

Hitaveita Suðurnesja

Útfellingar og frárennsli orkuversins  
við Svartsengi: Athuganir sumarið 1978

Jón Steinar Guðmundsson

**Hitaveita Suðurnesja**

**Útfellingar og frárennsli orkuversins  
við Svartsengi: Athuganir sumarið 1978**

**Jón Steinar Guðmundsson**

ÁGRIP

Útfellingar kísils ráða miklu um hvaða aðferð verður hægt að nota til að losna við frárennsli orkuversins við Svartsengi. Stærð dvalarlónsins var mæld og magn frárennslisins áætlað. Kísillinn í frárennslinu fjölfiðast og myndar kísilagnir. Fjölfiðunin er óháð hitastigi og gengur ört fyrir sig fyrstu 30 mínúturnar en hægir síðan á sér og nálgast mettunarmörk opals. Síumælingar sýndu að kísilagnir berast áfram með frárennslinu um dvalarlónið og mynda ekki útfelli fyrr en þar sem jarðsjórinn hripar niður í hraunið við endamörk lónsins. Bæði uppleystur kísill og agnakísill mynda útfelli við svipaðar aðstæður og gætu orðið við niðurdælingu frárennslisins. Gerðar eru tillögur um þær athuganir sem þarf að gera sumarið 1979 vegna útfellingavandamálsins.

EFNISYFIRLI

	Bls.
ÁGRIP .....	ii
EFNISYFIRLIT .....	iii
1. INNGANGUR .....	1
2. FRÁRENNSLISVATNIÐ .....	2
3. KÍSLIHMÆLINGAR .....	4
4. ÚTFELLINATILRAUNIR .....	8
5. UMRÆÐA .....	10
5.1 Stærð lónsins .....	10
5.2 Hegðun kúsils .....	12
5.3 ÚTFELLINGAR .....	15
6. NIÐURSTÖÐUR .....	17
7. TILLÖGUR .....	18
HEIMILDIR .....	20
TÖFLUR .....	21
MYNDIR .....	31

## 1. INNGANGUR

Við nýtingu jarðhitans við Svartsengi fellur til mikið af frárennsli, sem nauðsynlegt er að losna við með viðunandi aðferð. Þetta frárennsli er aðallega jarðsjór, sem búið er að nota við upphitun á fersku vatni í orkuveri Hitaveitu Suðurnesja. Við losun frárennslisins verður að taka tillit til atriða, sem varða langtíma nýtingu jarðhitasvæðisins, hagkvæmt í rekstri orkuversins og umhverfisáhrifa.

Til að losna við frárennsli orkuversins við Svartsengi koma tvær aðferðir helst til greina: Að láta frárennslisvatnið renna niður sérstakar borholur eða í dvalarlón. Frá dvalarlóninu mundi vatnið annað hvort leka niður í hraunið við orkuverið og blandast grunnvatnsstreymi svæðisins, eða renna til sjávar í þar til gerðum farvegi. Vatn sem rynni niður borholur mundi hins vegar leita djúpt í jarðhitakerfið. Með tilliti til langtíma nýtingar og umhverfis-sjónarmiða er væntanlega heppilegast að láta frárennslisvatnið renna niður sérstakar borholur. Þannig er hægt að skila jarðhitasvæðinu stórum hluta þess varma og massa sem úr því er tekið og um leið minnka umhverfisáhrif á yfirborði.

Útfellingar kísils ráða væntanlega miklu um hvaða aðferð verður endanlega valin til að losna við frárennsli orkuversins við Svartsengi. Ástæðan er sú að frárennslisvatnið er yfirmettað af kísli, sem hefur þá eiginleika að setjast á öll yfirborð og mynda útfelli, sem t.d. eykur þrýstifall í rörum. Um hraða og magn þessara útfellinga við Svatsengi er ekki nægilega mikið vitað. Þess vegna er nauðsynlegt að gera ýmsar athuganir á hegðun kísils í frárennslisvatni orkuversins. Sumarið 1978 voru gerðar mælingar á fjölliðun kísils í jarðsjónum, sem streymir út í lónið við orkuverið, og kannað hvernig dvalalónið dreifir úr sér. Auk þess var gerð einföld tilraun á útfellingahraða vatnsins sem hafði runnið um dvalarlónið.

## 2. FRÁRENNSLISVATNIÐ

Allt frárennsli heitavatnsframleiðslunnar við Svartsengi hefur runnið út í hraunið fyrir norðan orkuverið, og myndað þar dvalarlón. Í lóninu kólnar frárennslið og kísillinn, sem er uppleystur í vatninu, fjöliliðast. Við þessa kísilfjölliðun myndast kísilagnir, sem geta botnfallið, og um leið gert botn dvalarlónsins þéttari. Vatnið í lóninu þarf þess vegna að fara lengra og lengra til að leka niður í hraunið. Kísillinn í jarðsjónum þéttir hraunið það mikið, að dvalarlónið er í stöðugum vexti til að losna við frárennslisvatnið.

Til að fylgjast með umfangi og vexti dvalarlónsins var tekin loftmynd af svæðinu umhverfis orkuverið 14. ágúst 1978. Síðan er ráðgert að taka loftmynd a.m.k. á hverju sumri í nokkur ár. Á mynd 1 er sýndur hluti af þessari loftmynd, en yfirborð dvalarlónsins mældist 2700 m<sup>2</sup>. Þegar loftmyndin var tekin rann allt frárennsli orkuversins í austurhluta lónsins. Vettvangsskoðun frá þeim tíma sýndi að streymi vatnsins um lónið var aðallega til vesturs. Við vestur-enda dvalarlónsins var eini staðurinn þar sem vatnið hripaði greinilega niður í hraunið.

Framleiðsla hitaveituvatns hófst í Svartsengi í nóvember 1976, þegar bráðabirgðastöðin var tekin í notkun. Í desember 1977 var svo fyrsta rásin í hinu eiginlega orkuveri tekin í notkun. Fram til þess tíma sem loftmyndin var tekin hafði frárennslisvatnið því komið frá bráðabirgðastöðinni og fyrstu rás orkuversins. Til að útskýra hvaða frárennslisvatn rennur í dvalarlónið má skoða vinnslurásirnar sem framleiða hitaveituvatnið við Svartsengi. Á mynd 2 er sýnd vinnslurás bráðabirgðarstöðvarinnar. Myndin sýnir að frárennslið er jarðsjór úr holu 4 sem hefur soðið í 100°C. Á mynd 3 er sýnt hvaða fyrirkomulag er á vinnslurásum eiginlega orkuversins. Hitastigin miðast við framleiðslu á 85°C hitaveituvatni. Hitastig jarðsjávarins frá lágprýstiskiljunni mælist venjulega um 80°C en ekki 65°C eins og myndin sýnir. Af mynd 3 má ráða að frárennslið frá orkuverinu er jarðsjór úr holu 3 sem hefur soðið í 65°C og þéttivatn við 116°C og 155°C. Rennsli

jarðsjávarins frá bráðabirgðastöðinni og fyrstu rás orkuversins hefur verið mælt frá upphafi með V-yfirfalli í frárennslisstokkunum. Út frá þessum mælingum hefur svo heildarrennslið úr holu 3 og 4 verið reiknað. Við útreikningana er miðað við að innstreymishitinn í báðar borholurnar sé um 240°C. Þegar jarðsjórinn sýður að 100°C verða 73% af massanum eftir í vatnsfasa en 70% þegar hann sýður að 80°C. Þegar hola 4 var hreinsuð 1977 var bráðabirgðastöðin rekin með holu 3. Utan þess tíma hefur stöðin alltaf verið rekin með holu 4 og fyrsta rás orkuversins með holu 3.

