



ORKUSTOFNUN  
Vatnsorkudeild

# **SVARTSENGI**

## **Athugun á vinnslu jarðhita**

**Snorri Páll Kjaran**  
**Jónas Elíasson**  
**Gísli Karel Halldórsson**

**OS80021/ROD10 - JHD17**  
Reykjavík, júní 1980

**Unnið fyrir**  
**Hitaveitu Suðurnesja**



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

# **SVARTSENGI**

## **Athugun á vinnslu jarðhita**

**Snorri Páll Kjaran**  
**Jónas Elíasson**  
**Gísli Karel Halldórsson**

**OS80021/ROD10 - JHD17**  
Reykjavík, júní 1980

**Unnið fyrir**  
**Hitaveitu Suðurnesja**



## ÁGRIP

Verkið er framhald á fyrri straumfræðirannsóknnum Orkustofnunar á jarðhitasvæðinu í Svartsengi. Megináhersla er lögð á útreikninga á vinnslugetu svæðisins og þrýstilækkun við vinnslu.

Sett er fram straumfræðilegt líkan af jarðhitasvæðinu, byggt á jarðfræðilegum forsendum og mælingum í þrem borholum. Jarðhitavatnið er talið upprunnið að hluta til sem regnvatn á hálendissvæði Reykjaneskaga. Þar leitar vatnið niður að mörkum lags 3 á um 3 km dýpi og berist síðan vestur eftir skaganum eftir lokaðri straumrás, svo kallaðri jarðskjálftarennu. Hún er um 3 km breitt belti, sem liggur frá Kleifarvatni út í Reykjanestá og innan þess eiga flest allir jarðskjálftar á Reykjanesi upptök sín. Skjálftarnir halda straumrásinni opinni. Sjávarblöndun á sér stað í þeim mæli, að í Svartsengi er jarðhitavökvinn orðinn sjór að 2/3 hlutum. Öll háhitasvæðin á Reykjanesi eru innan marka þessa jarðskjálftabeltis og virðast myndast þar sem sprungusveimar á yfirborði skera skjálftarennuna og veita vatni til efri jarðlaga.

Jarðfræðilegar athuganir sýna að í Svartsengi er meginjarðhitageymirinn takmarkaður að ofan af þéttu móbergslagi á um 600 m dýpi. Þar fyrir neðan eru basaltlög með dólerítinnskotum, og eru þau jarðlög mjög vel vatnsleiðandi. Straumfræðilegt líkan af jarðhitasvæðinu gerir ráð fyrir að uppstreymi heita vatnsins stöðvist að verulegu leyti á þessum jarðlagaskilum, það kólni nokkuð og leiti niður aftur og blandist innrennslisstraumunum á ný. Þannig myndist "konvektion" hringrás, sem valdi jöfnu hitastigi á svæðinu (240°C). Heita vatnið sjóði á uppleið og þar sem sprungur skera móbergið sleppi gufan til yfirborðslaga en affallsvatnið streymi burt í efri jarðlögum með grunnvatnsstraumum.

Vatnsborðsmælingar í borholum sýna að jarðhitasvæðið er mjög lekt og lárétt vatnsleiðni er 1 darcy, sem er með því mesta sem mælst hefur í nokkru jarðhitasvæði. Holur eru því aflmiklar. Þrátt fyrir þetta veldur vinnsla mikilli þrýstilækkun á svæðinu samkvæmt vatnsborðsmælingum. Þetta stafar af því að jarðhitageymirinn er lítill um sig, lekasta svæðið aðeins um 2 km<sup>2</sup> að flatarmáli, og umlukinn þéttum jöðrum á þrjá vegu. Gerð er spá um vinnslugetu svæðisins. Samkvæmt henni takmarkar þrýstilækkun mikla vinnslu til langframa verulega. Miðað við 4000 stundar árlegan nýtingartíma hitaveitu verður 200 m lækkun á 25 árum en hitaveita +8 MW rafmagnsframleiðsla með 6000 klst

nýtingartíma veldur um 250 m niðurdrætti á sama tíma. Afköst borhola í Svartsengi eru eingöngu háð vídd hola og þrýstingi í vatnsleiðara. Af þeirri ástæðu m.a. voru boraðar víðari holur en áður tíðkaðist. Kalkútfellingar verða í borholum við suðuborð og færast neðar eftir því sem þrýstingur lækkar, og takmarka þær m.a. leyfilega þrýstilækkun á svæðinu.

Reikningar á varmatapi frá jarðhitasvæðinu benda til að taka meggi að jafnaði 230 - 460 kg/s upp úr svæðinu, sé affallsvatni skilað aftur í kerfið. Útreikningar á þrýstilækkun svæðisins, sem miða við 200 m hámarks niðurdrátt, benda til að anna meggi þörfum hitaveitu +8 MW rafmagnsframleiðslu með 4000 klst nýtingartíma til aldamóta. En í því tilfalli er ekki gert ráð fyrir niurdælingu affallsvatns.

EFNISYFIRLIT

---

	Bl.s.
ÁGRIP .....	3
EFNISYFIRLIT .....	5
SKRÁ YFIR TÖFLUR .....	6
SKRÁ YFIR MYNDIR .....	6
0 YFIRLIT .....	9
1 INNGANGUR .....	13
2 YFIRLIT YFIR JARÐFRÆÐI OG VATNAFRÆÐI .....	15
2.1 Jarðfræði .....	15
2.2 Vatnafræði .....	16
2.3 Yfirlitslíkan af jarðhitasvæðinu .....	18
3 MÆLINGAR OG ÚRVINNSLA .....	29
3.1 Efnainnihald jarðhitavökvans .....	29
3.2 Vinnsla úr jarðhitasvæðinu og vatnsborðsmælingar .....	32
3.3 Afl vinnsluhola .....	36
3.4 Afl og orka varmaorkuvers .....	36
3.5 Viðnámsmælingar .....	36
4 VARMATAP JARÐHITASVÆÐIS .....	51
5 ÞRÝSTILÆKKUN VIÐ VINNSLU .....	61
6 AFLMINNKUN VIÐ VINNSLU .....	75
7 LEYFILEG ÞRÝSTILÆKKUN .....	79
8 NIÐURSTÖÐUR OG ÁLYKTANIR .....	81
HEIMILDASKRÁ .....	85
ENGLISH SUMMARY .....	87
VIÐAUKI: Orkuspa fyrir varmaorkuver í Svartsengi .....	89

TÖFLUSKRÁ

	Bls.
1 Klóríðmagn í borholum í Svartsengi 1973 - 1974 .....	30
2 Klóríðmagn í borholum í Svartsengi 1976 - 1979 .....	31
3 Vinnsla úr jarðhitasvæðinu í Svartsengi .....	34-35
4 Útreikningar á varmatapi jarðhitasvæðis .....	57
5 Hiti á innstreymisvatni sem fall af $\alpha$ og $\beta$ .....	58
6 Áhrif vinnslu á afl vinnsluhola .....	76

MYNDASKRÁ

	Bls.
1 Staðsetning jarðskjálfta á Reykjanesskaga 1971 - 1976 .....	20
2 Dýpi skjálfta í sniði A - A á mynd 1 .....	21
3 Dýpi skjálfta í sniði B - B á mynd 1 .....	22
4 Dýpi skjálfta í sniði C - C á mynd 1 .....	23
5 Langsnið af Reykjanesskaga, sem sýnir jarðhitasvæði, upptök jarðskjálfta, sprungusveima og írennslissvæði .....	24
6 Þversnið af jarðhitakerfinu (A - V) .....	25
7 Afrennslíkort af Reykjanesskaga .....	26
8 Árlegt vatnsjafnvægi á Reykjanesskaga .....	26
9 Tvívetnisinnihald úrkomu á Reykjanesskaga .....	26
10 Rennsliskerfi - einfaldað langsnið af Reykjanesi .....	27
11 Loftmynd af borsvæði .....	40
12 Vatnsborð í holu 5 og vinnsla úr jarðhitasvæðinu .....	41
13 Þrýstilækkun í holu H-5 í Svartsengi .....	42
14 Vinnsluferlar borhola H-2, H-3 og H-4 .....	43
15 Afkastamæling á holu H-5 í Svartsengi .....	44
16 Hitaveita Suðurnesja, vatnsnotkun .....	45
17 Lega viðnámsmælinga og -sniða .....	46
18 Viðnámsnið A - A' .....	47

19	Viðnám í vatnssýnum .....	48
20	Reykjaneskagi, lágviðnámssvæði, jarðskjálftarena og gígaraðir .....	49
21	Líkan af hringstreymi .....	52
22	Lóðrétt snið af hringstreymi .....	53
23	Ytri mörk jarðhitasvæðis .....	59
24	Jarðhitarena í Svartsengi og afstaða borhola til hennar .....	61
25	Vinnsla sem þrepafall .....	62
26	Mældur og reiknaður niðurdráttur í holu H-5 í Svartsengi ásamt vinnslu úr jarðhitasvæðinu .....	63
27	Þrýstilækkun á jarðhitasvæði við vinnslu 1 kg/s. Reiknað samkvæmt líkani af jarðhitarennu .....	64
28	Jarðhitarena í Svartsengi .....	65
29	Stækkaður þverskurður í leka svæðið á mynd 28 .....	66
30	Reiknistærðir í jarðhitalíkani með leku svæði .....	70
31	Þrýstilækkun á jarðhitasvæðinu við vinnslu 1 kg/s. Samanburður mismunandi jarðhitalíkana .....	71
32	Vatnspörf orkuvers í Svartsengi fyrir hitaveitu og raforku- framleiðslu .....	72
33	Vinnsluspá .....	73
34	Aflferlar við mismunandi þrýsting í vatnsleiðara .....	77
35	Holutoppsþrýstingur sem fall af þrýstingi í vatnsleiðara .....	78





0 YFIRLIT

---

Þessi skýrsla er framhald af skýrslu Orkustofnunar "Svartsengi. Straumfræðileg rannsókn á jarðhitasvæði" eftir Jónas Elíasson o.fl. (1977). Niðurstöður þeirrar skýrslu hafa verið endurmetnar með tilliti til nýrra gagna sem aflað hefur verið og unnið úr. Meginniðurstöður fyrri skýrslu standa óbreyttar, en á grundvelli nýrrar vitneskju hefur ýmsum viðbótarupplýsingum verið bætt við. Til að afla þeirra upplýsinga hefur að verulegu leyti orðið að leita nýrra leiða sem ekki hafa verið farnar áður við rannsóknir á háhitasvæðum hér á landi.

Niðurstöður rannsóknarinnar hafa verið kynntar Hitaveitu Suðurnesja jafnóðum og þær fengust. Gerð hefur verið vinnsluspá til 25 ára í samræmi við áætlaða orkuþörf hitaveitunnar auk framleiðslu 8 MW rafafis og nýjar hitaholur hannaðar þar sem m.a. er tekið tillit til niðurstöðu vinnsluspárinnar. Orkuspána er að finna í viðauka með skýrslunni.

Varðandi jarðhitageyminn sjálfan hefur sá helsti kostur komið í ljós að lekt jarðlaga er mjög mikil. Holur eru því aflmiklar og lítil hætta á að þær mistakist, eins og oft kemur fyrir á jarðhitasvæðum þar sem lekt er minni. Sá ókostur hefur einnig komið í ljós að geymirinn er lítill um sig. Lekasta svæðið er aðeins um 2 km<sup>2</sup> að flatarmáli og þrýstingur (vatnsborðið) lækkar því ört með vinnslu. Vinnsluspáin gefur 200 m lækkun eftir 25 ár, þar sem m.a. er miðað við 4000 stunda árlegan nýtingartíma í raforkuvinnslunni en 350 metra lækkun ef sá nýtingartími er aukinn í 8000 stundir. Miðað við núverandi hönnun borhola er ekki gert ráð fyrir að niðurdrátturinn sé látinn fara yfir 200 metra. Vatnsborðslækkun um 200 m og þaðan af meiri er með því mesta sem um getur á jarðhitavatnsborðum í heiminum til þessa. Reynslan erlendis frá sýnir að þegar slíkur niðurdráttur á sér stað leitar kalt vatn inná jarðhitasvæðið og kælir það. Þessi hætta verður að teljast veruleg í Svartsengi með hliðsjón af jarðlagaskipan og sprungukerfum sem þar eru til staðar. Nauðsynlegt er því að fylgjast vel með vinnslunni, halda þeim mælingum áfram sem eru í gangi og auka þær frekar en hitt.

Á Reykjaneskaga virðist svo hátta til að ferskvatn frá hálendisvæði skagans kemst niður á um 3 km dýpi og rennur síðan til vesturs eftir lokaðri straumleið. Þessari straumleið er haldið opinni af sífellðum jarðskjálftum, en þrátt fyrir skjálfta bendir margt til þess að móberg, sem er ríkjandi í

efstu 600 m, myndi þétt þak og varni sjó að streyma inn í hana. Straumleiðin er nefnd jarðskjálftarennan í þessari skýrslu. Hún liggur í gegnum, eða að öllum háhitasvæðum á Reykjanesi og er aðfærsluæð þeirra. Sjálf háhitasvæðin virðast myndast þar sem kröftugir sprungusveimar á yfirborði skera jarðskjálftarennuna og veita vatni til efri jarðlaga. Í Svartsengi virðist vatnið í straumrásinni vera um 300°C heitt. Heita vatnið leitar uppávið, stöðvast að mestu á móbergslögum á 600 m dýpi, kólnar lítillega og leitar niður og blandast heita innrennslinu þannig að hitinn í uppstreymisgreininni verður 240°C. Þannig myndast hringstraumur eða "konvektion", sem veitir varma til yfirborðsins og reiknast varmaafköstin 200 - 400 MW.

Til jafnvægis við innrennsli heita vatnsins inn á jarðhitasvæðið er jafnframt útrennsli frá svæðinu. Það á sér stað á þann hátt að heitt vatn sýður upp um sprungur í gegnum móbergið, mestur hluti þessarar suðu á sér stað í sprungunum sem eru sýnilegar í fjallinu Þorbirni. Stefnur þeirra skerast við holur 2 og 3. Í þessum holum hafa fundist heitar vatnsæðar ofan móbergssyrpunnar en ekki í öðrum holum. Þessi suða virðist vera svo hæg að gufan nær að skiljast frá vatninu og leita upp og þéttast í efri jarðlögum, þar sem hitinn berst burtu með grunnvatnsstraumnum. Reiknað er með að áframhaldandi þrýstilækkun verði til að minnka þennan straum eða jafnvel snúa honum við þannig að kalt vatn renni niður eftir sprungunum, en engar ábendingar í þessa átt hafa komið fram ennþá í mælingum.

Á um 1000 metra dýpi hefur fundist ferskt grágrýtisinnskot (dólerít). Mestu vatnsæðarnar í borholunum eru í kringum þetta innskot. Hugsanlegt er að hin mikla vatnsleiðni sem mælst hefur á lekasta hluta svæðisins sé til komin vegna þessa innskots, en ekki getur það talist sannað. Lárétta vatnsleiðnin í Svartsengi er með því mesta sem mælst hefur á nokkru háhitasvæði og er hún skýringin á því hve holurnar eru kraftmiklar.

Með hliðsjón af framangreindri jarðfræðilegri uppbyggingu jarðhitasvæðisins var gert tölvulíkan af því. Ennfremur var gerð afl- og orkuspá fyrir hitaveituna og nauðsynleg vatnstaka reiknuð út frá henni. Tölvulíkanið og orkuspáin eru grunnþættirnir í áður nefndri vinnsluspá sem reiknar þrýstilækkun með vinnslu til aldamóta. Ennfremur var notað annað tölvulíkan sem reiknar aflminnkun borholu vegna þrýstilækkunar í geymi. Reiknaðist þessi aflminnkun veruleg fyrir borholur með 9 5/8" vinnslufóðringu, sömu gerðar og í holum 4 og 5. Í þeim víðu holum sem nú eru boraðar (með 13 3/8" vinnslufóðringu)

á hinsvegar að vera hægt að halda uppi fullum afköstum þrátt fyrir þrýstilækkun. Auk þess þarf ekki að hreinsa kalkútfellingar eins oft úr víðu holunum eins og þeim mjóu.

Orkuvinnslugeta svæðisins takmarkast af því hverju er hægt að ná upp úr holunum í fjárhagslega hagkvæmum rekstri. Þegar ekki borgar sig lengur að bora holur vegna þess að of lítið kemur upp úr þeim eða svæðið hefur kólnað of mikið þá er orkuvinnslugetan fullnýtt, og það jafnvel þó mikill orkuforði sé þá eftir í svæðinu, fræðilega séð.

Fræðilega séð er hægt að virkja varmaafköst svæðisins án þess að trufla hringrásina og þar með eðlilega "starfsemi" jarðhitasvæðisins. Til þess að þetta sé hægt í Svartsengi þarf fyrirsjáanlega að gera ráðstafanir gegn of mikilli þrýstilækkun með vinnslu. Niðurdæling á affallsvatni gæti leyst þennan vanda, sé þess gætt að dæla ekki köldu vatni niður í heita uppstreymið. Nauðsynlegt er að rannsaka hvernig slíkri niðurdælingu verði best hagað. Þar á eftir kemur svo nákvæmari staðsetning á hinum leka hluta svæðisins (grágrýtisinnskotinu) með tilliti til nýrra borhola og athuganir á hugsanlegu landsigi.

Skili þessar rannsóknir jákvæðum árangri má stefna að tvíþólvinnslu í Svartsengi (niðurdæling á sama magni og dælt er upp). Fram að þeim tíma verður að haga rekstrinum með tilliti til þess að orkuvinnslugetan sé takmörkuð.



## 1 INNGANGUR

---

Á miðju ári 1976 fól Jarðhitadeild Orkustofnunar Straumfræðistöðinni að annast ýmiss atriði við könnun á jarðhitasvæðum í Svartsengi. Helstu atriði voru þessi:

- 1) Aðstoð við mælingar á vinnsluholum og vinnsla mæligagna.
- 2) Könnun möguleika á útreikningum á vinnslugetu svæðisins og þrýstilækkun við vinnslu.
- 3) Athugun á afdrifum affallsvatns frá svæðinu.

Á miðju ári 1977 kom út skýrslan "Svartsengi. Straumfræðileg rannsókn á jarðhitasvæði" (Jónas Elíasson o.fl. 1977), sem fjallar um þrjú fyrrgreind atriði. Við þessa rannsókn kom fljótlega í ljós að þrýstilækkun á jarðhitasvæðinu við vinnslu yrði takmarkandi á afl orkuvers. Því var talin ástæða til að athuga nánar þetta atriði og reyna að spá um þrýstilækkunina. Núverandi skýrsla fjallar um þetta atriði ásamt endurmati á nokkrum atriðum úr fyrri skýrslu, en það reyndist nauðsynlegt vegna tilkomu nýrra gagna. Hér er um að ræða yfirlitslíkan af jarðhitasvæðinu, og á grundvelli þess reikninga á varmatapi þess. Niðurstöður þessara rannsókna fela ekki í sér neinar teljandi breytingar á fyrri niðurstöðum.

Við athuganir á þrýstilækkun við vinnslu var stuðst við þrjár borholur, holur H-3, H-4 og H-5, á þann hátt að vatnsborðslækkun í holu H-5 var mæld við vinnslu úr holum H-3 og H-4. Út frá mældri þrýstilækkun í holu H-5 var síðan gerð þrýstilækkunarspá fyrir jarðhitasvæðið, en fyrst var gerð orkuspá fyrir varmaorkuverið og er sú spá birt í viðauka með þessari skýrslu.

Þrýstilækkunarspáin er síðan notuð til að gera aflspá fyrir borholur á jarðhitasvæðinu og er þá stuðst við aflferla fyrir borholur H-4 og H-5. Þrýstilækkunar- og aflspáin eru grundvallarniðurstöður þeirra rannsókna sem hér er lýst.

Að lokum er rétt að geta þess að í þessari skýrslu eru notuð fjögur líkön til lýsinga á jarðhitakerfinu í Svartsengi. Líkönin eru eftirfarandi:

- 1) Líkan af aðfærsluæð jarðhitasvæðanna á Reykjaneskaga.
- 2) Hringrásarlíkan fyrir varmaflutning á jarðhitasvæðinu í Svartsengi.
- 3) Líkan til að reikna þrýstilækkun á jarðhitasvæðinu.
- 4) Líkan til að reikna aflminnkun borhola.

Eins og að ofan greinir gefa líkön 3 og 4 grundvallarniðurstöður skýrslunnar, og eru þau óháð líkönunum 1 og 2 og niðurstöður þeirra yrðu óbreyttar, þótt líkön 1 og 2 væru röng. Sérstaklega ber að geta þess, að forsendur líkans 1 eru óöruggar og gætu hugsanlega leitt til annars líkans.

Í skýrslunni er ekki fjallað um afdrif affallsvatns. Þeim athugunum verða gerð skil í væntanlegri skýrslu Straumfræðistöðvar um ferskvatns-athuganir.

## 2 YFIRLIT YFIR JARÐFRÆÐI OG VATNAFRÆÐI

---

### 2.1 Jarðfræði

Mjög lítið hefur verið unnið í jarðfræði jarðhitasvæðisins síðan í ágúst 1977. Jarðfræðileg vitneskja er því þegar komin fram í skýrslum. Hér er einungis rakið það sem álitnið er hafa þýðingu fyrir vinnslu úr jarðhitasvæðinu.

Á Reykjanesi er svokallað lag 3 álitnið vera á um 2,5 km dýpi. Þetta lag er talið óvatnsgengt að mestu svo hitastigull er í því hár, einkum á stöðum þar sem búast má við ferskum innskotum af völdum eldsumbrota á nútíma.

Jarðskjálftamælingar, sem Raunvísindastofnun Háskólans hefur gert á Reykjaneskaga, sýna að jarðskjálftaupptök raða sér á hér um bil 3 km breitt belti frá Kleifarvatni út á Reykjanestá (sjá mynd 1). Þverskurðirnir á myndum 2, 3 og 4 sýna að upptökin eru að mestu í efri hluta lags 3. Jarðskjálftarnir sprengja bergið í nánd við upptökin og viðhalda þannig vatnsleiðni niður í lag 3, þar sem mikill hiti ríkir. Vegna þess að lag 3 er óvatnsgengt annars staðar en á því svæði sem jarðskjálftarnir brjóta það upp, þá myndast þarna vatnsgeng leið neðan við móbergið út eftir Reykjaneskaganum. Samkvæmt skjálftum gæti rennslið farið allt niður á 6 km dýpi. Skýlt er að taka fram að Raunvísindastofnun Háskólans hefur góðfúslega lánað niðurstöður jarðskjálftamælinganna, Hitaveitu Suðurnesja að kostnaðarlausu.

Jarðhitasvæðin á Reykjaneskaga virðast koma fram þar sem sterkir sprungusveimar, sem sjást á yfirborði, skera jarðskjálftarennu þá sem að ofan er lýst. Mynd 5 sýnir staðsetningu þessara sveima.

Erfiðlega hefur gengið að finna skýr jarðfræðileg mörk útbreiðslu jarðhitasvæðisins. Einna helst hefur verið staðnæmst við gangasveima, og eru þeir sýndir á mynd 29 og gerðir að nánara umtalsefni í kafla 3.5 um viðnámsmælingar, auk þess sem Lúðvík Georgsson (1979) hefur gert viðnámsmælingum á svæðinu ýtarleg skil.

Mynd 6 sýnir þversnið í gegnum jarðhitasvæðið, unnið af Jens Tómassyni jarðfræðingi. Frá 3 km dýpi og upp að 600 metra dýpi eru basaltlög með



tiltölulega litlu móbergi, en einu grágrýtisinnskoti á rúmlega kílómeters dýpi. Líkur benda til fleiri innskota fyrir neðan 1000 m, en frekari niðurstaðna er að vænta um það atriði.

Fyrir ofan 600 m dýpi er um 300 metra þykkt lag, sem er yfirgnæfandi móberg. Þar fyrir ofan eru hraun frá nútíma, með móbergsívafi af og til.

Efsta jarðmyndunin er töluvert sprungin. Gleggst sést sprungumyndunin í fjallinu Þorbirni og sýnt hefur verið fram á að í jarðskjálftum verður hreyfing á sprungunum þar í gegn. Á jarðhitasvæðinu sjálfu hverfa sprungurnar undir hraunin á yfirborðinu, en sprungurnar gegnum Þorbjörn stefna nokkurnvegin á holur 2 og 3.

## 2.2 Vatnafræði

Aðaleinkenni Reykjanesskaga vatnafræðilega er að yfirborðsafrennsli er nær ekkert, samanber mynd 7, sem er tekin úr "Íslensk Vötn" eftir Sigurjón Rist (1956). Mynd 8 sýnir mismun úrkomu og uppgufunar, en hún er tekin úr ritgerð eftir Markús Einarsson veðurfræðing (1972). Líklegasta írennslissvæðið (þ.e. niðurrennsli á rigningarvatni til dýpri jarðlaga) er svo sýnt afmarkað á mynd 8. Mynd 9 er tekin úr ritgerð Braga Árnasonar (1976) og sýnir hún tvívetnisinnihald úrkomu. Ætla má samkvæmt henni að tvívetnisinnihald írennslisins sé um -56, en hjá Braga Árnasyni (1976) er hinsvegar uppgengið, að tvívetnisinnihald jarðhitavökvans sé -24, sem svarar til að hann sé 57% sjór. Ef tvívetnisinnihald staðarúrkomu (-52) er notað fæst 54% sjór. Báðar þessar tölur eru lægri en efnagreiningar sýna (67%). Mismunurinn gæti verið til kominn vegna eimingar og víst er að slík áhrif hljóta að vera til staðar á jarðhitasvæðum þar sem gufumyndun er stöðug. Líklegt má því telja að jarðhitasvæðið einkennist af eftirtöldum þremur þáttum: Innrennsli, hringrás og frárennsli.

Á Reykjanesskaga hagar jarðvatnsaðstæðum þannig að ofan á söltum jarðsjó er ferskvatnslinsa, misþykk eftir aðstæðum. Jarðhitavökvinn í Svartsengi er 2/3 sjór og 1/3 ferskvatn og því talsvert léttari en hreinn sjór, og er það nokkuð óvenjulegt ástand að finna hreinan sjó ofan á vökva, sem er léttari. Óhugsandi er að slíkt ástand haldist nema þar sem þétt jarðlag er á milli. Móbergið myndar slíkt þétt lag eins og áður er lýst. Hitaferlar úr borholum sýna að sjórinn yfir því er kaldur, og þrýstiferlar sýna að þrýstihæðin er hærri yfir því en undir. Telja verður því öruggt

að vatnsleiðnin í móberginu sé stærðargráðu minni en í basaltinu undir og yfir móberginu. Móbergið er því þétt þak yfir jarðhitasvæðinu. Allur hiti sem kemst þar í gegn berst burtu með grunnvatnsstraumum sem ríkja í efri jarðlögum.

Staðsetningar æða í borholunum benda til að grágrýtisinnskotið (eða umhverfi þess) sé mjög lekt. Tilvera þessa innskots getur skýrt þá óvenjulega miklu vatnsleiðni sem fundist hefur í Svartsengi (sjá kafla 3.2). Líklegt er að sú mikla vatnsleiðni nái yfir sama svæði og innskotið, en útbreiðsla þess er óþekkt.

Hitinn kemur úr jarðskjálftarennunni. Ferskvatnið kemur frá írennslissvæði á aðalfjallasvæði skagans. Þar er t.d. Kleifarvatn, sem ekkert afrennsli hefur nema neðanjarðar, en ætla má að frá því renni um  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  alls. Ekki fer nema brot af því rennsli alla leið niður í jarðskjálftarennuna og ekki liggur í augum uppi hvernig lágþrýstisvæði (svæði með lægri þrýstihæð en umhverfið) getur myndast á miðri slíkri straumleið (í Svartsengi). Því eru eftirfarandi reikningar sýndir. Byggja þeir á langsniði því gegnum jarðskjálftarennuna sem sýnt er á mynd 10.

Ferskvatnsstraumurinn, sem áður var getið, blandast sjó og í reikningum hér er gengið út frá að innrennsli í jarðhitasvæðið í Svartsengi sé 57% sjór. Frárennslið verður heldur saltara en innrennslið og töluvert ofar í jarðlögum. Því verður að ætla að frárennslisstraumur liggi frá Svartsengi suðvestur frá jarðhitasvæðinu, á 400 m dýpi og eitthvað þar fyrir ofan. Vinnsla mun eitthvað draga úr þessum frárennslisstraum og skapa nýjan nær yfirborði. Eins og fyrr segir á mynd 10 að sýna straumfræðilegt samhengi rennslisins út eftir Reykjanesi. Hún er hugsuð sem snið í gegnum Svartsengi og Reykjanestá. Ef straumleiðinni A-R er skipt í tvo hluta, A-C og C-R, og stillt upp straumlíkingum og samfellilíkingum fyrir þessar tvær straumlínur, fást eftirtaldar þrjár líkingar:

$$u = \frac{k\rho_{AB}}{L_{AC}} \left( h_1 - \frac{P_c}{\rho_{AB}g} \right) \quad (1)$$

$$v = \frac{k\rho_{CR}}{L_{CR}} \left( \frac{P_c}{\rho_{CR}g} - h_2 \right) \quad (2)$$

$$v = \frac{u}{1 - \alpha} \quad (3)$$

þar sem:

$u$	: rennsli á flatareiningu fyrir leið A - C:	$\text{kg/s/m}^2$
$v$	: rennsli á flatareiningu fyrir leið C - R:	$\text{kg/s/m}^2$
$k$	: leiðni jarðskjálftarennu	: $\text{m/s}$
$\rho_{AB}$	: eðlismassi vatns frá A til B	: $\text{kg/m}^3$
$\rho_{CR}$	: eðlismassi vatns frá C til R	: $\text{kg/m}^3$
$L_{AC}$	: lengd straumlína frá A til C	: $\text{m}$
$L_{CR}$	: lengd straumlína frá C til R	: $\text{m}$
$h_1$	: hæðarmismunur á A og C	: $\text{m}$
$h_2$	: hæðarmismunur á C og R	: $\text{m}$
$P_c$	: þrýstingur í punkti C	: $\text{N/m}^2$
$\alpha$	: selta jarðhitavökva í % af hreinum sjó samkvæmt tvívætnismælingum	:

Með því að leysa líkingarnar saman fæst fyrir  $P_c$ :

$$P_c = \frac{\left( \frac{1}{1 - \alpha} \frac{L_{CR}}{L_{AC}} \cdot \frac{\rho_{AB}}{\rho_{CR}} h_1 + h_2 \right)}{\left( \frac{1}{\rho_{CR}} + \frac{1}{1 - \alpha} \frac{L_{CR}}{L_{AC}} \frac{\rho_{AB}}{\rho_{CR}} \frac{1}{\rho_{AB}} \right)} g$$

Ef við setjum inn,  $L_{CR} \cong 15 \text{ km}$ ,  $L_{AC} \cong 25 \text{ km}$ ,  $\rho_{AB} = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_{CR} = 825 \text{ kg/m}^3$ ,  $h_1 = 2140 \text{ m}$ ,  $h_2 \cong 2000 \text{ m}$ ,  $\alpha = 0,57$ , fæst  $P_c \cong 190 \text{ bar}$ . Þessi reiknaði þrýstingur passar mjög vel við þrýsting á 2000 m dýpi á jafnvægisprófíl fyrir Reykjaneskaga (sjá Jónas Elíasson o.fl. 1977). Þverskurðarflatarmál jarðskjálftarennunnar er áætlað um  $9 \text{ km}^2$  og ef við áætlum leiðni rennunnar um það bil einn þriðja af leiðni jarðhitasvæðisins í Svartsengi fæst massastreymið í rennunni:

$$\dot{m} = Au = k \cdot \frac{\rho_{AB}}{L_{AC}} \left( h_1 - \frac{P_c}{\rho_{AB} g} \right) \cdot A \quad (4)$$

sem við innsetningu gefur um það bil 170 kg/s, og er þessi tala í samræmi við niðurstöðu rannsókna á jarðhitasvæðinu sjálfu eins og síðar verður sýnt.

