



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

KRAFLA

**Um niðurdælingu affallsvatns
á Hvíthólasvæði**

Benedikt Steingrímsson
Halldór Ármannsson

OS-84026/JHD-08 B

Mars 1984



ORKUSTOFNUN

GRENSÁSVEGI 9, 108 REYKJAVÍK

KRAFLA

**Um niðurdælingu affallsvatns
á Hvíthólasvæði**

Benedikt Steingrímsson
Halldór Ármannsson

OS-84026/JHD-08 B

Mars 1984

EFNISYFIRLIT

	Bls.
EFNISYFIRLIT	2
1 INNGANGUR	3
2 RENNSLI ÚR VINNSLUHOLUM (KJ-21 OG 22) OG VIÐTÖKUGETA NIÐURDÆLINGARHOLU (KJ-23)	3
3 KÆLING VINNSLUSVÆÐIS	4
4 ÚTFELLINGAR	4
5 EFTIRLIT	6
6 HELSTU NIÐURSTÖÐUR	7
HEIMILDIR	9

TÖFLUR

1 Holur KJ-21 og KJ-22. Ópalmettun	11
--	----

MYNDIR

1 Staðsetning borhola á Hvíthólasvæði	12
2 Hóla KJ-23. Dæluprófun 21. og 22. sept. 1983	13
3 Holur KJ-21 og KJ-22. Bland. Áhrif hitunar á jónamargfeldi (Ca^{+2}) og (CO_3^{-2})	14

1 INNGANGUR

Áætlanir eru í gangi um tengingu Hvíthólasvæðisins við Kröfluvirkjun. Gert er ráð fyrir að komið verði upp gufuskiljum niðri við Hvíthóla, og gufan leidd þáðan upp að virkjun. Vatnið frá skiljunum verður hins vegar ekki nýtt frekar, og því fleygt.

Hér á eftir verður reifuð sú hugmynd að dæla affallsvatninu niður í holu KJ-23. Niðurdælingin hefur tvíþættan tilgang. Annars vegar að losna við affallsvatnið, sem annars veldur umhverfisspjöllum á yfirborði, og hins vegar að vinna á móti niðurdætti vegna vinnslu úr jarðhitakerfinu.

2 RENNSLI ÚR VINNSLUHOLUM (KJ-21 og 22) OG VIÐTÖKUGETA

NIÐURDÆLINGARHOLU (KJ-23)

Þær holur, sem yrðu tengdar Kröfluvirkjun, eru holur KJ-21 og KJ-22. Samkvæmt aflmælingum yrði affallsvatn frá holunum u.þ.b. 40 kg/s þ.e. 25 kg/s frá holu KJ-21 og 15 kg/s frá KJ-22. Hér á eftir verður fjallað um þann möguleika að dæla affallsvatninu niður í holu KJ-23, sem er um 150 m suðvestan holu KJ-21 (mynd 1).

Hola KJ-23, sem var boruð haustið 1983, tók við um 10 kg/s við borlok (Ásgrímur Guðmundsson o.fl. 1983). Helstu æðar eru á 600 og 700 m dýpi, en hola var boruð í 1968 m dýpi. Eftir borun var hola KJ-23 dæluprófuð, og fékkst m.a. út frá prófuninni, hver vatnsborðsstaðan er í holunni við mismunandi ádælingu. Niðurstöðurnar eru sýndar á mynd 2, og kemur þar fram, að við skiljuþrýsting (10 bar = 100 m í vatnshæð) tekur hola við 15-20 kg/s. Það er því fyrir sjáanlegt að einungis er hægt að losna við um helming affallsvatnsins í holu KJ-23.

