

ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

UM HUGMYND AÐ TÚLKUN

AFKASTAFERLA HÁHITAHLA.

eftir

Jón Steinar Guðmundsson

UM HUGMYND AÐ TÚLKUN
AFKASTAFERLA HÁHITAHLA.

eftir

Jón Steinar Guðmundsson

Inngangur.

Afkastaferlar borhola sýna mælt samband rennslis og mótþrýstings í holutoppi. Í háhitaholum eru þessar mælingar framkvæmdar með aðferð sem byggir á vendiþrýstingi (critical pressure) í stöðluðu útstreymisopi (1). Það er skilyrði við mælingar afkastaferla að borholan sé nálægt jafnvægi og rennslisþjöðnun eða aukning sé óveruleg á mælitímanum.

Afkastaferlar eru til fyrir nokkrar háhitaholur eins og þær voru skömmu eftir borun (2-5). Jafnframt eru til óbirtar mælingar fyrir borholur í Kröflu. Þessir ferlar eru venjulega notaðir sem gögn um framleiðslugetu borhola - seinni mælingar sýna svo hvort rennslisbreyting eigi sér stað með tíma. Afkastaferlar virðast lítið notaðir við túlkun á borholustreymi og eðli jarðhitasvæða.

Almennt um þrýstifall.

Samband þrýstifalls p og rennslis W við mismunandi aðstæður má skrifa sem

$$\Delta p \propto W^n \quad (1)$$

þar sem n er einhver veldisvísir. Gildi n stjórnast mikið til af rennslisgerð; lagstreymi eða ólgustreymi. Í einfasa lagstreymi er gildið yfirleitt $n = 1$ en í ólgustreymi stjórnast það mikið til af aðstæðum. Til dæmis er þrýstifall við einfasa ólgustreymi í rörum gefið með jöfnunni

$$\Delta p = 2f \frac{l}{d} \rho u^2 \quad (2)$$

þar sem f = viðnámsstuðull
 l = lengd rörs
 d = þvermál rörs
 ρ = eðlisþyngd vökva
 u = rennslishraði

Ef yfirborð rörsins telst hrúft er viðnámsstuðullinn óháður rennslis hraða og þrýstifallið er gefið með sambandinu

$$\Delta p \propto W^2 \quad (3)$$

Hinsvegar, ef yfirborð rörsins telst slétt þá er viðnámsstuðullinn háður rennslinu og gefur Blasius-jafnan

$$f = \frac{0.0791}{Re^{0,25}} \quad (4)$$

þá samilega nálgun (Re er Reynolds-tala). Í óhrúfu röri er samband þrýstifalls og rennslis því

$$\Delta p \propto W^{1,75} \quad (5)$$

Við aðrar aðstæður en í rörum gilda svipaðar líkingar. Rannsóknir á sambandi þrýstifalls og rennslis snúast gjarnan um það að finna hvaða n gildi fellur best að mældum gögnum.

Þrýstifall við jarðhitaaðstæður.

Samband þrýstifalls og rennslis hefur verið athugað í nokkrum jarðhitasvæðum. Í Broadlands hefur það verið sýnt (6) að eftirfarandi samband er á milli heildarrennslis W og niðurdráttar $\Delta p'$

$$W \propto \sqrt{\Delta p'} \quad (6)$$

Þetta samband gildir því fyrir rennslu í bergi að borholu. Einföld umskrifun sýnir að veldisvísirinn $n = 2$. Svo virðist sem heitt vatn renni um bergganga í Broadlands-svæðinu á svipaðan máta og vatn í hrúfum rörum; samanber jafna 3.

