

**Mælingar á þóruhluta jarðlaga við Laugaland
í Eyjafirði. Verklýsing og áætlun**

Ólafur G. Flóvenz

Greinargerð ÓGF-93/11

1993-11-29

MÆLINGAR A PÓRUHLUTA JARÐLAGA VIÐ LAUGALAND Í EYJAFIRÐI Verklýsing og áætlun

1. INNGANGUR

Póruhluti er einn þeirra þátta sem mikilvægur er við að ákvarða eiginleika jarðhita-kerfa. Póruhluti er skilgreindur sem rúmmálshlutfall holrýmis í bergi. Fyrir vatnsmett- að berg jafngildir póruhluti vatnsinnihaldi. Póruhluti í íslensku bergi er aðallega af tvennum toga; sprungupóruhluti og holupóruhluti og er sprungupóruhlutinn oftast ríkj- andi stærð. Sprungupóruhlutinn verður til við að sprungur myndast í bergi vegna kón- unar þess eða vegna spennu í jörðu sem veldur jarðskorpuhreyfingum. Oft er hann greindur í undirflokk, við tölum um smásæjar sprungur (mikróspókiskar) sem eru oft aðeins fáeinir míkrómetrar á breidd og stórar sprungur (makróskópiskar) sem eru mun víðari. Holupóruhluti er aðallega til kominn vegna gasbóla sem eru í hrauninu þegar það storknar en gasið lekur síðan úr.

Í forðafræðireikningum skiptir póruhluti talsverðu máli, einkanlega þegar kemur að því að reikna hve mikinn varma má nema úr heitu bergi t.d. með niðurdælingu á köldu vatni. Einnig skiptir póruhlutinn verulegu máli í mati á kólnun vatns vegna innrennslis á köldu vatni. Fyrir berg á íslenskum jarðhitasvæðum má ætla að póruhluti liggji í flestum tilfellum á bilinu 5-25%. Hærri gildin eru aðallega bundin við tiltölulega ungt berg og lítt ummyndað meðan lægri gildin tengjast fremur gömlu og ummynduðu bergi.

Í þeim útreikningum sem gerðir hafa verið á áhrifum niðurdælingar á Laugalandi í Eyjafjarðarsveit (Guðni Axelsson og fl., 1993) er reiknað með því að póruhluti bergsins þar sé 10%. Sú tala er ágiskuoð tala út frá jarðfræðilegum forsendum. Til að fá öruggra mat á póruhlutanum er æskilegt að reyna að ákvarða hann með beinum mælingum.

2. AÐFERÐIR TIL AÐ MÆLA PÓRUHLUTA

Til eru ýmsar aðferðir til að mæla póruhluta. Hér á eftir er gefin stutt lýsing á ýmsum aðferðum sem beita má til póruhlutamælinga.

1. **Mæling á kjörnum** er einfaldasta aðferðin og sú sem gefur öruggast gildi. Hún felst í beinni mælingu á kjarnabút. Þá er eðlisþyngd kjarnans mæld, oftast bæði fyrir þurrt og vatnsmettað sýni, en síðan er sýnið mulið í duft og fundinn eðlis- massi mylsnunnar. Út frá þessum upplýsingum er hægt að reikna póruhlutann. Þótt þarna fáist nákvæm mæling á póruhluta sýnisins fylgir sá galli þessari aðferð

að aðeins er unnt að mæla mjög lítil sýni (fáeina cm^3) en jarðhitakerfið sjálft er nokkrir km^3 að stærð, eða 15 stærðargráðum stærra. Jafnvel þótt unnt sé að mæla mjög mörg sýni næst aldrei sýnishorn nema af litlum hluta kerfisins auk þess sem kjarnasýnataka í borholum er mjög dýr. Að auki hefur mæling á litlum sýnum tilhneigingu til að gefa of lág gildi vegna þess að stórar sprungur koma ekki fram í litlum kjörnum.