3 KÆLING VINNSLUSVÆÐIS

Eitt helsta áhyggjuefni varðandi niðurdælingu eru kæliáhrif hennar á vinnslusvæðið, og þar með hugsanleg aflskerðing vinnsluhola. Í Otake í Japan hefur t.d. varmainnihald allra vinnsluhola lækkað verulega í kjölfar niðurdælingar (Hayashi o.fl. 1978). Í þessu sambandi er talið mikilvægast að niðurdælingarholur séu ekki of nærri vinnsluholum. Því eru gjarnan gerðir líkanreikningar um áhrif niðurdælingar, áður en ráðist er í slíkt, eins og vel er þekkt frá reikningum, sem gerðir hafa verið um niðurdælingu í eldri vinnslusvæði Kröfluvirkjunar (Pruess o.fl. 1984). Einnig má geta ítarlegra reikninga fyrir holur á Cerro Prieto svæðinu í Mexíkó (Tsang o.fl. 1984), þar sem höfundar komast að þeirri niðurstöðu, að óhætt sé að dæla niður 30% af heildarrennsli vinnsluhola (við 165°C) ef fjarlægð niðurdælingarholu frá þeim er 600 m eða meiri. Þar sem hola KJ-23 er einungis í 150-300 m fjarlægð frá vinnsluholum, er full ástæða til að gefa þessu gaum.

4 ÚTFELLINGAR

Annar vandi, sem steðjar að við niðurdælingu, er útfelling efna. Affallsvatn frá Otake og Hatchobaru er t.d. látið renna niður í Otake svæðið í Japan við andrúmsloftsþrýsting og hitastig á bilinu 70-95°C. Vatnið í jarðhitageyminum þar er 230-250°C heitt, og hafa niðurdælingarholur stíflast smátt og smátt (Defferding og Walter 1978; Hayashi o.fl. 1978), og er talið líklegast, að kísilfelling valdi. Í Ahuachapán í El Salvador er dælt niður u.p.b. 160°C heitu vatni í jarðhitageymi, sem í er u.p.b. 235°C heitt vatn. Niðurdælingarholurnar eru í nokkur hundruð metra fjarlægð frá vinnslusvæðinu, og hafa hvorki útfellinga- né kælingarvandamál látið á sér kræla (Cuéllar o.fl. 1981).

Þéttivatni með u.p.b. 600 mg/kg steinefnainnihaldi er dælt í Geysissvæðið í Kaliforníu. Er þar um að ræða svipaðan steinefnastyrk og í affallsvatninu á Hvíthólasvæðinu. Eina vandamálið, sem þar hefur komið upp, er myndun brennisteinsfellingar, en hana má koma í veg fyrir með því að halda hitastigi ofan bræðslumarks brennisteins (Defferding og Walter 1978), sem er u.p.b. 120°C.

Ljóst er, að frumskilyrði er að halda niðurdælingarvatni ofan ópalmettunarþrýstings til að koma í veg fyrir kísilfellingu. Í töflu 1 eru skráð ópalmettunarmörk við mismunandi skilyrði fyrir 5 sýni úr KJ-21, auk marka fyrir 1 sýni úr KJ-22, og blöndu úr KJ-21 og KJ-22 miðað við 11 bar a þrýsting. Niðurstaðan er sú, að vatni úr KJ-22, sem skilið er við 11 bar a þrýsting má dæla niður við allt niður undir andrúmsloftsþrýsting (1,2 bar a), en hliðstæðu vatni úr KJ-21 má ekki dæla niður við lægri þrýsting en 10-12 bar a. Efnasamsetning blöndu (5 hlutar KJ-21 vatn + 3 hlutar KJ-22 vatn) hefur verið reiknuð og fundið, að henni má dæla niður við 5-6 bar a, hafi hún verið skilin við 11 bar a.

