $m$  liggja á bilinu 1–2, þá er ljóst af mynd 14 að þessar niðurstöður gefa kerfisbundið of lágt mat á  $m$ -gildið, en gróft metið má segja að  $m$  sé  $\sim 0,5$  of lágt. Þetta má í raun sjá á myndum 2–5 og 7–13 á því að margir punktanna liggja neðan við línununa  $F = \phi^{-1}$ . Almennt má segja að mynd 14 sýni sömu einkenni og sjálf viðnámsmælingin, sem samlímingarstuðullinn  $m$  er reiknaður út frá (sjá mynd 6). Þó ekki virðist hægt að ákvarða lektareiginleika með svona reikningi á  $m$  þá gæti hann hjálpað til við skiptingu jarðlaga í bergeiningar.



**Mynd 14.** Cementation factor,  $m$ , sem fall af dýpi í holu LL-03.

### 3. NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA

Þegar skoðað er hvernig viðnám breytist með gropi bergs í holu LL-03 kemur í ljós að dreifing mæligagna er mjög mikil, sem veldur því að erfitt er að meta stuðulinn  $m$  í jöfnu Archie's. Einnig virðast viðnámsgildin vera kerfisbundið of lág miðað við línuna  $F = \phi^{-1}$ , en það veldur því einnig að ef jafna Archie's er leyst fyrir  $m$  fást of lág gildi fyrir  $m$ . Nokkur atriði sem skýrt gætu þessar niðurstöður eru:

- Leiðrétting viðnámsgilda er ekki nægjanlega góð.
- $R_w$  gildi gæti verið vitlaust, en tífold breyting í því breytir  $\text{Log}(F)$  um 1.
- Reikningi á gropi er ábótavant, t.d. er grop sem reiknað er út frá NN-mælingum háð heildarvatnsinnihaldi bergsins, en ekki er ljóst hvort það taki allt þátt í leiðni bergsins. Hugsanlega er grop reiknað út frá hljóðhraðamælingum heppilegra til að bera saman við mælt viðnám.
- Aðrir þættir en vatnsinnihald, hvort sem það er í porum eða sprungum, hafa áhrif á mælt viðnám. Flóvenz et al. (1985) benda á að leiðni ummyndunarsteinda getur orðið veruleg, jafnvel ráðandi hluti af mældri leiðni í berginu og ef slík leiðni er til staðar megi umrita jöfnu Archie's (fyrir leiðni í stað viðnáms):  $\sigma = \frac{\sigma_w}{F} + \sigma_i = \sigma_w \phi^m + \frac{1}{b} \phi_f^{m_i}$ , þar sem  $\sigma_i$  leiðni ummyndunarsteinda,  $\phi_f$  er grop vegna sprungna,  $m_i$  er fasti milli 1–1,2 og  $b$  er háð ummyndun og hitastigi, en hér má segja að fyrri hlutinn sé beint úr jöfnu Archie's, en sá seinni sé viðbót vegna leiðni ummyndunarsteinda. Þetta gæti skýrt af hverju viðnámið mælist of lág miðað við mælt grop ef gengið er út frá jöfnu Archie's óbreyttri, þar sem leiðni ummyndunarsteinda myndi lækka hið mælda viðnám án þess að gropið breyttist. Leiðni ummyndunarsteinda er hins vegar háð því um hvaða steindir er að ræða.
- Viðnámsmælingin sjálf gæti verið ónákvæm fyrir þessi viðnámsgildi, hugsanlega væri betra að notast við viðnám mælt með *induction*-mæli.

#### 4. HEIMILDIR

- Benedikt Steingrímsson, Ásgrímur Guðmundsson, Guðjón Guðmundsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Helga Túlinus og Ómar Sigurðsson 1984. *Krafla, hola KJ-23. Borun og rannsóknir. Lokaskýrsla*. Orkustofnun, OS-84032/JHD-03.
- Bussian, A. E. 1982: *A generalized Archie equation*. SPWLA 23<sup>rd</sup> Annual logging symposium, July 6–9.
- Flóvenz, Ó. G., L. S. Georgsson and K. Árnason 1985: Resistivity structure of the upper crust in Iceland. *J. Geophys. Res.*, **90**, 10,136-10,150.
- GOI 1975: *Formation evaluation data handbook*. Gerhardt-Owen Industries, Inc., Forth Worth, Texas, USA.
- Guðlaugsson, S. Þ. and S. Thordarson 2000. *Repeat logging in Well LL-03 at Laugaland í Holtum in August 2000*. Orkustofnun, short report SPG/SThor-2000/1, 2p + enclosures.
- Stefánsson, R., F. Bergerat, M. Bonafede, R. Böðvarsson, S. Crampin, K. L. Feigl, F. Roth, F. Sigmundsson and R. Slunga 2000. *Earthquake Prediction Research in a Natural Laboratory (PRENLAB-TWO)*. Final Report. Veðurstofa Íslands, Report 01001.
- Stefánsson, V. and H. Tulinius 1983: Geophysical logs from Lopra-1 and Vestmanna-1. Orkustofnun, OS-83088/JHD-18, (128 s.).