### 2.3 Yfirlitslíkan af jarðhitasvæðinu

Yfirlitslíkan það af jarðhitasvæðinu sem dregið er upp á mynd 6 á að sýna

"starfsemi" svæðisins í höfuðdráttum. Það setur rammann fyrir alla síðari líkanreikninga.

Þar sem yfirborðssprungusveimarnir ná niður í jarðskjálftarennuna nær heitt vatn að stíga upp í basaltlögin og streyma upp á við. Streymi þetta stöðvast á móbergslaginu, kólnar og leitar niður aftur. Móbergslagið er þykkt og nokkuð vel einangrandi, svo kólnunin fer að mestu leyti fram sem suða í sprungum sem ná niður í gegnum móbergið og þar eiga sprungurnar gegnum Þorbjörn væntanlega drýgstann þátt. Suðan í þessum sprungum lyftir vatninu með einskona loftdælingu frá þrýstisviði jarðhitavökvans uppá þrýstisvið sjávarins í efri jarðlögum. Þegar því þrýstisvæði er náð skilst gufan frá vatninu sem að hluta til hrapar niður aftur og að hluta til streymir burtu sem frárennslisvatn.

Kælda vatnið streymir niður uns það mætir heita innstraumnum, hitnar þá aftur og streymir upp á ný. Þannig myndast uppstreymissvæði þar sem straum-  
magnið er meira en sem nemur innstraumnum. Nú er mikil lárétt leiðni í basaltinnskotinu, svo eftir því getur ekki verið neinn láréttur þrýstimunur að ráði. Uppstreymissvæðið er því að minnsta kosti jafn stórt, og líklega heldur stærra en grágrýtisinnskotið, en svæðið með mestu leiðnina og þar af leiðandi besta borsvæðið, er að öllum líkindum heldur minna. Engin leið hefur fundist til að ákvarða stærð þessara svæða út frá jarðfræðilegum eða vatnafræðilegum forsendum. Stærðin er því fundin með útreikningum hér síðar.

Eins og títt er í jarðhitarannsóknnum er ekki unnt að telja það sannað að þetta yfirlitslíkan sem hér er sett fram sé hið rétta. Veikasti hlekkurinn er væntanlega sá, að engin afgerandi sönnun liggur fyrir á því að jarðskjálftarennan gegni því hlutverki sem hér er lýst. Ferskvatnið á jarðhitasvæðinu gæti verið af staðbundnum uppruna tvívetnisinnihaldsins vegna (munurinn er aðeins -52 á móti -56 sem áður segir), en hinsvegar er ekki hægt að sjá hvernig ferskvatnsstraumur sem upprunninn er frá stað með þrýstihæð meðal-sjávarborðs kemst niður úr móberginu án þess að kaldi sjórinn klippi þann straum í sundur. Ýmsar aðrar athugasemdir má gera, en þetta yfirlitslíkan verður notað þar sem það skýrir alla þætti sem hingað til hafa komið fram í mælingum.



ORKUSTOFNUN  
Straumfræðistöð

# HITAVEITA SUÐURNESJA

## Svartsengi

Staðsetning jarðskjálfta á Reykjanesskaga 1971-1976

11. jan. 1980

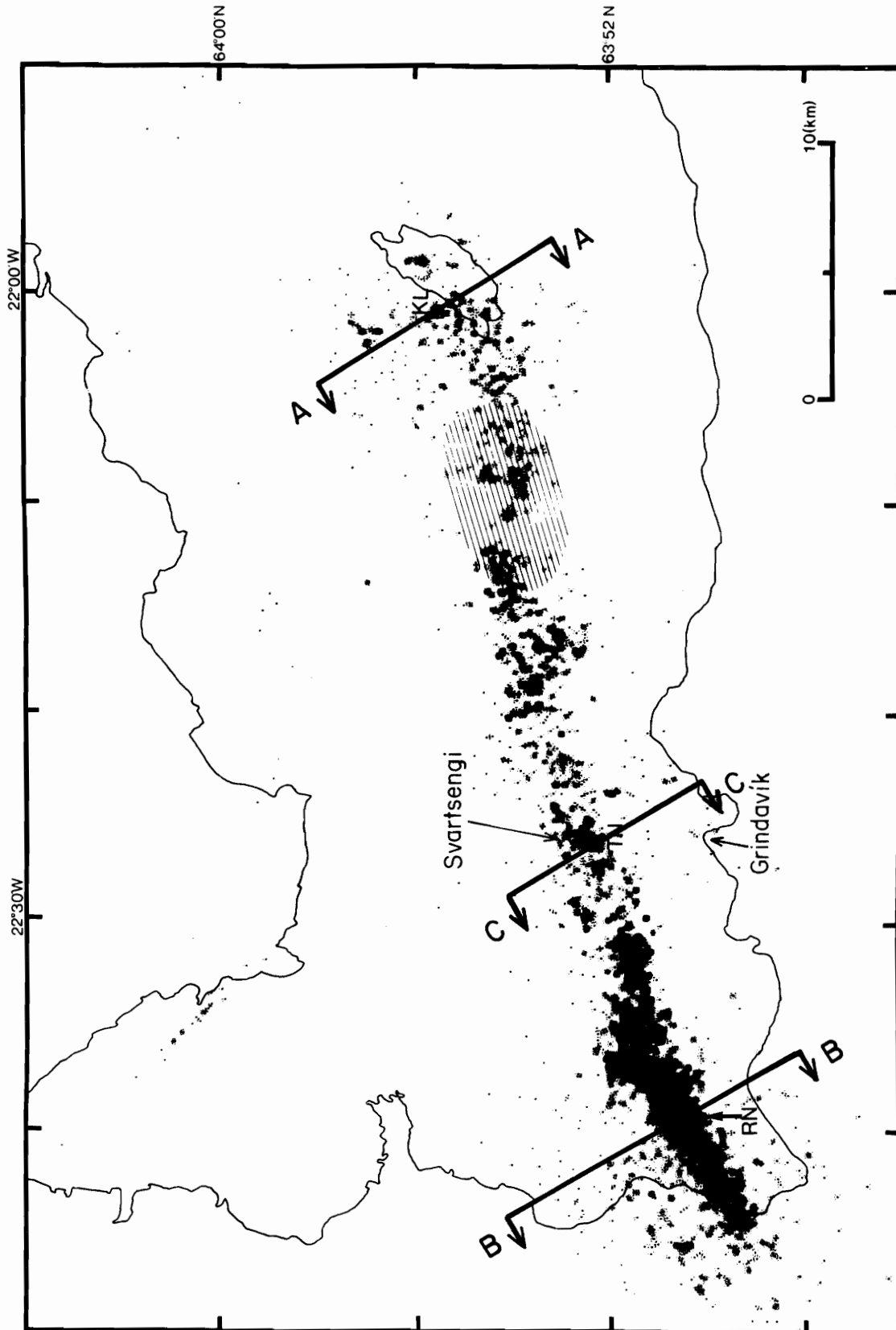
SPK / Gyða

Svartsengi

F-18977

Óbirt gögn frá Sveinbirni Björnssyni, Raunvísindastofnun Háskóla Íslands

Mynd I





ORKUSTOFNUN  
Straumfræðistöð

HITAVEITA SUÐURNESJA  
Svartsengi  
Dýpi skjálfta í sniði A-A á Mynd 1

11. jan. 1980

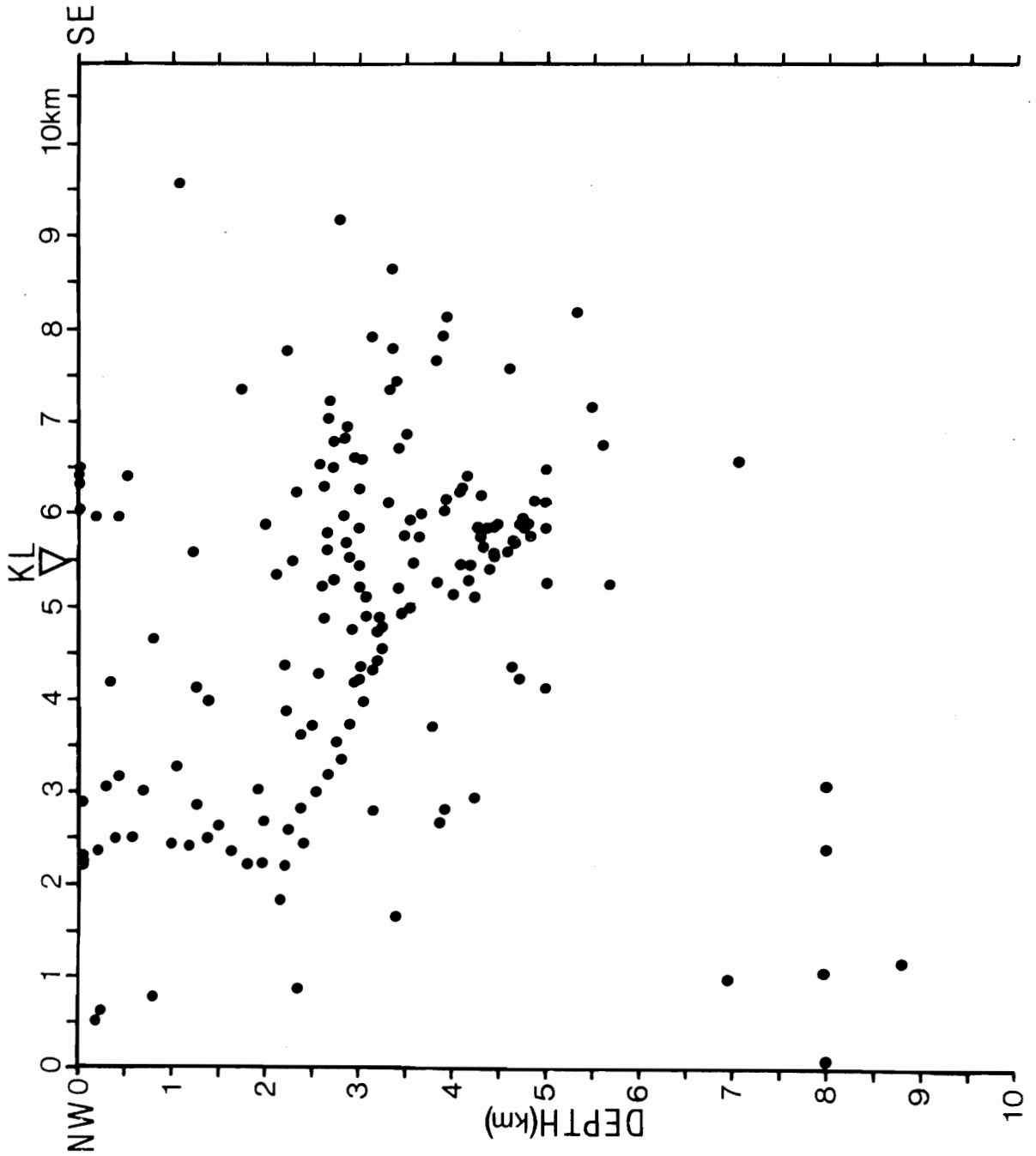
SPK / Gyða

Svartsengi

F-18979

Óbirt gögn frá Sveinbirni Björnssyni, Raunvísindastofnun Háskólans

Mynd 2





ORKUSTOFNUN  
Straumfræðistöð

HITAVEITA SUÐURNESJA  
Svartsengi

Dýpi skjálfta í sniði B-B á Mynd I

11. jan. 1980

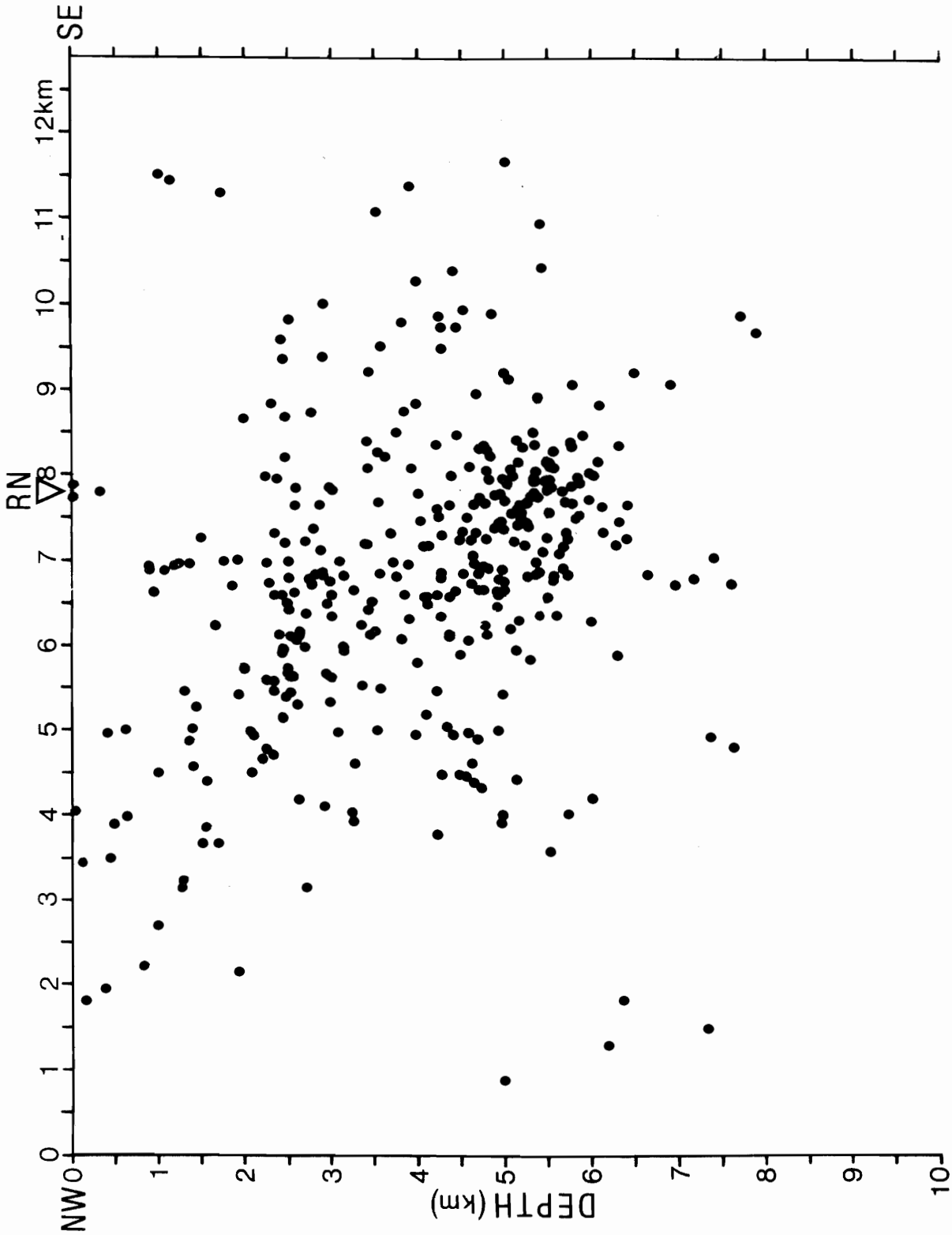
SPK / Gyða

Svartsengi

F-18980

Óbirt gögn frá Sveinbirni Björnssyni Raunvísindastofnun Háskólans

Mynd 3





ORKUSTOFNUN  
Straumfræðistöð

### HITAVEITA SUÐURNESJA Svartsengi

Dýpi skjálfta í sniði C-C á Mynd I

11. jan 1980

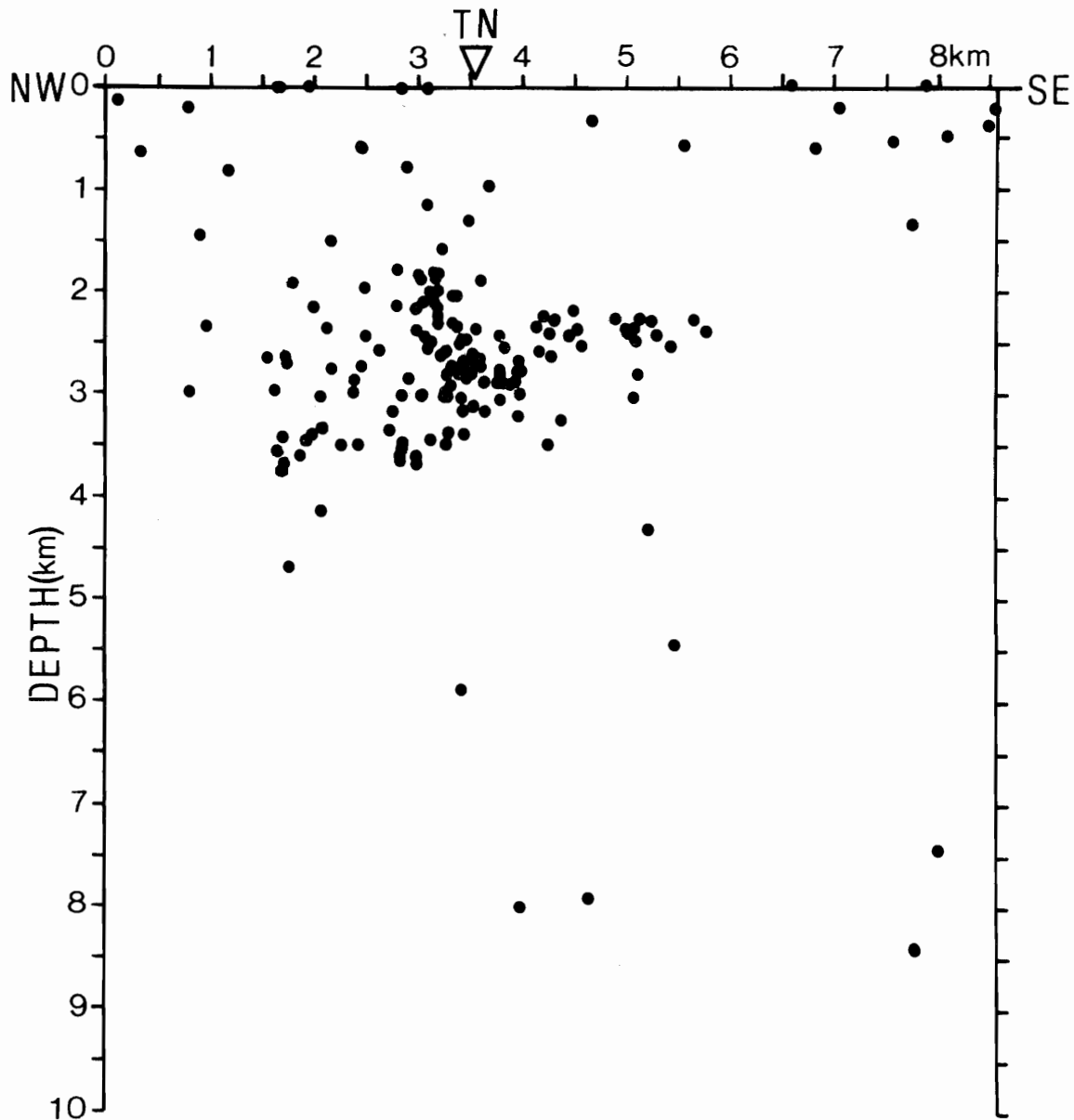
SPK/Gyða

Svartsengi

F-18978

Óbirt gögn frá Sveinbirni Björnssyni, Raunvísindastofnun Háskólans

Mynd 4

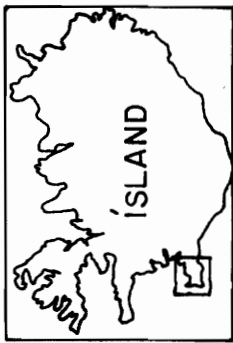




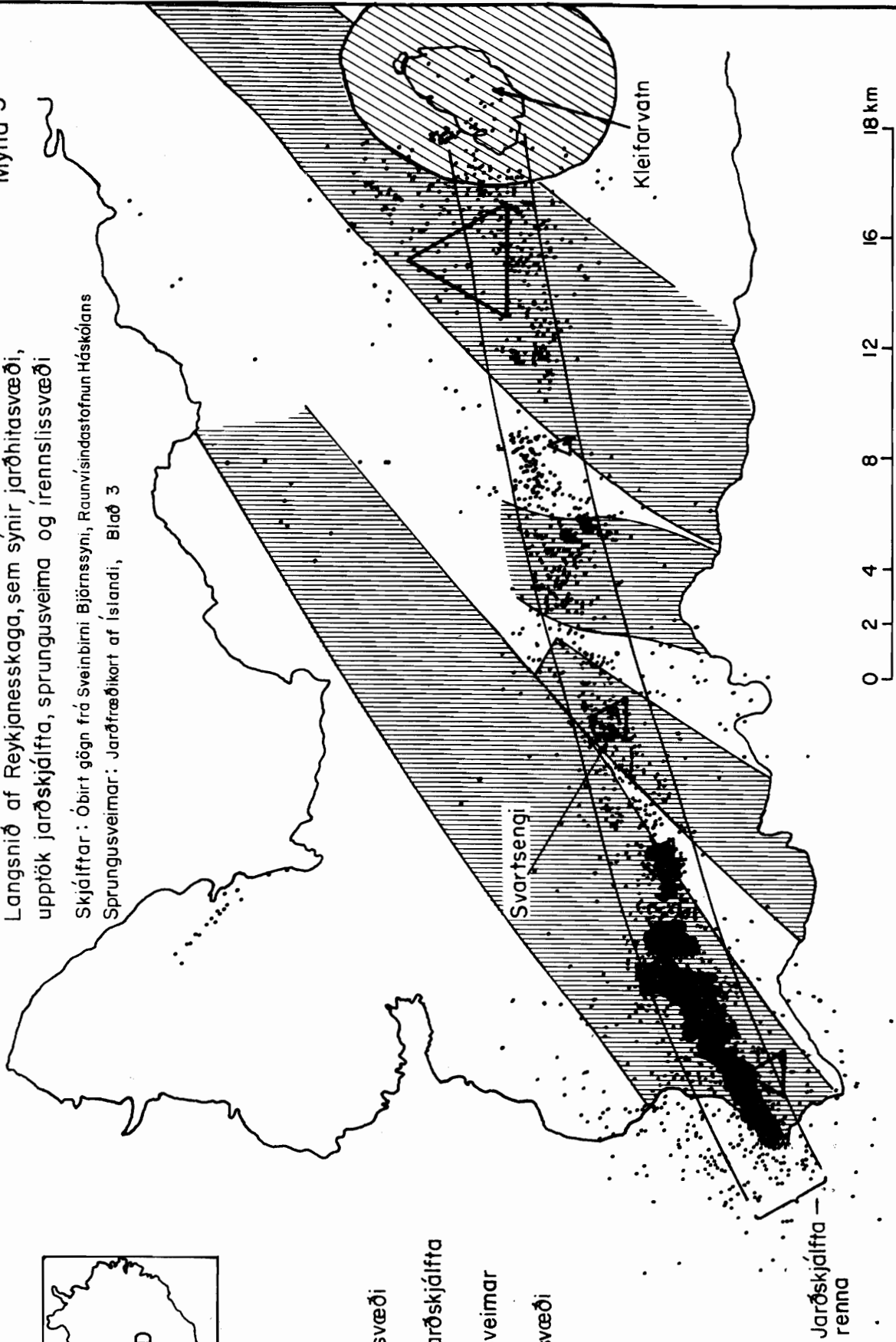
Mynd 5

Langsnið af Reykjaneskaga, sem sýnir jarðhitasvæði, upptök jarðskjálfta, sprungusveima og írennissvæði

Skjálftar: Óbirt gögn frá Sveinbiri Björnssyni, Raunvísindastofnun Háskólans  
Sprungusveimar: Jarðfræðikort af Íslandi, Blað 3



- △ Jarðhitasvæði
- Upptök jarðskjálfta
- ▨ Sprungusveimar
- ▩ írennissvæði

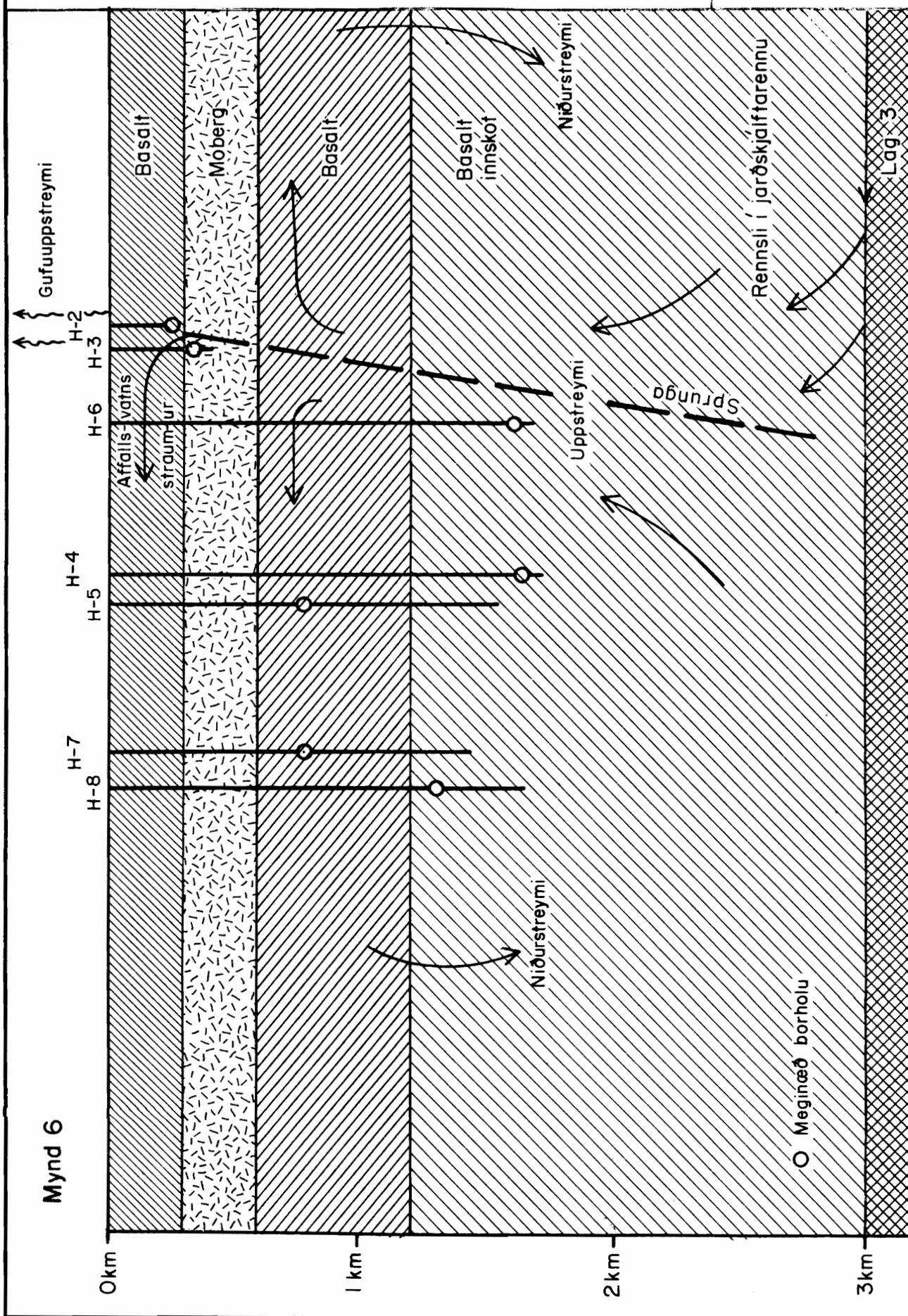




ORKUSTOFNUN  
Straumfræðistíð

HITAVEITA SUÐURNESJA  
Svartsengi  
Þversnið af jarðhitakerfinu(A-V)