2. **Meta má póruhluta út frá hefðbundnum jarðlagamælingum í borholum.** Þar hafa nifteindamælingar reynst notadrjúgar. Þær mæla þó ekki póruhluta beint heldur heildarfjölda vetnisatóma í berginu. Þar kemur því kristalvatn fram sem póruhluti og einnig önnur efni en vatn, ef þau innihalda vetni. Viðnámsmælingar í borholum eru einnig póruhlutaháðar en gagna lítið einar sér þar sem margir aðrir þætti eins og hiti, ummyndunarstig og selta vatnsins, koma þar við sögu. Einnig gefa hefðbundnar jarðlagamælingar einungis upplýsingar um jarðlög í nokkurra cm lagi í holuveggjunum en eimitt þar má búast við að borunin sjálf hafi breytt ástandi bergsins. Þannig er t.d. líklegt að sprungur myndist við holuveggina vegna borunarinnar og kælingar skolvatnsins og valdi þannig staðbundinni hækkun póruhluta.
3. **Líklega er hægt að reikna póruhluta út frá návæmnishitamælingum í borholum.** Í nýlegri skýrslu Orkustofnunar (Valgarður Stefánsson, 1993) er sýnt fram á að varmaleiðni bergs á Íslandi er að mjög háð póruhluta. Nota má návæmnishitamælingar til að mæla varmaleiðni ef gengið er út frá þeirri forsendu að lóðrétt varmaflæði sé stöðugt á litlu dýptarbili (nokkrum tugum metra) í borholu. Þá koma breytingar í varmaleiðni fram sem breytingar í lóðréttum hitastigli sem síðan má umreikna í póruhlutabreytingar. Þessi aðferð ætti að ganga þar sem lóðréttur hitastigull er fyrir hendi, t.d. í dýpsta hluta holu LJ-8.
4. **Nota má jarðeðlisfræðilegar mælingar frá yfirborði til að reikna póruhluta.**

Viðnámsmælingar hafa verið gerðar vítt og breitt um Eyjafjörð. Þær skynja eðlisviðnám jarðlaga í efstu 500-800 m jarðar. Sýnt hefur verið fram á hvernig samband ríkir milli eðlisviðnáms, hita, póruhluta, seltu og ummyndunar í íslensku basalti (Ólafur G. Flóvenz, 1985). Ef hiti, selta og ummyndunarstig eru þekkt má nota viðnámsmælingar til að meta póruhlutann. Það mat er hins vegar fremur ónákvæmt þar sem leiðréttu þar fyrir áhrifum margra annarra þátta.

Þyngdarmælingar má oft nota til að reikna eðlisþyngd jarðlaga og út frá því póruhluta. Aðstæður í Eyjafirði eru hins vegar ekki þannig að sú aðferð henti.

Bylgjubrotsmælingar gefa upplýsingar um hljóðhraða í lárétta stefnu eftir jarðlögum. Þær eru gerðar þannig að hljóðbylgjur eru framkallaðar með sprengingu við yfirborð og mældur sá tími sem það tekur bylgjuna að fara að röð bylgjunema í tiltekinni fjarlægð. Þar sem bylgjurnar fara því dýpar á leið sinni sem lengra er milli skot- og mælistaða má reikna bylgjuhraðann sem fall af dýpi. Sýnt hefur verið fram á að gott línulegt samband er milli hljóðhraða í basalti og póruhluta (Cristensen og Wilkens, 1982) en það byggir á umfangsmiklum mælingum á kjarna úr um 2000 m djúpri borholu á Reyðarfirði. Gerðar hafa verið

bylgjubrotsmælingar í grennd við Laugaland í Eyjafirði. Þær mælingar voru gerðar í samvinnu Orkustofnunar og Sovésku Vísindaakademíunnar árið 1986. Gæði mælinganna reyndust mikil en ekki hefur verið fullunnið úr þeim þótt meginniðurstöður liggi fyrir. Niðurstöður hafa því aldrei verið birtar þótt þær hafi verið notaðar í vinnu Orkustofnunar.

Bylgjubrotsmælingar hafa þó einn galla sem getur valdið vanmati á útreiknum póruhluta. Jarðskorpan á Íslandi er nær lárétt lagskipt og skiptast á lög með mismunandi hljóðhraða og þar með mismunandi póruhluta. Bylgjurnar sem mældar eru hafa tilhneigingu til að berast eftir jarðlögum með háum hljóðhraða sem veldur vanmati á póruhluta.

VSP-mælingar (VSP = vertical seismic profiling) eru notaðar til að mæla hljóðhraða lóðrétt niður í jörðina. Þær byggja líkt og bylgjubrotsmælingar á því að hljóðbylgjur eru búnar til með sprengingu við yfirborð en bylgjunemum er komið fyrir í borholum í stað þess að vera á yfirborði. Með þessu móti fæst hljóðhraðasnið lóðrétt gegnum lagskipta jarðskorpuna og því ætti póruhlutamát byggt á VSP mælingum að gefa gildi sem er meðalgildi póruhluta jarðlaga frá sprengistað að mælistað í holunni.