Í engri umfjöllun er minnst á hættu á kalkútfellingum, en fræðilega séð ætti hún að vera veruleg. Ekki er nóg með, að vatnið yfirmettist með tilliti til kalsíumkarbónats við suðukælingu heldur yfirmettast það enn frekar við endurhitun. Reiknuð hefur verið yfirmettun kalsíts í ofangreindri blöndu við 184°C (mettunarhitastig við 11 bar a skiljuþrýsting), og eftir hitun í þrepum í 270°C, en þá er komið fram yfir hæsta hitastig, sem mælst hefur í Hvíthólasvæðinu. Á mynd 3 eru tveir ferlar. Sá efri sýnir yfirmettun, ef gert er ráð fyrir, að ekkert kalsíumkarbónat falli út í vinnsluholum og skiljum, en sá neðri, ef gert er ráð fyrir, að útfelling þess að mettunarmörkum fari fram, áður en hitun hefst. Raunverulegt ástand liggur sennilega þar á milli (á skyggða svæðinu), en munur er ekki mikill. Af ferlunum sést, að yfirmettun eykst mjög með hækkandi hitastigi. Við 240-250°C hefur hún náð svipaðri stærðargráðu og þekkt er í renni holu KJ-9, sem stíflast árvisst af kalkútfellingum, en rennsli úr henni hefur verið áþekkt sameinuðu vatnsrennsli KJ-21 og 22, þ.e. 40-50 kg/s. Að ofan var þess getið, að ekki eru líkur til þess, að hola KJ-23 geti tekið við nema 15-20 kg/s. Ekki er gert ráð fyrir að affallsvatn sjóði, en suða ylli útfellingum í formi tappa á takmörkuðu dýptarbili eins og í holu KJ-9. Hins vegar verður að huga að því, að lekt holunnar er lítil og þarf e.t.v. ekki mikla útfellingu til að rýra not hennar sem niðurdælingarholu verulega.

5 EFTIRLIT

Helstu markmið eftirlits eru:

- 1) Að sjá um, að niðurdæling sé gerð við réttan þrýsting, þ.e. ofan ópalmettunarmarka.
- 2) Að sjá hvernig þrýstingur í jarðhitakerfi breytist. Þar sem hluti af vökva Hvíthólasvæðisins er í gufu-fasa, er hætta á þéttingu, er niðurdælt vatn kemst í snertingu við hann. Það er því ekki sjálfgefið að þrýstingur í jarðhitakerfinu hækki við niðurdælingu.
- 3) Fylgjast þarf vel með varmainnihaldi vinnsluhola, og grípa til viðeigandi aðgerða, ef það fer að lækka.
- 4) Athuga þarf, hvort lekt niðurdælingarholu og með tímanum vinnsluhola breytist.
- 5) Kanna þarf ferðahraða vatnsins frá niðurdælingarholu til vinnsluhola, en kælingarhætta er háð honum.

Til þess að ná þessum markmiðum er mælt með eftirfarandi aðgerðum:

- 1) Fylgjast vel með toppþrýstingi niðurdælingarholu. Í fyrstu væri rétt að sfirni skráði þrýsting, en að upplýsingum frá honum fengnum væri unnt að taka ákvörðun um aflestur með ákveðnu millibili.
- 2) Öðru hverju þarf að stöðva dælingu og prófa viðbrögð holanna. Gera þarf lektarprófanir og mæla hitastig og þrýsting í öllum holum.
- 3) Aflmæla skal vinnsluholur með reglulegu millibili, tiltölulega oft í byrjun en síðan má lengja það eftir því hver reynslan verður. Þar sem varmainnihald getur minnkað skyndilega eftir að hafa verið lengi stöðugt má sá tími ekki verða of langur. Rétt væri að fylgjast með toppþrýstingi vinnsluhola líka. Eftir langt dælingartímabil (t.d. 6 mán. - 1 ár) kæmi til greina að hleypa upp niðurdælingarholu og athuga breytingar á varmainnihaldi eftir niðurdælinguna og við blástur í nokkurn tíma (t.d. einn mánuð) með þeim fyrirvara, að holan hafi blásið áður en niðurdæling hefst.
- 4) Gera þarf ferlunarprófanir. Ekki er alveg ljóst hvaða efni henta best til þeirra. Í Nýja Sjálandi og Filippseyjum hefur geislavirka samsætan I-131 og í minni mæli Br-82 verið notuð (McCabe o.fl. 1980, 1981). Í El Salvador hefur trítíum verið notað á svipaðan hátt með góðum árangri (Einarsson o.fl. 1975). Orkustofnun hefur ekki aðstöðu til slíkra