## VIÐAUKI

Á árunum 1996 til 1998 voru gerðar alls 19 viðnámsmælingar í holu LL-03 við Nefsholt í Holtum á vegum GeoForschungsZentrum (GFZ) í Potsdam, Þýskalandi. Mælingarnar voru hluti af verkefningu *Earthquake Prediction Research in a Natural Laboratory* (PRENLAB) sem styrkt var af Evrópusambandinu (EC). Hóla LL-03 í Nefsholti er innan jarðskjálftabeltisins á suðurlandi og er hola um 7 km sunnan við þá jarðskjálftamælistöð (SAU) sem næst er. Tilgangurinn með mælingunum var að athuga hvort greina mætti breytingar í stress-sviði jarðlaga með endurteknum mælingum og hvort hægt væri að nota það til að spá fyrir um jarðskjálfta. Auk fyrrnefndra viðnámsmælinga voru í þessum tilgangi gerðar fleiri mælingar á vegum GFZ í holu LL-03 og í fimm öðrum borholum. Í lok tímabilsins bættust við mælingar í 2 öðrum borholum. Af mælingum gerðum í holu LL-03 á vegum GFZ má nefna holumyndun (*borehole televiewer*) og mælingu á hljóðhraða (*compensated sonic*). Mælingar GFZ voru gerðar með þeirra mælingabíl sem fluttur var til Íslands í þeim tilgangi. Almennt má segja um mælingarnar að endurtekningarnákvæmni þeirra var góð (P-bylgjuhraði, viðnám og náttúruleg gammageislun), en engar breytingar voru merkjanlegar milli mælingaferða auk þess sem skjálftavirkni var lítil á því tímabili sem mælingarnar náðu yfir.

Viðnámsmælingarnar sem GFZ gerði í holu LL-03 voru mældar með fjölskauta viðnámsmæli sem annars vegar mældi rafleiðni frá spanstraumi og hins vegar rafviðnám í þröngvudu straumsviði (*Dual Induction/LateroLog tool* (DIL)). Uppsetningin fyrir *LateroLog* mælinguna var af gerð LL3 sem þýðir að bilið þar sem straumlínurnar eru hornrétt frá mælinum er 12" (um 30,5 cm) og er skyndýpi mælingarinnar í samræmi við það. Viðnámsmæling GFZ með *LateroLog* LL3 uppsetningu ætti því að samsvara viðnámsmælingu Orkustofnunar fyrir 16" skautabilið. Skyndýpi þessara mælinga er því grunnt. Hins vegar á skyndýpi viðnámsmælingar Orkustofnunar fyrir 64" skautabilið og viðnámsmælingar GFZ með spanmælinum (ILM og ILD) að vera meira og sambærilegra. Nákvæmni í endurtekningarmælingum GFZ var góð fyrir *LateroLog* uppsetninguna en léleg fyrir spanmælinn, jafnvel fyrir viðnámsmælingar gerðar sama daginn. Því lagði GFZ enga áherslu á úrvinnslu spanmælinganna.