3. PÓRUHLUTAMÆLINGAR Í EYJAFIRÐI

Til að fá sem nákvæmast mat á póruhluta í jarðhitakerfinu við Laugaland og nágrenni þess er lagt til að eftirfarandi aðferðafræði verði beitt:

1. Gerðar verði VSP mælingar í holu LJ-8 við Laugaland, holu GW-1 við Grýtu og holu TN-1 eða TN-2 á Ytri Tjörnum. Mælingarnar verða gerðar í samvinnu við Háskólann í Ósló (UiO). Niðurstöður verði bornar saman við póruhlutagildi sem fást úr bylgjubrotsmælingunum frá 1986.
2. Gerðar verði nákvæmnishitamælingar í þeim hlutum holnanna þar sem hitastigull er. Niðurstöðurnar verði notaðar til að meta póruhlutann.
3. Niftendamælingar verði gerðar í þeim borholunum þar sem fullnægjandi mælingar eru ekki fyrir hendi. Niðurstöður notaðar til að meta póruhlutann.
4. Viðnámsmælingar á yfirborði og í borholum verði einnig notaðar til að meta póruhlutann.

Með þessu móti fæst mat á póruhluta út frá mörgum mismunandi aðferðum þótt VSP-aðferðin gefi væntanlega áreiðanlegustu niðurstöðurnar fyrir jarðhitakerfið í heild sinni.

4. FRAMKVÆMD VERKSINS

Verkið verður unnið í samvinnu Orkustofnunar og jarðfræðideildar Háskólans í Ósló (UiO) og Hitaveitu Akureyrar. Aðilar þessa verkefnis taka þátt í því á dálítið mismunandi forsendum.

Áhugi háskólans í Óslo á þessu verkefni liggur í því að sambærileg jarðlög er að finna á landgrunni Noregs undan Vestur Noregi. Þeir þurfa upplýsingar um hvort vænta megi misleitni (anisótrópíu) í hljóðhraða, þ.e. upplýsingar um hvort hljóðhraði er mismunandi lóðrétt og lárétt í slíkri jarðskorpu. Misleitni hefur mikil áhrif á útreikning á þykktum og dýpi niður á mismunandi jarðlög út frá bylgjubrots- og endurkastmælingum, en slíkar mælingar eru gerðar í stórum stíl á landgrunni Noregs.

Áhugi Hitaveitu Akureyrar beinist fyrst og fremst því að fá beinar upplýsingar um þóruhluta á Laugalandi til að nota við forðafraeðilega reikninga á svæðinu. Eins má nota niðurstöðurnar til að kvarða samband þóruhluta og nifteindamælinga og fá þannig út frá nifteindamælingum þóruhluta á öðrum vinnslusvæðun HVA.

Áhugi Orkustofnunar er, auk þess að afla forðafraeðilegra upplýsinga um Laugaland, fólgin í því að fá gott mat á það hvaða aðferðafraeði henti best til þóruhlutaákvæðana í jarðhitakerfum en einnig kemur það til góða vegna rannsókna á sviði mannvirkja-jarðfraeða að fá upplýsingar um anisótrópíu í hljóðhraða.

Framkvæmd verksins er áætluð á eftirfarandi hátt:

1. Daga 6-10. desember verða framkvæmdar VSP-mælingar. Menn frá Háskólanum í Óslo koma með sérstakan bylgjunema fyrir borholur sem tengdur verður mælingabíll Orkustofnunar með sérstöku tengistykki sem smíðað var í Noregi til þessara nota. Þessa daga verður allur tækjabúnaður prófaður og reynt að safna eins miklum gögnum og unnt er á þessum tíma. Hugsanlega þarf að endurtaka mælingarnar eða auka við þær í sumar ef tæknileg vandamál koma upp. Við mælingarnar verða fimm menn, þrír frá Orkustofnun og tveir frá Óslo.
2. Á árinu 1994 verða gerðar nauðsynlegar jarðlagamælingar í holunum til að meta megi þóruhlutann frá nifteindamælingum, nákvæmnishitamælingum og viðnámsmælingum í holunum.
3. Úrvinnsla VSP-mælinganna og samanburður við bylgjubrotsmælingar verða aðallega í höndum Sverre Planke sérfræðings við Háskólann í Óslo í samvinnu við sérfræðinga OS. Úrvinnsla og mælingar í borholum aðrar en VSP-mælingar og þóruhlutaútreikningar verða á höndum sérfræðinga OS.