Þær rennslismælingar sem voru gerðar fram til sumarsins 1978 sýndu, að rennslið úr bæði holu 3 og holu 4 var mjög svipað, og lá á bilinu 25-30 kg/s. Í töflum 1 og 2 eru sýnd áætluð meðaltalsgildi fyrir rennslið (Borholurennsli) úr holu 3 og 4 yfir ákveðin tímabil. Til að áætla það magn frárennslis, sem hefur runnið út í dvalarlónið fram til 14. ágúst 1978, var reiknað út hvað mikill jarðsjór (Heildarmagn) hefur verið tekinn úr jarðhitasvæðinu, og sú tala síðan margfölduð með 0,70 eða 0,73 eftir því sem við á, en 30% og 27% af heildarmagninu var gufa. Skv. töflum 1 og 2 höfðu 2,3 milljónir tonna af jarðsjó verið tekin úr svæðinu og 1,6 milljón tonn af köldum jarðsjó runnið sem frárennsli út í dvalarlónið.

Auk þessa jarðsjávar rennur þéttivatn frá orkuverinu í dvalarlónið. Magn þessa þéttivatns má áætla út frá kennitölum (sjá mynd 3) orkuversins og rekstarfyrirkomulagi á tímabilinu desember 1977 til ágúst 1978. Til að byrja með var aðeins um framleiðslu á hitaveituvatni að ræða, en í apríl 1978 hófst svo rafmagnsframleiðsla. Allan þennan tíma var framleiðsla hitaveituvatnsins með sama móti. Áður en rafmagnsframleiðslan hófst var háprýstigufunni hleypt úr 155°C í 116°C í sérstökum loka þannig að eftirhitarinn tók inn 116°C gufu á öllu tímabilinu. Út frá mynd 3 má reikna að við framleiðslu 47,08 kg/s af 85°C hitaveituvatni þarf u.þ.b. 4,03 kg/s af 116°C gufu og 0,29 kg/s af 155°C gufu. Í 241 dag jafngildir þetta um  $90 \cdot 10^6$  kg af þéttivatni í dvalarlónið.

Í framtíðinni er ráðgert að hætta rekstri bráðabirgðastöðvarinnar og framleiða allt hitaveituvatnið í eiginlega orkuverinu. Í fyrri hluta orkuversins verða fjórar rásir sem framleiða 85°C hitaveituvatn. Mynd 3 sýnir fyrirkomulag og kennitölur fyrir eina rás orkuversins. Hver borhola er talin afkasta um 60kg/s af 235°C heitum jarðsjó. Tvær borholur afkasta því nægilegum jarðsjór fyrir fjórar rásir. Í framtíðinni mun allt frárennslið koma frá vinnslurásum eiginlega orkuversins. Til frekari glöggvunar er ekki úr vegi að teikna massavægi fyrir heitavatnsframleiðsluna. Mynd 4 sýnir hvaða vatn þarf til framleiðslunnar og hvaða rennsli orkuverið skilar frá sér. Myndin er byggð á tölum úr mynd 3 og sýnir rennslisgildin fyrir eina rás. Frárennslisvatnið sem fer í dvalarlónið er 65°C jarðsjór 17,53 kg/s og þéttivatn 116°C og 155°C 4,32 kg/s. Mynd 4 sýnir að fyrir hverja tvo lítra af hitaveituvatni fer um einn líter af frárennsli í dvalarlónið. Á mynd 5 er búið að teikna samsvarandi varmvægi fyrir eina rás orkuversins.

Efnasýni hafa verið tekin reglulega úr borholunum við Svartsengi til að fylgjast með hvort efnainnihald jarðsjávarins breyttist með tíma. Efnagreiningar sýna að svo er ekki. Í töflum 3 og 4 eru skráðar þær efnagreiningar sem hafa verið gerðar í holum 3 og 4. Töflurnar sýna styrk kísils, klóríðs og uppleystra efna í djúpvatninu, þ.e.a.s. í jarðsjónum áður en suða byrjar í borholunni. Kísilhitinn er jafnframt tilgreindur. Sem dæmi um efnasamsetningu jarðsjávarins úr holum 3 og 4 eru efnagreiningar frá apríl 1978 sýndar í töflu 5. Til frekari útskýringa er vísað í skýrslu Orkustofnunar frá júní 1978 um efnagreiningar á jarðhitavatni við Svartsengi.

### 3. KÍSILMÆLINGAR

Í jarðsjónum sem rennur í dvalarlónið við Svartsengi er mikið af kísli umfram uppleysanleika opals. Jarðsjórinn úr holu 3 inniheldur t.d. 447 mg/kg af kísli skv. töflu 5 og kísilhitinn var 237°C. Fáí þessi jarðsjór að sjóða verður hann opalmettaður við 140°C. Við frekari suðu og kólnun verður jarðsjórinn yfirmettaður og hætt er við kísil-



útfellingum. Þegar jarðsjórinn hefur soðið í 80°C, eins og í orkuverinu við Svartsengi sumarið 1978, hafa 30% af massanum farið í gufumyndun, en 70% eru eftir sem frárennslisvatn. Þar sem kísillinn verður allur eftir í vatnsfasanum, þá eykst styrkurinn í 639 mg/kg. Við 80°C er uppleysanleiki opals um 282 mg/kg og yfirmettun þá orðin 357 mg/kg eða rúm 125%.

Þegar jarðsjórinn verður yfirmettaður af opal byrjar kísillinn að koma úr upplausn. Við jarðhitaaðstæður er talið að kísillinn fari úr upplausn á tvo vegu: Hann getur fjöliliðast í vatninu eða myndað útfelli á rör og önnur yfirborð. Þegar kísillinn fjöliliðast er talið að hann myndi örsmáar agnir, sem berast áfram með vatninu. Afdrif þessara agna ráðast væntanlega af samskonar atriðum og sjórna fjöliliðun kísils. Við nýtingu háhitasvæða hefur það sýnt sig að uppleystur kísill fer ekki úr upplausn um leið og yfirmettun verður til. Bæði fjöliliðun og myndun kísilútfellis ganga stundum það hægt fyrir sig að jarðhitavatn getur verið yfirmettað tímunum saman. Í jarðhitavatni er talið að sýrustig, hitastig og selta, ráði miklu um hraða fjöliliðunar kísils. Í jarðsjónum, sem rennur í dvalarlónið við Svartsengi gegnur fjöliliðunin hins vegar greiðar fyrir sig en í ósöltu háhitavatni við svipaðar ástæður. Til að fá magnbundnar upplýsingar um fjöliliðunarhraðann við Svartsengi, er nauðsynlegt að gera mælingar á frárennslisvatninu. Slíkar upplýsingar skipta máli fyrir þá aðferð sem verður endanlega valin til að losna við frárennslis frá orkuverinu.

Gerðar voru kísilmælingar á jarðsjónum frá eiginlega orkuverinu þar sem hann kemur frá lágþrýstiskiljunni og rennur eftir frárennslisstockunum út í dvalarlónið. Hitastig jarðsjávarins mældist 82°C og átti kísilinnihaldið því að vera um 640 mg/kg. Kísilmælingarnar fólust í því að mæla uppleystan kísil í jarðsjónum sem fall af tíma. Mæliaðferðin sem var notuð er einungis næm fyrir uppleystum kísli og mælir þess vegna ekki þann kísil sem hefur fjöliliðast.

Kísilmælingarnar voru gerðar með þeirri litaðferð sem er almennt notuð við mælingar á uppleystum kísli í jarðhitavatni. Teknir voru 10 ml af jarðsjó og þynntir með 50 ml af eimuðu vatni. Af þessum 60 ml var tekið 2 ml sýni og sett í 50 ml mælikolbu hálf fullri af eimuðu vatni. Síðan var 2 ml af 6 N saltsýru bætt út í og mælikolban fyllt með eimuðu vatni að 50 ml. Upplausnin varð fljótlega gul á

litinn og eftir 10 mínútur í kolbunni var ljósgleypnin mæld í ljósmælitæki. Fyrri mælingar höfðu sýnt að guli liturinn á upplausninni breyttist óverulega eftir 5 mínútur. Með samanburði við staðlaða upplausn var síðan hægt að ákvarða uppleystan kísil í jarðsjónum. Ljósmælitækið var kvaðrað á undan hverri kísilmælingu og stillt á núll og óendanlegt á milli einstakra mælipunkta. Við kísilmælingarnar voru tekin sýni af jarðsjónum úr frárennslisstokknum við lágprýstiskiljuna. Til að fá misgömul sýni var 3,8 lítra plastbrúsi fylltur af jarðsjónum og geymdur við stöðugt hitastig. Síðan voru tekin 10 ml sýni af þessum geymda jarðsjó og kísilinnihaldið mælt. Þannig má gera mælingar sem sýna hvernig uppleystur kísill minnkar með tíma um leið og hanna fjöliliðast. Í kísilmælingunum var plastbrúsinn annað hvort geymdur í sjálfum frárennslisstokknum við sama hitastig og jarðsjórinn eða við lægra hitastig.