mælinga, en hana hefur Raunvísindastofnun Háskólans, og mætti athuga um samvinnu, ef til kæmi. Japanir hafa notað kalfumjóðið mikið við ferlunarprófanir (Horne 1982) og í ráði er að nota það í Svartsengi næsta sumar á vegum Hitaveitu Suðurnesja og Orkustofnunar. Verði góður árangur þar, er heppi- legast að nota sér þá reynslu og tækjakost. Í seinni tíð hefur rutt sér mjög til rúms notkun flúr- ljómunarefna við ferlun. Helstu kostir þeirra eru lágt verð og þægileg mælitækni. T.d. hefur flúore- scein verið notað bæði við lekaprófanir í Sigöldu- lóni (Electrowatt/Virkir 1980), við ferlunarprófanir í nágrenni Mývatns (Þóroddur Þóroddsson o.fl. 1983) og í Urriðavatni (Jón Benjamínsson og Sigmundur Einarsson 1983). Er reynsla og tækjakostur fyrir hendi á Orkustofnun til notkunar þess. Talið hefur verið óvíst að unnt væri að nota flúrljómunarefni við háhitaferlun, þar sem þau vilja eyðast við háan hita. Japanir hafa þó getað notað fluoroscein til að fá komutíma rennslis í vinnsluholur, en það er mikilvægasta stærðin sem úr slíkum prófunum fæst (Horne 1982). Í áður nefndri Svartsengistilraun á að reyna að nota flúrljómunarefnið rhodamine WT í þessu skyni og er rétt að fylgjast vel með niðurstöðum þeirra tilrauna.

- 5) Fyljast þarf sérstaklega með gashlutföllum í vinnsluholum, þar sem vel þekkt fyrirbæri er aukning köfnunarefnis í gasi fyrir áhrif niðurdælingar, sennilega vegna andrúmsloftsblöndunar við niður- dælingu (Horne 1982, Jón Örn Bjarnason 1983).

6 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

- Hóla KJ-23 getur í mesta lagi tekið við 15-20 kg/s af vatni
- Hóla KJ-23 er stutt frá vinnslusvæði og væri því ráðlegt að reikna lauslega hugsanleg áhrif niðurdælingar til kælingar jarðhitageymisins.
- Ópalmettun vatns, sem skilið er við 11 bar a, er við 10-12 bar a frá hólun KJ-21, við 5-6 bar a úr blöndu frá KJ-21 og KJ-22 (5 + 3), en 1-2 bar a frá KJ-22.
- Hætta er á kalsítútfellingum við niðurdælingu.
- Til greina kemur að dæla eingöngu úr KJ-22 í KJ-23, þar

sem affallsvatn þaðan er álfka mikið og viðtökugeta KJ-23, og minni hætta er á kísilfellingum ef KJ-21 er ekki með.

- Fylgjast þarf með þrýstingi, hitastigi, varmainnihaldi og lekt holanna, auk þess sem gera þarf ferlunarprófanir, eftir að niðurdæling hefst.

HEIMILDIR

Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðjón Guðmundsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Hilmar Sigvaldason, Hjörtur Tryggvason og Ómar Sigurðsson 1983: Krafla, Hóla KJ-23. Borun vinnsluhluta holunnar. Orkustofnun OS-83082/JHD-27B, 11 s.

Cuéllar, G., Choussy, M. og Escobar, D. 1981: Extraction - reinjection at Ahuachapán geothermal field, El Salvador. In: Rybach, L. Muffler, L.J.P. (Editors). Geothermal systems: Principles and case histories. John Wiley and Sons. Ltd.: 321-336.

Defferding, L.J. and Walter, R.A. 1978: Disposal of liquid effluents from geothermal installations. Geothermal Res. Council Trans. 2: 141-144.