5. KOSTNAÐUR OG SKIPTING HANS

Gert er ráð fyrir að Háskólinn í Óslo greiði allan kostnað við eigin mannskap, bæði ferðir þeirra og vinnu að frátöldu uppihaldi í Eyjafirði. Þeir munu einnig greiða stærsta hlutann af sprengiefninu sem notað verður ásamt smíði á tengistykki milli borholubylgjunemans og mælibíls OS. Útlagður kostnaður þeirra við verkið er um 600.000 kr auk vinnulauna. Lauslega metið er því heildarframlag Háskólans í Óslo til verksins 1,8 Mkr ef einungis er tekið tillit til þeirrar vinnu sem beint mun nýtast við þóruhlutamælingarnar.

Á Orkustofnun er verið að vinna að sérstöku verkefni sem kostað er af ríkissjóði að hluta gegn mótframlagi orkufyrirtækja. Verkefnið ber heitið "Rannsókn jarðhita til raforkuvinnslu" og er það unnið í samvinnu við Landsvirkjun, Hitaveitu Reykjavíkur og

Hitaveitu Suðurnesja. Einn þáttur þessa verkefnis nefnist "Forðafræðistuðlar" og miðast að því að þróa aðferðir sem nota má til að finna og fá mat á ýmsum forðafræðilegum eiginleikum bergs svo sem póruhluta. Samvinnuverk það sem hér er lýst fellur því vel að markmiðum þessa verkþáttar raforkuverkefnisins og því heppilegt að póruhlutamælingarnar í Eyjafirði verði unnar á sviðuðum grundvelli. Kostnaðarskipting milli Orkustofnunar og Hitaveitu Akureyrar yrði því þannig að Orkusatofnun greiddi 40% kostnaðar en HVA 60%.

Í viðauka er gróf kostnaðaráætlun fyrir verkið í heild sinni. Samkvæmt því yrði heildarkostnaði við verkið skipt milli þáttakenda sem hér segir:

Hitaveita Akureyrar (HVA)	1.783.000
Orkustofnun (OS)	1.189.000
Háskólinn í Ósló (UiO)	1.827.000
Samtals	4.799.000

Áætlað er að verkinu ljúki á árinu 1994.

6. HEIMILDIR

Christensen N.I. og R.H. Wilkens, 1982: *Seismic properties, Density and Composition of the Icelandic Crust Near Reydarfjörður*. J. Geophys. Res, 87, bls 6389-6395.

Guðni Axelsson, Ólafur G. Flóvenz, Hrefna Kristmannsdóttir og Guðrún Sverrisdóttir, 1993: *Laugaland í Eyjafjarðarsveit. Tilraun með niðurdælingu vatns*. Orkustofnun, OS-93052/JHD-13, 56s.

Valgarður Stefánsson, 1993: *Varmaleiðni og póruhluti*. Orkustofnun, OS-93038/JHD-11. 41s.

**Áætlaður kostnaður við þóruhlutamælingar í Eyjafirði
1993-94**

Verkþáttur	Ein.verð	Fj. ein	Verð	Hluti OS	Hluti HA
Undirbúningur	2.806	60	168.360	67.344	101.016
VSP - mælingar, vinna	2.806	250	701.500	280.600	420.900
VSP-mæling metragjald	21	5.200	109.200	43.680	65.520
Borholumælíbíll	30.888	6	185.328	74.131	111.197
Mælíbíll	7.227	6	43.362	17.345	26.017
Upphald	5.000	18	90.000	36.000	54.000
Samtals árið 1993			1.297.750	519.100	778.650
Mælingar í borholum:					
Hitamælingar	34	1.500	51.000	20.400	30.600
n-n mælingar	50	2.500	125.000	50.000	75.000
viðnámsmælingar	42	2.500	105.000	42.000	63.000
viðdarmælingar	34	2.500	85.000	34.000	51.000
Mælíbíll	30.888	3	92.664	37.066	55.598
Upphald	5.000	3	15.000	6.000	9.000
vinna við mælingar	2.806	100	280.600	112.240	168.360
Úrvinnsla, skýrslugerð	3.068	300	920.400	368.160	552.240
Samtals árið 1994			1.674.664	669.866	1.004.798
Samtals 1993 - 1994			2.972.414	1.188.966	1.783.448
Áætlað framlag UiO:					
Útlagður kostnaður			600.000		
Vinna	3.068	400	1.227.200		
Samtals			1.827.200		
<i>Yfirlit:</i>	<i>Kr</i>	<i>%</i>			
<i>Hlutur HVA</i>	<i>1.783.448</i>	<i>37</i>			
<i>Hlutur OS</i>	<i>1.188.966</i>	<i>25</i>			
<i>Hlutur UiO</i>	<i>1.827.200</i>	<i>38</i>			
<i>Heildarkostnaður</i>	<i>4.799.614</i>	<i>100</i>			