Mynd 6 sýnir þær mælingar á uppleystum kísli sem voru gerðar. Ein mæling var gerð með plastbrúsann í frárennslisstokknum ( $\sim 82^{\circ}\text{C}$ ), tvær með plastbrúsann við innihitastig ( $20\text{--}25^{\circ}\text{C}$ ) og ein mæling með brúsann við útihitastig ( $\sim 10^{\circ}\text{C}$ ). Myndin sýnir kísilinnihald og hitastig jarðsjávarins í plastbrúsanum á hverjum tíma. Í töflum 6-9 eru sýndar þær mælingar sem voru gerðar.

Þegar kísillinn í jarðsjónum fjöliliðast myndast örsmáar agnir sem geta botnfallið eða borist áfram með rennslinu. Áhrif þessara agna skiptir máli fyrir losun frárennslisins frá orkuverinu og því full ástæða til að athuga hegðun þeirra í jarðsjónum. Sem fyrsta skrefið í þeirri athugnun voru gerðar nokkrar síumælingar á jarðsjónum frá orkuverinu. Tilgangur mælinganna var m.a. að finna nothæfa aðferð við ákvörðun á magni kísillagna í frárennslisvatninu. Gerðar voru mælingar á geymdum jarðsjó frá lágprýstiskiljunni og nýjum sýnum frá vesturenda dvalarlónsins. Geymdu sýnin höfðu verið í plastbrúsa í 4 og 14 daga við innihitastig  $20\text{--}25^{\circ}\text{C}$ , en sýnin frá dvalarlóninu voru tekin í plastbrúsa og síumælingin gerð nær samstundis.

Við síumælingarnar var 50-100 ml sýni af jarðsjónum hellt úr plastbrúsa í mæliglas. Áður en hellt var úr brúsanum var hann hristur til þess að kísilagnirnar skiluðu sér í síuna og sýnið væri marktækt.

Jarðsjórinn var síaður með lofttæmi í gegnum 0,45 mm síu 47 mm í þvermál. Allar kísilagnir stærri en 0,45 mm áttu því að sitja eftir á síunni. Bæði mæliglasið og síutrektin voru síðan skoluð með eimuðu vatni til að tryggja sem bestar heimtur á kísilögnunum í síuna. Til að mæla það magn kísilagna sem settist á síuna var hún þurrkuð og vigtuð fyrir og eftir síun. Sían var þurrkuð undir hitaperu og tók fyrri þurrkunin 10-15 mínútur en sú seinni 25-30 mínútur. Hver sía var aðeins notuð einu sinni. Vigtin gat mælt 500 mg og var minnsta kvörðun 1 mg. Samfara síumælingunum var magn uppleysts kísils mælt með ljósmæli.

Í töflu 10 eru sýndar þær mælingar sem voru gerðar á geymdu sýnunum frá lágþrýstiskiljunni og í töflu 11 eru sýndar mælingarnar á jarðsjónum frá enda dvalarlónsins. Í töflu 10 má sjá að sýnin voru geymd í 5 og 14 daga við 20-25°C. Hitastigin í töflu 11 voru mæld við vesturenda dvalarlónsins þá daga sem sýnin voru tekin. Í töflu 12 eru sýndar kísilmælingar, sem voru gerðar á jarðsjónum frá lágþrýstiskiljunni. Taflan sýnir nokkur gidli á uppleystum kísli og eina síumælingu eftir 156 mínútna fjöliliðun.

Til að afla gagna um uppleysanleika kísils, voru gerðar mælingar á geymdum jarðsjó frá lágþrýstiskiljunni. Jarðsjórinn var geymdur í plastbrúsa í frárennslisstokknum við 80-82°C. Eftir 6 daga og aftur eftir 20 daga geymslu var kísilinnihaldið mælt. Í bæði skiptin mældist uppleystur kísill 254 mg/kg.

Kísilmælingarnar hér að framan voru allar gerðar á frárennsli eiginlega orkuversins, en það nýtir jarðsjávarblönduna frá holu 3. Bráðabirgðastöðin við Svartsengi nýtir hins vegar holu 4 og skilar frárennslinu við 100°C út í dvalarlónið. Auk þess rennur þéttivatn frá orkuverinu í dvalarlónið. Gerðar voru mælingar á kísilinnihaldi frárennslis bráðabirgðarstöðvarinnar. Þann 19. september 1978 mældist hitastig frárennslisins 94°C og uppleystur kísill 599 mg/kg og 620 mg/kg.

Vegna kísilmælinganna er nauðsynlegt að vita sýrustig jarðsjávarins. Við hátt sýrustig (pH > 9) klofnar kísilsýra (uppleystur kísill í

vatni) að hluta og magn kísilsins í frárennslinu, sem fjöliliðast ekki, eykst. Tafla 13 sýnir þær mælingar sem voru gerðar. Sýrustigið í jarðsjónum mældist það lágt ( $\text{pH} < 8$ ) að kísilsýran klofnar ekki.

Vegna hugmynda um hagnýtingu kísilsins sem safnast fyrir í dvalarlóninu voru gerðar nokkrar mælingar á efninu eins og það kemur fyrir á staðnum. Tekin voru sýni af kísileðjunni á botninum og rúmþyngdin mæld sem  $1098 \text{ kg/m}^3$ . Þessi kísileðja var síðan þurrkuð og reyndist kísilinnihaldið vera 15,5%. Sé giskað á að þykkt kísileðjunnar hafi verið 50 cm þegar flatarmál lónsins var  $2700 \text{ m}^2$  þá jafngildir það rúmum 200 tonnum af kísli í dvalarlóninu.

#### 4. ÚTFELLINGATILRAUNIR

Sumarið 1974 voru gerðar útfellingatilraunir í tilraunastöð Orkustofnunar við Svartsengi. Settir voru upp einfaldir varmakiptar úr ryðfríum rörum og plötuhitari. Tilraunastöðin var tengd holu 3. Jarðsjórinn frá borholunni var látinn flassa í aðalskilju við ~ 5 bar og síðan við ~ 1 bar í lítilli aukaskilju. Við þessi skilyrði fékkst jarðsjór við  $150^\circ\text{C}$  fyrir plötuhitarann og við  $100^\circ\text{C}$  fyrir rörhitarana.

Tilraunirnar fólust í því að mæla hitastig jarðsjávarins og kælivatnsins til og frá hitaskiptunum við stöðugt rennsli í lengri tíma. Þar sem jarðsjórinn innhélt uppleystan kísil, mynduðust kísilútfellingar í hitaskiptunum og rýróu varmaflutningsgetu þeirra smám saman. Kælivatnið var tiltölulega hreint og myndaði ekkert útfelli. Öll grómunin (útfellin á varmafluningsyfirborð) var því vegna kísilútfellinga.

Gerðar voru tvær tilraunir með rörhitara (nr. 2 og 3) og ein með plötuhitara (nr. 4). Í töflu 14 eru sýnd meðaltalsgildi fyrir þau hitastig og rennsli sem voru mæld. Rennsli kælivatnsins og jarðsjávarins héldust stöðug á tilraunatímanum, sömuleiðis innstreymishitastigin. Það sem breyttist með tíma voru frárennslshitastigin vegna minnkandi varmafærslu með tíma þegar kísilútfellingar myndast.