27.mai 1980  
SPK/Gyða  
Svartsengi  
F-19673





**MYND 7**

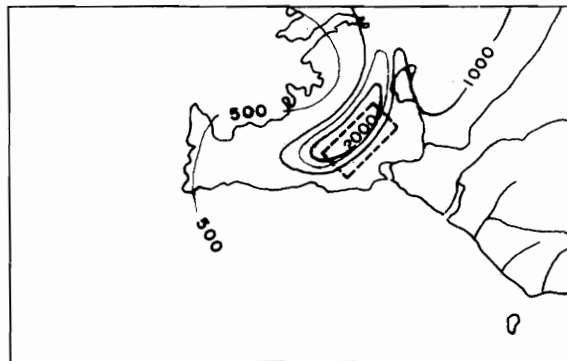
AFRENNSLISKORT  $l/s/km^2$



Heimild: Sigurjón Rist 1956

**MYND 8**

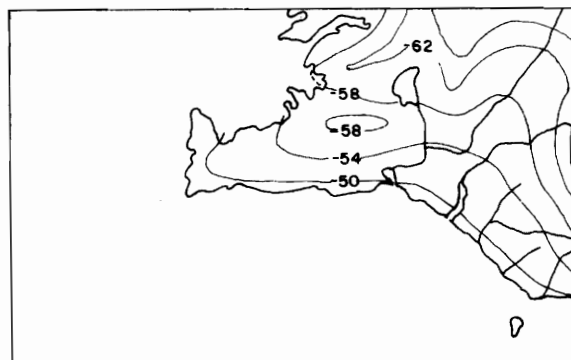
ÁRLEGT VATNSJAFNVÆGI mm  
(ÚRKOMA - UPPGUFUN)



Heimild: Markús Á. Einarsson 1972

**MYND 9**

TVÍVETNISINNIHALD ÚRKOMU



Heimild: Bragi Árnason 1976



ORKUSTOFNUN  
Straumfræðistöð

HITAVEITA SUÐURNESJA  
Svartsengi

11. jan. 1980

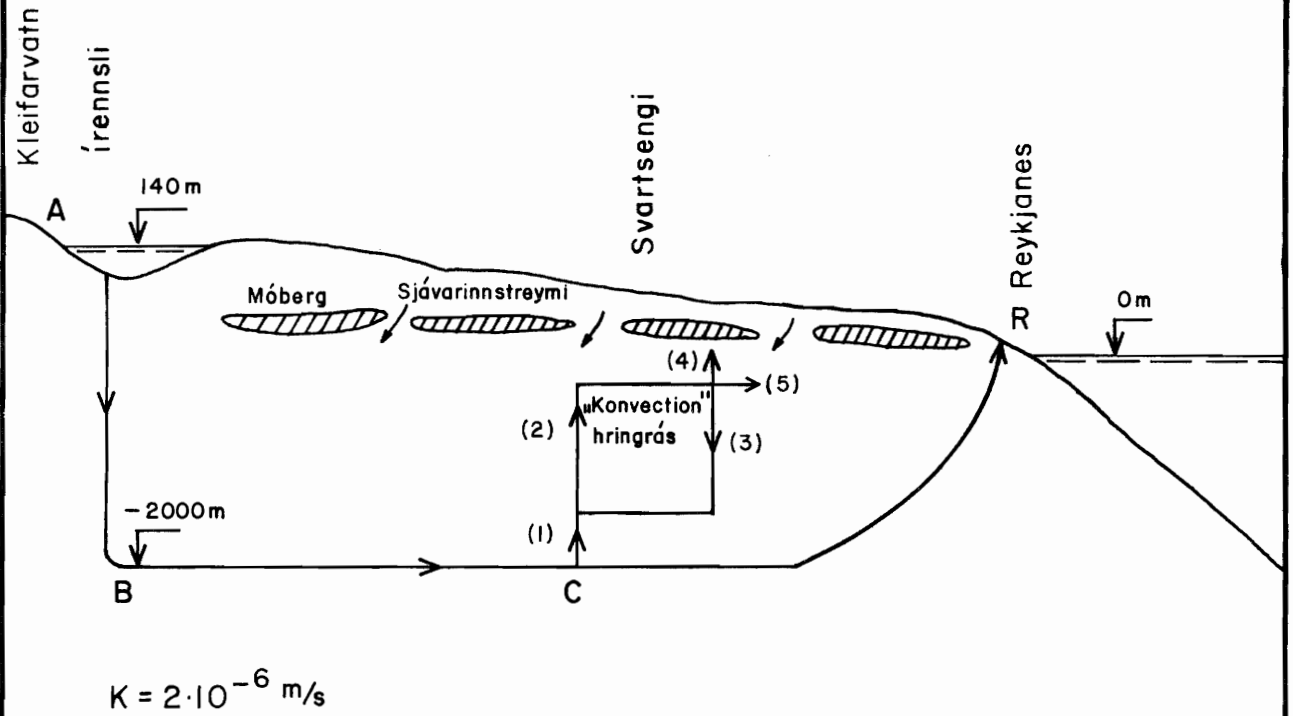
SPK/Gyða

Svartsengi

F-18976

Rennsliskerfi – einfaldað langsnið af Reykjanesi

Mynd 10



Þétt berg

- (1) Innstreymi við Svartsengi
- (2) Uppstreymi
- (3) Niðurstreymi
- (4) Gufustreymi
- (5) Affallsvatn



### 3 MÆLINGAR OG ÚRVINNSLA

---

#### 3.1 Efnainnihald jarðhitavökvans

Til að kanna efnasamsetningu jarðhitavökvans hafa sýni verið tekin úr blásandi holum og efnagreind. Elstu sýnin eru frá 1973. Síðan hefur verið gerður fjöldi efnagreininga, og eru niðurstöður birtar í skýrslum eftir Stefán Arnórsson o.fl. frá 1975 og 1978, auk þess sem óbirt gögn eru að finna í efnagreiningaskrá OS.

Eins og þegar hefur komið fram er jarðhitavökvinn sjóblanda og er blöndunarhlutfallið u.þ.b. 2/3 hlutar sjór á móti 1/3 ferskvatn. Þar sem eðlismassi jarðhitavökvans skiftir verulegu máli fyrir hegðun jarðhitasvæðisins hefur verið unnið úr öllum efnagreiningum með tilliti til eðlismassans. Niðurstöður eru í töflum 1 og 2. Tafla 1 sýnir niðurstöður áður en regluleg vinnsla úr jarðhitasvæðinu hófst, en tafla 2 sýnir niðurstöður eftir 18. okt. 1976, en þá hófst regluleg vinnsla úr svæðinu. Niðurstöðurnar sýna að innan óvissumarka hafa engar breytingar orðið á efnainnihaldi jarðhitavökvans. Klóríðmagn sýnanna er notað sem mælikvarði á seltuna og er miðað við að klóríð 19000 ppm sé hreinn sjór. Klóríðinnihald einstakra sýna fæst með því að margfalda viðkomandi tölur í töflunum með 19000. Reiknaður eðlismassi samkvæmt hita, þrýstingi og klórmagni er um það bil  $825 \text{ kg/m}^3$ . Í kafla 2 er lýst einföldu vatnafræðilegu líkani af jarðhitasvæðum Reykjanes-skaga og samkvæmt því er seltan talin stafa af því að sjór streymi inn í jarðskjálftarennuna og blandist heita vatninu. Salt er órokkgjarnt efni, og situr eftir í vatninu þegar uppgufun verður. Selta vatnsins eykst því vegna uppgufunar. Ef slík eiming á sér stað, væri mögulegt að hún kæmi fram í mismunandi seltu í holu 3, sem er grunn hola (402 m), og holu 4, sem er djúp hola (1713 m). Samkvæmt töflum 1 og 2 er enginn slíkur marktækur munur á holum 3 og 4. Stefán Arnórsson (1978) gerir hins vegar grein fyrir, að lægra gasinnihald í borholu 3, miðað við holu 4, sé hægt að skýra með því, að 4-6% gufa hafi tapast úr jarðsjónum áður en hann streymir inn í holu H-3. Litið er á þetta sem staðfestingu á því að suða eigi sér stað í berggrunni.

TAFLA 1

Klóríðmagn í borholum í Svartsengi 1973 - 1974

Dagsetning	Hola 2	Hola 3	Hola 4	Hola 5
73.04.26.	0,65	0,67		
73.04.27.	0,67	0,68		
73.11.05.		0,70		
74.01.06.		0,63		
74.02.06.		0,64		
74.02.04.		0,65		
74.03.14.		0,66		
74.04.03.		0,65		
74.07.08.		0,62	0,61 ✕	
74.07.09.			0,61 ✕	
74.07.10.			0,64	
74.07.12.			0,64	
74.07.16.			0,65	0,60
74.07.22.		0,66	0,66	
74.07.25.			0,61	
Meðaltal	0,66	0,66	0,63	0,60
Staðalfrávik	-	0,06	0,05	-
Staðalfrávik meðaltals	-	0,02	0,02	-

✕ Holan hefur ekki jafnað sig eftir upphleypingu.

Styrkur er í hlutföllum af hreinum sjó.

## TAFLA 2

Klóríðmagn í borholum í Svartsengi 1976 - 1979

Dagsetning	Hola 3	Kísilhiti °C	Hola 4	Kísilhiti °C
76.10.25.			0,65	247
77.01.06.			0,69	236
77.02.08.			0,69	247
77.03.01.			0,65	246
77.03.11.			0,67	246
77.03.28.			0,68	246
77.04.19.			0,67	246
77.05.04.			0,65	245
77.06.02.			0,70	234
77.06.21.	0,69	227	0,70	234
77.08.03.	0,69	231		
77.08.25.	0,67	240		
77.09.25.			0,65	240
77.11.10.			0,51	231
77.12.13.			0,63	234
78.01.04.	0,64	235		
78.04.18.			0,66	238
78.04.19.	0,65	240		
78.06.29.			0,65	241
78.07.19.			0,71	241
78.10.12.	0,73	251		
78.10.13.			0,73	236
79.01.25.	0,65	239		
Meðaltal	0,67	238	0,66	241
S. Dev.	0,03	7,7	0,048	5,5
Staðalfrávik meðaltals	0,01	2,9	0,01	1,4

Styrkur er í hlutföllum af hreinum sjó.



### 3.2 Vinnsla úr jarðhitasvæðinu og vatnsborðsmælingar

Fylgst hefur verið með vinnslu úr jarðhitasvæðinu í Svartsengi frá því að vinnsla hófst haustið 1976. Fram til 21. feb. 1979 hafa holur 2, 3 og 4 verið í notkun, en hola 5 hefur verið notuð sem athugunarhola, til að fylgjast með þrýstilækkun á svæðinu. Mynd 11 sýnir loftmynd af Svartsengi og eru þar sýndar allar holur, en úrvinnsla í þessari skýrslu nær eingöngu til hola H-2, H-3, H-4 og H-5, en það eru þær holur sem voru tiltækar á meðan á undirbúningi skýrslunnar stóð.

Tafla 3 og mynd 12 sýna hvernig vinnslan hefur verið á hverjum tíma og hvaða holur hafa verið í blæstri. Vinnslan úr svæðinu var að meðaltali 41 kg/s á tímabilinu 18. okt. 1976 til 31. des. 1978, og hafa á þeim tíma verið tekin  $2,9 \cdot 10^6$  tonn upp úr svæðinu. Þrýstingur á jarðhitasvæðinu lækkar samfara vinnslu og hafa síritandi vatnsborðsmælingar verið gerðar í holu 5. Tafla 3 og mynd 12 sýna einnig þrýstilækkun samfara vinnslu. Í upphafi vinnslutímabils var vatnsborð í holu 5 37 m undir meðalsjávarborði, síðan hefur vatnsborðið lækkað jafnt og þétt og í árslok 1978 var vatnsborðið 56 m undir meðalsjávarborði. Vatnsborðið hefur því lækkað um 19 m á umræddu vinnslutímabili, en það svarar til um 24 mm lækkunar vatnsborðs á dag, sem gerir um 0,6 mm á dag fyrir hvert kg/s sem tekið er úr svæðinu, ef miðað er við meðalvinnslu yfir tímabilið. Vatnsborðslækkunin bendir til þess að jarðhitasvæðið sé takmarkað og aðrennslis vegna þrýstilækkunar sé ekki farið að gæta ennþá. Á svæði sem er ótakmarkað fellur vatnsborðið línulega með logaritmanum af þeim tíma, sem hola hefur blásið. Mynd 13 sýnir hvernig vatnsborðið í holu 5 í Svartsengi lækkar með logaritmanum af blásturstímanum. Í ótakmörkuðum vatnsleiðara fylgir vatnsborðslækkunin lausn Theis, sem sýnd er á mynd 13 með sérstakri línu. Vaxandi frávik raunverulegrar vatnsborðslækkunar frá þessari línu sýnir að vatnsleiðarinn er takmarkaður.

Gert hefur verið reiknilíkan af svæðinu. Í líkaninu er gert ráð fyrir að jarðhitasvæðið sé takmarkað á þrjá vegu. Vatnsborðslækkunin hefur verið reiknuð með þessu líkani og eru niðurstöður sýndar á mynd 13 og virðist samsvörum við síðari mælingar vera góð. Nánar verður gerð grein fyrir líkaninu í kafla 4.

Á umræddu vinnslutímabili hafa farið fram svæðisprófanir til ákvörðunar

á leiðni og geymslueiginleikum jarðhitasvæðisins, og er þeim aðferðum og niðurstöðum lýst í skýrslu Jónasar Elíassonar o.fl. (1977). Niðurstöður gáfu geymslustuðul 0,012 og leiðnistuðul 0,012 m<sup>2</sup>/s, en það svarar til um 1 darcy í lektarstuðli. Rétt er að endurtaka úr ofangreindri skýrslu, að vatnsborð í holu H-5 svarar loftþrýstingsbreytingum um það bil 75% og eru allar vatnsborðsmælingar því leiðréttar fyrir loftþrýstingsáhrifum og færðar til meðalloftþrýstings til viðmiðunar. Ofangreindan geymslustuðul má einnig reikna út frá loftþrýstingssvöruninni (barometer efficiency) eftir jöfnunni:

$$S_{BE} = \frac{n\gamma D}{K \cdot BE} \quad (5)$$

þar sem  $n$  er póruhluti,  $\gamma$  er margfeldi af eðlismassa og þyngdarhröðun,  $D$  er þykkt vatnsleiðara,  $K$  er fjaðurstuðull vatns og  $BE$  er loftþrýstingssvörunin. Ef sett er inn  $n = 0,10$ ,  $\gamma = 9,81 \cdot 825 \text{ kg/s}^2\text{m}^2$ ,  $D = 2000 \text{ m}$ ,  $K = 0,9 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ ,  $BE = 0,75$  fæst

$$S_{BE} = \frac{0,10 \cdot 9,81 \cdot 825 \cdot 2000}{0,9 \cdot 10^9 \cdot 0,75} = 2,4 \cdot 10^{-3}$$

Loftþrýstingssvörunin gefur því fimm sinnum minni geymslustuðul en svæðisprófanirnar. Nokkur óvissa er um póruhluta, en varla fimmföld. Loftþrýstingsáhrifin ná yfir mjög stórt svæði en ákvörðunin á geymslustuðlinum út frá þrýstibreytingum á svæðinu er staðbundin. Líklegt má því teljast, að geymslustuðullinn reiknaður út frá loftþrýstingi sé einkennandi fyrir stórt svæði, en hinn stuðullinn sé staðbundið gildi á sjálfu jarðhitasvæðinu eða hluta þess. Styður þetta þá ályktun í kafla 2.3 að hluti jarðhitasvæðisins sé miklu betur leiðandi en aðrir hlutar þess og geymi betur vatn. Tillit var tekið til þessa atriðis við gerð stærðfræðilegs líkans af jarðhitasvæðinu. Því líkani er lýst í kafla 5.

TAFLA 3

Vinnsla úr jarðhitasvæðinu í Svartsengi

Dagsetning	Dagar frá		Holar 2 og 3		Holar 4		Holar 5	
	76.10.18		kg/s	kg/s	kg/s	kg/s	vatnsborð*) m y.s.	
76.10.18	0	Lokaðar	48	Lokuð				
76.10.18	0	0	48	† 37,12				
76.10.28	10	0	48	† 37,98				
76.10.30	12	0	30					
76.11.01	14	0	5	†				
76.11.02	15	0	30					
76.11.07	20	0	30	† 38,20				
76.11.17	30	0	30	† 38,52				
76.11.27	40	0	30	† 38,82				
76.12.07	50	0	30	† 39,14				
76.12.17	60	0	30	† 39,26				
76.12.27	70	0	30	† 39,50				
77.01.06	80	0	30	† 39,70				
77.01.16	90	0	30	† 39,88				
77.01.26	100	0	30	† 40,12				
77.02.05	110	0	30	† 40,30				
77.02.15	120	0	30	† 40,44				
77.02.25	130	0	30	† 40,56				
77.02.28	133	0	45					
77.03.07	140	0	45	† 41,06				
77.03.13	146	0	30					
77.03.17	150	0	30	† 41,12				
77.03.21	154	0	58					
77.03.27	160	0	58	† 41,76				
77.03.29	162	0	30					
77.04.06	170	0	30	† 41,66				
77.04.16	180	0	30	† 41,74				
77.04.26	190	0	30	† 41,88				
77.05.06	200	0	30	† 42,12				
77.05.16	210	0	30	† 43,92				

\*) Leiðrétt með tilliti til loftþrýstings

Dagsetning	Dagar frá		Holar 2 og 3		Holar 4		Holar 5	
	76.10.18		kg/s	kg/s	kg/s	kg/s	vatnsborð*) m y.s.	
77.05.26	220	0	0	30	† 41,76			
77.06.05	230	0	0	30	† 44,12			
77.06.15	240	0	0	30	† 44,12			
77.06.16	241	31	0					
77.06.25	250	31	0		† 44,62			
77.07.05	260	31	0		† 44,52			
77.07.15	270	31	0		† 44,42			
77.07.25	280	31	0		† 44,42			
77.08.04	290	31	0		† 44,62			
77.08.14	300	31	0		† 44,82			
77.08.24	310	31	0		† 44,92			
77.08.31	317	0	30					
77.09.03	320	0	30		† 45,12			
77.09.13	330	0	30		† 45,22			
77.09.23	340	0	30		† 45,42			
77.10.03	350	0	30		† 45,50			
77.10.13	360	0	30		† 45,58			
77.10.23	370	0	30		† 45,66			
77.11.02	380	0	30		† 45,74			
77.11.10	388	21	30					
77.11.12	390	21	30		† 45,82			
77.11.22	400	21	30		† 46,40			
77.12.02	410	21	30		† 46,98			
77.12.11	419	0	30					
77.12.12	420	0	30		† 47,56			
77.12.16	424	31	26					
77.12.22	430	31	26		† 48,14			
78.01.01	440	31	26		† 48,72			
78.01.11	450	31	26		† 49,02			
78.01.21	460	31	26		† 49,22			
78.01.31	470	31	26		† 49,52			

TAFLA 3 frh.

Vinnsla úr jarðhitasvæðinu í Svartsengi

Dagsetning	Dagar frá 76.10.18	kg/s		Hóla 4	Hóla 5 vatnsborð*)	m. y. s.
		Holur 2 og 3	kg/s			
78.02.10	480	31	25			† 49,82
78.02.20	490	31	26			† 50,02
78.03.02	500	31	26			† 50,22
78.03.12	510	26	22			† 50,42
78.03.22	520	26	19			† 50,72
78.04.01	530	26	19			† 50,92
78.04.05	534	30	15			
78.04.11	540	30	15			† 51,02
78.04.18	547	30	0			
78.04.21	550	30	0			† 50,82
78.05.01	560	30	0			† 50,62
78.05.11	570	30	0			† 50,62
78.05.17	576	0	30			† 50,62
78.05.21	580	26	30			† 50,92
78.05.31	590	26	30			† 51,32
78.06.10	600	24	28			† 51,62
78.06.20	610	24	28			† 51,82
78.06.30	620	24	28			† 52,12
78.07.21	641	20	28			
78.09.20	702	25	28			
78.10.19	731	25	28			† 53,10
78.11.21	763	25	28			† 54,60
78.11.22	764	50	21			
78.11.29	771	50	0			
78.12.09	781	55	0			
78.12.20	792	55	28			† 56,30

\*) Leiðrétt með tilliti til loftþrýstings

### 3.3 Afl vinnsluhola

Ekki hafa verið gerðar margar aflmælingar á holum í Svartsengi, en niðurstöður þeirra eru þó teknar með hér, þar eð þær eru grundvöllur að kafla 6, þar sem reynt er að meta aflminnkun við vinnslu. Holur H-2, H-3 og H-4 hafa ekki verið mældar síðan 1974 en niðurstöður mælinga frá þeim tíma birtust í skýrslu eftir Stefán Arnórsson o.fl. (1975) og eru nú endurteknar hér á mynd 14.

Mynd 15 sýnir niðurstöður afkastamælinga á holu H-5. Afkastaferill holunnar er frábrugðinn hinum holunum, en hafa ber í huga að mælingarnar 21. feb. 1979 voru gerðar með kritískum stút við hljóðdeyfi sem var í 200 m fjarlægð frá holutoppi, þannig að sveiflur vegna tveggja fasa rennslis í pípukerfinu frá holutopp að hljóðdeyfi hafa haft veruleg áhrif á mælinákvæmni. Hóla H-4 er því valin sem einkennandi svæðishola við mat á aflminnkun við vinnslu, sbr. kafla 6. Holur H-2 og H-3 eru mun grynnri en H-4 og H-5 og aflmæling holu H-5 háð ofangreindri óvissu.

Rétt er að lokum að vekja athygli á aflminnkun í holu H-4, eins og sýnt er á mynd 14. Líklegast er að aflminnkunin stafi af kalkútfellingum, sem reglulega stífla holurnar.

### 3.4 Afl og orka varmaorkuvers

Í viðauka með þessari skýrslu er að finna orkuspá fyrir varmaorkuverið í Svartsengi. Spá um þrýstilækkun á svæðinu og aflminnkun borhola byggir á ofangreindri orkuspá og eru því heildarniðurstöður orkuspárinnar í viðauka dregnar saman hér og felldar inn í 3. kafla, þar sem allar frumniðurstöður eru birtar og seinni hluti skýrslunnar byggir á. Mynd 16 sýnir spá um vatnsnotkun Hitaveitu Suðurnesja fram til ársins 2000. Eins og að framan greinir er myndin unnin upp úr niðurstöðum í viðauka og vísast til hans til frekari skýringa.

### 3.5 Viðnámsmælingar

Í skýrslu Orkustofnunar "Svartsengi. Viðnámsmælingar á utanverðum Reykjaneskaga" (Lúðvík S. Georgsson 1979) er gerð grein fyrir öllum viðnámsmælingum í grennd við Svartsengi. Myndir 17, 18 og 20 eru teknar úr þeirri skýrslu til frekari glöggvunar. Mynd 17 sýnir staðsetningu

viðnámsmælinga og viðnáms sviða. Mynd 18 sýnir viðnáms svið A-A' eins og sýnt er á mynd 17. Eins og nánar verður vikið að í 5. kafla skipta ytri mörk jarðhitasvæðisins miklu máli varðandi útreikninga á þrýstilækkuninni.

Eins og fram kemur í 5. kafla virðist líkan af jarðhitasvæðinu, sem gerir ráð fyrir að það sé eins og renna í laginu með þéttum veggjum og lokuð í annan endann en opin í hinn, gefa góða samsvörun á mældum og reiknuðum gildum. Tilgangur viðnámsmælinga var því að athuga hvort um slíka rennu eða ytri mörk jarðhitasvæðis væri að ræða. Niðurstöður viðnámsmælinga sýna greinilega melda lágviðnámsrennu. Rennan virðist breikka þegar dýpra er komið og verða ógreinilegri, en sennilegt er að þar eigi óvissa mælinga stærri þátt en veruleg breikkun rennunnar, auk þess sem útjöfnun á raunverulegum gildum á sér stað við mælingar og rennan er því mjórri en mælingar sýna. Hér ber að hafa í huga, að fyrrnefnd renna afmarkar einungis breytingu á viðnámi, og er sú breyting frá 3,5 Ωm á jarðhitasvæðinu sjálfu í um það bil 10 Ωm þar fyrir utan (sjá mynd 18). Það er því alls ekki ljóst, hvort hér er um raunveruleg mörk á jarðhitasvæðinu að ræða. Til að skera úr um það þyrfti því að meta þann hitastigsmun sem skýrir breytingu frá 3,5 Ωm í 10 Ωm. Í bók Keller og Frischknecht (1966) er gefið samband milli hitastigs og eðlisviðnáms fyrir vatn:

$$\rho_w (T) = \frac{\rho_w (18^\circ)}{1 + 0,025 (T - 18)} \quad (6)$$

þar sem T er í °C.

Ef í vatninu eru uppleyst efni þarf að leiðrétta fyrir þeim og hefur Ragna Karlsdóttir (1978) fundið samband milli eðlisviðnáms vatns og magns uppleystra efna fyrir ýmiss vatnssýni, þar á meðal nokkur frá jarðhitasvæðum á Reykjaneskaga. Niðurstöður hennar eru sýndar á mynd 28 og gilda fyrir vatn við stofuhita (18°C). Eftirfarandi líking lýsir þessu sambandi:

$$\rho_w (18^\circ) = \frac{0,22}{\beta^{0,85}} \quad (7)$$

þar sem β er hlutfall af seltu sjávar. Viðnámsmælingar sýna vegið meðalviðnám vatns og bergs. Til að meta þátt bergsins í mæliniðurstöðum var stuðst við lögmál Archies:

$$\rho_f = \frac{\rho_w}{2} \quad (8)$$

þar sem  $n$  er poruhluti bergs. Ef líkingar 6, 7 og 8 eru leystar saman fæst líking fyrir  $\rho_f$  sem fall af hita, seltu og poruhluta:

$$\rho_b(T, \beta, n) = \frac{0,22}{\beta^{0,85} \cdot n^2 (1 + 0,025 (T - 18))} \quad (9)$$

ef þessi líking er leyst með tilliti til poruhluta fæst:

$$n = \left( \frac{0,22}{\rho_b \beta^{0,85} (1 + 0,025 (T - 18))} \right)^{1/2} \quad (10)$$

Ef sett eru inn mæligildin  $\rho_b = 3,5 \Omega m$ ,  $\beta = 0,65$  og  $T = 240^\circ C$  fyrir jarðhitasvæðið í Svartsengi fæst  $n = 0,12$  en það gildi er sambærilegt við niðurstöður mælinga á poruhluta sýna frá t.d. Krísvík, Reykjanesi og Njarðvíkurheiði sem birtust í skýrslu eftir Svan Pálsson (1972). Ef við tókum núhlutfallið milli viðnáms innan Svartsengissvæðis og utan þess:

$$\lambda = \frac{\rho_b(T, \beta_T, n_T)}{\rho_b(T_0, \beta_{T_0}, n_{T_0})} \quad (11)$$


og leystum með tilliti til  $T$  fæst:

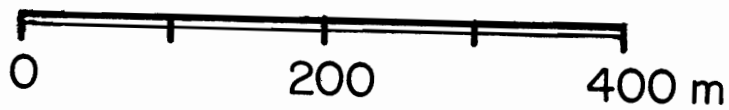
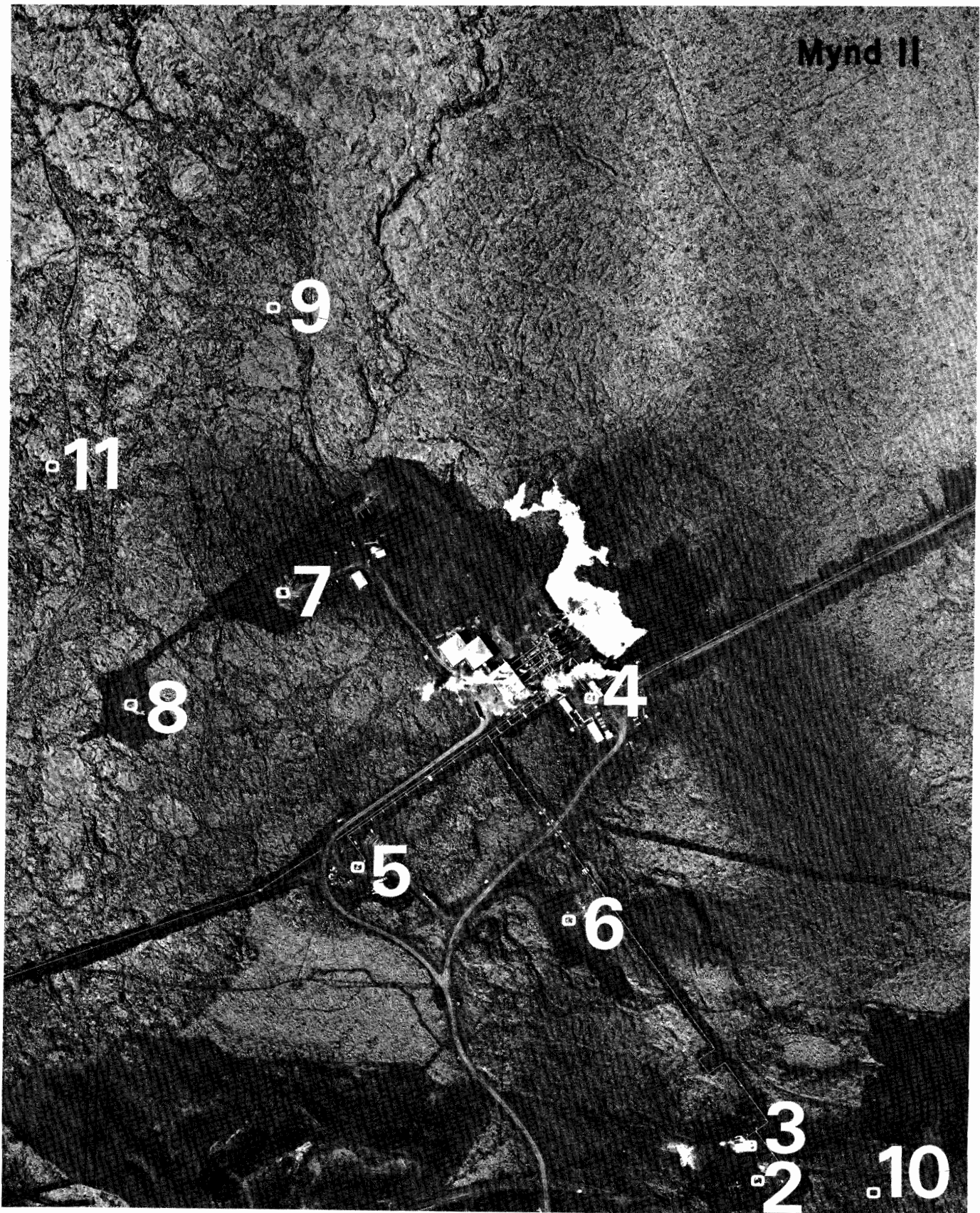
$$T = \frac{262 \left( \frac{\beta_{240}}{\beta_T} \right)^{0,85} \cdot \left( \frac{n_{240}}{n_T} \right)^2}{\lambda} - 22 \quad (12)$$