Einarsson, S.S., Vides, R.A. and Cuéllar, G. 1975: Disposal of geothermal waste water by reinjection. Proc. 2nd U.N. Symposium on geothermal energy, San Francisco, California: 1349-1363.

Electrowatt/Virkir 1980: Sigalda reservoir. Summary of main findings from the tracer test summer 1980. Landsvirkjun, Reykjavík.

Hayashi, M., Mimura, T. and Yamasaki, T. 1978: Geological setting of reinjection wells in the Otake and the Hatchobaru geothermal fields. Geothermal Res. Council Trans. 2: 263-266.

Horne, R.N. 1982: Effects of water injection into fractured geothermal reservoirs: A summary of experience worldwide. Stanford Geothermal Program, Stanford, California.

Jón Benjaminsson og Sigmundur Einarsson 1983: Tillögur um frekari íblöndun flúoroscein kenniefnis í Urriðavatn. Orkustofnun, JBen-SE-83/01, 4 s.

Jón Örn Bjarnason 1983: Efnasamsetning jarðsjávar og gufu í Svartsengi 1980-1983. Orkustofnun, JÖB-83/03, 24 s.

McCabe, W.J., Barry, B.J. and Manning, M.R. 1980: Tracer

tests - Wairakei, Institute of Nuclear Sciences.
Report INS-R-275 DSIR.

McCabe, W.J., Barry, B.J. and Manning, M.R. 1981:
Radioactive tracers in geothermal underground water
flow studies, Institute of Nuclear Sciences Report
INS-R-298, DSIR.

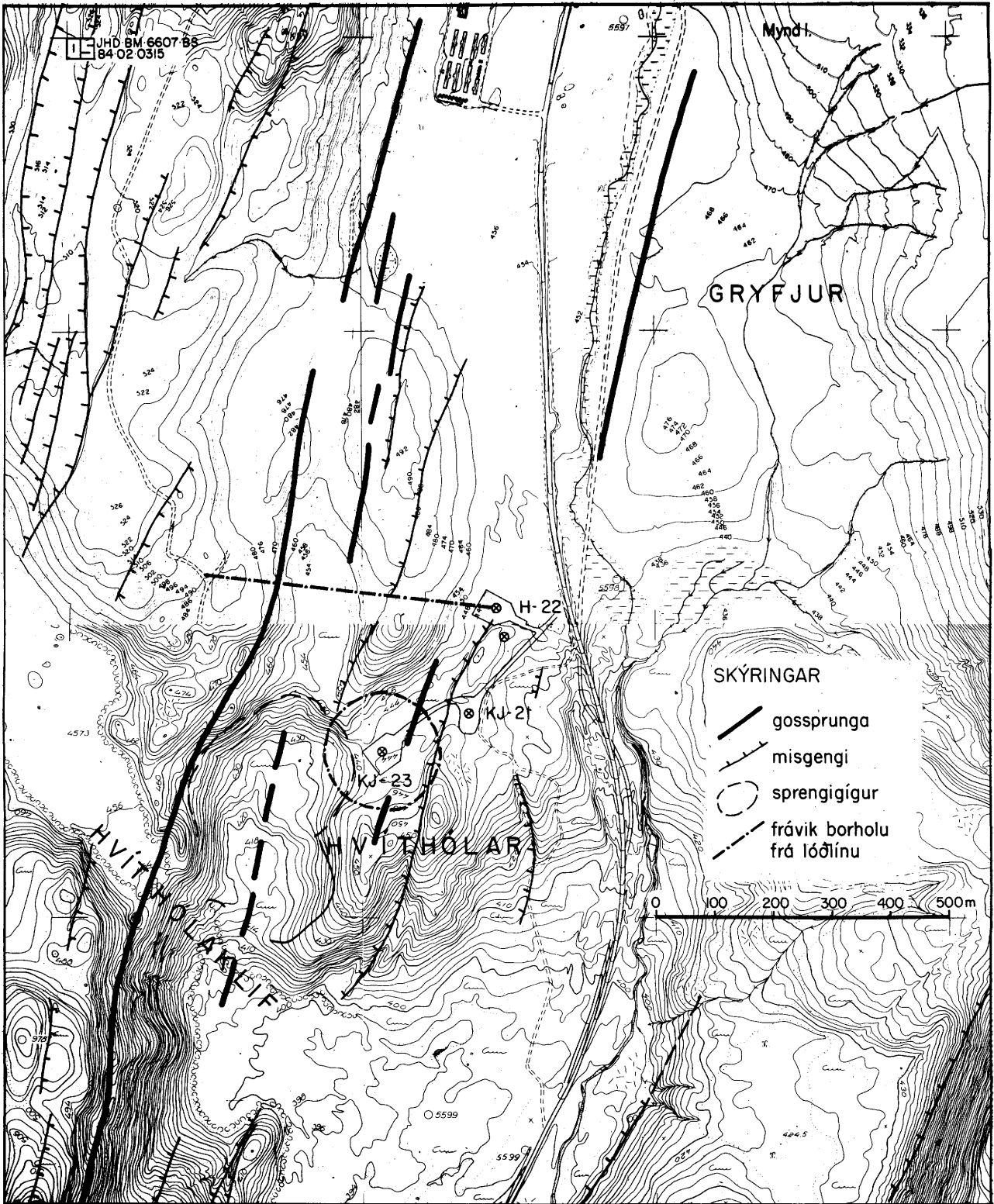
Pruess, K., Böðvarsson, G.S., Stefánsson, V. og Elfsson,
E.T. 1984: The Krafla geothermal field, Iceland. 4.
History match and prediction of individual well
performance. *Water Res. Res* (í útgáfu)