Tilraunirnar í rörahiturunum tóku 30 daga en í plötuhitaranum 45 daga. Á mynd 7 eru sýndar niðurstöðurnar úr þessum tilraunum. Myndin sýnir grómunarstuðulinn fyrir rörahitarana (nr. 2 og 3) og plötuhitarann (nr. 4). Grómunin virðist vaxa línulega með tíma. Í töflu 15 eru sýnd meðaltalsgildi fyrir þær stærðir sem voru reiknaðar út fyrir hvern punkt á mældum stærðum. Auk þess sýnir tafla 15 þau meðaltalsgildi, fyrir vöxt kísilgrómunarinnar, sem fást með beinni línu í gegnum punktana á mynd 7. Eftir 1080 klst. var útfellið í plötuhitaranum orðið 0,4-0,5 mm á þykkt, þar sem það var þykkast á plötunum næst útrennslinu. Bilið á milli platnanna var 5,9 mm og höfðu kísilútfellingarnar því minnkað það um 7-8%. Í rörahiturunum var útfellið eftir 766 og 791 klst. þynnra en í plötuhitaranum. Þvermál röranna var 10,3 mm og höfðu kísilútfellingarnar því varla minnkað það um meira en ~ 1%.

Sumarið 1978 var gerð útfellingatilraun við vesturenda dvalarlónsins þar sem frárennslisvatnið hripar niður í hraunið. Vegna lægðar í hrauninu við enda lónsins var hægt að fá nægilega fallhæð til að ná sjálfrennsli í gegnum 5 m langt galvaniserað 50 mm rör, sem hallaði 2,5 gráður frá láréttu. Efri endi rörsins var á kafi í frárennslisvatninu og þannig fyrir komið að vatnið sem rann í gegnum það var hluti af aðal rásinni, sem streymdi frá lóninu. Í töflur 16 eru sýndar þær rennslis- og hitastigsmælingar sem voru gerðar á einni viku, en eftir þann tíma kom svo til ekkert úr rörinu vegna kísilútfellinga. Ellefu dögum síðar var rörið tekið úr lóninu og útfellingarnar athugaðar. Þær voru hvítar og mjúkar, eins og annars staðar í dvalarlóninu, og náðust auðveldlega úr rörinu. Þegar búið var að hreinsa útfellið úr rörinu var rörið sett á sama stað og áður og vatnsrennslið mælt. Í töflu 16 má sjá að vatnsrennslið var svo til hið sama og við upphaf tilraunarinnar. Mynd 8 sýnir þær mælingar sem voru gerðar. Við upphaf tilraunarinnar var rennslið 2,5 l/s og vatns hraðinn því um 1,3 m/s og Reynolds-talan 94.000.

Um miðjan nóvember 1978 var skipt um frárennslisrörið frá lágprýstiskiljunni í fyrstu rás orkuversins. Við það tækifæri voru athugaðar útfellingar innan í rörinu. Lágprýstiskiljan vinnur við undirprýsting (0,39 bar skv. mynd 3) og er vatnsborðsstaðan í frárennslisrörinu um 3

m fyrir neðan skiljuúrtakið. Útfellingarnar voru ekki samskonar fyrir ofan og neðan þetta vatnsborðið. Fyrir ofan vatnsborðið innan í frárennslisrörinu var útfellið ~ 1 mm á þykkt. Útfellingin var jöfn og dökkgrá eða svört á litinn. Fyrir neðan vatnsborðið var útfellið 2-5 mm á þykkt víðast hvar, en mest 6 mm. Útfellingin var hrúðruð og grá. Í frárennslisstokknum, þar sem vatnssýnin voru tekin fyrir kísilmælingarnar, voru harðar útfellingar á veggnum undir yfirborði. Það var ekki fyrr en úti í lóninu að útfellingarnar urðu mjúkar. Við hljóðdeyfi holu 4 (bráðabirgðastöð) mátti sjá þetta greinilega. Næst hljóðdeyfinum voru útfellingarnar harðar en þegar fjær dró urðu þær mjúkar.

## 5. UMRÆÐA

Við losun frárennslisins frá orkuverinu við Svartsengi verður að taka tillit til; langtíma nýtingar jarðhitasvæðisins, hagkvæmni í rekstri orkuversins og umhverfissjónarmiða. Eitt er það atriði, sem getur haf veruleg áhrif á alla þessa þætti, en það eru útfellingar kísils úr jarðsjónum. Til að stuðla að réttri ákvörðun um val á aðferð við losun frárennslisins var talið nauðsynlegt að gera þær athuganir, sem þessi skýrsla greinir frá.

### 5.1 Stærð lónsins

Í ágúst 1978 var yfirborð dvalarlónsins orðið 2700 m<sup>2</sup>. Þá hafði bráðabirgðastöðin verið starfrækt frá nóvember 1976 og fyrsta rás orkuversins frá desember 1977. Í lok þessa árs (1978) verður önnur rás orkuversins tekin í notkun og á næsta ári (1979) tvær rásir í viðbót. Orkuver I hefur 4 rásir, sem framleiða samtals 50 MW (4x 12,5 MW) af varma, sem nýtist til húshitunar. Hversu lengi bráðabirgðastöðin verður starfrækt er ekki enn vitað. Á næstu árum verður seinni orkuverið byggt og tekið í notkun. Orkuver II verður fyrst um sinn með þrjár rásir, sem framleiða samtals 75MW (3x25MW) af varma til húshitunar. Magn frárennslisins frá orkuverinu kemur því til með að aukast all verulega í náinni framtíð, sömuleiðis stærð dvalarlónsins.

Til að geta framreiknað stærð dvalarlónsins á næstu árum er nauðsynlegt að vita hvernig stækkun orkuversins verður háttað. Nákvæm spá um aflþörf Hitaveitu Suðurnesja er hinsvegar ekki tilbúin og verður því að gefa sér ákveðnar forsendur um stækkunina. Í þessari skýrslu verður gengið út frá eftirfarandi forsendum:

- a. Rás II orkuveri I verði tekin í notkun í nóvember 1978, rás III í mars 1979 og þá verði rekstri bráðabirgðastöðvarinnar hætt, en rás VI verði tekin í notkun í október 1979.
- b. Rás I orkuveri II verði tekin í notkun í janúar 1981, rás II tveimur mánuðum seinna og rás III í september sama ár.

Auk ofangreindra atriða þarf forsendur um magn frárennslis frá orkuverinu. Á mynd 4 má sjá að 85% af borholurennslinu verður að frárennslis sem rennur í dvalarlónið. Myndin vísar til einnar rásar í orkuveri I við 85°C framrásarhitastig og heitavatnsframleiðslu sem jafngildir 12,5 MW af varma til nýtingar. Um 70% af borholurennslinu verður að köldum jarðsjó (~ 65°C), en 15% að þéttivatni. Á mynd 4 er borholurennslid 25,30 kg/s, en í töflu 1 má hinsvegar sjá að mælt rennslis hefur verið 25-30 kg/s. Í rekstri má ætla að borholurennslid vegna einnar rásar sé um 30 kg/s. Til að tengja saman magn frárennslisins og yfirborð dvalarlónsins má nota mælingarnar sumarið 1978, sem fyrstu nálgun, sé gert ráð fyrir línulegu sambandi á milli þessara stærða. Við útreikninga á stærð dvalarlónsins í framtíðinni var því gengið út frá eftirfarandi forsendum að auki:

- c. Frárennslid frá orkuverinu jafngildi 85% af heildarrennslis úr borholum.
- d. Fyrir 12,5 MW af varma til nýtingar við húshitun þarf 30 kg/s af borholurennslis.
- e. Hlutfall flatarmáls og frárennslis sé  $1588 \text{ m}^2/\text{milljón tonn}$ . Flatarmálið var  $2700 \text{ m}^2$  þegar  $1624 \cdot 10^6 \text{ kg}$  af jarðsjó og  $90 \cdot 10^6 \text{ kg}$  af þéttivatni höfðu streymt í lónið.