Ef sett er inn  $\beta_{240} = 0,65$ ,  $\beta_T = 1$ ,  $\lambda = 10/3,5 \approx 2,9$  og gert er ráð fyrir að  $n_{240} = n_T$ , fæst hitastig utan svæðisins  $T \approx 41^\circ C$ . Í grein eftir Jens Tómasson o.fl. (1977) er gefið upp að hitastig á 500 m dýpi í holu á Njarðvíkurheiði sé um  $45^\circ C$ , sem ber ágætlega saman við ofangreint hitastig. Út frá þeim forsendum sem hér að framan hefur verið reiknað með gefur  $6,5 \Omega m$  viðnámsbreyting (frá  $3,5 \Omega m$  í  $10 \Omega m$ ) tilefni til u.þ.b.  $200^\circ C$  hitastigsmunar yfir mörk jarðhitasvæðisins. Helsti óvissuþátturinn í þessum reikningum er poruhluti bergsins, en góð ástæða er til að ætla að hann sé af svipaðri stærðargráðu innan sem utan Svartsengis. Útfellingar gætu að vísu minnkað poruhlutann, en sprungur og skjálfta-virkni aukið hann að sama skapi aftur. Vegna þessa mikla hitamunar ætti því að vera líklegt að lágviðnámsrennan sé eiginleg jarðhitarenna. Rennan er sýnd aftur á mynd 20, sem er lítilllega breytt mynd úr skýrslu Lúðvíks Georgssonar (1979). Staðsetningu rennunnar ber að taka með varúð, því að þar geta viðnámsmælingar varla skorið úr, auk þess

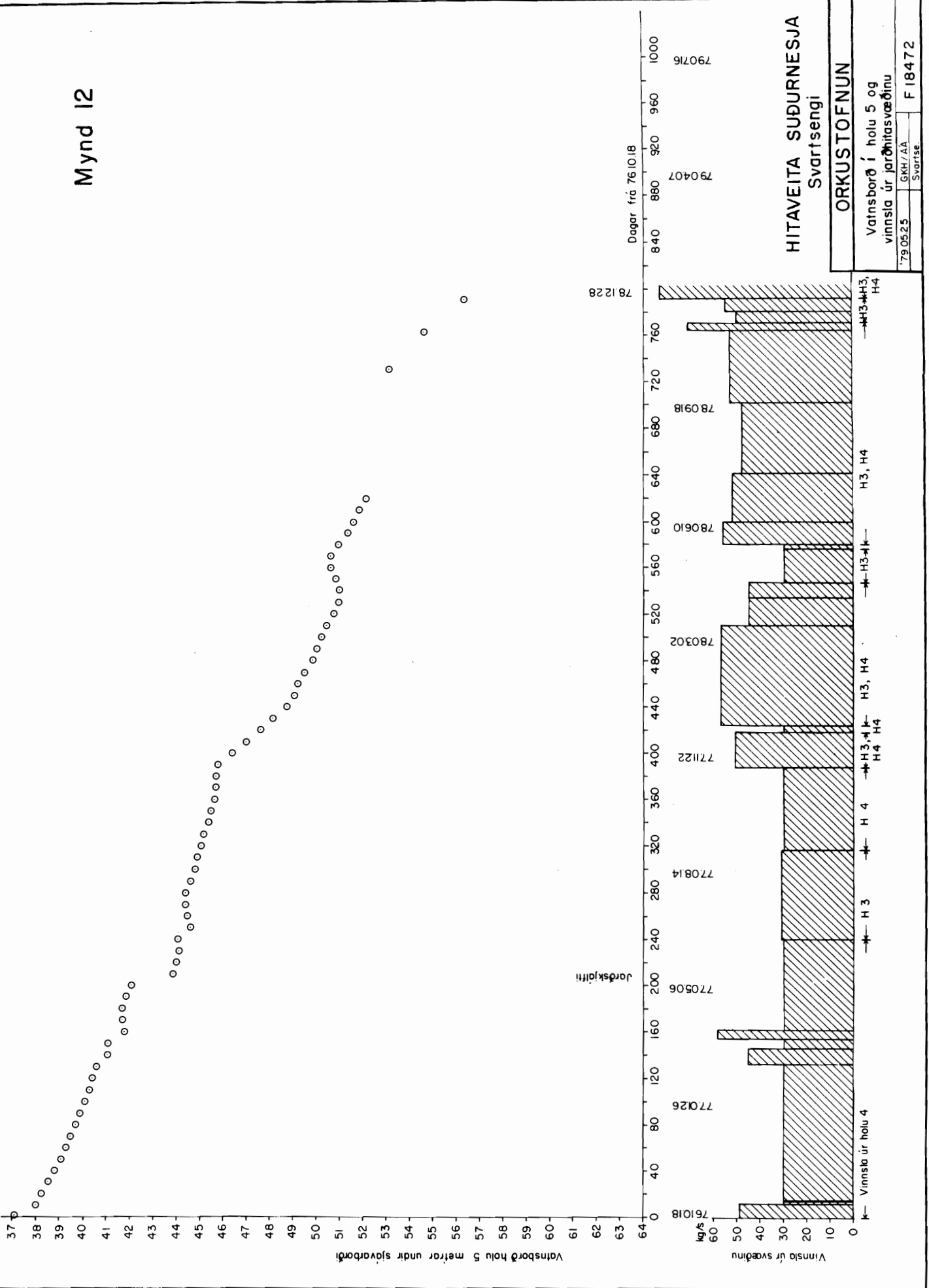
sem lágviðnámsrennan á mynd 20 er á 500 m dýpi, en hið eiginlega jarðhitasvæði er dýpra. Á meðan jarðfræðilegar forsendur fyrir afmarkaðri rennu liggja ekki ljósar fyrir, er erfitt að staðsetja hana, en bent hefur verið á að gangar undir gígaröðum, eins og sýnt er á mynd 20, gætu myndað þetta jaðra rennunnar enda fellur lágviðnámsvæðið á mynd 20 innan þeirra marka. Burtséð frá nákvæmri staðsetningu rennunnar verður reiknað með henni við útreikninga vegna þrýstilækkunar við vinnslu og nauðsynleg stærð hennar ákvörðuð til að samsvörun fáiist við mælingar.



 ORKUSTOFNUN	HITAVEITA SUÐURNESJA	
	Svartsengi	
	Loffmynd af borsvæði	



# Mynd 12



**HITAVEITA SUÐURNESJA**  
**Svartseugi**  
**ORKUSTOFNUN**

Vatnsborð í hulu 5 og vinnsla úr jarðhitasveðinu	
'790525	GKH/AA
	Svartse.
F 18472	



ORKUSTOFNUN  
Straumfræðistöð

# HITAVEITA SUÐURNESJA, SVARTSENGI

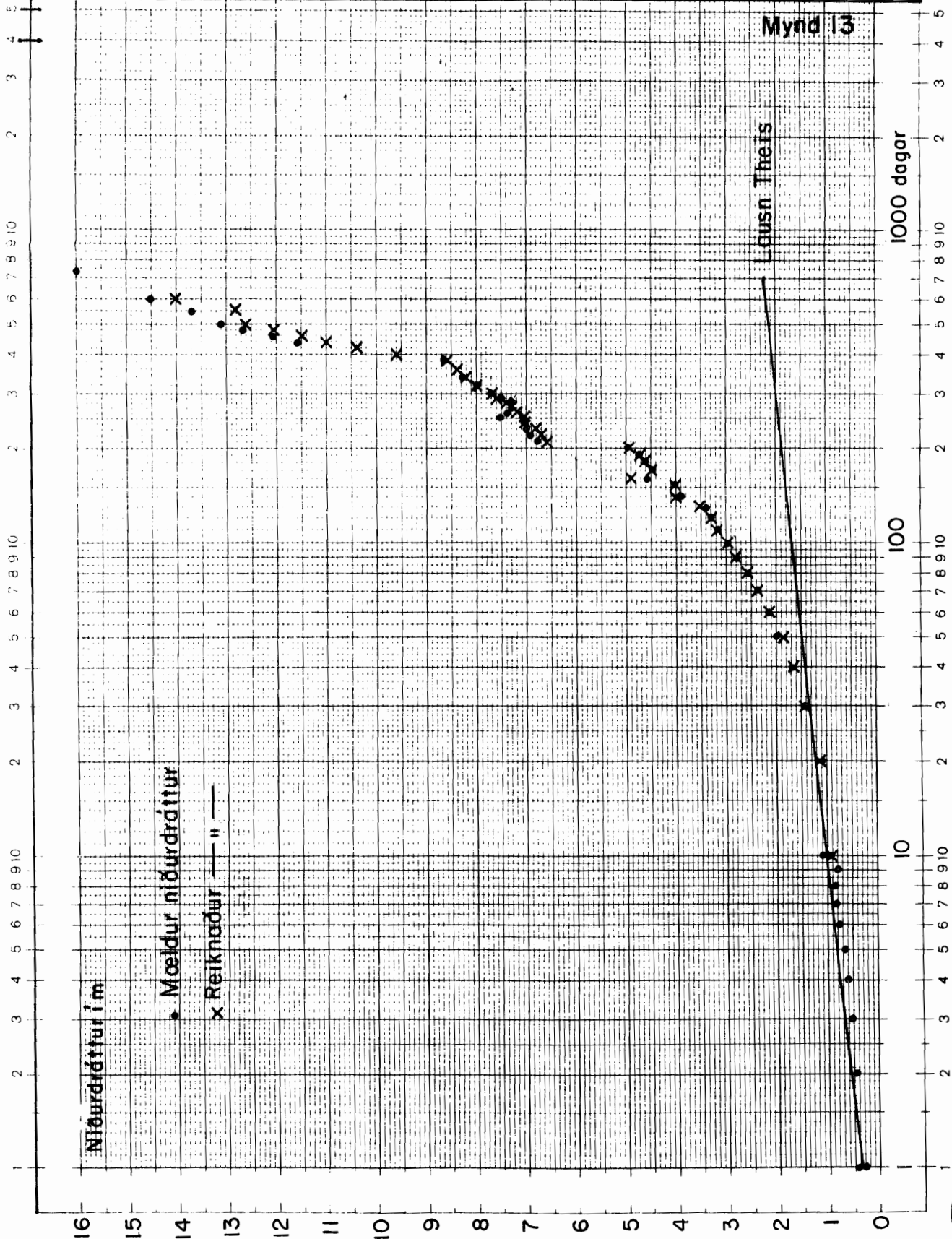
## Prýstilækkun í holu H-5 í Svartsengi

79 02 06

SPK/IS

ORS Svartsengi

F-18065



Eine Achse logarith. geteilt von 1 bis 10000 Einheit 62.5 mm. die andere in mm mit

Bestell-Nr. 667 004. Nr. 369 : 6 P. MADE IN GERMANY



COPYRIGHT CARL SCHLEICHER & SCHÜLL. 3352 EINBECK





ORKUSTOFNUN

Straumfræðistöð

HITAVEITA SUÐURNESJA, SVARTSENGI

Vinnsluferlar borhola H-2, H-3 og H-4

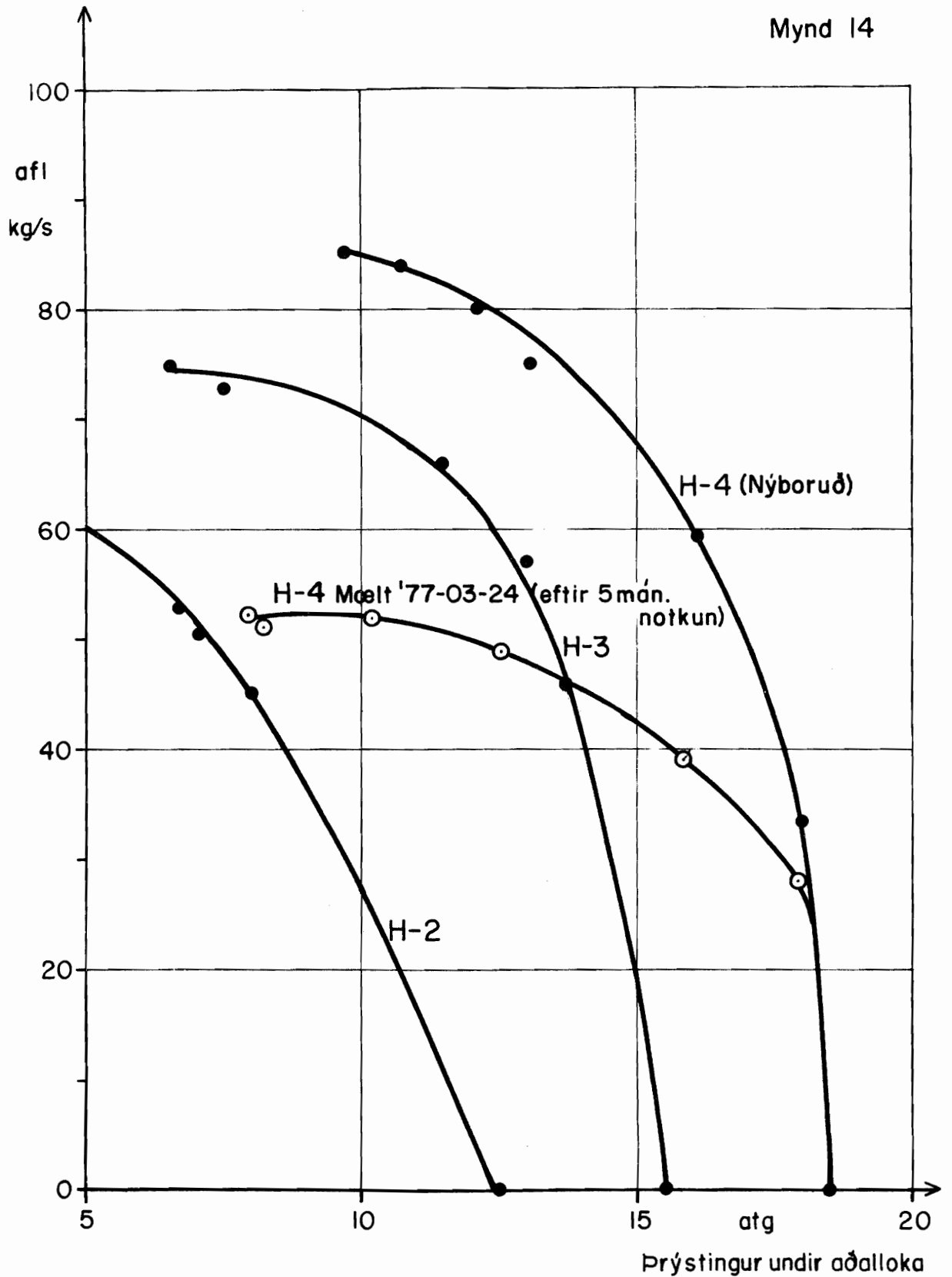
25.6 '75 S.A/HO

Tnr.195 Tnr.1999

J-Svartse.J-Hitam.

Fnr.15931

Mynd 14



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

HITAVEITA SUÐURNESJA  
Svartsengi  
Afkastamæling holu H-5 í Svartsengi

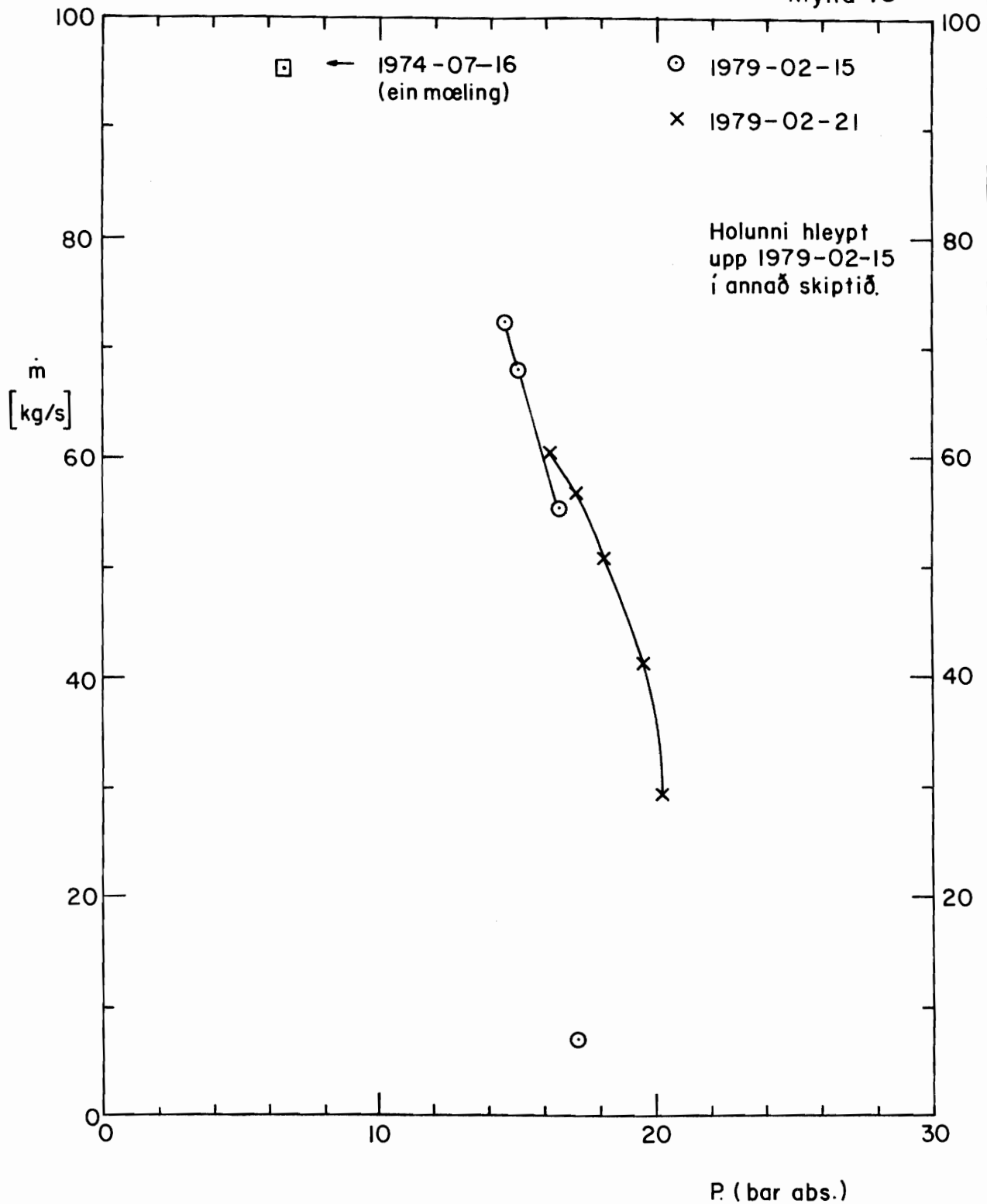
'79.03.26.

SP/IB

Vinnslut. Svartse.

F 18232

Mynd 15





ORKUSTOFNUN

HITAVEITA SUÐURNESJA  
Svartsengi  
Vatnsnotkun

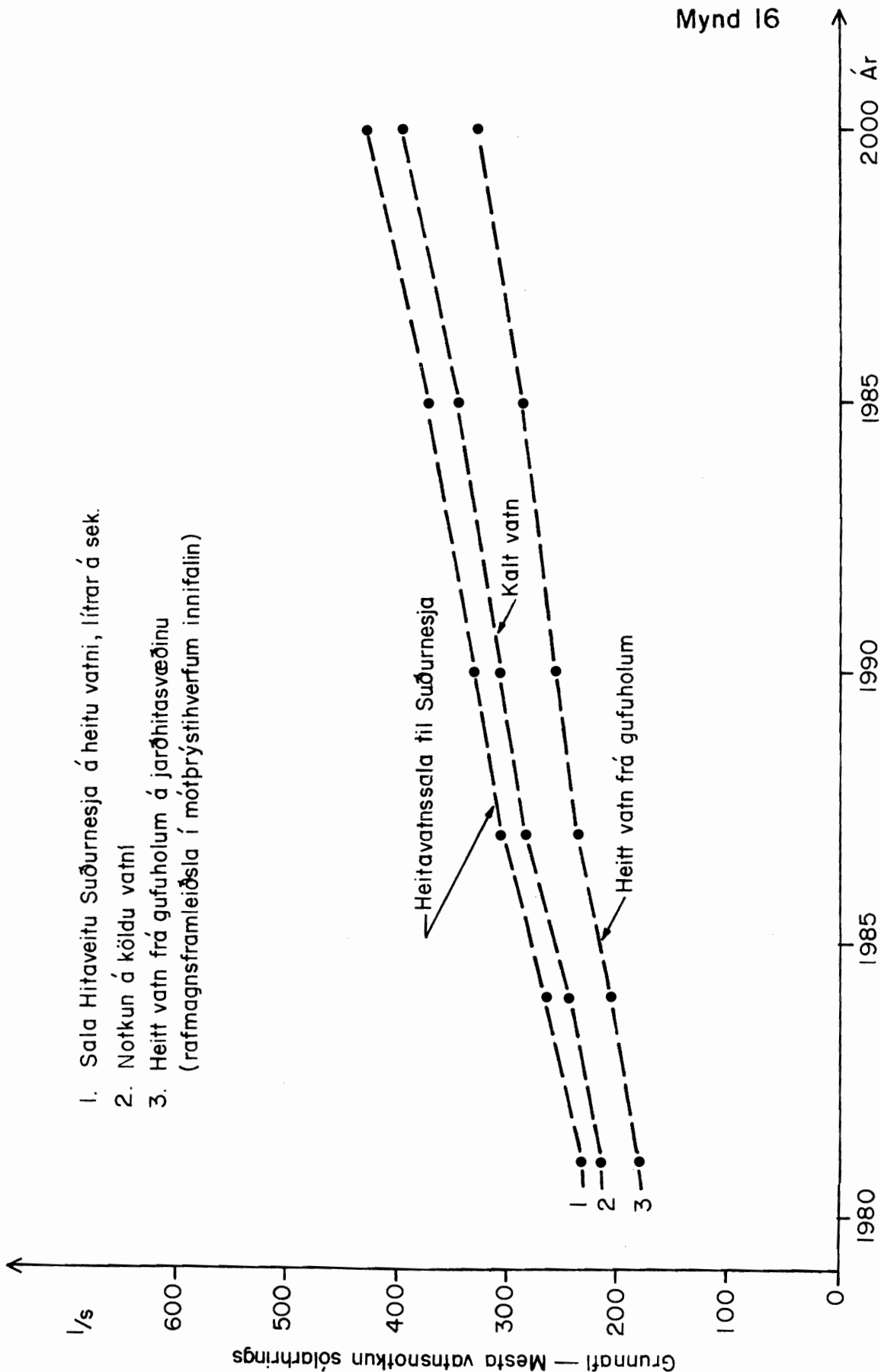
10. jan. 1980 (endurteikn)