Gufurennslu í borholum í Larderello hefur verið athugað með tilliti til toppþrýstings (7). Það var sýnt að jafnan

$$\left(\frac{W}{W^*}\right)^n + \left(\frac{P}{P^*}\right)^n = 1 \quad (7)$$

gildir fyrir borholurnar þegar W^* er áætlað rennsli við hverfandi mótþrýsting ($p > 0$) og p^* er lokunarþrýstingur. Mældir afkastaferlar sýndu að veldisvísirinn var á bilinu $1.4 < n < 2$. Meðalgildið var $n = 1.7$. Hægt er að teikna mælt rennsli og toppþrýsting á log-log pappír. Sé þetta gert fyrir borholu Lago 7 fæst bein lína með hallastuðul sem jafngildir $n = 1.79$ í jöfnu 3. Því má ætla að rennsli gufu í Larderello-holum sé ekki ósvipað einfasa rennsli í óhrúfum rörum; samanber jafna 5.

Afkastaferill borholu 5 í Olkaria hefur verið felldur að jöfnu 7 og það sýnt að $n = 1.9$ gefi góða línu (8).

Athugun á afkastaferlum.

Mældir hafa verið afkastaferlar fyrir holur 2, 3 og 4 í Svartsengi (5). Til að athuga samband rennslis og mótþrýstings má teikna þessar mælingar á mismunandi vegu. Myndir 1-3 sýna afkastaferla þessara hola teiknaða sem W , W^2 og W^3 gegn mótþrýstingi. Mynd 1 sýnir venjulegan afkastaferil; aukinn mótþrýstingur minnkar afköst holunnar.

Mynd 2 sýnir rennslið í öðru veldi gegn mótþrýstingi. Ef samband heildarrennslis og toppþrýstings er eins og í hrúfum rörum, eiga línurnar að vera beinar. Ferill holu 2 virðist mynda beina línu en ferlar holu 3 og holu 4 eru auðsýnilega bogdir.

Mynd 3 sýnir rennslið í þriðja veldi gegn mótþrýstingi. Vegna þess að ferill holu 2 var svo til beinn á mynd 2, þá bogar hann órítið hérna. Ferill holu 4 virðist nokkuð beinn, þó örlar á boga við hátt rennsli. Við skoðun á ferli holu 3 sést að skipta má ferlinum í tvo hluta; beinum köflum með hné við mótþrýsting $\sim 11,5$ atg. Á mynd 4 er teiknuð þriðjaveldislína fyrir borholu 8 á Reykjanesi (4). Þessi lína skiptist einnig í tvo beina hluta og er hnéð við mótþrýsting ~ 13 atg.

Afkastaferlar fyrir aðrar borholur hafa verið teiknaðir með rennslið í fyrsta-, öðru- og þriðjavelði. Borhola 4 í Námafjalli (3) myndar sæmilega beina línu þegar rennslið í öðruvelði er teiknað gegn mótþrýstingi. Borhola 3 í Námafjalli (2) sýnir minni afköst en hola 4 og er afkastaferill hennar orðinn flatur við lágan mótþrýsting - holan hefur væntanlega náð hámarksrennsli. Annarsveldislína hola 3 er örlítið bogin og þriðjaveldislínan ekki nógu bein. Samband rennslis og mótþrýstings er því ekki ljóst fyrir hola 3. Afkastaferill hola 2 í Kröflu myndar beina línu þegar rennslið í þriðjavelði er teiknað gegn mótþrýstingi.

Túlkunaratriði.

Þeir afkastaferlar sem til eru fyrir borholur í háhitasvæðum virðast því sýna beinar línur ef heildarrennslið í öðru- eða þriðjavelði er teiknað gegn mótþrýstingi; flestar holur sýna þriðjaveldisferla. Hugsanlegar ástæður fyrir þriðjaveldishegðun háhitahola geta verið margar. Eitt atriði sem vekur athygli er það að þriðjaveldishegðun virðist frekar koma fram í afkastamiklum holum; samanber hola 4 í Svartsengi og hola 8 á Reykjanesi. Samband heildarrennslis og mótþrýstings virðist því tengjast rennslisraða.