Í töflu 17 eru sýndir þeir útreikningar, sem voru gerðir skv. ofan- greindum forsendum, en þessir útreikningar eru spá um stækkun lónsins í framtíðinni. Uppgefin stærð og framtíðarstækkun orkuversins við Svartsengi miðast við mestu afköst hveðrar rásar. Aflþörfin á hverjum tíma getur hinsvegar verið miklu minni og því verður að taka tillit til raunverulegrar notkunar þegar vatnstakan úr jarðhitasvæðinu er reiknuð. Áætlaður "rekstrarstuðull" orkuversins er sýndur í töflu 17. Á árunum 1992 til 1996 er hann áætlaður 0,75 sem jafngildir því að orkuverið verði rekið við 75% af mestu afköstum á ársgrundvelli. Tafla 17 sýnir hvað áætlað er að mikill varmi verði tekinn úr jarð- hitasvæðinu og hvað frárennslið í dvalarlónið nemur miklum massa. Áætlað flatarmál lónsins er gefið og jafnframt hvað það jafngildir mörgum fótoltavöllum ( $110 \times 75 = 8250 \text{ m}^2$ ) að stærð. Sé miðað við upp- haf reksturs bráðabirgðastöðvarinnar í nóvember 1976 getur dvalar- lónið verið orðið eins og 2 fótoltavellir eftir 5 ár, og eins og 8 vellir eftir 10 ár og ef til vill eins og 20 vellir eftir 20 ár. Í framtíðinni getur dvalarlónið því stækkað sem nemur einum fótolta- velli á ári. Á mynd 9 er búið að teikna vatnstökuna úr jarðhitasvæðinu og frárennslið í dvalarlónið. Á mynd 10 er sýnt hvað flatarmál dvalar- lónsins jafngildir mörgum fótoltavöllum. Þessir útreikningar byggja á einni mælingu yfir stuttan tíma og verður því að taka niðurstöðurnar með varúð. Það er t.d. alls ekki víst að yfirborð dvalarlónsins vaxi línulega með því frárennsli sem í það rennur. Það má eins vera að dvalarlónið vaxi með minni og minni hraða og stækki ekki umfram ákveðna jafnvægisstærð. Hugmyndin er sú að frárennslið losni við kísilinn á ferð sinni um lónið og geti því runnið óhindrað niður í hraunið. Til þess að svo verði þarf kísillinn bæði að fjöliliðast og botnfalla. Þegar kísillinn fjöliliðast myndar hann kísilagnir sem svífa áfram í frárennslinu. Hvað verður um þessar kísilagnir skiptir öllu máli fyrir þá tilgátu að dvalarlónið vaxi ekki umfram einhverja jafnvægisstærð. Frekari mælingar næsta sumar (1979) geta veitt aukna vitneskju um þetta atriði.

## 5.2 Hegðun kísils

Kísillinn í frárennslinu frá orkuverinu getur verið til staðar sem uppleystur kísill eða sem kísilagnir. Við yfirmettun fjöliliðast upp-



leystur kísill og myndar kísilagnir. Við losun frárennslisins skiptir það máli í hvaða formi kísillinn er. Gerðar voru kísilmælingar til að sjá hversu hratt kísillinn breytir um form í frárennslinu við Svartsengi. Jafnframt var athugað hvort fjöliliðunarhraðinn breyttist með hitastigi.

Mynd 6 sýnir þær mælingar sem voru gerðar. Þar má sjá að uppleystur kísill minnkar með tíma, fyrst hratt en síðar hægar. Myndin sýnir línur fyrir mismunandi kælingu, t.d. hafði mest kælda sýnið kólnað um 40°C eftir 60 mínútur. Það vekur athygli að fjöliliðunarhraðinn virðist í aðalatriðum óháður kólnuninni. Ef einhver munur er á fjöliliðunarhraðanum skv. mynd 6 þá virðist ókælda sýnið fjöliliðast eitt-hvað hraðar en kældu sýnin. Það er spurning hvort þessi munur sé marktækur. Í þeim kísilmælingum sem voru gerðar sumarið 1978 var uppleystur kísill við  $t = 0$  (ferskur jarðsjór frá lágþrýstiskiljunni) mældur nokkrum sinnum. Sjá t.d. fyrstu mælinguna í töflum 6-9. Allar  $t = 0$  mælingarnar sem voru gerðar eru skráðar í töflu 18. Uppleystur kísill mældist á bilinu 617-666 mg/kg, en meðaltalsgildið reiknast 643 mg/kg. Mesta frávik var því 26 mg/kg eða 4%, sem verður að teljast góð nákvæmni. Á mynd 6 eru flestir mælipunktarnir fyrstu 60 mínúturnar á ræmu sem spannar um 50 mg/kg. Af þessu má álykta að munurinn á fjöliliðunarhraða við mismunandi kólnun var hverfandi í þeim mælingum sem eru sýndar á mynd 6.

Mælingarnar sem voru gerðar á frárennslisvatni í Bjarnarflagi 1972 sýndu að fjöliliðunarhraðinn var sterklega háður hitastigi, gagnstætt því sem virðist vera við Svartsengi. Frárennslisvatnið í Bjarnarflagi er ósalt og mældist sýrustigið á bilinu 9,8-10 eða öllu herra en við Svartsengi þar sem sýrustigið var 7,9 skv. töflu 13.

Tvö atriði hafa væntanlega veruleg áhrif á hvort fjöliliðunarhraðinn sé háður hitastigi, en það eru sýrustig og selta. Í Bjarnarflagi var sýrustigið það hátt að kísilsýran var klofin að einhverju marki, en við Svartsengi var hún óklofin eins og fram hefur komið. Það er því hugsanlegt að áhrifa hitastigs gæti einungis við aðstæður þar sem kísilsýran klofnar. Þennan mismun í hegðun kísils við Svartsengi og Bjarnarflag má kannski skýra með seltuáhrifum. Sé gengið út frá þeirri forsendu að aukin selta örvi fjöliliðunarhraðann kemur til greina að

áhrif seltunnar við Svartsengi séu það mikil að hitastigsáhrifa gæti ekki. Seltan í frárennslinu við Svartsengi er álíka mikil og í venjulegu sjóvatni.

Skv. töflu 18 mældist uppleystur kísill í ferskum jarðsjó frá lágprýstiskiljunni á bilinu 617-666 mg/kg. Við upphaf kafla 3 um kísilmælingarnar var þess getið að útreiknaður styrkur kísils í frárennslivatninu ætti að vera 639 mg/kg, sem er mjög nærri meðaltalsgildinu 643 mg/kg. Þessi samanburður verður að teljast mjög góður og sýnir hversu vel hefur tekist til við kísilmælingarnar.

Tafla 10 sýnir mælingar sem voru gerðar á jarðsjávarsýnum frá lágprýstiskiljunni sem voru geymd við 20-25°C í 3,8 lítra brúsa í 5 og 14 daga. Það er athyglisvert hvað þessum tveimur mælingum ber vel saman. Uppleysti kísillinn og agnakísillinn eiga að jafngilda uppleysta kíslinum sem var í sýninu þegar það var ferkst eða um 643 mg/kg. Mældu gildin 682 mg/kg og 679 mg/kg eru hinsvegar um 6% hærri, sem er meira frávik en reyndist við mælingar á uppleystum kísli.

Í framhaldi af ofangreindu er rétt að skoða töflu 12 og mynd 11. Gerð var ein mæling þar sem magn kísilagna var mælt um leið og kísilfjölliðunin. Plastbrúsinn með jarðsjávarsýninu var geymdur við 20-25°C innihitastig. Eftir 156 mínútna fjölliðun var uppleystur kísill mældur 252 mg/kg með litaðferð og agnakísill 371 mg/kg með síumælingu. Til samans eru þetta 623 mg/kg, en við  $t = 0$  var uppleystur kísill 646 mg/kg eða 4% hærri. Þetta er sama frávik og reyndist við mælingarnar á uppleystum kísli. Síumælingarnar virðast því hafa tekist nokkuð vel og er full ástæða til að nota þessa aðferð við mælingar á kísilögnum í framtíðinni.