GKH/Gyða

Svartsengi

F-18469

Mynd 16



Grunnafi - Mesta vatnsnotkun sólarhrings

l/s

1980

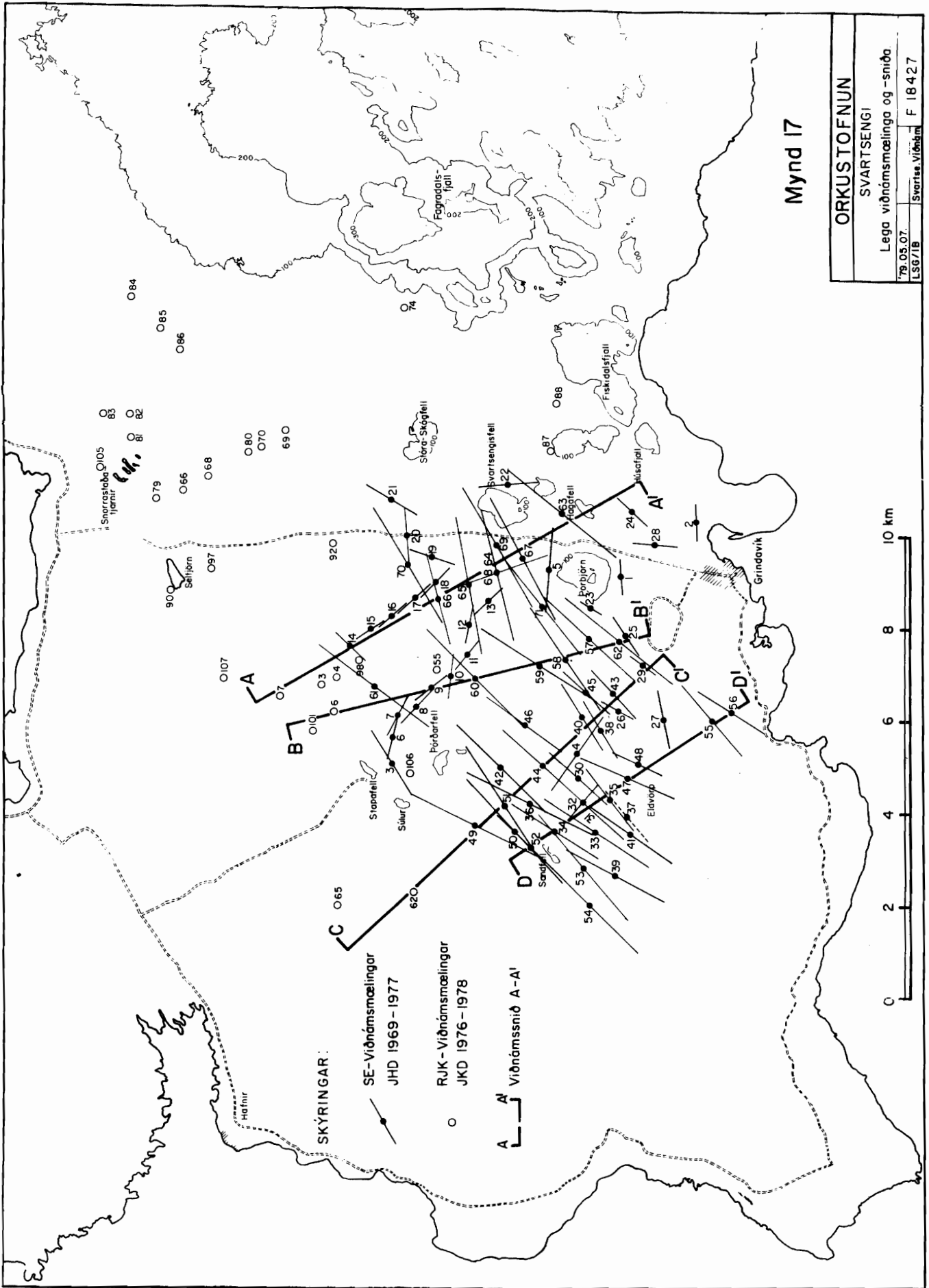
1985

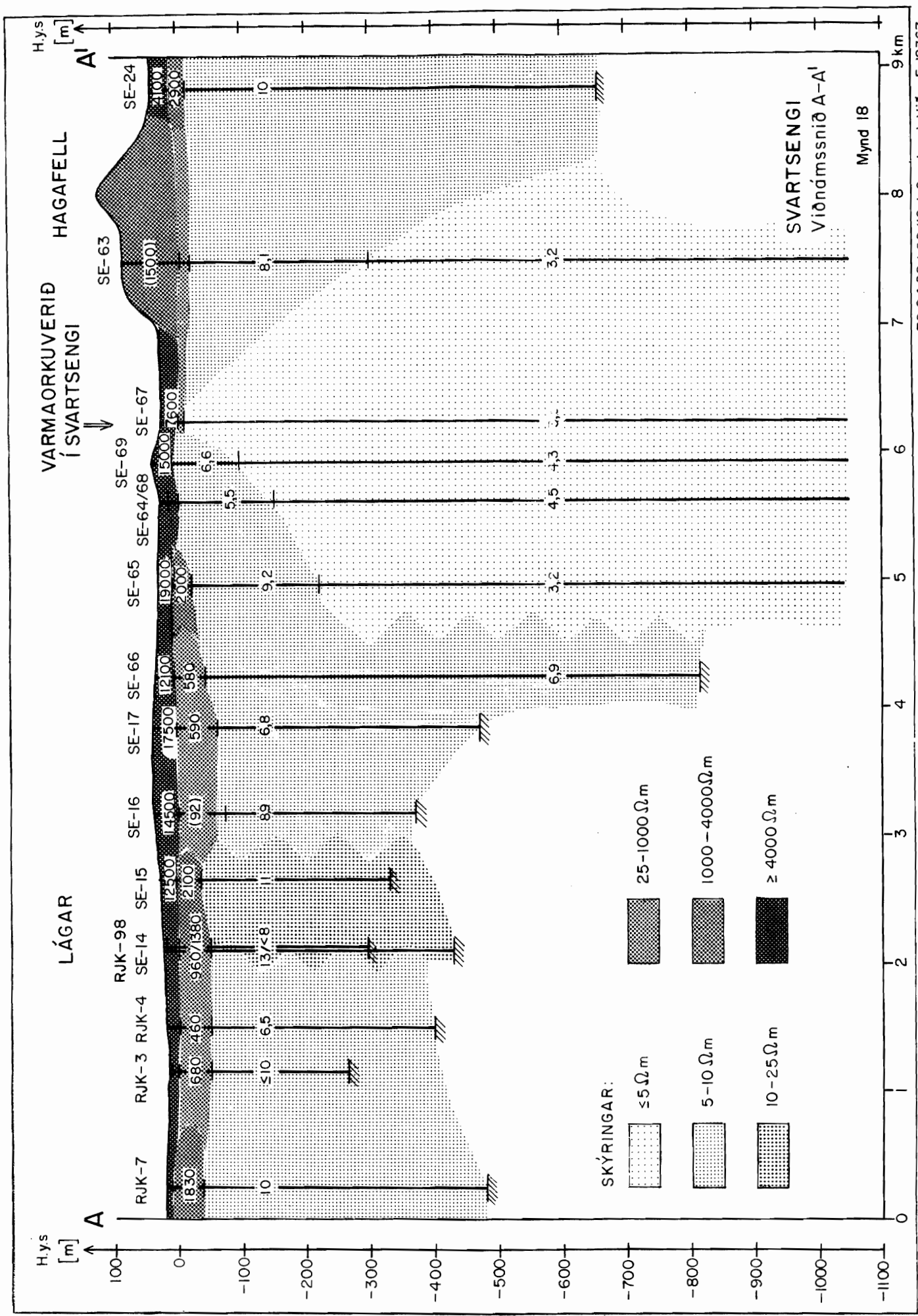
1990

1985

2000

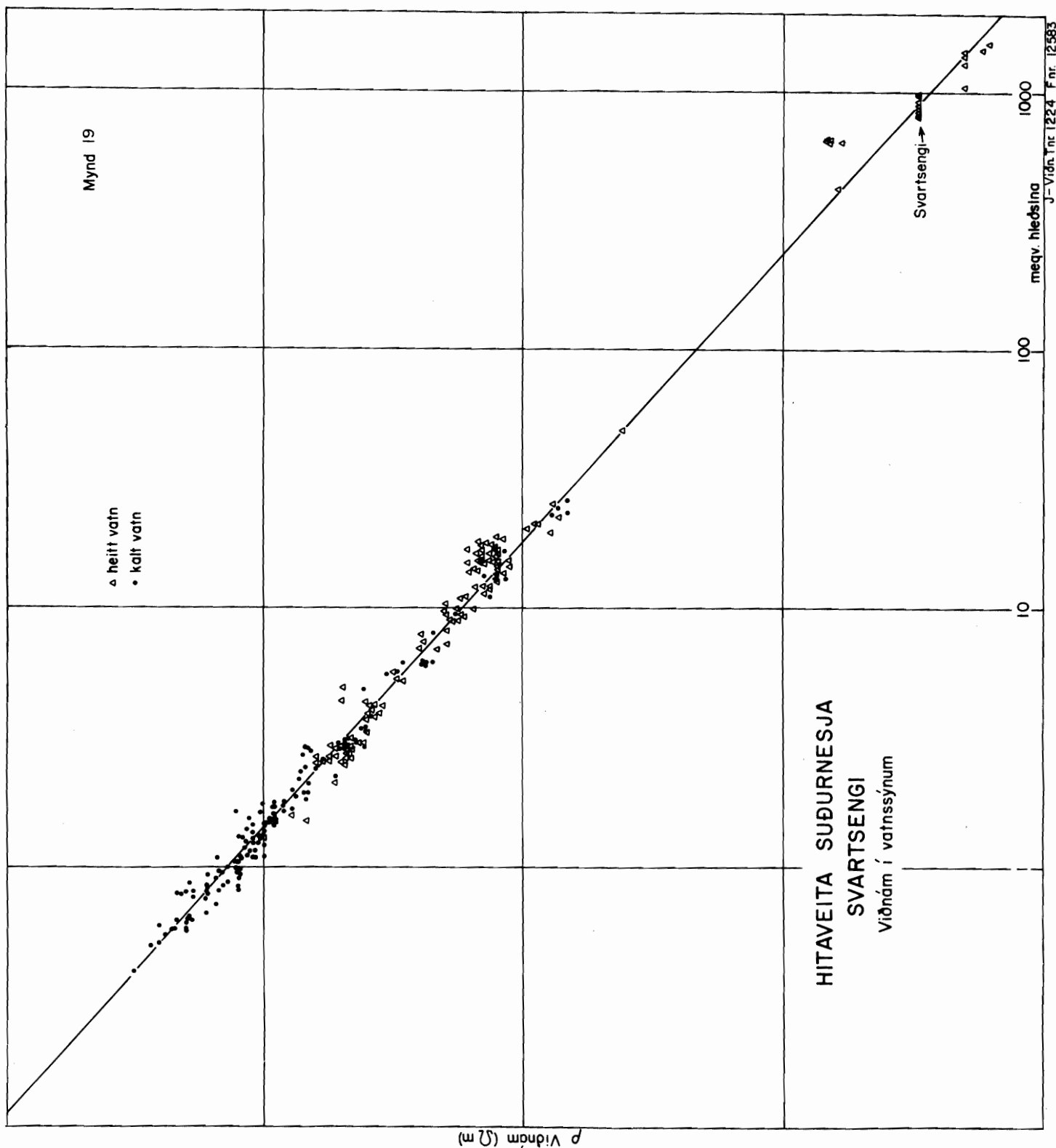
Ár





79 04 20 LSG/IS J-Svartse. J-Viðn. F-18367







#### 4 VARMATAP JARÐHITASVÆÐIS

Í öðrum kafla þessarar skýrslu er sett fram yfirlitslíkan af jarðhitasvæðinu. Þetta yfirlitslíkan sýnir að það sem kalla mætti eðlilega "starfsemi" jarðhitasvæðisins er að leiða heitt vatn djúpt í jörðu upp á við, kæla það og veita því niður aftur þar sem það hitnar á ný af völdum mjög heitra vatnsstrauma sem koma frá svokallaðri jarðskjálftarennu. Til jafnvægis við heita innrennslið á sér svo stað útrennsli af kaldara vatni og gufu í efri jarðlögum.

Bein afleiðing af þessu líkani er sú að gera verður ráð fyrir að seltuinnihald jarðsjávarins vaxi eitthvað vegna gufutaps (sjá mynd 6). Allir þættir í líkaninu verða að sjálfsögðu að uppfylla grundvallarlögmál eðlisfræðinnar um varðveislu efnis og orku, og á þessu er hægt að byggja vissa útreikninga, en niðurstöður þeirra er síðan hægt að bera saman við mæliniðurstöður. Þetta er eina leiðin til að ganga úr skugga um hvort sú mynd sem dregin hefur verið upp í 2. kafla af starfsemi jarðhitasvæðisins sé rétt eða ekki.

Á mynd 21 er sýnt einfaldað varmastraumslíkan, eða "konvektionslíkan". Þar er allt uppstreymi tekið sem ein grein og allt niðurstreymi sem ein grein. Innrennsli, útrennsli og gufuústreymi er einfaldað á sama hátt.

Athuga ber, að myndin á ekki að sýna þverskurð í svæðið, uppstreymi tákna allt vatn, sem streymir upp, niðurstreymi allt vatn, sem streymir niður, hitastigið er áætlaður meðalhiti o.s.frv. Raunveruleg hegðun slíkra konvektionsstrauma er mjög flókin (sjá nánar ritgerð Jónasar Elíassonar (1973) "Convective groundwater flow").

Eftirfarandi samfellulíkingar verða að gilda fyrir massa- og varmastráuminn:

Neðra massasamfelli:

$$\dot{m}_{KU} = \dot{m}_{KN} + \dot{m}_i \quad (13)$$

Efra massasamfelli:

$$\dot{m}_{KU} = \dot{m}_{KN} + \dot{m}_U + \dot{m}_g \quad (14)$$

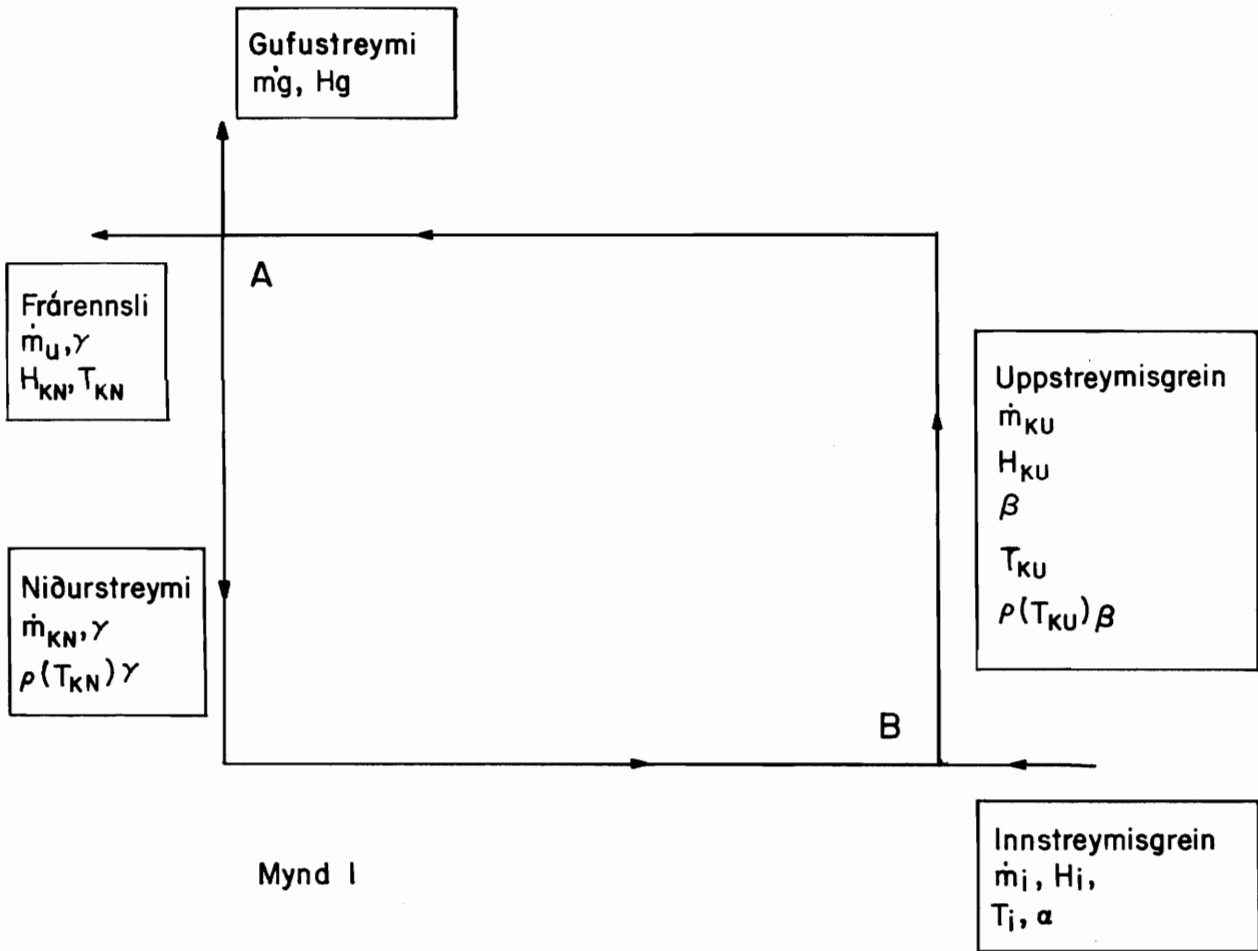
Neðra klórsamfelli:

$$\beta \cdot \dot{m}_{KU} = \alpha \cdot \dot{m}_i + \gamma \dot{m}_{KN} \quad (15)$$

Efra klórsamfelli:

$$\beta \cdot \dot{m}_{KU} = \gamma \dot{m}_{KN} + \gamma \dot{m}_U \quad (16)$$

Mynd 21



Mynd 1

$\dot{m}$  : Massastreymi

H : Enthalpy

T : Hiti

$\alpha\beta\gamma$  : Seltuhlutfall, miðað við sjó

$\rho(T_{KU})\beta$  : Eðlisþyngd vatns í uppstreymisgrein, með hitanum  $T_{KU}$ , og seltu  $\beta$ .

Neðra varmajafnvægi:

$$H_{KU} \cdot \dot{m}_{KU} = H_i \cdot \dot{m}_i + H_{KN} \cdot \dot{m}_{KN} \quad (17)$$

Efra varmajafnvægi:

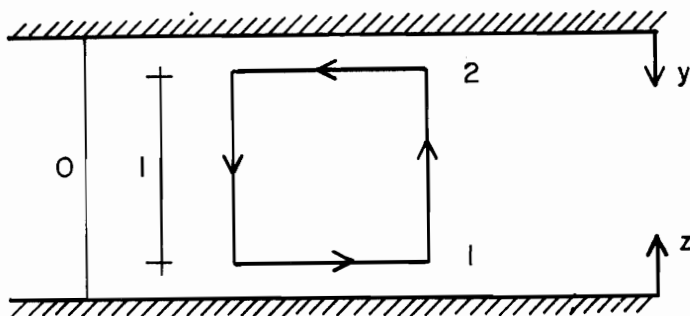
$$H_{KU} \cdot \dot{m}_{KU} = H_g \cdot \dot{m}_g + H_{KN} \cdot \dot{m}_U + H_{KN} \cdot \dot{m}_{KN} \quad (18)$$

Eftirfarandi tákni hafa verið notuð í jöfnunum hér að ofan:

- $\dot{m}_{KU}$  : massastreymi upp í hringstreyminu, kg/s
- $\dot{m}_{KN}$  : massastreymi niður í hringstreyminu, kg/s
- $\dot{m}_i$  : massastreymi inn í hringstreymið frá jarðskjálftarennunni, kg/s
- $\dot{m}_U$  : massastreymi affallsvatns, kg/s
- $\dot{m}_g$  : massastreymi gufu, kg/s
- $\alpha$  : selta innstreymisvatnsins frá jarðskjálftarennu, sem hlutfall af seltu sjávar
- $\beta$  : seltuhlutfall vatns í uppstreymisgrein
- $\gamma$  : seltuhlutfall affallsvatns og vatns í niðurstreymisgrein
- $T_i$  : hitastig vatns í innstreymisgrein, °C
- $T_{KU}$  : hitastig vatns í uppstreymisgrein, °C
- $T_{KN}$  : hitastig affallsvatns og vatns í niðurstreymisgrein, °C
- $H_i$  : varmainnihald vatns í innstreymisgrein, kJ/kg
- $H_{KU}$  : varmainnihald vatns í uppstreymisgrein, kJ/kg
- $H_{KN}$  : varmainnihald affallsvatns og vatns í niðurstreymisgrein, kJ/kg
- $H_g$  : varmainnihald gufustreymis, kJ/kg

Við skulum nú líta á straumfræðilegt líkan af hringstreyminu. Mynd 22 sýnir snið í einhverja straumleið jarðhitageymisins.

MYND 22



Mynd 22 Lóðrétt snið af hringstreymi

Straumlíkingin í hringstreyminu er:

$$\frac{g}{K} U_i + g_i \cdot \rho + \frac{\partial P}{\partial X_i} = 0 \quad (19)$$

Sjá Jónas Elíasson (1973) til frekari skýringa. Hér er:

$$\begin{aligned} U_i &= \text{massastreymisvektor, kg/s/m}^2 \\ K &= \text{lektarstuðull, m/s} \\ g_i &= \text{þyngdarhröðun, (0,g), m/s}^2 \\ \rho &= \text{eðlismassi, kg/m}^3 \\ P &= \text{þrýstingur, N/m}^2 \\ X_i &= \text{hnit, } i = 1,2, \text{ m} \end{aligned}$$

Heildun á jöfnu 19 yfir hringrásina gefur:

$$\int \frac{g}{K} U_i \cdot ds + \int g_i \rho \cdot ds + \int \frac{\partial P}{\partial X_i} \cdot ds = 0 \quad (20)$$

Fyrsti liðurinn er mælikvarði á orkutapið á leiðinni. Annar liðurinn er eðlisþyngdarmunur uppstreymisgreinar og niðurstreymisgreinar, sem heldur hringstreyminu gangandi. Þriðji og síðasti liðurinn er heildun á þrýstingi eftir hringstreymisleiðinni og er jafn núlli.

Annan lið í líkingu 20 má skrifa sem:

$$\int g_i \rho \cdot ds = g \Delta \rho \cdot l \quad (21)$$

þar sem  $\Delta \rho$  er mismunur á eðlismassa í uppstreymis- og niðurstreymisgrein.

Gera má ráð fyrir að meginorkutapið sé í uppstreymisgreininni. Ef gert er ráð fyrir að  $(1 - \epsilon)$  af orkutapinu eigi sér stað í uppstreymisgreininni og jafna 21 er notuð verður líking 20:

$$\bar{u} = (1 - \epsilon) \cdot k \cdot \Delta \rho \quad (22)$$

Sem nálgun gerum við ráð fyrir að  $\epsilon = 0,25$ , þ.e. meginorkutapið sé í uppstreymisgreininni. Leiðnin í Svartsengi er um  $0,012 \text{ m}^2/\text{s}$  og þykkt vatnsleiðarans er áætluð um 2000 m. Lektarstuðullinn,  $k$ , er samkvæmt því  $0,012/2000 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ . Massastreymið í uppstreymisgreininni verður því:

$$\dot{m}_{KU} = 4,5 \cdot \Delta \rho A \quad (23)$$

þar sem A táknar flatarmál uppstreymissvæðis í km<sup>2</sup>. Bæta má við líkingu sem lýsir sambandinu á milli H<sub>g</sub> og H<sub>KN</sub>:

$$H_g = H_{KN} + r \quad (24)$$

þar sem r er uppgufunarvarminn. Líkingar 13 - 24 má laga til á eftirfarandi hátt:

$$\dot{m}_{KN} = \dot{m}_{KU} \frac{\beta - \alpha}{\gamma - \alpha} \quad (25)$$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_{KU} \frac{\gamma - \beta}{\gamma - \alpha} \quad (26)$$

$$\dot{m}_U = \dot{m}_{KU} \frac{\alpha}{\gamma} \frac{\gamma - \beta}{\gamma - \alpha} \quad (27)$$

$$\dot{m}_g = \dot{m}_{KU} \frac{\gamma - \beta}{\gamma} \quad (28)$$

$$H_{KN} = H_{KU} - r \frac{\gamma - \beta}{\gamma} \quad (29)$$

$$H_i = H_{KU} + r \cdot \frac{\beta - \alpha}{\gamma} \quad (30)$$

$$\Delta\rho = \rho(T_{KN}, \gamma) - \rho(T_{KU}, \beta) \quad (31)$$

$$m_{KU} = 4,5 \Delta\rho \cdot A \quad (32)$$

Ef gert er ráð fyrir að  $\gamma$  sé óþekkt stærð en uppstreymisflatarmálið, A, þekkt, höfum við 8 líkingar með 9 óþekktum stærðum. Uppstreymisflatarmálið er fundið út frá mynd 23. Myndin sýnir gígaraðir sem gætu takmarkað jarðhitasvæðið, og þar er staðbundin stefna jarðskjálftarennunnar í Svartsengi einnig sýnd. Gengið er út frá að uppstreymissvæðið sé hringlaga svæði, og falli innan jarðskjálftarennunnar og miðja þess sé þar sem sprungusveimurinn í gegnum Þorbjörn sker miðlínu jarðskjálftarennunnar. Samkvæmt þessum forsendum er uppstreymissvæðið 2,5 km í þvermál og 4 km<sup>2</sup> að flatarmáli (sjá mynd 23). Þvermál lágviðnámsrennunnar á mynd 20 er um það bil 3 km, og er því um ágætt samræmi að ræða. Líkingar 25 - 32 eru nú leystar með tilliti til  $\gamma$  og niðurstöður færðar í töflu 4.

Í skýrslu Stefáns Arnórssonar (1978) er talið líklegt, út frá afgösum í holu H-3, að seltuaukningin sé um 4-6%. Samkvæmt því ættu niðurstöður að falla innan dekkri rammans í töflu 4. Náttúrulegt varmatap svæðisins ætti því að liggja á bilinu 200 til 400 MW, ef tölurnar í töflunni eru lagaðar að næstu hundraðstölum. Í kafla 2 fékkst að rennslið í jarðskjálftarennunni væri  $170/(1 - \alpha) \cong 360$  kg/s. Innrennslið,  $\dot{m}_1$ , inn á jarðhitasvæðið í Svartsengi er samkvæmt töflu 4 160-290 kg/s. Hér er því innbyrðis samræmi á milli, því að innrennslið verður vitaskuld að vera minna en rennslið eftir jarðskjálftarennunni.

Bragi Árnason hefur með hliðsjón af vetnisisótópum áætlað hitastig djúpvatns á ýmsum jarðhitasvæðum. Það hitastig mun eiga við hita innrennslisvatnsins,  $T_1$ , í töflu 4 (sjá Bragi Árnason 1976). Tafla 5 sýnir innrennslis hitastigið, sem fall af  $\alpha$  og  $\beta$ . Því miður liggja niðurstöður Braga um djúphitastigið í Svartsengi ekki fyrir ennþá. Samkvæmt því  $\alpha$  og  $\beta$ , sem notað er í reikningunum, ætti djúphitastigið að vera 295°C. Nota mátti því niðurstöður Braga þegar þar að kemur til að meta gæði líkansins eða nákvæmni mælinga á  $\alpha$  og  $\beta$  með hliðsjón af gæði hitamæliaðferðarinnar. Rétt er að benda á að niðurstreymis hitastigið reiknast 210-220°C, en það svarar til botnhitans í holum 2 og 3. Eins og að framan greinir reiknast náttúrulegt varmatap jarðhitasvæðisins 200-400 MW. Þessa orku má taka án þess að trufla eðlilega "starfsemi" jarðhitakerfisins með svokallaðri "tvíþól" aðferð, þ.e. með því að taka upp heitt vatn og setja kalt vatn niður. Sé það gert svarar varmatapið til að taka má 230-460 kg/s upp úr svæðinu að jafnaði, með hámarksafköstum 430-860 kg/s, ef reiknað er með 4700 stunda nýtingartíma. Ef "tvíþól" aðferð er ekki notuð við vinnslu úr svæðinu, heldur vatn tekið án þess að setja nokkuð aftur í staðinn, lækkar þrýstingurinn og eins og vikið verður að í næsta kafla takmarkar það verulega mögulega orkuvinnslu.



TAFLA 4

Útreikningar á varmatapi jarðhitasvæðisins í Svartsengi

$\alpha = 57\%$        $\beta = 67\%$        $T_{KU} = 243^\circ\text{C}$        $H_{KU} = 252 \text{ kcal/kg}$   
 $T = 0,012 \text{ m}^2/\text{s}$        $D = 2000 \text{ m}$ ,  $k = 6 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$        $A = 4 \text{ km}^2$

$\gamma$	69	70	71	72	73	74	%
$H_{KN} \text{ kcal/kg}$	239	233	227	221	215	208	kcal/kg
$T_{KN} \text{ }^\circ\text{C}$	233	226	221	216	211	204	$^\circ\text{C}$
$H_i \text{ kcal/kg}$	317	315	315	314	314	315	kcal/kg
$T_i \text{ }^\circ\text{C}$	295	295	295	295	295	295	$^\circ\text{C}$
$\rho(T_{KU}) \text{ kg/m}^3$	810	810	810	810	810	810	$\text{kg/m}^3$
$\rho(T_{KU}, \beta)$	825	825	825	825	825	825	$\text{kg/m}^3$
$\rho(T_{KN})$	824	832	839	845	851	860	$\text{kg/m}^3$
$\rho(T_{KN}, \gamma)$	840	848	856	862	868	878	$\text{kg/m}^3$
$\Delta\rho$	15	23	31	37	43	53	$\text{kg/m}^3$
$\dot{m}_{KU} \text{ kg/s}$	270	410	560	670	770	950	kg/s
$m_i \text{ kg/s}$	45	94	160	223	289	391	kg/s
$m_{KN} \text{ kg/s}$	225	315	399	447	481	559	kg/s
$m_U \text{ kg/s}$	37	77	129	176	226	300	kg/s
$m_g \text{ kg/s}$	8	18	32	47	63	90	kg/s
Varmatap	14.300	29.900	50.500	70.000	90.600	123.100	kcal/s
jarðhitasvæðis	60	125	211	293	379	516	MW

TAFLA 5

Svartsengi. Hiti á innstreymisvatni sem fall af  $\alpha$  og  $\beta$







$\alpha$ $\beta$	52	54	56	57	58	59	61	63
60	289	279	268	262	256	250	x	x
62	298	287	277	271	266	260	250	x
64	305	296	287	282	277	271	259	249
66	312	304	295	291	286	281	270	259
67	317	307	299	295	290	286	275	265
68	320	311	303	298	294	289	279	270
70	327	319	310	306	302	296	287	279
72	332	324	316	312	308	304	295	287

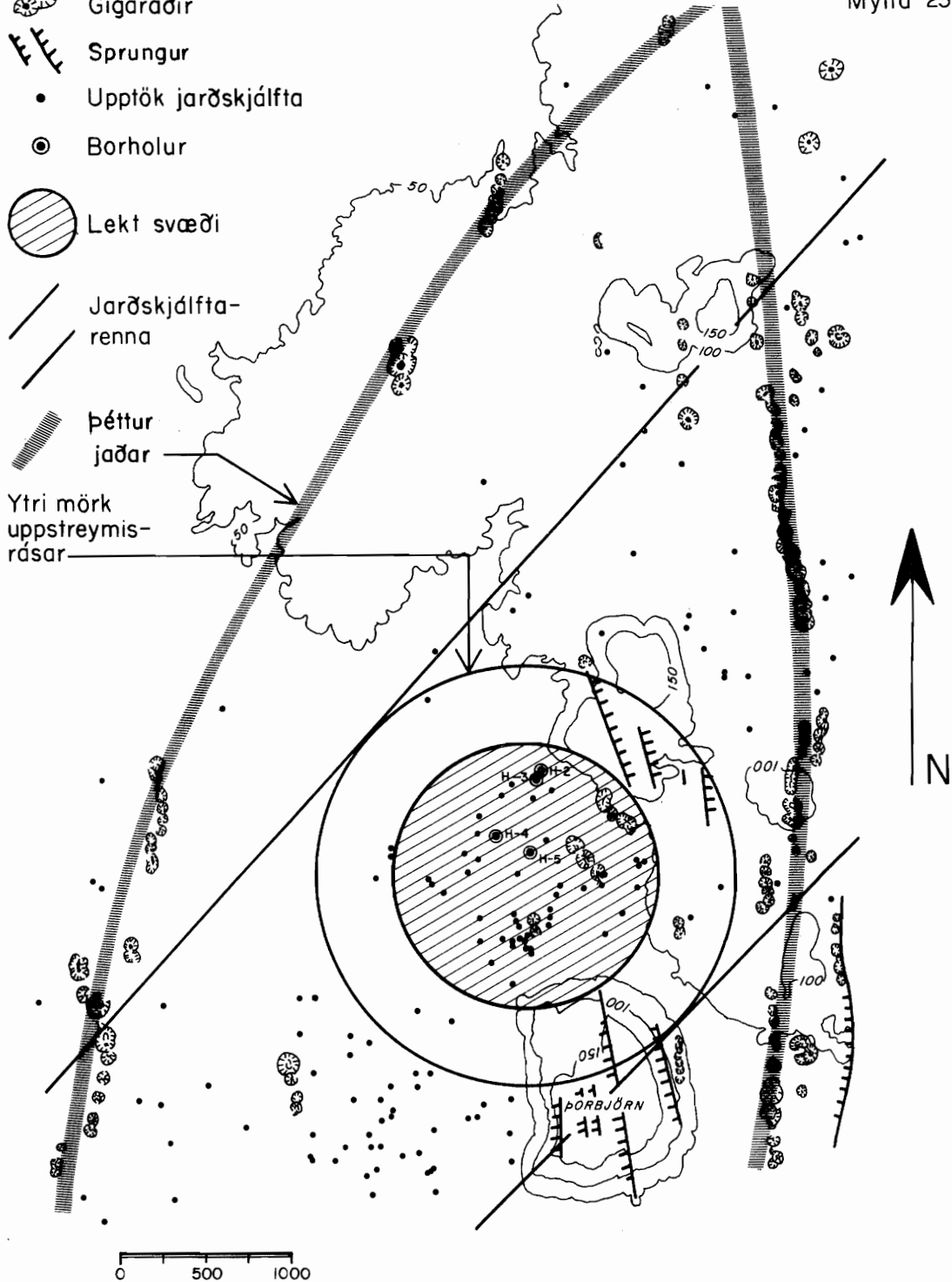
# HITAVEITA SUÐURNESJA

## SVARTSENGI

### Ytri mörk jarðhitasvæðis

Mynd 23

-  Gígaráðir
  -  Sprungur
  -  Upptök jarðskjálfta
  -  Borholur
  -  Lekt svæði
  -  Jarðskjálfta-renna
  -  Þéttur jaðar
- Ytri mörk uppstreymis-rásar

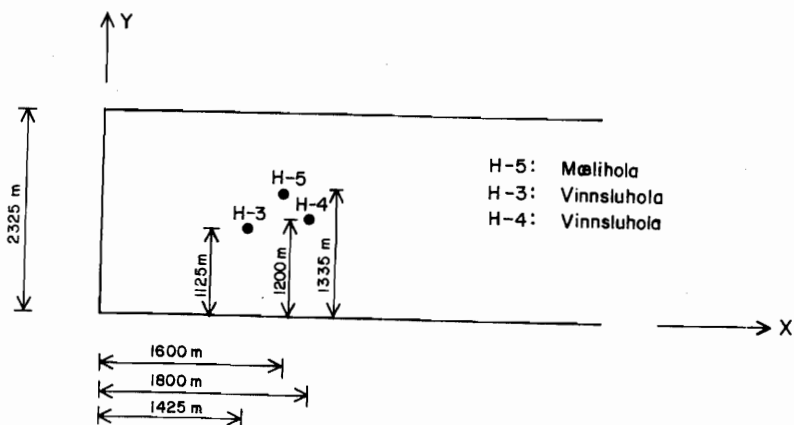




5 ÞRÝSTILÆKKUN VIÐ VINNSLU

Eins og fram kemur í síðasta kafla og af fyrri skýrslu Straumfræðistöðvar (Jónas Elíasson o.fl. 1977) um jarðhitasvæðið í Svartsengi er það einkum þrýstilækkun við vinnslu, sem kemur til með að takmarka afl orkuvers á svæðinu. Við slíka lækkun á þrýstingi færast suðuborð vatnsins í borholunum niður sem nemur þrýstilækkuninni. Kalkútfellingar sem eru við og ofan suðuborðs færast því einnig neðar með tímanum. Hönnun borhola í Svartsengi miðast nú við að suðuborðið haldist innan í steypu vinnslufóðringunni. Holur H-4 og H-5 eru fóðraðar niður á 400 m og suðuborð holanna er á svipuðu dýpi. Aðrar holur á svæðinu eru fóðraðar í rúmlega 600 m, sem leyfir 20-25 bar þrýstilækkun.