Án tillits til hvaða veldissamband tengir heildarrennsli og mótþrýsting borhola í Svartsengi, þá er athuglisvert að skoða hallastuðla þessara hola. Á mynd 3 sést að afkastaferill hola 4 er brattari en ferill hola 2. Með öðrum orðum; afköst hola 4 aukast örar við lakkandi mótþrýsting. Ferill hola 3, aftur á móti, skiptist í tvo hluta. Við háan mótþrýsting er hallastuðull ferilsins svipaður hola 4 - því má ætla að sama fyrirbæri takmarki rennsli holanna. Þegar mótþrýstingur hola 3 er lægri en $\sim 11,5$ atg lækkar hallastuðullinn og verður svipaður og fyrir hola 2 - svo virðist sem annað eðlisfyrirbæri takmarki rennsli við þessar aðstæður.

Til að varpa ljósi á þessa hegðun borhola í Svartsengi er eftirfarandi tilgátu varpað fram: Umhverfi (berg eða borhola) suðuborðs hefur afgerandi áhrif á það samband sem ríkir á milli heildarrennslis og mótþrýstings í holutoppi. Á mynd 3 kemur þetta fram sem mismunandi hallastuðull á línulegu sambandi rennslis (í þriðja veldi) og mótþrýstings. Tilgátan segir ekkert um hvers konar þrýstifall (þungi, viðnám eða hröðun) takmarkar heildarrennslis borhola. Samkvæmt þessari tilgátu mætti túlka afkastaferla borhola í Svartsengi á eftirfarandi máta: Í holu 4 byrjar suðan í holunni sjálfri, við hvaða mótþrýsting sem er, en í holu 2 byrjar suðan alltaf út í bergi. Í holu 3 aftur á móti, byrjar suðan í holunni við háan mótþrýsting en út í bergi við lágan mótþrýsting.

Niðurstöður.

Einfasa rennslis vatns eða gufu í bergi og borholum virðist hlýta sömu lögmálum og einfasa rennslis í rörum. Þriðjaveldissamband virðist gilda á milli heildarrennslis og mótþrýstings í sumum háhitaholum með tvífasa rennslis; sérstaklega ef heildarrennslid er hátt.

Umvhverfi suðuborðs við háhitaaðstæður virðist hafa afgerandi áhrif á samband heildarrennslis og mótþrýstings í borholum. Teiknaðir afkastaferlar geta sýnt hné þegar suðuborð færast á milli borholu og bergs. Þessa niðurstöðu mætti nota við túlkun afkastaferla borhola í jarðhitasvæðum þar sem langtíma vinnsla leiðir til niðurdráttar; hné í afkastaferli gæfi þá til kynna hvenær suðuborð færast út í berg.