Kísilmælingarnar sem voru gerðar við vesturenda dvalalónsins eru sýndar í töflu 11. Þar hafði frárennslid kólnað í 42°C og 36°C þá daga sem mælingarnar voru gerðar. Uppleystur kísill mældist 265 mg/kg og 242 mg/kg (meðaltal tveggja mælinga). Skv. mynd 6 jafngildir þetta magn kísils því að jarðsjórinn hafi verið 1-2 klst. gamall. Vegna þéttivatnsins sem rennur í dvalarlónið verður einhver þynning á kíslinum frá lágprýstiskilju orkuversins og hljóð-

deyfi bráðabirgðastöðvarinnar. Síumælingarnar sýndu að agnakísill var 298 mg/kg og 259 mg/kg (meðaltal þriggja mælinga). Uppleystur kísill og agnakísill til samans voru því 563 mg/kg og 501 mg/kg þessa tvo daga. Það er spurning hvernig þessum gildum ber saman við kísilinn sem streymdi í dvalarlónið. Sé gengið út frá þeim forsendum; að rennslið úr borholu 3 hafi verið 30 kg/s og úr holu 4 líka 30 kg/s, að 70% af rennsli holu 3 hafi skilað sér sem frárennsli frá lágprýstiskiljunni, að 73% af rennsli holu 4 hafi runnið frá hljóðdeyfinum, að uppleystur kísill frá lágprýstiskiljunni hafi verið 623 mg/kg og frá hljóðdeyfinum 610 mg/kg, að 5 kg/s af þéttivatni hafi komið frá orkuverunum, þá má reikna kísilinn sem streymdi í dvalarlónið. Skv. ofangreindum forsendum reiknaðist kísillinn um 550 mg/kg. Samanburður við töflur 11 sýnir að aðeins lítil hluti kísilsins sem streymdi í dvalarlónið hefur getað botnfallið. Svo virðist sem mest allur agnakísillinn berist áfram með frárennslinu og myndi ekki útfelli fyrr en þar sem jarðsjórinn hripar niður í hraunið við vesturenda dvalarlónsins.

### 5.3 Útfellingar

Í útfellingatilraununum 1974 var allur kísillinn til staðar sem uppleystur kísill en ekki sem agnakísill. Útfellingarnar í varmaskiptunum voru því vegna yfirmettunar á opal en ekki vegna kísils sem hafði fjölíðast. Við athugun á rörahiturunum sást að útfellingar höfðu orðið þar sem engin kólnun átti sér stað. T.d. á 50 cm kafla þar sem streymi náði fullkomnu ólgustreymi á undan 100 cm varmaflutningskaflanum voru útfellingarnar litlu eða engu minni en annars staðar í hiturunum enda kólnaði jarðsjórinn um aðeins 20°C. Reynslan af rörahiturunum bendir því til þess að útfellingahraðinn geti verið sambærilegur við aðstæður þar sem kólnunin er hverfandi. Dæmi um svipaðar aðstæður eru lágprýstiskiljur orkuversins og hugsanlegar leiðslur að borholum sem taka við frárennslisvatni. Í plötuhitaranum var kólnunin hinsvegar um 110°C og þar mátti merkja verulegan mun á útfellingum við inntak og úttak.

Tilraunirnar með varmaskiptana sýndu að kísilútfellingarnar vaxa línulega með tíma. Slíkur vöxtur er dæmigerður fyrir harðar útfellingar eins og kísil úr upplausn. En hversu hratt rýrna varmaafköst

hitaskiptanna vegna kísilútfellinga? Sé miðað við tilraun nr. 2 í töflu 15 og meðaltalsgildið á varmafærslustuðlinum notað til viðmiðunar, þá tekur það 1 viku að rýra afköstin um 6,8%, 4 vikur að rýra þau um 27% og 12 vikur um 81%. Raunveruleg rýrnun er væntanlega meiri því varmafærslustuðullinn fyrir hreint yfirborð er hærri en meðaltalsgildið.

Í kafla 4 var þess getið að útfellingarnar í dvalalóninu hafi verið bæði harðar og mjúkar. Við hljóðdeyfi holu 4 voru útfellingarnar t.d. harðar en mjúkar í dvalarlóninu sjálfu. Svipaða hegðun má sjá í Bjarnarflagi. Þeirri hugmynd hefur verið hreyft að allar útfellingar sem myndast fyrir ofan 70-80°C verði harðar en myndist þær við lægra hitastig verði þær mjúkar. Lítið er vitað um ástæðuna fyrir þessari hegðun og því full ástæða til að rannsaka þetta atriði nánar.

Annað er það atriði sem getur skipt miklu máli fyrir kísilútfellingar, en það eru áhrif súrefnis. Tilraunir erlendis hafa sýnt að kísilútfellingar úr jarðhitavatni frá gufuskiljum eru óverulegar ef súrefni er haldið frá vatninu. Sé þetta rétt, skiptir miklu máli fyrir losun frárennslisins niður borholur að súrefni komist hvergi að. Á það verður hinsvegar að benda að við útfellingatilraunirnar 1974 í tilraunastöð Orkustofnunar komst ekkert súrefni að jarðsjónum en samt mynduðust útfellingar. Það er því alls ekki vitað um áhrif súrefnis á útfellingarnar við Svartsengi og því bráð nausynlegt að rannsaka það sem fyrst.

Í frárennslirörinu frá lágþrýstiskiljunni mynduðust útfellingar sem mældust 1-6 mm á þykkt eftir allt að 12 mánaða rekstur. Það kom fram í byrjun kafla 3 að yfirmettunin í frárennslissjónum var um 125% og því hætta á útfellingum. Sú reynsla sem hefur fengist, bendir því til þess að í framtíðinni megi búast við svipuðum útfellingum í frárennslisrörum og leiðslum að borholum þar sem frárennslið rennur niður. Sé miðað við útfellingarnar í frárennslisröri lágþrýstiskiljunnar er hægt að gera einfalda framreikninga á þykkt útfellisins eftir t.d. 5 ár. Í 250 mm röri minnkar þverskurðarflatarmálið eftir 5 ára rekstur um 15% ef útfellingarhraðinn er 2 mm/ári en 35% ef hraðinn er 5 mm/ári. Allt bendir til þess að slíkar útfellingar gæti verið harðar og því erfitt að hreinsa þær úr rörunum. Renni frárennslið frá lágþrýstiskiljunni niður borholu er erfitt að segja til

um hugsanlegar útfellingar í borholunum sjálfum. Kísillinn í jarðsjónum fjöliliðast með tíma og myndar kísilagnir sem hafa væntanlega aðra eiginleika en uppleystur kísill. Mjög lítið er vitað um útfellingahegðun kísilagna.

Tilraunin sem var gerð við vesturenda dvalarlónsins með 50 mm rörinu sýnir hvernig rennslið minnkar með tíma vegna útfellinga. Þvermál rörsins minnkar og um leið rennslið því þrýstifallið er hið sama. Í kafla 5.2 var ályktað að aðeins lítill hluti kísilsins sem streymdi í dvalarlónið hafi botnfallið fyrr en þar sem frárennslið hripaði niður í hraunið. Mælingar á uppleystum kísli og angakísli sýndu að við vesturendann skiptust þessi form u.þ.b. til helminga. Mynd 8 sýnir því rennslisminnkun vegna kísilútfellinga þar sem innstreymið inniheldur bæði uppleystan kísil og kísil á formi agna. Útfellingarnar í rörinu mynduðust fljótt og stífluðu rörið á um 10 dögum. Útfellið var hinsvegar mjúkt og var auðvelt að hreinsa það úr rörinu. Tilraunin sýnir væntanlega það sem gerist þegar frárennslið hripar niður hraunið. Kísillinn stíflar rásirnar sem frárennslið streymir um á nokkrum dögum eða vikum og dvalarlónið stækkar.