Tsang, C.F., Mangold, D.C., Doughty, C. and Lippmann, M.J.
1984: Prediction of reinjection effects in the Cerro
Prieto geothermal system. *Geothermics* 13: 141-162.

Þóroddur Þóroddsson, Guttormur Sigbjarnarson, Ásgeir
Gunnarsson, Gunnar Þorbergsson og Jón Ólafsson 1983:
Kísiliðjan við Mývatn. Grunnvatnsrannsóknir.
Orkustofnun, OS-83118/VOD-10 (í útgáfu).

Tafla 1 Krafla. Holur KJ-21 og KJ-22. Ópalmettun

Hóla Nr.	Sýni Nr.	Dags.	Ópalmettun bar abs. við skiljuþrýsting					
			1 bar a	6 bar a	11 bar a	16 bar a	21 bar a	26 bar a
KJ-21	1124	82.11.27	7,0	8,9	9,4	9,7	9,8	9,9
KJ-21	1004	83.05.20	8,2	9,9	10,4	10,6	10,7	10,8
KJ-21	1036	83.08.01	8,9	11,2	11,8	12,0	12,2	12,4
KJ-21	1052	83.09.18	6,9	8,8	9,3	9,5	9,7	9,8
KJ-21	1073	83.11.01	7,9	10,0	10,5	10,8	11,0	11,1
KJ-21	Meðaltal		7,8	9,8	10,3	10,5	10,7	10,8
KJ-21	Staðalfráv.		0,84	0,98	1,0	1,0	1,0	1,1
KJ-22	1072	83.10.31			1,2			
KJ-21+KJ-22 1072+								
(5+3)blanda 1073 83.11.0					5,5			