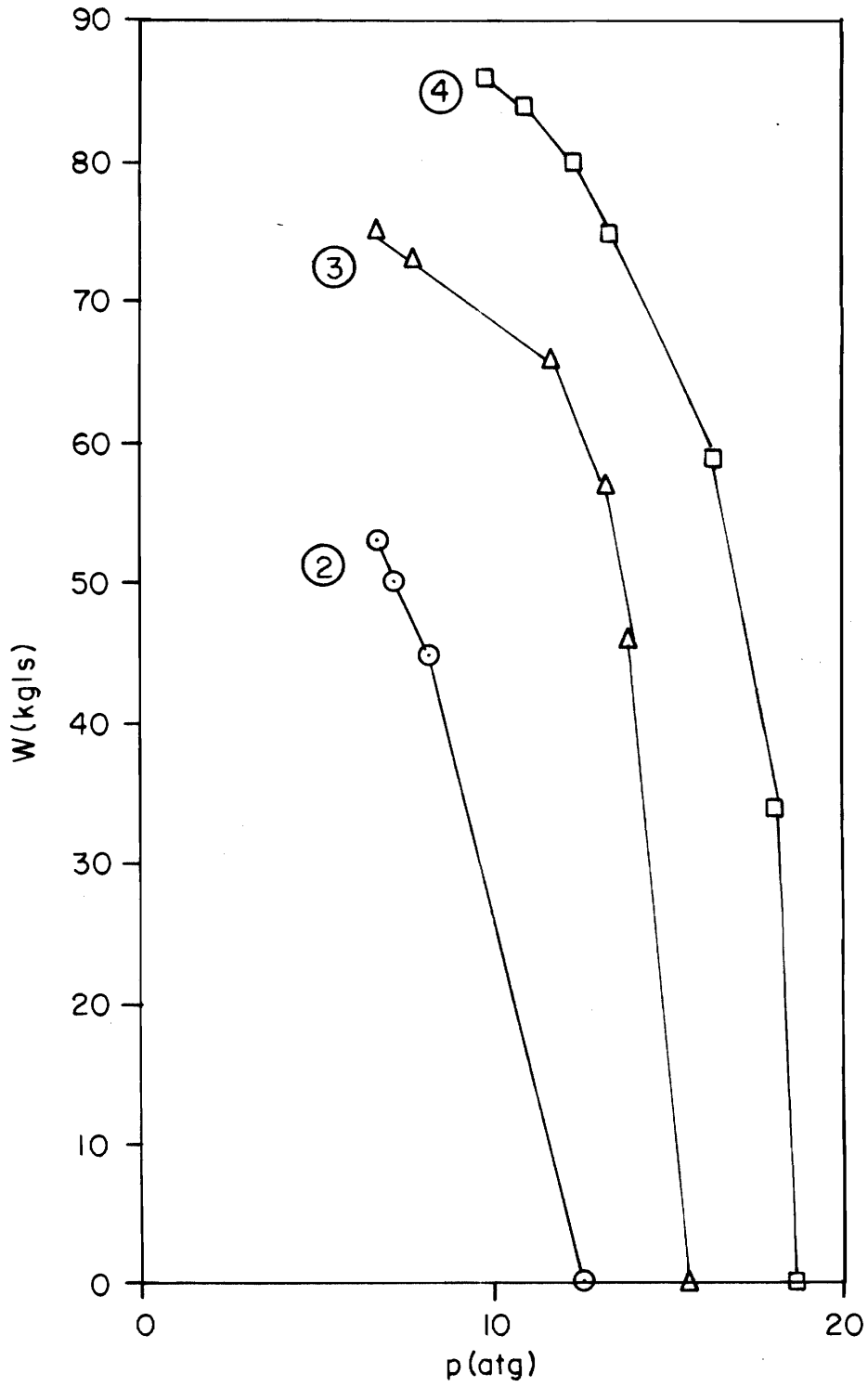
Heimildir.

1. "Greinargerð um aflmælingar á gufuholum", Sveinbjörn Björnsson, Sigurður Benediktsson, OS-JHD júní 1968.
2. "Aflmæling á N-3, Námafjall", Sveinbjörn Björnsson, OS-JHD júlí 1968.
3. "Aflmæling - Borhola N-4 Námafjalli", Stefán Arnórsson, OS-JHD des. 1969.
4. "Reykjanes - Heildarskýrsla um rannsókn jarðhitasvæðisins", OS-JHD feb. 1971.
5. "Rannsókn á jarðhitasvæðinu í Svartsengi", Stefán Arnórsson o.fl., OS-JHD júní 1975.
6. "Factors Controlling Borehole Performance", R. James, Geothermics, Special Issue 2, 1502-1515, (1970).
7. "Some Considerations on the Flow-rate/Pressure Curve of the Steam Wells at Larderello", O. Rumi, Geothermics, 1 (1), 13-23, (1972).
8. "Feasibility Report for the Olkaria Geothermal Project.", SWECO/VIRKIR, des. 1976.



