

Jafnvægishiti bergs reiknaður út frá
upphitunarferli borholu

Halldór Halldórsson, Ólafur G. Flóvenz

Greinargerð HH-ÓGF-81/01

JAFNVÆGISHITI BERGS REIKNADUR ÚT FRÁ
UPPHITUNARFERLI BORHOLU

Halldór Halldórsson
Ólafur G. Flóvenz

HH-ÓGF-81/01

Nóvember 1981

JAFNVÆGISHITI BERGS REIKNADUR ÚT FRÁ UPPHITUNARFERLI BORHOLU

Inngangur

Við borun eftir heitu vatni er mjög mikilvægt að geta fengið upplýsingar um berghita jafnóðum og borað er. Kemur þar einkum tvennt til. Í fyrsta lagi er mun auðveldara að taka ákvörðun um bordýpi í rannsóknarborunum ef hægt er að fylgjast með raunverulegum berghitabreytingum með dýpi. Má þannig spara drjúgan skilding sem ella færi í tilgangslausa borun. Í öðru lagi er ekki unnt að fá ákvörðun á berghita sem fall af dýpi eftir að borhola hefur hitt á vatnsæð sem gefur sjálfrennsli úr holu. Lögun berghitaferilsins gæti hins vegar veitt mikilvægar upplýsingar um vatnsæðina, t.d. sagt til um hvort hún lægi lárétt eða væri lítið hallandi frá lóðréttu.

Skolvatnaskæling í borun kemur í veg fyrir að fá megi marktæka beina berghitamælingu meðan á borun stendur. Hér á eftir er gerð grein fyrir reikniaðferð til að meta ótruflað hitastig bergs í borholu út frá upphitunarferli borholunnar í borhléi. Beitt er breyttri útfærslu á aðferð sem sett var fram í grein Albright J.N., 1975 "A New and More Accurate Method for the Direct Measurement of Earth Temperature Gradients in Deep Boreholes". Samin hafa verið tölvuforrit til að framkvæma reikningana og skila niðurstöðum á prentara og tölvuteiknara. Sýnd eru dæmi um notkun aðferðarinnar við rannsóknarborun í Eyjafirði.

Grundvallaraðferð

Í borhléi er hitamæli rennt niður á botn holunnar og upphitunin skráð á sírita sem falla af tíma. Einnig má hugsa sér að holan sé í heild hitamæld reglulega með stuttu millibili í borhléi. Unnið er úr hitunarferli, sem sýnir hitastig sem fall af tíma fyrir nokkur tímagildi. Veljum einhvern þessara punkta, köllum hann (t_0, θ_0) og skoðum upphitun holunnar með hann sem byrjunarpunkt. Gera má ráð fyrir því að hraði upphitunar borholuvökvans sé í réttu hlutfalli við muninn á ótrufluðu hitastigi bergsins, θ_∞ , og hitastigi borholuvökvans $\theta(t)$ á tímabili sem er stutt miðað við þann tíma sem það tekur holuna að fullhitna.

Þá fæst diffurjafnan

$$\frac{d}{dt} \theta(t) = c \cdot (\theta_{\infty} - \theta(t)) \quad \theta(t_0) = \theta_0$$

þar sem c er fasti. Þessi jafna hefur lausnina

$$\theta(t) = \theta_{\infty} - (\theta_{\infty} - \theta_0) \exp(-c(t-t_0)) \quad (1)$$

Nú má taka búta af hitunarferlinum (númeraða með $i = 1, 2, 3, \dots$), sem hefjast á mælipunkti (t_0^i, θ_0^i) og ná yfir ákveðinn fjölda mælipunkta N og meta stuðlana c^i og θ_{∞}^i fyrir hvern búa. Sé sambandið milli stærðanna θ_{∞}^i og c^i teiknað liggja punktarnir á ferli, sem er boginn upp í fyrstu, en nálgast síðan að vera bein lína. Sé þessi beina lína dregin og látin skera θ_{∞} -ásinn fæst nálgunargildi fyrir berghitastigið θ_{∞} .