## 6. NIÐURSTÖÐUR

Í þessum kafla verða taldar upp þær niðurstöður sem skipta mestu máli fyrir þá aðferð sem verður valin til að losna við frárennslið frá orkuverinu við Svartsengi.

1. Í frárennslinu frá lágþrýstiskiljunni er allur kísillinn sem uppleystur kísill og er yfirmettunin um 125%.
2. Fjöliliðun uppleysta kísilsins í frárennslinu frá lágþrýstiskiljunni gengur ört fyrir sig fyrstu 30 mínúturnar en hægir síðan á sér og nálgast uppleysanleikamörkin á 60-120 mínútum.
3. Fjöliliðunarhraðinn er óháður hitastigi skv. mælingum við mismunandi kólnun jarðsjávarins frá lágþrýstiskiljunni.

4. Sé reiknað með línulegum vexti dvalarlónsins í framtíðinni getur lónið orðið á stærð við tvo fótboltavelli 1981, átta fótboltavelli 1986 og ef til vill tuttugu fótboltavelli 1996.
5. Kísilagnirnar sem verða til við fjölliðun á uppleysta kíslinum berast áfram með frárennslinu um dvalarlónið og mynda ekki útfelli fyrr en þar sem jarðsjórinn hripar niður í hraunið við endamörk lónsins.
6. Harðar kísilútfellingar mynduðust í hitaskiptum sem voru við svipaðar aðstæður og gætu orðið við niðurdælingu jarðsjávarins frá lágprýstiskiljunni. Þessar útfellingar mynduðust þrátt fyrir það að ekkert súrefni hafi komist að.
7. Harðar útfellingar mynduðust í frárennslisröri lágprýstiskiljunnar og alla leið út í dvalarlónið. Kísillinn sem féll til í dvalarlóninu var hinsvegar mjúkur.
8. Mjúkar kísilútfellingar mynduðust mjög ört í röri við endamörk dvalarlónsins. Aðstæður voru svipaðar og gætu orðið við niðurdælingu frárennslisins væri það fyrst geymt í snertingu við andrúmsloft.

## 7. TILLÖGUR

Í þessari skýrslu hefur aðallega verið fjallað um þær athuganir sem voru gerðar sumarið 1978 vegna útfellinga sem verða við losun frárennslis orkuversins við Svartsengi. Þessar athuganir voru fyrst og fremst miðaðar við útfellingar og þau vandamál sem þær geta valdið. Við val á aðferð til að losna við frárennslis orkuversins verður hinsvegar að taka tillit til fleiri þátta en útfellinga. Þessa skýrslu ber því að skoða sem hluta af stærra verkefni þar sem frárennslismálið er tekið fyrir í heild. Hér er t.d. ekki fjallað um niðurdælingu, hagnýtingu kísilefna né áhrifa dvalarlónsins á grunnvatnskerfið.

Sem næsta skref í athugunum á útfellingum við losun frárennslisins frá orkuverinu við Svartsengi er hér með lagt til að eftirfarandi verði gert sumarið 1979:

- A. Taka aðra loftmynd til að fá upplýsingar um stækkun dvalarlónsins á milli ára. Gera tilraun til að fylgjast með rennsli frárennslisins um dvalarlónið með ferlunaraðferð. Gera kísilmælingar á nokkrum stöðum í lóninu þar sem dvalartíminn er þekktur skv. ferlunarmælingum. Kanna dýpi dvalarlónsins og þykkt kísilsins á botninu.
  
- B. Gera ítarlegar tilraunir á útfellingahegðun kísils við aðstæður sem koma til greina við losun frárennslisins. Þessar tilraunir miðast við að svara spurningum um áhrif fjölliðunar, súrefnis, kælingar, rennslishraða o.fl. á útfellingar. Lagt verði kapp á að finna lausn sem sneiðir að mestu hjá útfellingavandamálinu. Hér er ekki lagt til að hafnar verði tilraunir með niðurdælingu. Áður en að því kemur er nauðsynlegt að gera ofangreindar tilraunir með rörum og öðrum útbúnaði við orkuverið.

HEIMILDIR

1. Colloidal Silica, R.K. Iler, Surface and Colloid Science, Vol. 6, ritstjóri E. Matijevic, Wiley, (1973).
2. Kísill og brennisteinsvetni í affallsvatni frá gufuborholum, Stefán Arnórsson, Orkustofnun OS-JHD-7601, janúar 1976.
3. Varmaorkuver við Svartsengi - Fyrirkomulag og Áfangar, Stefán Arnórsson, Guðmundur Björnsson, Jón Björnsson, Jónas Mattíasson og Sverrir Þórhallsson, Fjarhitun hf., Orkustofnun, Rafteikning hf. og Verkfræðistofa Guðmundar & Kritsjáns, maí 1976.
4. Deposition - The Geothermal Constraint, J.S. Guðmundsson og T.R. Bott, Institution of Chemical Engineers Symposium Series No. 48, 1977.
5. Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal Systems, R.O. Fourneir, Geothermics, Vol. 5, pp. 41-50, 1977.
6. Skýrsla um ferð til Nýja Sjálands, Filipseyja, Hawaii, Mexico og Bandaríkjanna, Valgarður Stefánss, Sigurður Benediktsson, Sverri Þórhallsson, Orkustofnun OS-JHD-7826, apríl 1978.
7. Raforkuframléiðsla í orkuveri við Svartsengi, Guðmundur Björnsson, Fréttabréf VFÍ, 3. árg., 10. tbl., 9. júní 1978.
8. Framvinduskýrsla um niðurstöður efnagreininga á jarðhitavatni og hitaveituvatni orkuvers Hitaveitu Suðurnesja við Svartsengi, Stefán Arnórsson, Orkustofnun OS-JHD-7836 júní, 1978.



Tafla 1 - Rennsli holu 3 við Svartsengi

Tímabil	Dagafjöldi	Borholurennisli	Heildarmagn	Frárennsli
16.06.77-31.08.77	76	~ 25 kg/s	164·10 <sup>6</sup> kg	120·10 <sup>6</sup> kg
10.11.77-11.12.77	31	~ 25 kg/s	64·10 <sup>6</sup> kg	45·10 <sup>6</sup> kg
11.12.77-16.12.77	5	Tenging	Tenging	Tenging
16.12.77-14.08.77	241	~ 30 kg/s	625·10 <sup>6</sup> kg	438·10 <sup>6</sup> kg
Samtals	353	-	853·10 <sup>6</sup> kg	603·10 <sup>6</sup> kg

Tafla 2 - Rennsli holu 4 við Svartsengi

Tímabil	Dagafjöldi	Borholurennisli	Heildarmagn	Frárennsli
18.10.76-16.06.77	241	~ 30 kg/s	625·10 <sup>6</sup> kg	456·10 <sup>6</sup> kg
16.06.77-31.08.77	76	Hreinsun	Hreinsun	Hreinsun
31.08.77-16.12.77	107	~ 30 kg/s	277·10 <sup>6</sup> kg	202·10 <sup>6</sup> kg
16.12.77-18.04.78	123	~ 25 kg/s	266·10 <sup>6</sup> kg	194·10 <sup>6</sup> kg
18.04.78-17.05.78	29	Hreinsun	Hreinsun	Hreinsun
17.05.78-14.08.78	89	~ 30 kg/s	231·10 <sup>6</sup> kg	169·10 <sup>6</sup> kg
Samtals	665	-	1399·10 <sup>6</sup> kg	1021·10 <sup>6</sup> kg

Tafla 3 - Djúpvatn holu 3 við Svartsengi

Dagur	SiO <sub>2</sub> (mg/kg)	Cl <sup>-</sup> (mg/kg)	Uppl. efni (mg/kg)	T <sub>SiO<sub>2</sub></sub> (°C)
21.06.77	385	13029	21468	227
03.08.77	404	13171	21846	231
25.08.77	452	12788	24228	238
19.04.78	447	12440	22244	237