Afkastaferlar borhola í Svartsengi

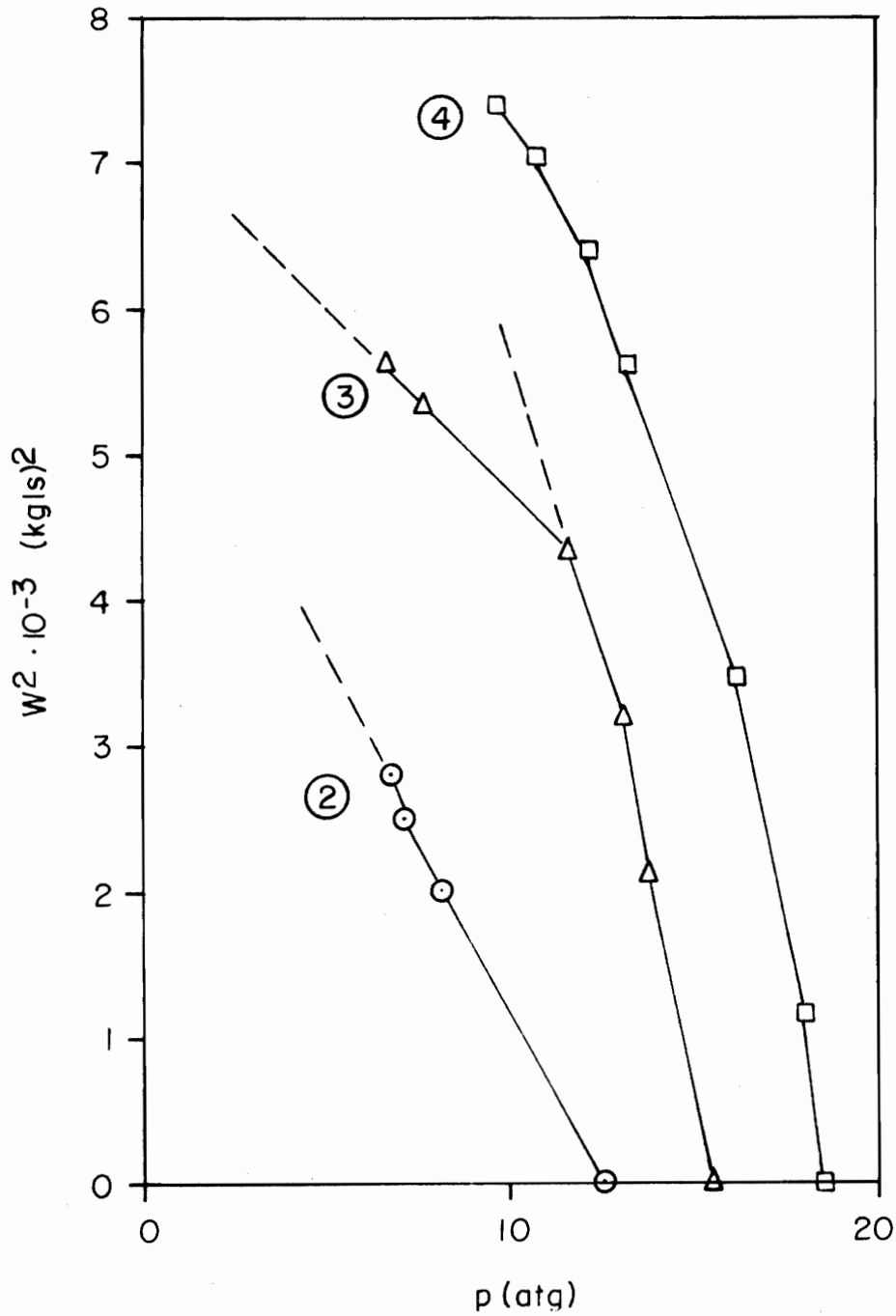
Mynd I





Annarsveldisferlar borhola í Svartsengi