Í upphafi vinnslu, 18. október 1976, var komið fyrir siritandi vatnsborðsmæli í holu H-5 í því skyni að fylgjast með þrýstilækkuninni. Mynd 12 sýnir þrýstilækkun á svæðinu eins og hún kemur fram sem vatnsborðslækkun í holu H-5. Í kafla 3.2 er gerð nánari grein fyrir þessum vatnsborðsmælingum. Mynd 13 í kafla 3.2 sýnir vatnsborðslækkunina sem fall af log t og á sömu mynd er einnig sýnd lausn Theis, sem gildir fyrir vatnsleiðara, óendanlega víðan. Mælingar sýna talsvert meiri vatnsborðslækkun en lausn Theis. Vatnsleiðarinn hlýtur því að vera takmarkaður að einhverju leyti. Með líkanreikningum hafa verið prófuð svæði af mismunandi stærð, lögum og lekt. Svæði eins og sýnt er á mynd 24 gefur ágæta samsvörun á milli mældra og reiknaðra gilda. Um nákvæma staðsetningu og stefnu slíks svæðis eða rennu skal ekki fjölyrt frekar um hér en vísað er til kafla 2 og kafla 3.5 þar um.



Mynd 24 Jarðhitarenni í Svartsengi og afstaða borhola til hennar

Í útreikningum er gert ráð fyrir láréttu streymi í vatnsleiðara, sem er samkynja og einsleitur. Leiðni- og geymslustuðlar svæðisins voru fundnir  $T = 0,012 \text{ m}^2/\text{s}$  og  $S = 0,012$ , sbr. kafla 3.2. Þrýstilækkun í svæði eins og sýnt er á mynd 24 er gefin með eftirfarandi jöfnu:

$$h(x,y,t) = \frac{1}{a \cdot b \cdot S} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} C_{nm} \phi_{nm}(x,y) \phi_{nm}(\xi,\eta) \int_0^t Q(\tau) e^{-(t-\tau)/K_{nm}} d\tau \quad (33)$$

þar sem:

- h : vatnsborðslækkun í mæliholu, m
- a : lengd rennu, m
- b : breidd rennu, m
- S : geymslustuðull
- Q : magn tekið úr svæði,  $\text{m}^3/\text{s}$
- (x,y): hnit mæliholu, m
- (ξ,η): hnit vinnsluholu, m
- T : leiðnistuðull,  $\text{m}^2/\text{s}$

og fylkin  $C_{nm}$ ,  $\phi_{nm}$  og  $K_{nm}$  eru skilgreind á eftirfarandi hátt:

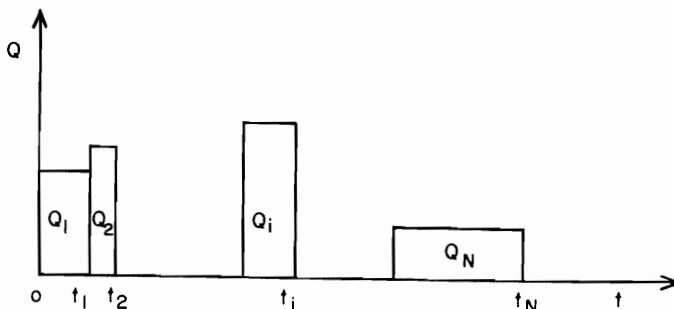
$$C_{nm} = \begin{cases} 4 & n \neq 0, m \neq 0 \\ 2 & n \neq 0 \text{ og } m = 0, \text{ eða } n = 0 \text{ og } m \neq 0 \\ 1 & n = 0 \text{ og } m = 0 \end{cases} \quad (34)$$

$$K_{nm} = \frac{S}{\pi^2 T \left( \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)} \quad (35)$$

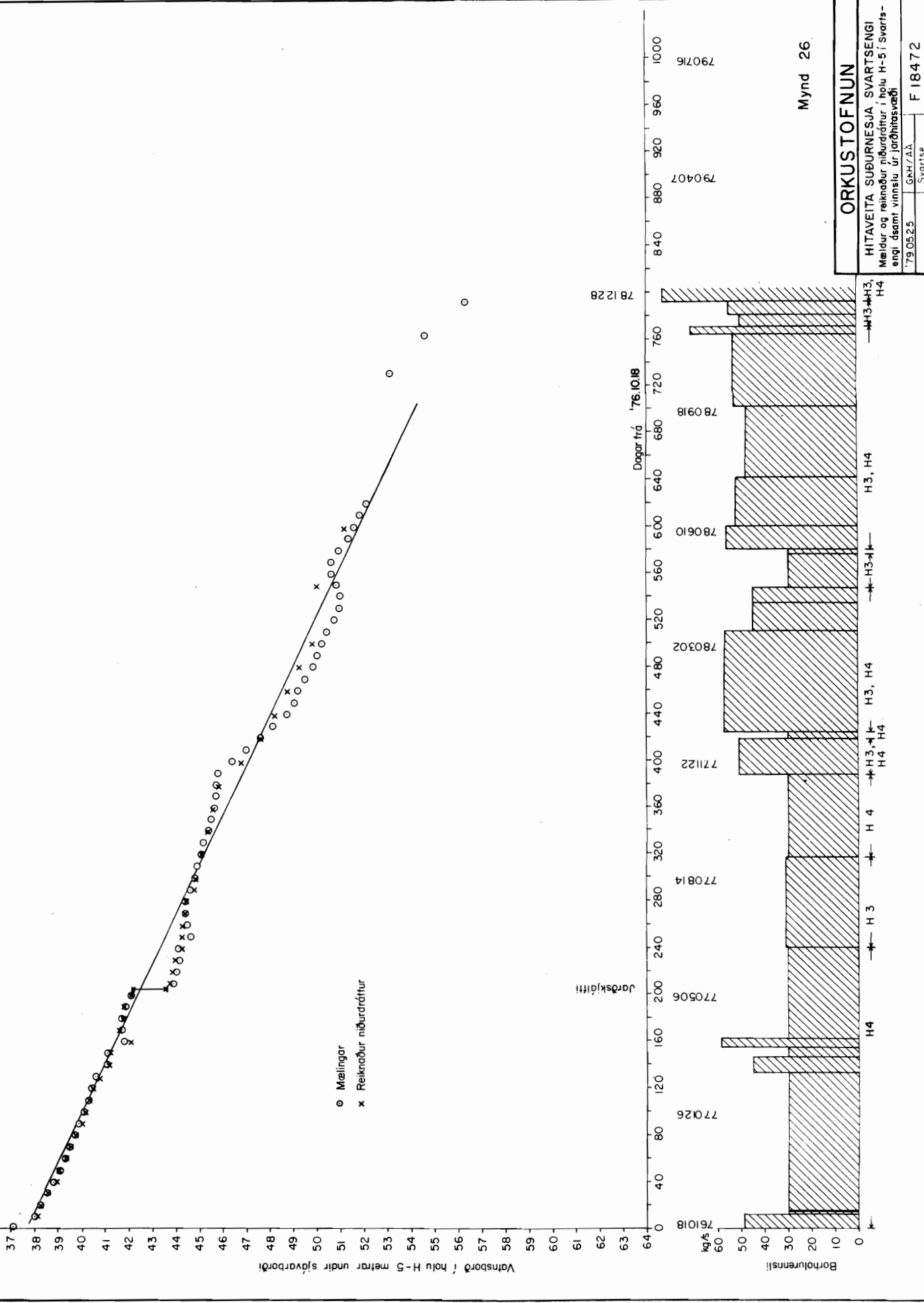
$$\phi_{nm} = \text{Cos} \frac{m\pi x}{a} \text{Cos} \frac{n\pi y}{b} \quad (36)$$

Ef vinnslan, Q, er gefin sem þrepafall (sjá mynd 25) má skrifa jöfnu 33 á eftirfarandi hátt:

$$h(x,y,t) = \frac{1}{abS} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} C_{nm} \phi_{nm}(x,y) \phi_{nm}(\xi,\eta) K_{nm} \sum_{L=1}^N Q_L e^{-(t-t_L)/K_{nm}} \quad (37)$$



Mynd 25 Vinnsla sem þrepafall



Vahnborð í holu H-5 metror undir sjávarborði

○ Mælingar  
 x Reiknaður niðurdráttur

Daggar frá '76.10.18

Borholurensni

Mynd 26

**ORKUSTOFNUN**

HITAVEITA SUÐURNESJA SVARTSENGI  
 Mældur og reiknaður niðurdráttur í holu H-5 í Svartsengi ásamt vinnslu úr jarðhitasvæði

79.05.25

GAH/ÁÁ

Svarrise

F 18472



ORKUSTOFNUN

Straumfræðistöð

HITAVEITA SUÐURNESJA

Svartsengi

Þrýstlækkun á jarðhitasvæði við vinnslu 1 kg/s  
Reiknað samkvæmt líkani af jarðhitarennu

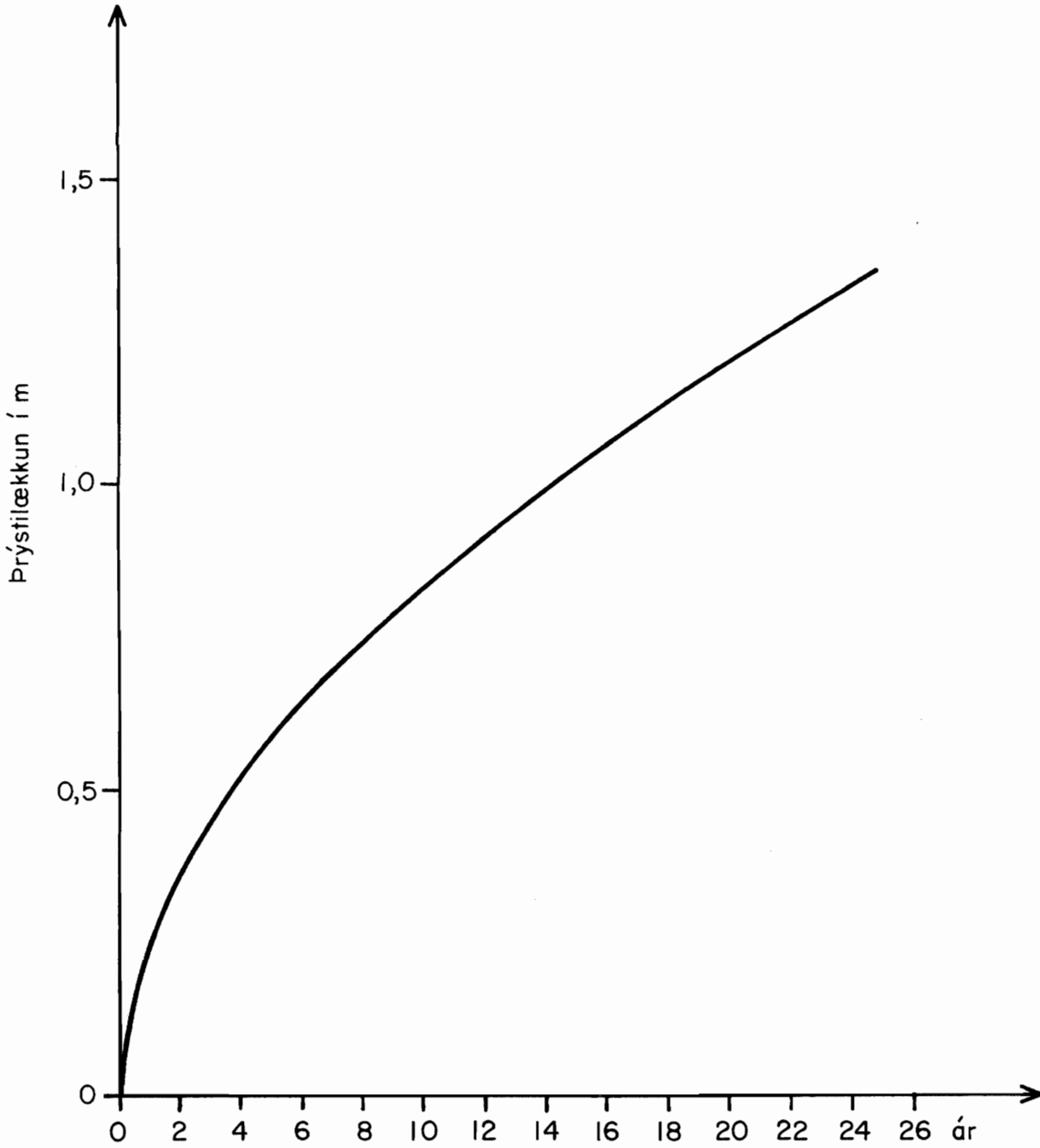
11. jan. 1980

SPK / Gyða

Svartsengi

F-18975

Mynd 27

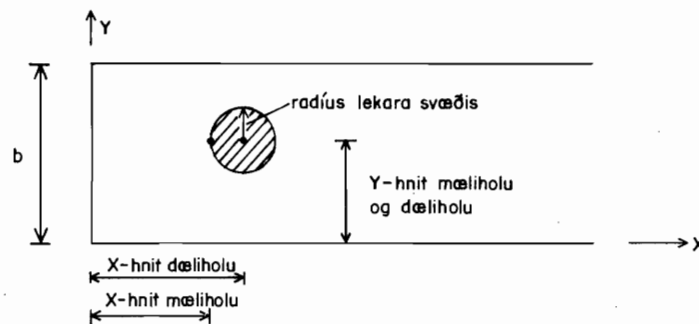




Vinnsla úr H-3 og H-4 er sýnd á mynd 26. Ef sú vinnsla er sett inn í jöfnu 37 og vatnsborðslækkun í H-5 reiknuð, fást niðurstöður, sem eru sýndar á mynd 26 (s. 63). Mældum og reiknuðum gildum ber vel saman. Einungis tvær breytistærðir voru notaðar til að fella gögnin vel saman, þ.e. breidd rennunnar og staðsetning holanna í rennunni. Við það fékkst breidd rennunnar 2325 m og staðsetning holanna eins og sýnt er á mynd 24.

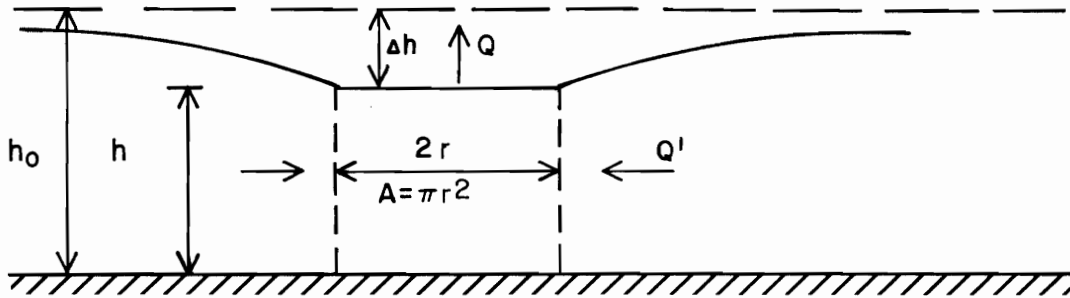
Þegar smá tími er liðinn frá því að vinnsla er aukin verður þrýstilækkunin sú sama á öllu holusvæðinu, þannig að með góðri nálgun má gera ráð fyrir að vatnsborðslækkunin sé sú sama í öllum holunum. Mynd 27 (s. 64) sýnir vatnsborðslækkun á holusvæðinu við vinnsluna 1 kg/s. Það línurit má síðan nota á einfaldan hátt til að reikna þrýstilækkun vegna breytilegrar vinnslu og verður síðar í þessum kafla gerð grein fyrir þeim reikningum.

Eins og fram hefur komið er þrýstilækkun á svæðinu við vinnslu mjög mikilvægt atriði. Þess vegna er eðlilegt að íhuga hvort líkanið hér að framan sé hið eina mögulega. Eins og fram kom í kafla 3.2 benda athuganir á geymslustuðli svæðisins til að jarðhitasvæðið sé opið svæði inn í öðru þéttara. Þess vegna gæti svæðislíkan eins og mynd 28 sýnir komið til greina.



Mynd 28 Jarðhitarennan í Svartsengi F-18969

Samkvæmt því er um að ræða svæði með þéttum jöðrum og með leiðni  $T'$  og geymslustuðul  $S'$ , en innan í því er síðan lekara svæði með leiðni  $T$  og geymslustuðul  $S$ , þar sem  $S$  og  $T$  eru stærri en  $S'$  og  $T'$ .  $S$  og  $T$  voru ákvörðuð við svæðisprófanir eins og greint er frá í kafla 3.2. Til að einfalda útreikninga gerum við nú þá nálgun að leka svæðið sé mjög lekt og vatnsborð lækki því jafnt yfir svæðið, og geymsla sem svarar til geymslustuðuls  $S$  geti átt sér stað þar. Leka svæðið er því eins og stór borhola með ræðius  $r$ . Sé tekið tillit til þessa þáttar, þ.e. geymsluförða á leka svæðinu við ákvörðun á vinnslunni  $Q$ , er síðan hægt að nota jöfnu 37 til útreikninga á þrýstilækkuninni, sjá mynd 29.



Mynd 29 Stækkaður þverskurður í leka svæðið á mynd 28

F-18970

Við höfum eftirfarandi líkingu fyrir magnið sem fer í geymslu á tímanum  $\Delta t$ :

$$(Q' - Q) \cdot \Delta t - \Delta h \cdot A \cdot S \quad (38)$$

sem má skrifa sem:

$$Q' = Q - A \cdot S \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (39)$$

Ef  $Q'$  er notað í jöfnu 37 í stað  $Q$  gefur jafnan nálgunarlausn. Til að reikna þrýstilækkunina með jöfnu 37, þarf því fyrst að ákvarða  $Q'$  úr jöfnu 39. Í því skyni er mynd 30 gerð, en hún sýnir vinnslu,  $Q$ , sem fall af tíma fyrstu 620 daga vinnslunnar ásamt þrýstilækkun fyrir sama tíma, hvaða vatnsborðsbreytinga ( $\Delta h/\Delta t$ ) má vænta og að lokum útreiknaða vinnslu,  $Q'$ . Til útreikninga á  $Q'$  samkvæmt jöfnu 39 hér að ofan, þarf flatarmálið á leka svæðinu að vera þekkt.

Mynd 23 sýnir hring dreginn um upptök flestra skjálftanna í Svartsengi innan jarðskjálftarennunnar. Á þessu svæði ganga einnig sjáanlegar yfirborðs-sprungur í gegnum jarðhitasvæðið. Það er því ástæða til að ætla að þetta svæði sé lekara en umhverfið. Flatarmál innri hringsins á mynd 23 er um  $2 \text{ km}^2$ , sem svarar til um 800 m radiuss. Reiknaða vinnslan,  $Q'$ , er nú sett inn í jöfnu 37 og vatnsborðslækkunin reiknuð. Í þeirri jöfnu eru þrjár óþekktar stærðir, breidd rennu,  $b$ , leiðnistuðull  $T'$  og geymslustuðull,  $S'$ . Þessar stærðir eru valdar til að best samsvörun fáiast milli mældrar og reiknaðrar vatnsborðslækkunar. Eftirfarandi gildi gefa besta niðurstöðu:

$$b = 4000 \text{ m}, S' = 0,0055 \text{ og } T' = 0,0055 \text{ m}^2/\text{s}.$$

Breidd rennunnar (4000 m) svarar nokkurn veginn til fjarlægðarinnar á milli gígaraðanna á mynd 23. Leiðnin fæst tvisvar sinnum minni en inni á leka svæðinu og er það ef til vill ekki nógu mikið til að nálgun okkar sem gerir ráð fyrir að leka svæðið sé margfalt opnara en hinn

hluti svæðisins sé nógu góð. Hún ætti eigi að síður að gefa grófa mynd og er því notuð vegna einfaldleika síns. Samanburður við mælingar er ekki sýndur, að öðru leyti en því að líkan þetta gefur hér um bil sömu niðurstöðu og fyrra líkanið og myndi því falla saman við punkta á myndum 13 og 26. Niðurstöður þessa líkans eru færðar til 1 kg/s vinnslu í 25 ár og sýndar á mynd 30 ásamt niðurstöðum fyrra líkansins. Á mynd 31 eru einnig sýnd tvö önnur tilfelli. Í fyrsta lagi óendanlegt svæði og í öðru lagi endanlegt lokað svæði að flatarmáli 30 km<sup>2</sup>. Flatarmálið er fengið út frá meðalhalla þrýstilækkunarlinunnar á mynd 26. Að lokum eru mælingar úr holu H-5 færðar til 1 kg/s vinnslu og sýndar á mynd 31. Mælingarnar falla vel að tveimur líkönum og ekki er fjarri lagi að endanlega lokaða svæðið falli einnig að mælingum. En þegar málið er skoðað fyrir minni tímaeiningar eins og á myndum 13 og 26 kemur í ljós að mismunur verður meiri, og stafar það af því að mynd 31 er meðaltalsmynd og ðregur því úr áhrifum aukinnar vinnslu. Hún á því einungis að sýna að mælingar bendi til að væntanlegur niðurdráttur falli innan strikaða svæðisins. Hinir tveir ferlarnir eiga að sýna efri og neðri mörk fyrir þrýstilækkun á jarðhitasvæði, annars vegar þegar svæðið er alveg lokað og hins vegar þegar svæðið er alveg opið.

Líkanið hér að framan er nú hægt að nota til að spá fyrir um þrýstilækkun við vinnslu. Eftirfarandi fjögur vinnslutilfelli verða athuguð:

- 1) hitaveita
- 2) hitaveita + 8MW mótþrýstirafmagn með 4000 klst nýtingartíma
- 3) hitaveita + 8MW mótþrýstirafmagn með 6000 klst nýtingartíma
- 4) hitaveita + 8MW mótþrýstirafmagn með 8000 klst nýtingartíma

Tilfelli 1 byggir á orkuspá fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Niðurstöður orkuspárinnar eru sýndar á mynd 32, og er þar sýnd bæði hámarksvatnsþörf og meðalvatnsþörf hitaveitu. Spáin nær yfir 25 ára tímabil, 1978 - 2003. Af 8MW mótþrýstirafmagni verða 2MW framleidd í orkuveri I og 6MW í orkuveri II. Til framleiðslu 6MW þarf 35 kg/s af gufu með þrýstilækkun frá 5,4 bar í 1,2 bar, en það svarar til 67% ísentrópískrar nýtni. 2MW eru framleidd með 18 kg/s af gufu með þrýstilækkun frá 5,4 bar í 1,7 bar, en það svarar til 57% ísentrópískrar nýtni. Gufan er skilin í báðum tilfellum við 5,4 bar og 155°C og svarar það til 18,4% gufuhlutfalls að meðaltali. Hámarksvatnsþörf mótþrýstirafmagnsframleiðslu er því  $(35 + 18)/0,184 = 288$  kg/s. Meðalviðbótarvatnsþörf vegna

raforkuframleiðslu fyrir 4000, 6000 og 8000 klst nýtingartíma er sýnd á mynd 32. Þrýstilækkunarspáin er nú gerð fyrir þessi fjögur álagstilfelli og niðurstaða hennar er sýnd á mynd 33. Við reikningana er mynd 27 notuð eins og áður var greint frá. Ef  $I_j$  er þrýstilækkunin á mynd 27 á ári  $j$  og  $Q_j$  er vinnslan á mynd 32 á ári  $j$ , fæst þrýstilækkunin á þeim árum, þegar vinnslan breytist, á eftirfarandi hátt:

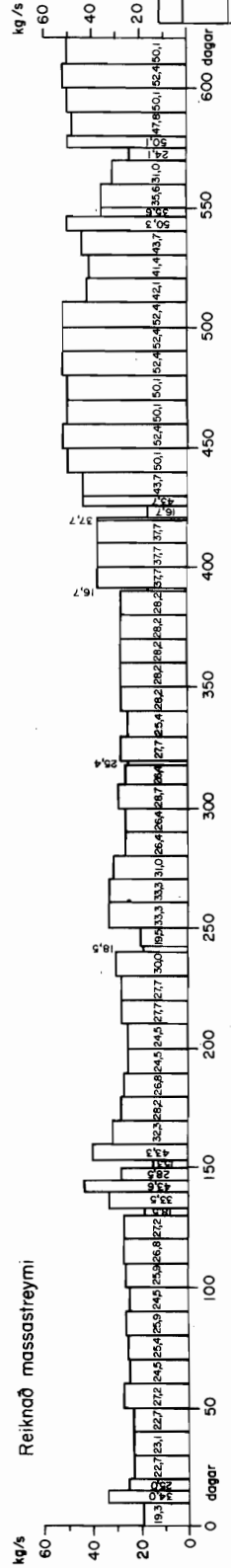
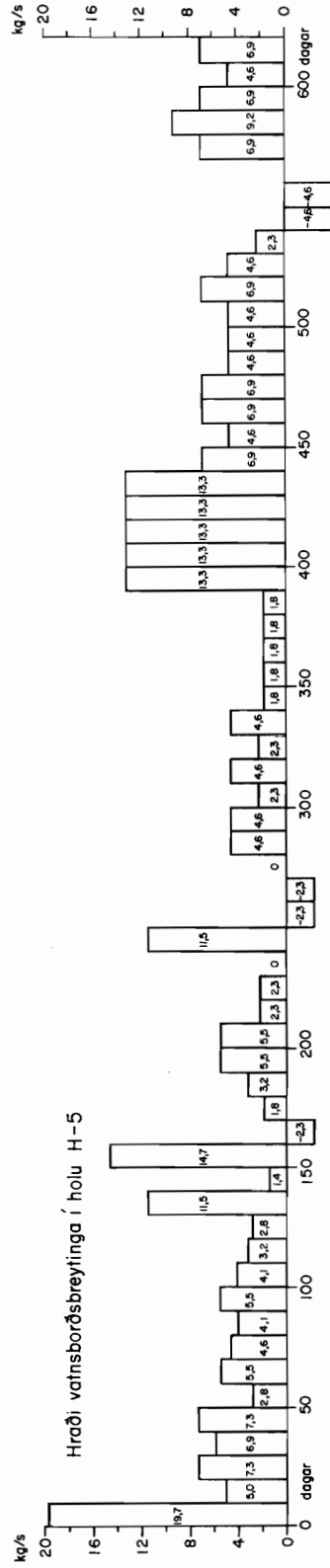
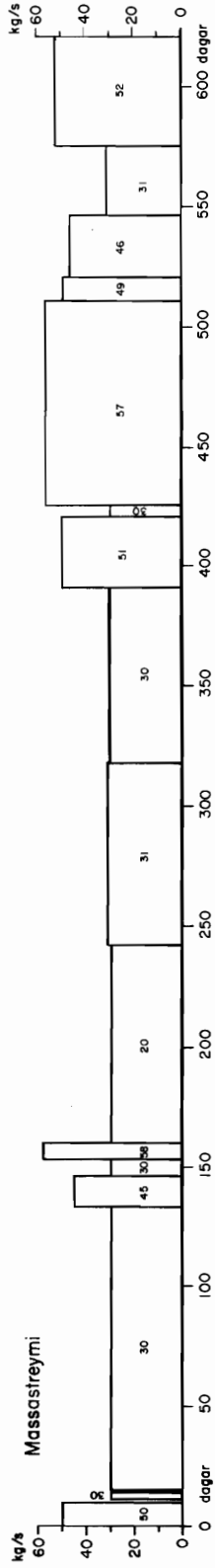
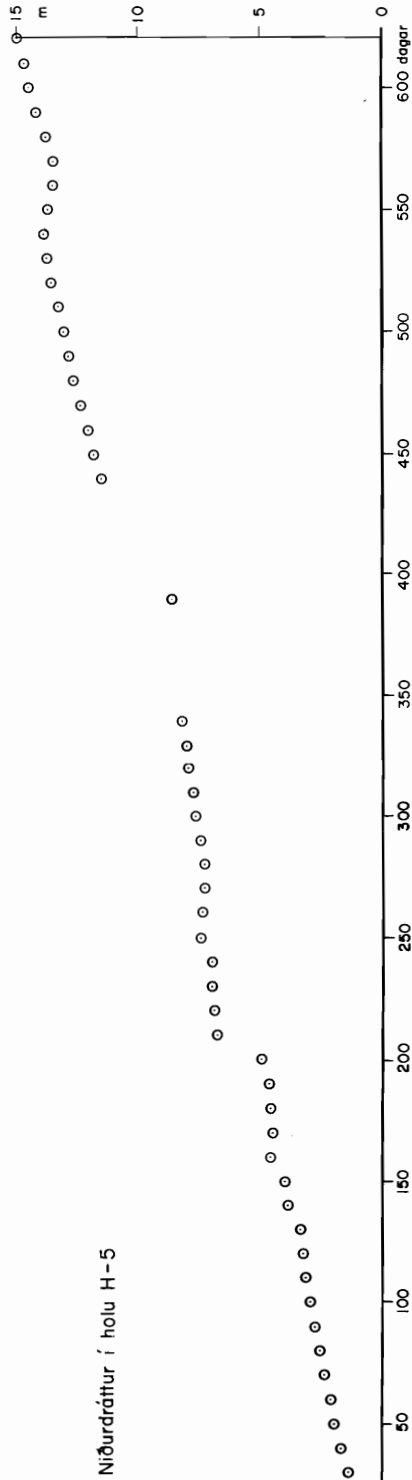
$$\begin{aligned} S_3 &= Q_3 I_3 & (40) \\ S_6 &= Q_3 I_6 + (Q_6 - Q_3) I_3 \\ S_9 &= Q_3 I_9 + (Q_6 - Q_3) I_6 + (Q_9 - Q_6) I_3 \\ S_{12} &= Q_3 I_{12} + (Q_6 - Q_3) I_9 + (Q_9 - Q_6) I_6 + (Q_{12} - Q_9) I_3 \\ S_{17} &= Q_3 I_{17} + (Q_6 - Q_3) I_{14} + (Q_9 - Q_6) I_{11} + (Q_{12} - Q_9) I_8 + (Q_{17} - Q_{12}) I_5 \\ S_{22} &= Q_3 I_{22} + (Q_6 - Q_3) I_{19} + (Q_9 - Q_6) I_{16} + (Q_{12} - Q_9) I_{13} + (Q_{17} - Q_{12}) I_{10} \\ &\quad + (Q_{22} - Q_{17}) I_5 \\ S_{25} &= Q_3 I_{25} + (Q_6 - Q_3) I_{22} + (Q_9 - Q_6) I_{19} + (Q_{12} - Q_9) I_{16} + (Q_{17} - Q_{12}) I_{13} \\ &\quad + (Q_{22} - Q_{17}) I_8 + (Q_{25} - Q_{22}) I_3 \end{aligned}$$

Niðurstaðan er eins og fyrr greinir sýnd á mynd 33.