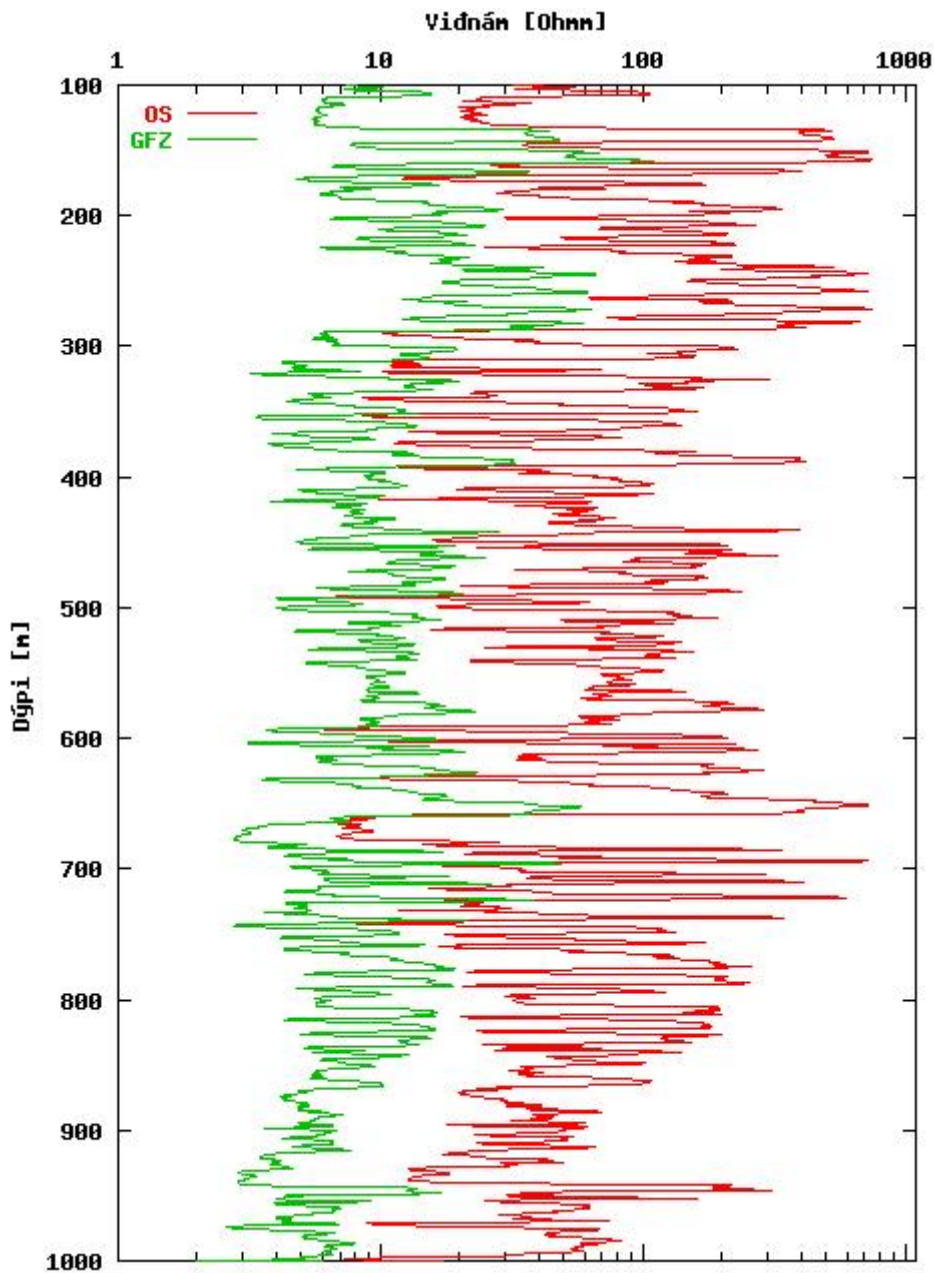
Í töflu 2 eru teknar saman upplýsingar um borholumælingar GFZ á tímabilinu 1996–1998. Í Nefsholts holunni (LL-03) voru gerðar 6 viðnámsmælingar í fyrstu ferð GFZ árið 1996, það er endurteknar þrisvar niður og upp holuna. Í síðari ferðinni það ár voru á sama hátt gerðar 2 viðnámsmælingar. Árið 1997 gerði GFZ 2 viðnámsmælingar í fyrri ferð sinni og 5 í síðari ferðinni, en síðasta upp-mælingin skemmdist. Árið 1998 voru svo gerðar 4 viðnámsmælingar í einni ferð. Orkustofnun hefur hins vegar aðeins fengið tölvutækt afrit af síðustu 4 mælingunum og eingöngu *LateroLog* hluta þeirra ásamt öllum *LateroLog* mælingunum teiknuðum á pappírstrimil. Gott innbyrðis samræmi er milli mælinganna og stafar mismunur milli þeirra aðallega af smávægilegri dýptarhlíðrun milli einstakra ferða mælisins í holuna.

Upplausn mælipunkta er u.þ.b. 15 cm í viðnámsmælingum GFZ, meðan upplausnin í viðnámsmælingum Orkustofnunar er 50 cm. Lítið suð er á merkinu og mælipunktar raðast nokkuð vel á mjúka kúrfu, en endurtekningarnákvæmnin er eins og áður segir góð. Á mynd 15 er teiknað saman viðnám mælt af Orkustofnun annars vegar og GFZ hins vegar. Helsti munurinn á mælingunum er sá að gildin í mælingu Orkustofnunar eru u.þ.b. stærðargráðu hærri en gildin í mælingu GFZ.



Þessi mismunur í mæligildum kom fram strax við byrjun mælinga GFZ í holunni 1996 og taldi GFZ hann stafa af kvörðunarskekkju í sínum mæli þar sem spanviðnámsmælingarnar sýndu hærri gildi. GFZ gerði hins vegar ekkert til að laga kvörðun mælisins því í verkefninu skipti breytingin milli mælinga meira máli heldur en raungildið. Útslagið í viðnámsmælingum Orkustofnunar er að jafnaði meira en í viðnámsmælingum GFZ og ætti kvörðunarskekkja ekki að hafa áhrif á það því mælingarnar eru teiknaðar á log-kvarða. Annars eru kúrfurnar mjög líkar og má víðast sjá sömu einkennin í mælingu Orkustofnunar og GFZ.

Um samanburð viðnámsmælinga gerðum af Orkustofnun í Nefsholts holunni (LL-03) fyrir og eftir suðurlandskjálftana í júní 2000, er vísað til greinargerðar eftir Guðlaugsson and Thordarson frá 2000. Fyrir frekari umfjöllun um borholumælingar GFZ er vísað til skýrslu Stefánsson et al. (2000) (sjá kafla 3.4. Subproject 4: Borhole monitoring of fluid-rock interaction).



**Mynd 15.** Samanburður á viðnámsmælingum Orkustofnunar (OS) og GeoForschungsZentrum (GFZ).