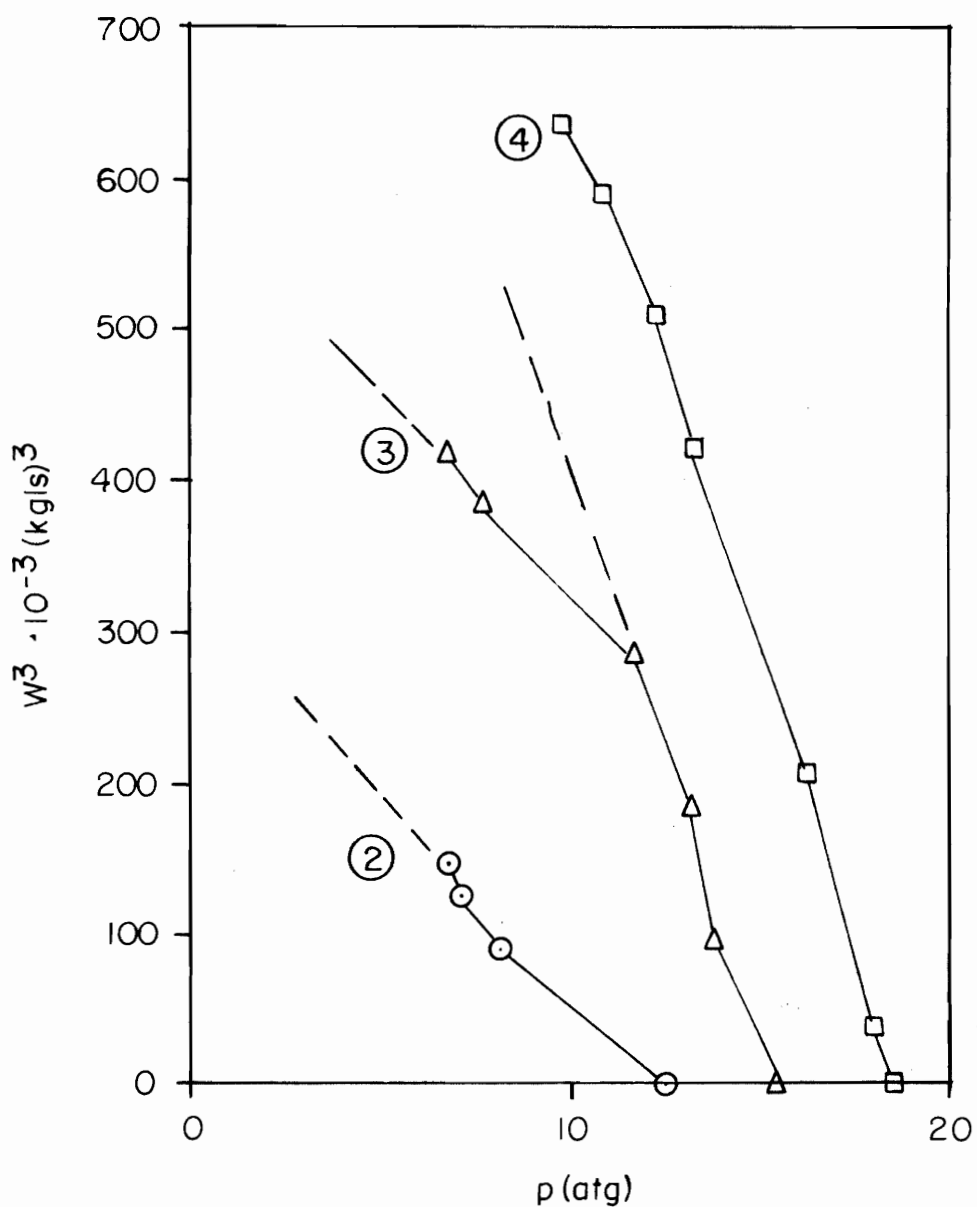
Mynd 2





Þriðjaveldisferlar borhola í Svartsengi

Mynd 3





Þriðjaveldisferill holu 8 á Reykjanesi

Mynd 4