Útfærsla reikninga

Í upphafi eru valin nokkur mismunandi gildi á fjölda punkta N á mæli-ferilsbútnum sem nota skal. Fyrir hvert gildi á N er framkvæmdir eftirfarandi reikningar. Tekin er hver röð N mæligilda á ferlinum (t_0^i, θ_0^i) , $(t_1^i, \theta_1^i), \dots, (t_{N-1}^i, \theta_{N-1}^i)$ og metnir stuðlarnir c^i og θ_{∞}^i þannig að upphitunarferillinn (1) falli sem best að mæliferlinum á þessum punktum. Þetta er ólínulegt minnsta kvaðrat vandamál, því lágmörkuð er summa kvaðrata leyst með Levenberg-Marquardt aðferð. Þessir reikningar eru unnir í forritinu WELTEM.

Síðan þarf að teikna graf af (θ_{∞}^i, c^i) fyrir hvert gildi á N og kanna hvort samband stærðanna sé línulegt. Stundum víkja punktarnir frá beinni línu fyrir lítil gildi á c^i og er þá aðeins tekinn hinn línulegi hluti grafsins. Forritið WELPÍO teiknar punktana inn í hnitakerfi.

Nú er unnt að ákveða hvaða gildi á N skal nota til áframhaldandi úrvinnslu. Hægt er að taka aðeins eitt gildi eða sameina niðurstöður fyrir fleiri gildi á N .

Þegar valin hafa verið (θ_{∞}^i, c^i) gildin út úr fyrrgreindum reikningum er reiknuð lína gegnum punktastafnið með aðferð minnstu kvaðrata og metið lokagildi á θ_{∞} . Það er forritið WELREG sem það gerir.

Tölvuvinnsla

Til að vinna úr einum upphitunarferli þarf að fylgja eftirfarnandi verklýsingu.

- a) Mæligögn með tíma og hitastigi sett í tölvuskrá.
- b) Forritið WELTEM keyrt nokkrum sinnum fyrir búta með mismörgum mælipunktum. Það skrifar (θ_{∞}^i , C^i) gildin á tölvuskrár.
- c) Forritið WELPLO látið lesa niðurstöðurnar úr b) og teikna þær.
- d) Valið úr niðurstöðunum til endanlegrar úrvinnslu og forritin WELL og WELPLO hugsanlega keyrð aftur.
- e) Forritið WELREG látið lesa niðurstöðurnar úr d) og meta ótruflað hitastig bergsins.

Sýnishorn reikninga

Við rannsóknarborun við Neðri-Reykhúsalaugar í Eyjafirði sumarið 1981 var sá háttur á hafður að hitamæli var rennt niður gegnum borstangirnar og niðurrundir botn á hverju kvöldi eftir að borun lauk. Var hann tengdur sírita er skráði upphitun holunnar um nóttina. Að morgni voru hita- og tímahnit lesin af upphitunarferlinum og umrædd reikniaðferð notuð til að nota jafnvægishitastig hverju sinni. Tafla eitt sýnir gildi sem lesin voru af upphitunarferlinum á 239 m dýpi og mynd 1 (θ_{∞} , C)-línurit þegar notaðir voru 13, 15 og 17 punktar á mæliferlinum. Skurðpunktur bestu línu gegnum punktana á mynd 1 gefur $46,2^\circ$ jafnvægishita. Holan mældist þann 11. sept. $47,0^\circ$ á 239 m dýpi, og hefur þá líklega náð hitajafnvægi.

Tafla 1

Tími í mín.	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Hitast. í °C	13,5	17,1	19,9	22,1	23,8	25,6	27,0	28,1	29,1
Tími í mín.	200	220	240	260	280	300	320	340	360
Hitast. í °C	30,1	30,9	31,7	32,5	33,1	33,7	34,1	34,6	35,2
Tími í mín.	380	400	420	440	460	480	500	520	540
	35,6	35,9	36,5	36,8	37,0	37,3	37,6	37,9	38,1

Heimild

J.N. Albright 1975: A New and More Accurate Method for Direct Measurement of Earth Temperature Gradients in Deep Boreholes. Proceedings. Second U.N. Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources x. 847-851.



REYKHUS

Hola RY8, 239m dýpi

13,15 og 17 punktar