Í byrjun kaflans var gerð grein fyrir því að hámarksþrýstilækkun verði á bilinu 200 - 250 m, og af mynd 33 má því ráða að 8 MW mótþrýstirafmagnsframleiðsla með lengri nýtingartíma en um það bil 6000 klst er ekki leyfileg. Rétt er að taka fram að aukin þrýstilækkun eykur möguleika á aðstreymi sem myndi aftur draga úr þrýstilækkuninni. Í þessu sambandi má geta til samanburðar að áður en vinnsla hófst á jarðhitasvæðinu var 12 bar undirþrýstingur á 1000 m dýpi miðað við kaldan sjó umhverfis. Svæðið hlýtur því að vera umlukið þéttri jarðmyndun. Sú þrýstilækkun sem stafar af vinnslu verður samkvæmt spánni 20 bar og því að sömu stærðargráðu og upphaflegur undirþrýstingur. Það er því frekar ólíklegt, að þrýstilækkun vegna vinnslu valdi verulegri breytingu á köldu aðstreymi til svæðisins, svo framarlega að ekki opnast nýjar aðstreymisleiðir.

Af framansögðu má ráða að fara beri varlega í aukna raforkuframleiðslu og ætti slík uppbygging að vera í takt við vinnsluna, þannig að nota megí fengna reynslu á hverjum tíma til að endurskoða þrýstilækkunarspána, en leggja ber áherslu á að fylgst verði með þrýstilækkuninni samfara vinnslu. Auk þess ætti að athuga gaumgæfilega niðurdælingu affallsvatns. Með því er hægt að halda þrýstilækkuninni í skefjum og auk þess losna við affallsvatnið af yfirborði. Í þessu sambandi verður að finna hentuga niðurdælingarstaði,

þannig að affallsvatnið eigi ekki of greiðan aðgang að vinnslusvæðinu og nái því að hitna upp, auk þess sem niðurdælingarholurnar verða að vera staðsettar innan hinna þéttu jaðra jarðhitasvæðisins. Framhaldsathuganir á jarðhitasvæðinu ættu því að beinast að þessu tvennu, þ.e.a.s. fylgjast nákvæmlega með þrýstilækkun á svæðinu og vinnslumagni úr því og rannsaka sem fyrst niðurdælingu affallsvatns.



Mynd 30

Reiknistærðir í jarðhitakönni með leiku svæði

ORKUSTOFNUN

HITAVEITA SUÐURNESJA

Svarfisengi

SPK/0/06

F-18981

11. jan 1980

Svarfisengi



ORKUSTOFNUN

Stráumfræðistöð

HITAVEITA SUÐURNESJA

Svartsengi

Þrýstilækkun á jarðhitasvæði við vinnslu 1 kg/s

Samanburður mismunandi jarðhitalkana

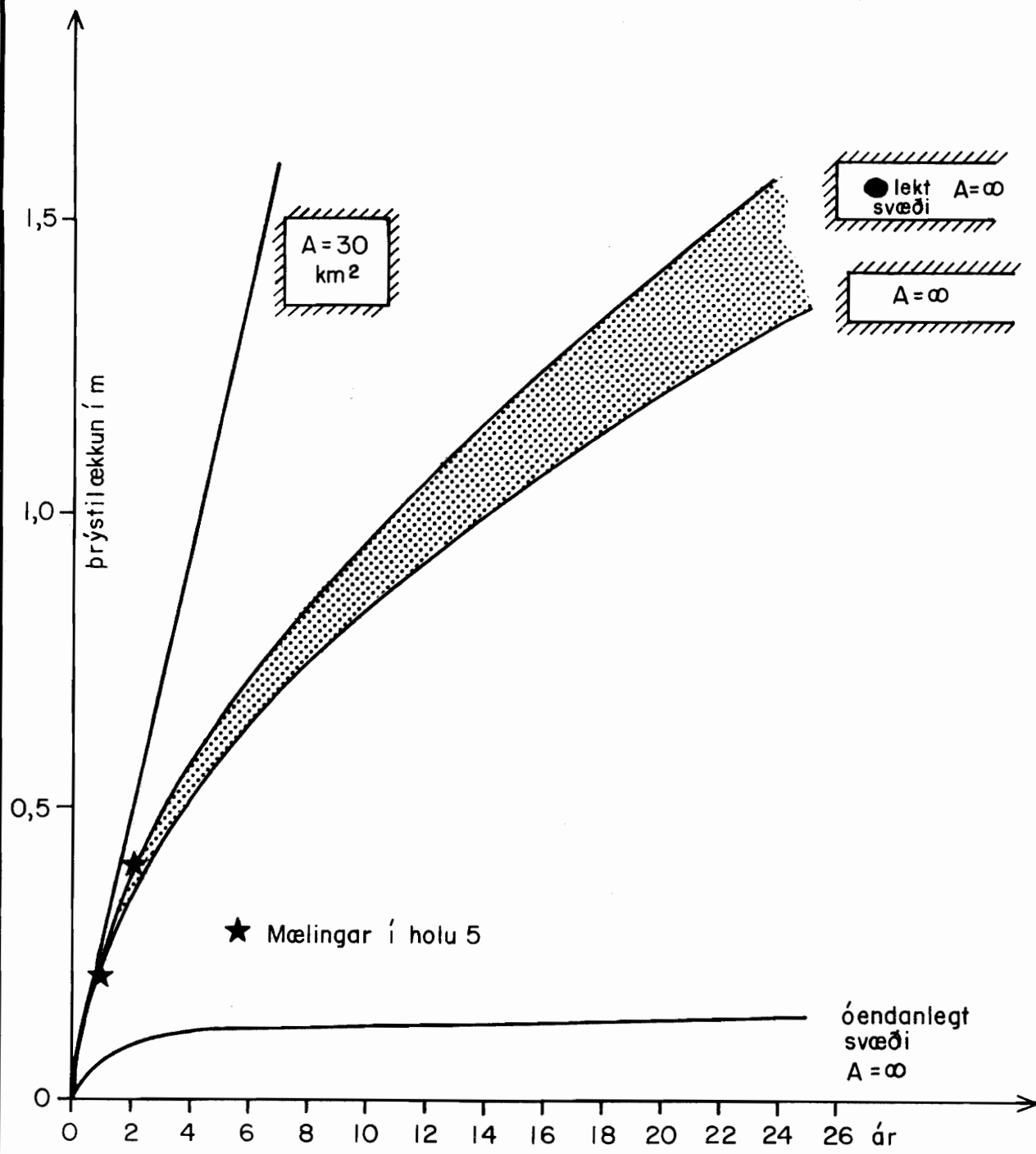
11. jan. 1980

SPK/Gyða

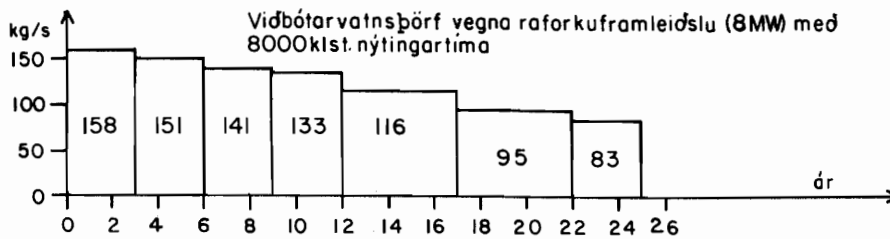
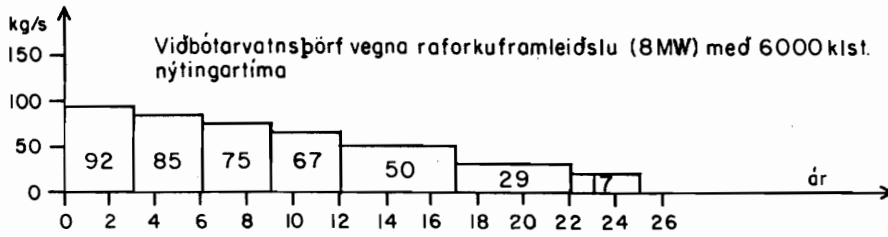
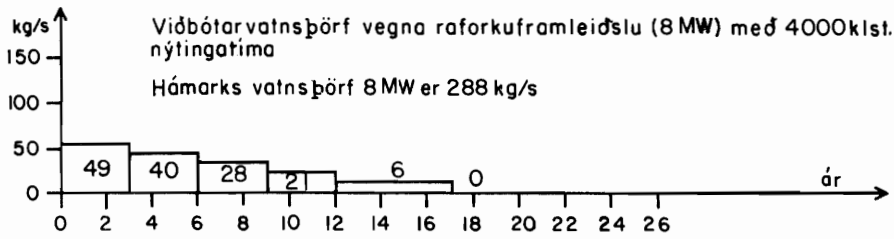
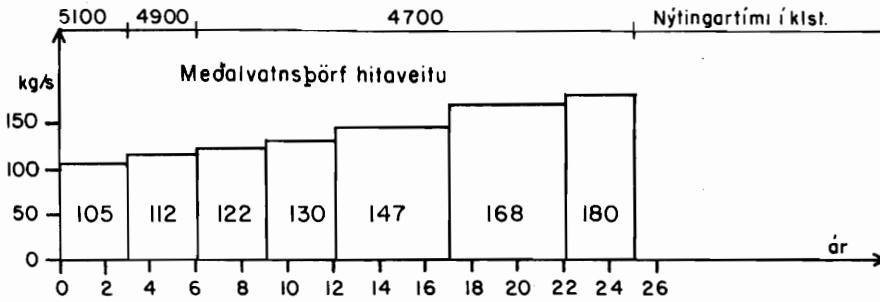
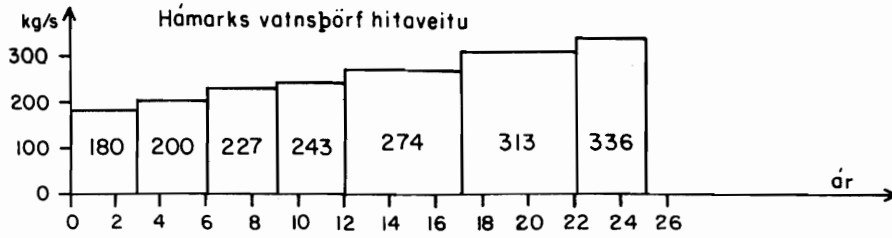
Svartsengi

F-18968 a

Mynd 31



Mynd 32



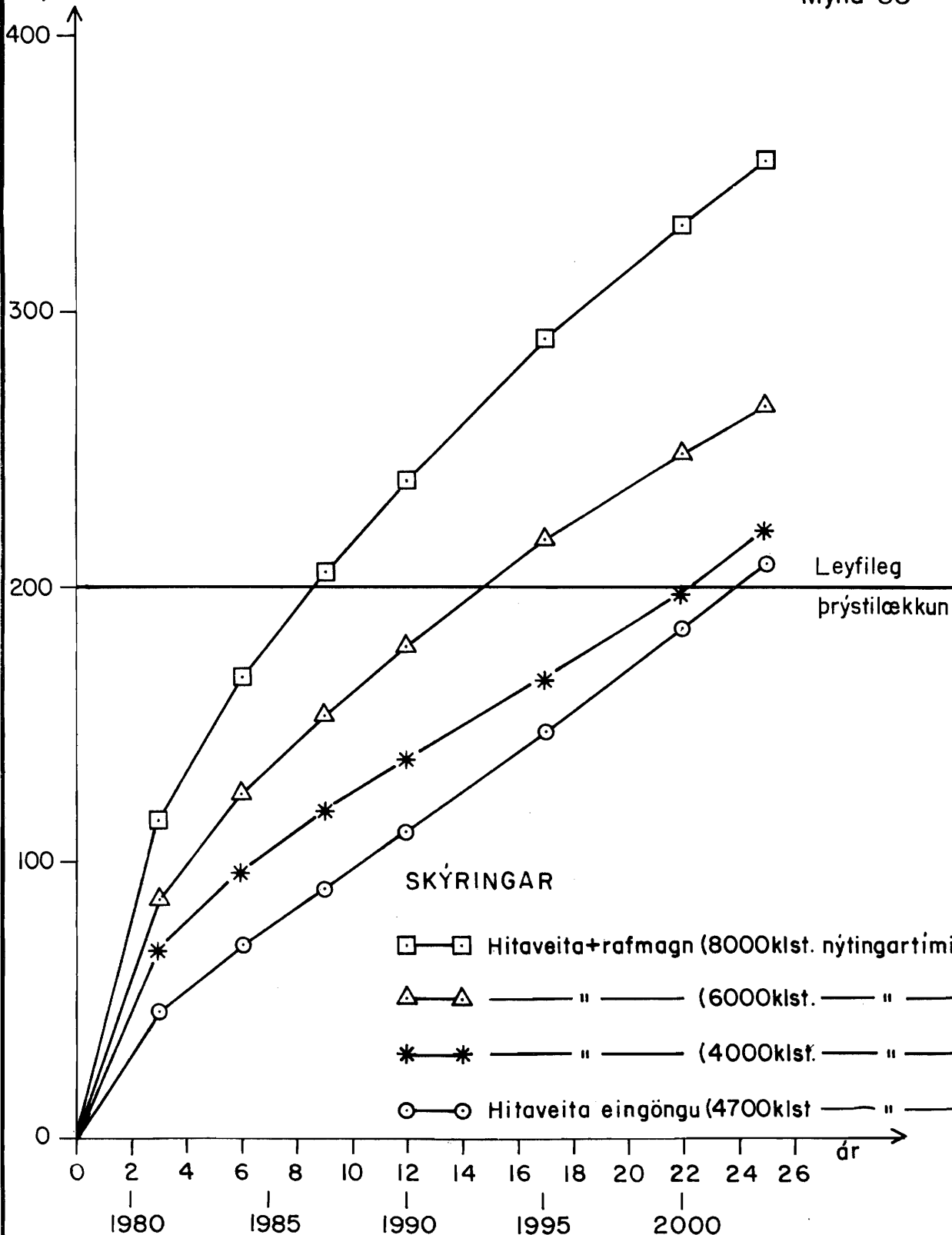
79-10-31  
 SPK/Sy-J  
 Vinnslut Svartse.  
 F16792

**ORKUSTOFNUN**  
 Stráumfræðistofa  
 HITAVEITA SUDURNESJA, SVARTSENGI  
 Vatnsþörf orkuvers í Svartsengi vegna hitaveitu og raforku



Þrýstilækkun í m

Mynd 33





6 AFLMINNKUN VIÐ VINNSLU

---

Aflferlar vinnsluhola eru venjulega sýndir sem massastreymi sem fall af holutoppsþrýsting. Í kafla 3.3 eru sýndir nokkrir aflferlar borhola í Svartsengi (mynd 14). Aflferill holu H-4 verður hér notaður sem einkennandi fyrir grannar borholur í Svartsengi. Aflferillinn sýnir að holutoppsþrýstingur minnkar með auknu massastreymi vegna aukins þrýstifalls í holunni. Þegar þrýstingur lækkar í vatnsleiðara vegna vinnslu eins og fjallað er um í kafla 5, þá lækkar holutoppsþrýstingur um leið. Þrýstifall frá borholum í háþrýstiskiljur í Svartsengi er rúmt eitt bar og er þrýstingur þar 5,4 bar. Þrýstingur á holutoppi má því ekki vera lægri en um það bil 7 bar. Holurnar verður því að reikna á þann hátt að til að byrja með sé massastreymið jafnt hönnunarrennsli, 60 kg/s. Holutoppsþrýstingur fellur hinsvegar jafnt og þétt, eftir því sem þrýstingur í vatnsleiðara lækkar, uns lægsta vinnsluþrýstingi (7 bar) er náð. Eftir það er holutoppsþrýstingi haldið föstum, en áframhaldandi þrýstingslækkun í vatnsleiðara leiðir til minnkandi massastreymis úr borholum, sbr. mynd 34, sem sýnir aflferla í borholu H-4.

Til útreikninga á þrýstifalli í tveggja fasa rennsli er notað forrit, sem samið hefur verið á Orkustofnun, og á myndinni sést hvernig niðurstöður þessa reiknilíkans falla að mælingum í holunni. Hér er reiknað með þrýstingi 88 bar á 1000 m dýpi í vatnsleiðara, en það er mældur þrýstingur. Reiknilíkanið er síðan notað til að spá fyrir um aflferla, eftir því sem þrýstingur í vatnsleiðara lækkar. Á mynd 34 er jafnframt gefin jafnan fyrir aflferlana. Pílurnar á myndinni gefa til kynna rekstur holunnar við lækkandi þrýsting í vatnsleiðara eins og lýst var hér að framan. Til frekari skýringar er aflminnkunin sýnd sérstaklega á mynd 35 sem fall af þrýstingi í vatnsleiðara. Þar sést að holutoppsþrýstingur hefur lækkað í 7 bar, þegar þrýstingur í vatnsleiðara hefur lækkað um 18 bar sem samsvarar 220 m vatnssúlu, en samkvæmt vinnsluspá fyrir Hitaveitu Suðurnesja (á mynd 33) svarar það til 25 ára vinnslu. Eftir það fer massastreymi holanna minnkandi eins og myndin sýnir. Tafla 13 sýnir þann tíma í árum þar til umræddrar aflminnkunar fer að gæta fyrir þau fjögur vinnslutilfelli, sem athuguð hafa verið.

TAFLA 6

Áhrif vinnslu á afl vinnsluhola

---

Vinnsla	Tími í árum þar til aflminnkunar gætir
Hitaveita + rafmagn (8000 klst nýtingartími)	10
Hitaveita + rafmagn (6000 klst nýtingartími)	17
Hitaveita + rafmagn (4000 klst nýtingartími)	25
Hitaveita eingöngu (4700 klst nýtingartími)	25

---

Rétt er að benda á að þar sem þrýstilækkun verður mjög áþekk á öllu borsvæðinu, eins og tekið er fram í kafla 5, kemur aflminnkunin fram í öllum holum samtímis.

Borun víðari hola breytir þessu verulega. Holur H-4 og H-5 eru búnar 7 5/8" leiðara og hola H-6 7" leiðara. Holur H-7 og H-8 eru hinsvegar mun víðari, H-8 með 9 5/8" leiðara og H-7 leiðaralaus en boruð með 12 1/4" krónu. Samsvarandi útreikningar og gerðir voru fyrir grannar holur hér að framan voru gerðir fyrir víðar holur. Helsta niðurstaða var sú, að slíkar holur myndu endast mun lengur og þyrfti þrýstingur í vatnsleiðara að lækka um 35 bar (samsvarar 430 m vatnsborðslækkun við 240°C) til að holutopp-þrýstingur lækkaði í 7 bar.

Annar kostur við víðari holur er aukið rými fyrir kalkútfellingar og þar af leiðandi lengri tími á milli hreinsana. Í þriðja lagi geta víðar holur afkastað mun meiru, ef í þær er settur leiðari. Þó hefur verið ákveðið að hafa ekki leiðara í öllum víðum holum og því takmarkast afköstin við 60 kg/s vegna hættu á hruni.



ORKUSTOFNUN  
Straumfræðistöð

HITAVEITA SUÐURNESJA

Svartsengi

Aflferlar við mismunandi þrýsting í vatnsleiðara

11. jan. '80

SPK / Gyða

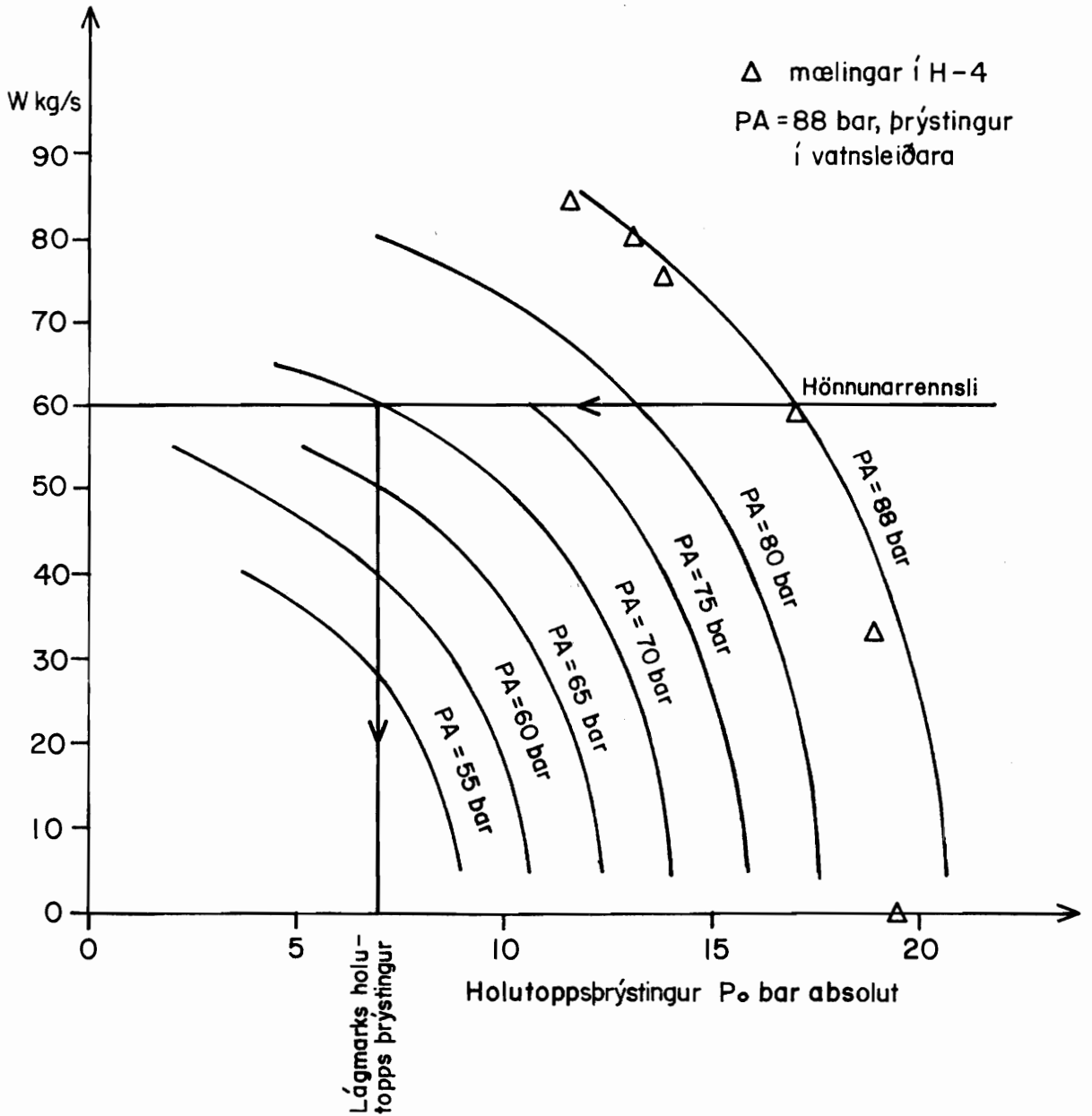
Svartsengi

F-18967

Mynd 34

Jafna aflferla

$$\left(\frac{W}{177 PA - 53,5}\right)^2 + \left(\frac{P_0}{0,355 PA - 10,6}\right)^2 = 1$$





ORKUSTOFNUN  
Straumfræðistöð

# HITAVEITA SUÐURNESJA

## Svartsengi

Holutoppsbrýstingur sem fall af brýstingi í vatnsleiðara

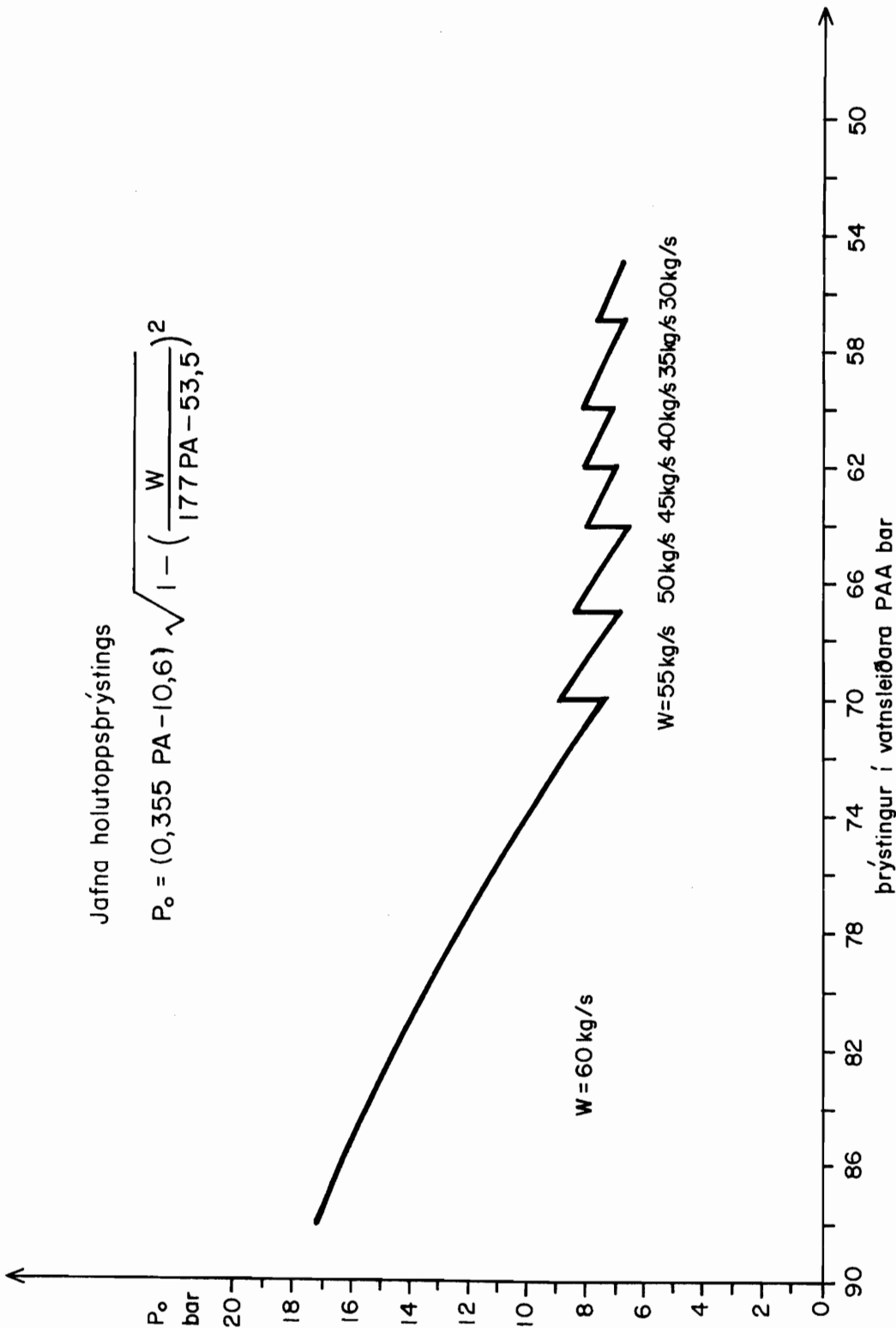
11. jan. 80

SPK / Gyða

Svartsengi

F-18966

Mynd 35



7 LEYFILEG ÞRÝSTILÆKKUN

---

Ýmis atriði verða til þess að halda verður þrýstilækkun með vinnslu á jarðhitasvæðum innan hæfilegra marka. Þessi mörk eru langt frá því að vera skýr, og því þykir rétt að fara nokkrum orðum um það atriði.

Það sem helst mælir á móti mikilli þrýstilækkun er eftirfarandi:

- a) Suða í borholu getur færst niður leiðara , út í gegnum raufar og út í berg. Við þetta takmarkast innrennslið í holuna vegna meiri rennslismótstöðu gufunnar, og/eða útfellinga í vatnsæðunum og raufum leiðarans. Í leiðaralausum holum geta veggirnir gefið sig og holan hrunið.
- b) Útfellingar í fóðringu færast niður með suðu. Þegar niður í leiðara er komið er minna rými fyrir hendi fyrir þessar útfellingar og því tíðari hreinsana þörf, auk þess sem hætta skapast á að hreinsunin skemmi leiðarann.

Þessi tvö atriði valda því að afköst holanna minnka mikið. Auk þess lækkar holutoppsprýstingur svo einhverntíma kemur að því að taka þarf holuna úr rekstri.

Fyrir utan þessi atriði er rétt að geta tveggja atriða í viðbót:

- c) Mikil þrýstilækkun í dýpri jarðlögum getur leitt til jarðsigs, og komið af stað jarðskjálftum, varla þó hættulegum. Því miður er ekki hægt að segja fyrir um hvort þessi hætta er fyrir hendi í Svartsengi eða ekki, en hæðarmælingar hafa verið gerðar á svæðinu af Orkustofnun til þess að hægt sé að fylgjast með breytingum.
- d) Mesta þekkta þrýstilækkun á jarðhitasvæði, 20 bar, var mæld á Nýja Sjálandi og vísindamenn þar álíta að hún hafi valdið innrennsli á köldu vatni frá efri jarðlögum. Skylt er að taka fram að ekki þarf það nauðsynlega að vera af hinu illa þó kalt vatn streymi inn á jarðhitasvæði.

Þegar reynt var að meta hve mikilli þrýstilækkun ætti að reikna með í Svartsengi sem leyfilegri var staðnæmst við atriði b. Holurnar í Svartsengi eru afkastamiklar og mikið í húfi að rekstur þeirra truflist sem minnst af útfellingum og tíðum hreinsunum. Af fenginni reynslu af miklum niðurdrætti á jarðhitasvæðinu var ljóst að síkka þyrfti vinnslufóðringar frá því sem er í holum H-4 og H-5. Allar vinnsluholur boraðar fyrir Hitaveitu

Suðurnesja eru hannaðar með þetta fyrir augum enda nauðsynlegt, ef suðan á að haldast inni í vinnslufóðringunni. Lengsta vinnslufóðring, sem hægt er að steypa í einu þrepi, er um 600 m. Þar að auki eru jarðlög neðan við 700 m svo lek að erfitt er að steypa fóðringar fastar á því dýpi eða neðar.

Að þessu athuguðu var staðnámst við 200 m leyfilegan niðurdrátt sem þýddi að síkka skyldi fóðringar niður í 600 metra dýpi.