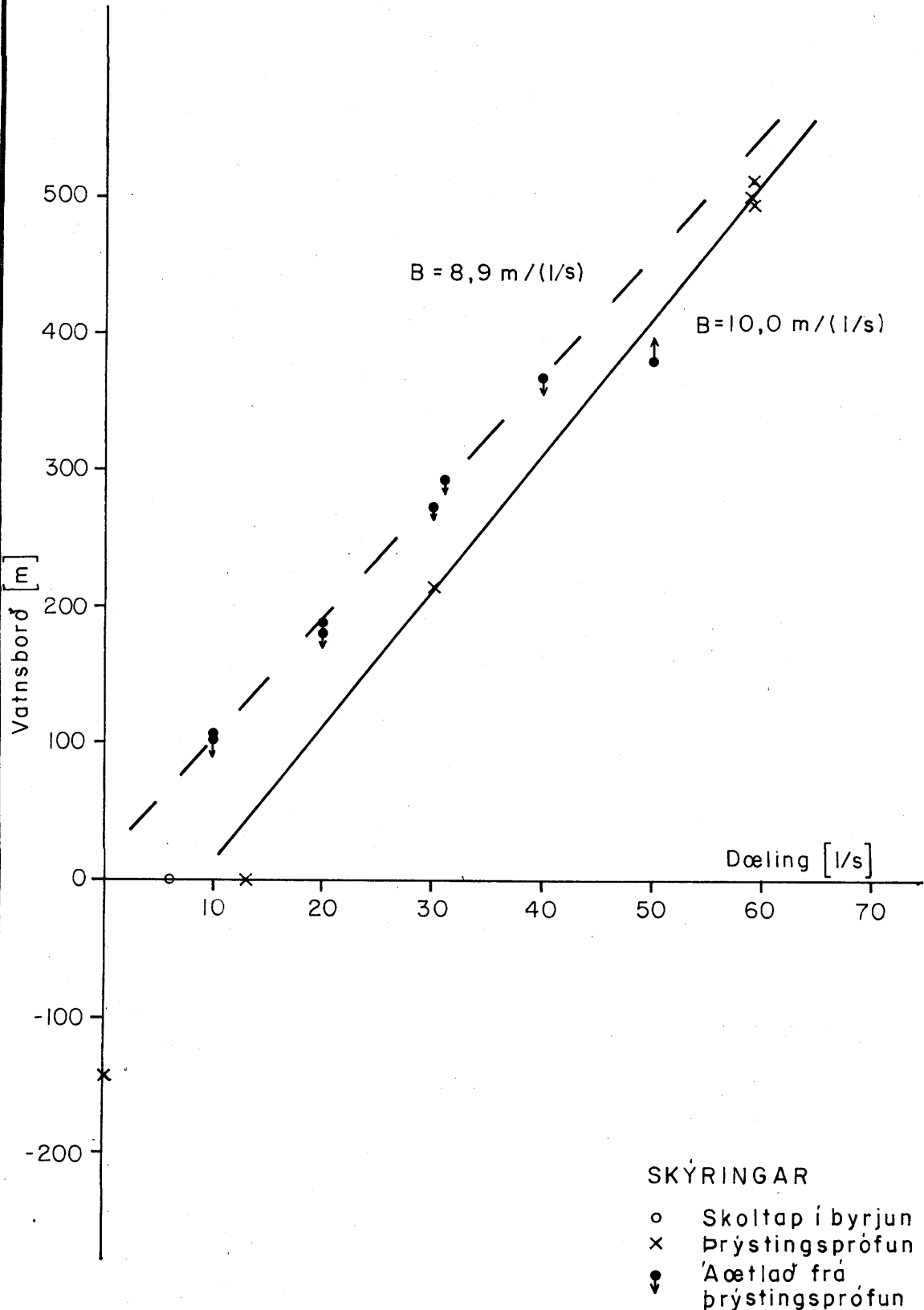


JHD-BM-6607. 0S.
83.09. 1299 Sy.J

Mynd 2

KRAFLA HOLA KJ-23

Dæluþrófun 21 og 22 sept. 1983



JHD-JEF-6607.HA
84.03.0400. SyJ.

KRAFLA. HOLUR KJ-21 og KJ-22, BLAND
Áhrif hitunar á jónamargfeldi $[Ca^{*2}]$ og $[CO_3^{*2}]$

Mynd 3