Að svo athuguðu máli sjást ekki rök fyrir því að leyfa meiri þrýstilækkun en 200 metra, heldur engin sérstök rök fyrir því að leyfa minni lækkun, og var því staðnámst við þessa tölu.



8 NIÐURSTÖÐUR OG ÁLYKTANIR

---

Helstu niðurstöður sem má draga af þeim athugunum, sem gerðar hafa verið í Svartsengi og hér hefur verið lýst, eru eftirfarandi:

- 1) Jarðfræðilegar athuganir í Svartsengi hafa sýnt að jarðhitasvæðið er takmarkað að ofan af móbergslagi. Sprungur kljúfa þetta móbergslag á stöku stað og myndast þar leið fyrir gufustreymi upp úr hinum eiginlega jarðhitageymi. Grunnar holur í Svartsengi, holur H-2 og H-3, eru einmitt slíkar gufuholur. Fyrir neðan móbergslagið taka við basaltlög með dólerítinnskotum. Líkur benda til að þau auki vatnsleiðni svæðisins verulega.
- 2) Jarðskjálftamælingar á Reykjanesskaga hafa leitt í ljós að jarðskjálftaupptök raða sér á hér um bil 3 km breitt belti, sem liggur frá Kleifarvatni út á Reykjanestá. Jarðskjálftarnir sprengja bergið í nánd við upptökin og viðhalda þannig vatnsleiðni niður í lag 3, þar sem mikill hiti ríkir. Jarðskjálftarnir mynda því vatnsgenga leið út eftir Reykjanesskaganum. Jarðhitasvæðin á Reykjanesskaga virðast koma fram þar sem sterkir sprungusveimar, sem sjást á yfirborði, skera þessa jarðskjálftarennu.
- 3) Mælingar hafa sýnt að jarðhitavökvinn er 242°C heitur og sjór að 2/3 hlutum. Tvívætnismælingar benda hins vegar til að innstreymið úr jarðskjálftarennunni sé 57% sjór. Mismunurinn á niðurstöðum efnagreininga og tvívætnismælinga er talinn stafa af eimingu jarðhitavökvans. Yfirlitslíkan af jarðhitasvæðinu, sem sett er fram, skýrir þennan mismun. Samkvæmt líkaninu streymir heitt vatn í dýpri jarðlögum í jarðskjálftarennunni út eftir Reykjanesskaga. Þar sem sprungur skera jarðskjálftarennuna myndast háhitasvæði. Svartsengi er eitt þeirra. Þar myndast hringrás; heitt vatn streymir upp og kalt vatn niður. Heita vatnið sýður á uppleið og þar sem sprungur skera móbergshettuna sleppur gufan til yfirborðs-jarðlaga og sést jafnvel á yfirborði, en kalda vatnið streymir niður og sameinast heita straumnum. Affallsvatnsstraumur streymir í burtu í efri jarðlögum.
- 4) Við holur H-2 og H-3 á suða sér stað úti í bergi. Eru þær því til

marks um eimingu heita vatnsins. Efnagreiningar sýna hinsvegar engan marktækan mun á seltu þessara grunnu hola og dýpri hola á jarðhitasvæðinu. Hins vegar sýna athuganir á afgösun hola H-2 og H-3, að hér gæti verið um að ræða gufutap, sem bæri saman við reikninga samkvæmt líkani af jarðhitasvæðinu.

- 5) Vatnsborðsmælingar í Svartsengi hafa sýnt að jarðhitasvæðið er mjög lekt og reyndar með lekari svæðum í heiminum. Þrátt fyrir mikla lekt sýna slíkar mælingar að þrýstilækkun á svæðinu er mikil. Þessi mikla þrýstilækkun stafar af því að jarðhitasvæðið er umlukið þéttum jöðrum á þrjá vegu. Vatnsborðsmælingar hafa sýnt að vatnsborð í holu H-5 svarar loftþrýstingsbreytingum um það bil 75%. Loftþrýstingssvörunin gefur fimm sinnum minni reiknaðan geymslustuðul en svæðisprófanir. Styður það þá ályktun að viss hluti jarðhitasvæðisins sé miklu betur leiðandi en aðrir hlutar þess og geymi betur vatn. Tillit var tekið til þessa atriðis við gerð stærðfræðilegs líkans af jarðhitasvæðinu.
- 6) Afköst borhola í Svartsengi eru eingöngu háð vídd hola og þrýstingi í vatnsleiðara, en ekki aðstreymi holanna að öðru leyti en því að afköst hola minnka með lækkandi þrýstingi í vatnsleiðara. Kalkútfellingar verða í borholum við suðuborð og færast þær neðar eftir því sem þrýstingur lækkar á jarðhitasvæðinu. Verður þetta til að takmarka verður það magn sem taka má úr svæðinu. Hönnunarafköst borhola í Svartsengi voru ákveðin 60 kg/s, en holurnar geta afkastað talsvert meira.
- 7) Viðnámsmælingar benda til að jarðhitasvæðið sé takmarkað. Munur á viðnámi á jarðhitasvæðinu og utan þess gefur tilefni til u.þ.b. 200°C hitastigsmunar.
- 8) Niðurstöður reiknilíkans af jarðhitakerfinu benda til að taka megi að jafnaði 230-460 kg/s upp úr svæðinu, ef affallsvatni er skilað aftur í kerfið.
- 9) Þrýstilækkun við vinnslu takmarkar mikla vinnslu til langframa verulega. Hitaveituframleiðsla veldur samkvæmt þrýstilækkunarspá um 200 m niðurdrætti á 25 árum, en hitaveita + 8 MW rafmagnsframleiðsla með 6000 klst nýtingartíma veldur um 250 m niðurdrætti á sama

tímabili. Óráðlegt er að fara út í frekari raforkuframleiðslu á meðan safnað er frekari upplýsingum og ætti uppbygging orkuversins að vera í takt við vinnsluna. Leggja ber áherslu á niðurdælingu affallsvatns bæði til að losna við affallsvatnið og einnig til að draga úr þrýstilækkuninni.

- 10) Nýta má holur í Svartsengi við hönnunarrennsli 60 kg/s þar til holutoppþrýstingur er kominn niður í 7 bar, en hann lækkar jafnt og þétt með fallandi þrýstingi í vatnsleiðara. Eftir það fara afköst holanna minnkandi. Niðurstöður reiknilíkans fyrir holurensli benda til að slíkra áhrifa fari fyrst að gæta eftir 25 ár fyrir hitaveitu eingöngu en eftir um það bil 17 ár fyrir hitaveitu + 8 MW rafmagnsframleiðslu með 6000 klst nýtingartíma, en þessi tími í árum svarar til 20 bar þrýstilækkunar í vatnsleiðara. Samsvarandi útreikningar voru einnig gerðir fyrir víðar holur. Helsta niðurstaða er sú að slíkar holur endast mun lengur og þarf þrýstingur í vatnsleiðara að lækka um 35 bar til að holutoppþrýstingur lækki í 7 bar. Annar kostur víðari hola er aukið rými fyrir kalkútfellingar og þar af leiðandi lengri tími á milli hreinsana. Í þriðja lagi geta víðar holur afkastað mun meira, ef þær eru frágengnar með leiðara. Þó hefur verið ákveðið að hafa ekki leiðara í öllum víðum holum og því takmarkast afköstin við 60 kg/s vegna hættu á hruni.
- 11) Leyfilegur niðurdráttur í jarðhitasvæðinu í Svartsengi var af ýmsum vinnslutæknilegum ástæðum ákveðinn 200 m. Möguleikar á að draga úr þessum niðurdrætti eru í athugun.



HEIMILDASKRÁ

- Bragi Árnason 1976a: Groundwater Systems in Iceland Traced by Deuterium.  
Vísindafélag Íslendinga, XLII, 236 s.
- Bragi Árnason 1976b: The Hydrogenwater Isotope Thermometer Applied to  
Geothermal Areas in Iceland. Geothermics, Vol. 5, 1-4, special issue.
- Fjarhitun hf. & Verkfræðistofa Guðmundar & Kristjáns 1979: Ferksvatnsöflun.  
Hitaveita Suðurnesja, 23 s.
- Frankvæmdastofnun ríkisins (Valdimar Óskarsson, ráðgjafarþjónusta) 1976:  
Hitað húsrými 1975. Frankvæmdastofnun ríkisins, 131 s.
- Jens Tómasson, Hrefna Kristmannsdóttir & Mímir Arnórsson 1977: Interaction  
of seawater with basaltic volcanic rocks on Reykjanes peninsula. Second  
International Symposium on Water-Rock Interaction, Strasbourg, ágúst.  
1977, 327-333.
- Jónas Elíasson 1973: Convective Groundwaterflow. Tækniháskóli Danmerkur,  
Series Paper No. 3, 107 s.
- Jónas Elíasson, Sigurður St. Arnalds & Snorri Páll Kjaran 1977: Svartsengi.  
Straumfræðileg rannsókn á jarðhitasvæði. Orkustofnun - OSROD-7718,  
37 s. (37 m.).
- Keller, G.V. & Frischknecht, F.C. 1966: Electrical Methods in Geophysical  
Prospecting. London, Pergamon Press, 520 s.
- Lúðvík S. Georgsson 1979: Svartsengi. Viðnámsmælingar á utanverðum Reykjanes-  
skaga. Orkustofnun, OS79042/JHD20, 100 s.
- Markús Á. Einarsson 1972: Potential Evapotranspiration and Water Balance in  
Iceland, Nordic Hydrology, 3, 183 - 198.
- Ragna Karlsdóttir 1978: Athugun á viðnámi vatns eftir landshlutum. Orkustofnun  
- OSJHD-7509, 3 s.
- Sigurjón Rist 1956: Íslenzk vötn, 1. Raforkumálastjóri, Vatnamælingar, 127 s.

Stefán Arnórsson, Valgarður Stefánsson, Stefán G. Sigurmundsson, Gestur  
Gíslason & Karl Grønvold 1975: Rannsókn á jarðhitasvæðinu í Svartsengi.  
Orkustofnun - OSJHD-7541, 16 s.

Stefán Arnórsson 1978: Hitaveita Suðurnesja. Framvinduskýrsla um niður-  
stöður efnagreininga á jarðhitavatni og hitaveituvatni varmaorkuvers  
Hitaveitu Suðurnesja við Svartsengi. Orkustofnun - OSJHD-7836, 28 s.

Svanur Pálsson 1972: Mælingar á eðlisþyngd og poruhluta bergs. Orkustofnun  
- OSROD, 14 s.

ENGLISH SUMMARY

The work is a continuation of previous reservoir engineering research by the NEA on the geothermal area at Svartsengi. The behaviour of the Svartsengi geothermal field under exploitation during the period 1976 - 1979 has been monitored closely. On the basis of the collected well data as well as geological data a reservoir model was made. From this model the pressure decline of the reservoir was calculated up to the year 2000.

The geothermal water is believed to originate partly as rainfall in the highland of the Reykjanes peninsula. There the water percolates downwards to about 3 km depth and then flows westwards along the so called earthquake zone. This earthquake zone is a 3 km wide belt extending from Kleifarvatn seawards along the peninsula within which almost all earthquake foci in Reykjanes occur. The earthquakes keep the axis of flow open. Mixing the seawater occurs to the extent that the geothermal fluid is 2/3 seawater at Svartsengi. It seems possible that the high temperature areas in Reykjanes are formed where surface fault swarms intersect the earthquake zone. The increased permeability of the fault areas makes convective heat transfer to the upper layers possible.

Geological observations show that at Svartsengi the main geothermal reservoir is capped by an impermeable layer at about 600 m depth. Below this depth the reservoir rock is very permeable consisting of basalt layers with dolerite intrusions. The hydrological model of the geothermal area assumes that the upward flow of hot water reaches the caprock, cools to some extent and flows downwards again mixing again with the inflow. Thus a convection cell is formed which results in an even temperature distribution in the geothermal reservoir (240°C). Where the caprock is fractured the hot water boils on the way up and steam is released to the surface. There are no thermal springs at Svartsengi, but the natural effluent reaches the surface lavas and is carried away with the groundwater flow. Well testing at Svartsengi has shown that the geothermal area has a permeability of 1 darcy, which is one of the highest values observed in any geothermal area. In spite of this production causes a large pressure drop which is due to the fact that the geothermal reservoir is small, the most porous area being only about 2 km<sup>2</sup> in area with impermeable sides in three directions. It is predicted that the pressure decline will considerably limit long-term exploitation of the field.

On the basis of a yearly district heating utilization of 4000 hours, a water level drawdown of 200 m could be expected in 25 years while on the basis of additional 8 MW electricity production at 6000 hours per year a drawdown of 250 m could be expected in the same period. Because of the high permeability the well output at Svartsengi is entirely dependant on the width of the hole and reservoir pressure. For this reason amongst others wider holes than usual were drilled. Calcium carbonate precipitation occurs in boreholes at boiling point depth and decreases with lowering of pressure, and determines for example the acceptable pressure reduction in the area.

According to heat loss calculations of the geothermal area it seems likely that on average 230-560 kg/s may be extracted if waste water is reinjected into the system. Calculations on the pressure reduction in the area, based on a drawdown of 200 m, suggest that it will be possible to maintain domestic heating +8 MW electricity production at 4000 hours per year until the end of the century. However in this case the reinjection of the waste water is not taken into account.



VIÐAUKI

Orkusþá fyrir  
varmaorkuver í Svartsengi

TÖFLUSKRÁ

- 1 Áætluð varmanotkun í Grindavík
- 2 Áætluð varmanotkun í Keflavík, Njarðvíkum, Sandgerði, Gerðum og Vogum
- 3 Orkunotkun. Samanburður við spá Orkuspárnefndar.
- 4 Vatnspörf Hitaveitu Suðurnesja
- 5 Vatnspörf Hitaveitu Suðurnesja vegna notkunar í Grindavík
- 6 Vatnspörf Hitaveitu Suðurnesja vegna notkunar í Keflavík, Njarðvíkum, Sandgerði, Gerðum, Vogum og á Keflavíkurflugvelli
- 7 Heildarvatnspörf Hitaveitu Suðurnesja

## INNGANGUR

Í skýrslunni "FERSKVATNSÖFLUN", Fjarhitun hf. og Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns (1979), er áætlun um vatnsþörf Hitaveitu Suðurnesja. Áætlun þessi er gerð í samræmi við frumáætlun Fjarhitunar.

Þar sem nú eru nokkur ár liðin síðan þessi frumáætlun var gerð, álítum við þörf á að endurskoða þær aðferðir sem beitt var við gerð hennar. Ennfremur hefur Orkuspárnefnd hannað aðferð til að áætla væntanlega orkunotkun og er henni beitt við gerð orkuspár fyrir öll orkuveitusvæði landsins. Verður því að álíta eðlilegt að samanburður sé gerður á milli aðferða.

Hin endurskoðaða orkuspá sýnir verulega frábrugna útkomu frá því sem áður var byggt á. Fer hún því hér á eftir í heild sinni svo samanburður verði einfaldari. Ennfremur er gefin orkunotkun samkvæmt spá Orkuspárnefndar til viðmiðunar og ber þeim nægilega vel saman til að meðfylgjandi orkuspá geti talist trúverðug að okkar mati.

Athygli skal vakin á því að áætlun um þörf Hitaveitu Suðurnesja fyrir kalt og heitt vatn byggir á orkuspánni. Hún er því grundvöllur þeirra afkasta sem prófa skal vatnstöku- og jarðhitasvæðið eftir í reikningum okkar. Með tilliti til þessa eru jafnframt orkuspánni reiknaðir dálkar fyrir kalda- vatnsþörf og þörfina fyrir heitt vatn frá gufuholum. Sú þörf er lítillega meiri en strangt til tekið er nauðsynlegt hitaveitunnar vegna, þar eð rafmagnsframleiðsla í mótþrýstítúrbínunum er reiknuð með í dæminu.

Vegna hins stutta rekstrartímabils sem að baki er eru mælingar á seldu vatni frá varmaorkuveri í Svartsengi ekki tiltækar í nægilegu magni til að byggja á þeim orkuspá.

## ORKUSPÁ

Spá þessi var gerð á fyrri hluta árs 1979. Í spánni er stuðst við þann grunn að Hitaveita Suðurnesja seldi að jafnaði 4.473 l/mín í desember 1978 en þá voru 751.917 m<sup>3</sup> húsnæðis tengdir inn á veituna. Þetta svarar til að hver mínútulítri hiti upp 168 m<sup>3</sup> húsnæðis, eða að grunnaflið sé 16,6 W/m<sup>3</sup>.

Í frumáætlun var miðað við  $22 \text{ W/m}^3$ . Þessa tölu má nota til viðmiðunar í því sem hér fer á eftir.

Hitaveita Suðurnesja selur heitt vatn um hemil. Það hámarksmagn sem húseigendur kaupa er því heldur minna en það sem mest þarf í kuldaköstum. Ekki er gert ráð fyrir að þetta hafi teljandi áhrif á heildarorkunotkun ársins, sem í aðalatriðum er reiknuð út frá að  $1,8 \text{ m}^3$  af heitu vatni þurfi á ári til að hita einn rúmmetra húsnæðis, miðað við  $40^\circ\text{C}$  kólnun. Þessari tölu er síðan hnikað lítillega til milli ára þannig að byrjað er með  $1,8 \text{ m}^3/\text{m}^3$  húsnæðis og endað með  $1,9 \text{ m}^3/\text{m}^3$  til þess að taka tillit til þess að hitaveitan er að öðru jöfnu lögð fyrst í þéttari byggðina. Þar sem einbýlishús eru hlutfallslega fleiri á veitusvæði H.S. en á Reykjavíkursvæðinu verður upphitun þar nokkru óhagstæðari en í Reykjavík. Orkutap er þannig reiknað að vatnskólnum alls er sett  $42^\circ\text{C}$ , sem samsvarar því að vatnið kólni um  $2^\circ\text{C}$  í kerfinu fyrir utan þær  $40^\circ\text{C}$  sem það kólnar í húsunum.

Afl er reiknað út frá nýtingartíma (sjá forsendur fyrir töflum 1 og 2). Í töflu 3 er samanburður á þessari spá og spá Orkuspárnefndar. Í töflu 4 er vatnspörf Hitaveitu Suðurnesja reiknuð. Það er gert þannig að gert er ráð fyrir blöndunarstöð sem fær  $125^\circ\text{C}$  heitt vatn frá orkuveri í Svartsengi og sér Keflavíkflugvelli fyrir  $94^\circ\text{C}$  heitu vatni. Bakrennslisvatnið frá flugvellinum er notað til blöndunar við  $125^\circ\text{C}$  heita vatnið. Blöndunni, sem er  $82^\circ\text{C}$  heit, er síðan dælt til Keflavíkurbæjar og annarra byggða á þeirri leiðslu í því magni sem tafla 2 gerir ráð fyrir. Tekið skal fram að bakrennslisvatnið frá Keflavíkflugvelli nægir ekki í blöndunina nema til 1987. Gert er ráð fyrir að þá verði tvöfalt kerfi lagt í hluta Keflavíkurbæjar svo ekki þurfi að blanda með köldu vatni.

Töflur 5, 6 og 7 sýna heildarþörf Hitaveitu Suðurnesja fyrir heitt og kalt vatn. Nauðsynlegar upplýsingar eru fengnar af teikningum 01.001, 3E-54 og 01-53, 3R-83 fyrir varmaorkuver I og II frá Verkfræðistofu Guðmundar og Kristjáns og Fjarhitun hf.

Til samanburðar við framangreinda spá skal bent á að í desember 1979 var vatnssalan samtals  $9185,1 \text{ l/mín}$  og hemlajfjöldinn 2813. Þessi tala er um 89% af því sem spáin gerir ráð fyrir 1981. Í Grindavík er búið að tengja  $1573,3 \text{ l/mín}$ , sem er tæplega 6% meira en spáin gerir ráð fyrir 1981.

Í orkuspánni er gert ráð fyrir samtímaálagssstuðli 1,0, en hann er eitthvað lægri í raun. Ekki eru til mælingar um neyslu þar sem enn er verið að tengja.

Af framansögðu má ljóst vera að nauðsynlegt er að endurskoða áætlun um afl- og orkuþörf, bæði vegna rekstrar sem og útreikninga á þrýstilækkun á jarðhitasvæði.

TAFLA 1

## Áætluð varmanotkun í Grindavík

Ár	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)
	Íbúa- fjöldi	Hitað húsrymi þúsund m <sup>2</sup>	Tengt hitaveitu þúsund m <sup>3</sup>	Vatnsþörf pr. rúmmál húsnæðis m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> á ári	Orkunotkun GWst/ári	Grunnafl MW	Vatnsnotkun l/mín	Hitað húsrymi vatnsnotkun m <sup>3</sup> /l/mín
1981	1920	317	254	1,8	21,3	4,2	1490	170
1984	2040	357	311	1,9	27,4	5,6	2000	160
1987	2160	402	378	1,9	32,9	7,0	2500	150
1990	2300	453	430	1,9	38,0	8,1	2900	150
1995	2540	552	530	1,9	46,0	9,8	3500	150
2000	2800	673	650	1,9	56,4	12,0	4300	150

TAFLA 2

## Áætluð varmanotkun í Keflavík, Njaróvíkum, Sandgerði, Gerðum og Vogum

Ár	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)
	Íbúa- fjöldi	Hitað húsrymi þúsund m <sup>2</sup>	Tengt hitaveitu þúsund m <sup>3</sup>	Vatnsþörf pr. rúmmál húsnæðis m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> á ári	Orkunotkun GWst/ári	Grunnafl MW	Vatnsnotkun l/mín	Hitað húsrymi vatnsnotkun m <sup>3</sup> /l/mín
1981	11360	1990	1500	1,8	133	24,6	8800	170
1984	12060	2240	1900	1,8	169	33,0	11800	160
1987	17790	2520	2370	1,9	208	44,2	15800	150
1990	13580	2840	2690	1,9	235	50,1	17900	150
1995	14990	3560	3310	1,9	290	61,6	22000	150
2000	16550	4200	4050	1,9	355	75,6	27,000	150

FORSENDUR FYRIR TÖFLUM 1 OG 2

- Dáلكur 1 Íbúafjöldi samkvæmt spá sem gerir ráð fyrir 2% fjölgun.
- Dáلكur 2 Gert er ráð fyrir að hitað húsnæði á íbúa aukist um 2% á ári (Orkuspárnefnd, samkvæmt reynslu úr Reykjavík). Framreiknað frá skýrslu Framkvæmdastofnunar (1976).
- Dáلكur 3 Árið 1981 verði 75% húsa tengd hitaveitunni, 1984 85%, 1987 og síðar 94%. Afgangurinn að viðbættum dreifum byggðum utan þéttbýliskjarna verður þá hitaður með rafmagni og olíu.
- Dáلكur 4 Grundvallarorkuþörf. Hjá Hitaveitu Reykjavíkur breytist þessi tala mjög lítið. Hún er reiknuð sem meðaltal af seldu og framleiddu vatnsmagni, en á því er um 10% munur.
- Dáلكur 5 Orkunotkun miðað við 40°C kólnun (46,6 kWst/m<sup>3</sup>).
- Dáلكur 6 Grunnafl orkusölu reiknað frá orkunotkun (dáلكur 5) og nýtingartíma, sem er reiknaður 5100 stundir árið 1981, fer minnkandi niður í 4700 stundir árið 1987, en er síðan óbreyttur. Þetta er tæplega 20% hærri nýtingartími en hjá Hitaveitu Reykjavíkur. Verður sú aukning á nýtingartíma að teljast lágmark ef hemlakerfið á að eiga rétt á sér. Þetta er orkusala svo hámarksafköst orkuvers verða að vera sem svarar eðlilegu varaafli meiri (ca. 15 %).
- Dáلكur 7 Grunnaflið reiknað í l/mín, 2,79 kW/mínútulítra.
- Dáلكur 8 Viðmiðunartala sem sýnir hvað hver mínútulítri hitar marga rúmmetra húsrýmis.

TAFLA 3

Orkunotkun (GWh/ári). Samanburður við spá Orkuspárnefndar

Ár	Spá	Spá Orkuspárnefndar
1981	154,3	202,8
1984	196,4	227,8
1990	273,0	281,3
1995	336,0	331,0
2000	411,4	388,7

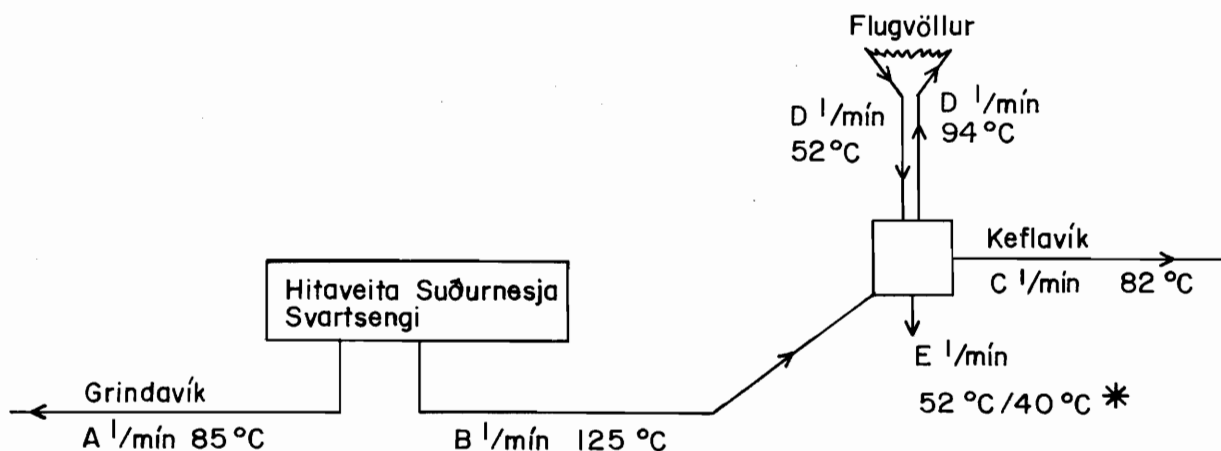
TAFLA 4

Vatnspörf Hitaveitu Suðurnesja

Ár	A l/mín	B l/mín	C l/mín	D l/mín	A+B	A+B
	1)	2)	3)	4)	5)	6)
	85°C	125°C	82°C	94°C	l/mín	l/s
1981	1490	12 800	8 300	16 000	14 290	238
1984	2000	14 000	11 800	16 000	16 000	267
1987	2500	15 700	15 800	16 000	18 200	303
1990	2900	16 700	17 900	16 000	19 600	327
1995	3500	18 800	22 000	16 000	22 300	372
2000	4300	21 200	27 000	16 000	25 500	425

FORSENDUR:

- 1) Vatnspörf í Grindavík (sjá töflu 1, dálk 7).
- 2)  $B = 0,41 \cdot C + 9205/0,494C + 7906^*$  (sjá skýringarmynd).
- 3) Vatnspörf í Keflavík, Njarðvíkum, Sandgerði, Gerðum, Vogum (sjá töflu 2, dálk 7).
- 4) Vatnsnotkun Keflavíkurflugvallar. Flugvöllurinn þarf 45 MW, sem samsvarar 16,000 l/mín, þegar kæling á vatni er 40°C í húsum og 2°C í kerfi.
- 5) Heildarvatnsframleiðsla, l/mín.
- 6) Heildarvatnsframleiðsla, l/s.



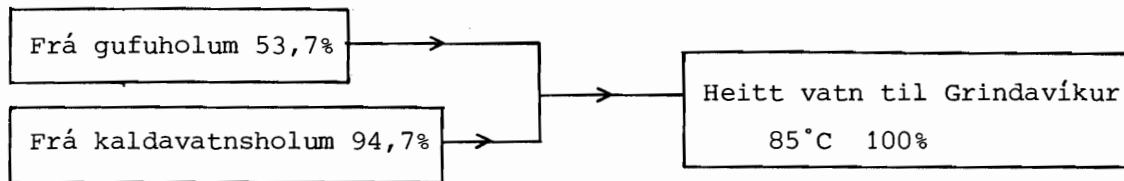
F- 18968

\* Fyrri tölurnar eiga við einfalt kerfi í Keflavík, en þær seinni þegar tvöfalt kerfi hefur verið lagt í hluta Keflavíkur.



TAFLA 5

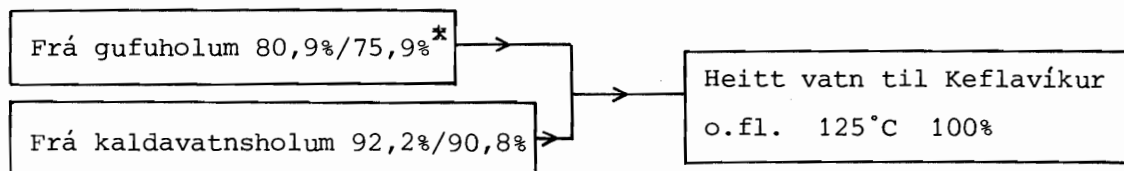
Vatnsþörf Hitaveitu Suðurnesja vegna notkunar í Grindavík



Ár	Heitt vatn (Tafla 1, dálkur 7) kg/s	Heitt vatn frá gufuholum kg/s	Kalt vatn kg/s
1981	25	13	24
1984	33	18	31
1987	42	23	40
1990	48	26	45
1995	58	31	55
2000	72	39	68

TAFLA 6

Vatnsþörf Hitaveitu Suðurnesja vegna notkunar í Keflavík, Njarðvíkum, Sandgerði, Gerðum, Vogum og á Keflavíkurflugvelli



Ár	Heitt vatn til Keflavíkur o.fl. (Tafla 4, dálkur 2) kg/s	Heitt vatn frá gufuholum kg/s	Kalt vatn kg/s
1981	213	167	195
1984	233	182	213
1987	262	204	239
1990	278	217	254
1995	313	243	286
2000	353	274	322

\* Fyrri talan á við varmaorkuver I, en seinni talan við Varmaorkuver II. Varmaorkuverk I afkastar 111,33 kg/s í Njarðvíkuræð.

TAFLA 7

Heildarvatnspörf Hitaveitu Suðurnesja

Ár	Heitt vatn frá gufuholum kg/s	Kalt vatn frá kaldavatnsholum kg/s
1981	180	219
1984	200	244
1987	227	279
1990	243	299
1995	274	341
2000	313	390