Tafla 4 - Djúpvatn holu 4 við Svartsengi

Dagur	SiO <sub>2</sub> (mg/kg)	Cl <sup>-</sup> (mg/kg)	Uppl. efni (mg/kg)	T <sub>SiO<sub>2</sub></sub> (°C)
25.10.76	484	12548	20304	243
06.01.77	429	13184	21207	234
08.02.77	485	13144	24417	243
01.03.77	489	12427	25163	243
11.03.77	479	12736	24844	242
28.03.77	482	12929	26416	243
19.04.77	480	12789	24548	242
04.05.77	474	12394	28733	242
02.09.77	419	13370	25618	234
15.09.77	448	12400	20872	237
18.04.78	437	12593	21400	236

Tafla 5 - Djúpvatn í borholum við Svartsengi. Styrkur efna í mg/kg

Hola	Nr. 3	Nr. 4
Dagsetning	19.04.78	18.04.78
SiO <sub>2</sub>	447	437
Na	6959	6837
K	1140	1060
Ca	1021	1036
Mg	0,74	1,08
SO <sub>4</sub>	36,1	31,6
Cl	12440	12593
F	0.10	0.11
H <sub>2</sub> S *	4,03	6,82
CO <sub>2</sub> **	183	360
Uppl. efni	22244	21400

\* H<sub>2</sub>S + HS<sup>-</sup> + S<sup>-2</sup>

\*\* H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>

Tafla 6 - Kíslfjöliliðun þegar jarðsjórinn er við stöðugt  
hitastig 82°C

Nr.	t (mín)	c (mg/kg)
1	0	617
2	5	550
3	9	501
4	13	428
5	20	370
6	30	354
7	37	336
8	60	336
9	76	324

Tafla 7 - Kíslfjöliliðun þegar jarðsjórinn kólnar við innihitastig  
~ 25°C

Nr.	t (mín)	T (°C)	c (mg/kg)
1	0	82,0	655
2	4	79,0	642
3	8	78,0	565
4	11	77,0	507
5	19	74,5	404
6	23	74,0	404
7	28	72,0	379
8	36	70,0	360
9	52	67,0	334
10	83	61,0	276
11	99	58,0	263

Tafla 8 - Kísilfjölliðun þegar jarðsjórinn kólnar við innihitastig  
25°C

Nr.	t(mín)	T(°C)	c(mg/kg)
1	0	82,0	646
2	2	80,0	633
3	5	77,5	581
4	9	75,5	517
5	16	72,5	446
6	23	69,0	375
7	33	65,5	362
8	42	62,5	323
9	63	56,5	310
10	77	52,5	271
11	86	51,0	258

Tafla 9 - Kísilfjölliðun þegar jarðsjórinn kólnar við útihita  
~ 10°C

Nr.	t(mín)	T(°C)	c(mg/kg)
1	0	82,0	627
2	2	89,0	596
3	6	76,5	571
4	10	73,0	502
5	15	68,0	439
6	22	62,0	379
7	30	56,0	329
8	36	52,0	320
9	44	44,5	301
10	71	34,5	263
11	86	30,0	245
12	114	24,0	219

Tafla 10 - Kísilmælingar á geymdum jarðsjó frá lágbrýstiskiljunni

Geymslutími	Hitastig	Uppl. kísill	Kísilagnir	Kísill alls
5 dagar	20-25°C	133 mg/kg	549 mg/kg	682 mg/kg
14 dagar	20-25°C	139 mg/kg	540 mg/kg	679 mg/kg

Tafla 11 - Kísilagnir á jarðsjó frá vesturenda dvalarlónsins

Dagsetning	Hitastig	Uppl. kísill	Kísilagnir	Kísill alls
14.09.78	42°C	265 mg/kg	298 mg/kg	536 mg/kg
19.09.78	36°C	(257) 242 mg/kg (227)	(261) 259 mg/kg (261)	501 mg/kg

Tafla 12 - Kísilmælingar á jarðsjó frá lágbrýstiskiljunni:

Fjölliðun kísils og ein síumæling

Nr.	t (mín)	c (mg/kg)
1	0	646
2	5	523
3	16	428
4	99	277
5	156	252*

\* Hér mældist agnakísill 371 mg/kg

Tafla 13 - Sýrustigsmælingar 19. september 1978

Staður	pH	°C
Hljóðdeyrifr-Bráðabirgðastöð - Hóla 4	7,96	24
Frárennslisstokkur - Orkusver - Hóla 3	7,89	24
Vesturendi dvalarlónsins	7,65	27

Tafla 14 - Mæld meðaltalsgildi í varmaskipum

Nr.	Sjór (°C)		Vatn (°C)		Rennsli (kg/s)		Tími (klst.)
	Inn	Út	Inn	Út	Sjór	Vatn	
2	90,3	72,6	18,0	31,5	0,1330	0,1763	791
3	90,9	69,0	20,1	30,5	0,1089	0,1852	766
4	152,1	44,0	16,4	95,4	0,4420	0,5827	1066

Tafla 15 - Meðaltalsgildi fyrir reiknaðar stærðir

Nr.	Varmafærsla (KW)		Varmafærslustuðull (KW/m <sup>2</sup> °C)	Reynoldstala		Vöxtur grómunar (KW/m <sup>2</sup> °C) <sup>-1</sup> /klst.
	Sjór	Vatn		Sjór	Vatn	
2	9,202	9,886	3,22	44293	34208	1,25 x 10 <sup>-4</sup>
3	9,105	9,271	3,14	39036	35698	0,75 x 10 <sup>-4</sup>
4	194,0	193,2	5,31	6673	5456	1,00 x 10 <sup>-4</sup>

Tafla 16 - Rennslismælingar í 50 mm rör við vesturenda dvalarlóns

Dagsetning	Útihitastig	Vatnshitastig	Vatnsrennsli
12.09.78	9°C	31°C	2,50 l/s
14.09.78	9°C	42°C	1,32 l/s
15.09.78	6°C	40°C	1,15 l/s
19.09.78	10°C	36°C	0,38 l/s
30.09.78	5°C	-	2,33 l/s

Tafla 17 - Hugsanleg stækkun dvalarlónsins í framtíðinni

Tímabil	Tími (mán)		Borholurennslí (kg/s)		Rekstar- stuðull	Jarðhitasvæði x10 <sup>-9</sup> (kg)		Frárennslí x10 <sup>-9</sup>		Flatarmál lóns (m <sup>2</sup> )	Fjöldi fótboltavalla
	Tímabil	Alls	Aukning	Alls		Tímabil	Alls	Tímabil	Alls		
76.11-77.12	13	13	30	30	1,00	1,01	0,86	0,86	1366	0,17	
77.12-78.11	11	24	30	60	1,00	2,72	1,45	2,31	3669	0,44	
78.11-79.10	4	28	30	90	1,00	3,65	0,79	3,10	4923	0,60	
79.03-79.10	7	35	0	90	1,00	5,28	1,39	4,49	7130	0,86	
79.10-80.11	13	48	30	120	0,75	8,31	2,58	7,07	11227	1,36	
80.11-81.01	2	50	0	120	1,00	8,93	0,53	7,60	12069	1,46	
81.01-81.03	2	52	60	180	1,00	9,86	0,79	8,39	13223	1,61	
81.03-81.11	6	58	60	240	0,75	12,66	2,38	10,77	17103	2,07	
81.09-81.11	2	60	60	300	1,00	14,22	1,33	12,10	19215	2,33	
81.11-86.11	60	120	0	300	0,75	49,22	29,75	41,85	66458	8,06	
86.11-92.11	72	192	0	300	0,75	91,22	35,70	77,50	123070	14,92	
92.11-96.11	48	240	60	360	0,75	124,81	28,55	106,10	168487	20,42	



Tafla 18 - Uppleystur kísill í ferskum jarðsjó frá lágprýstiskiljunni

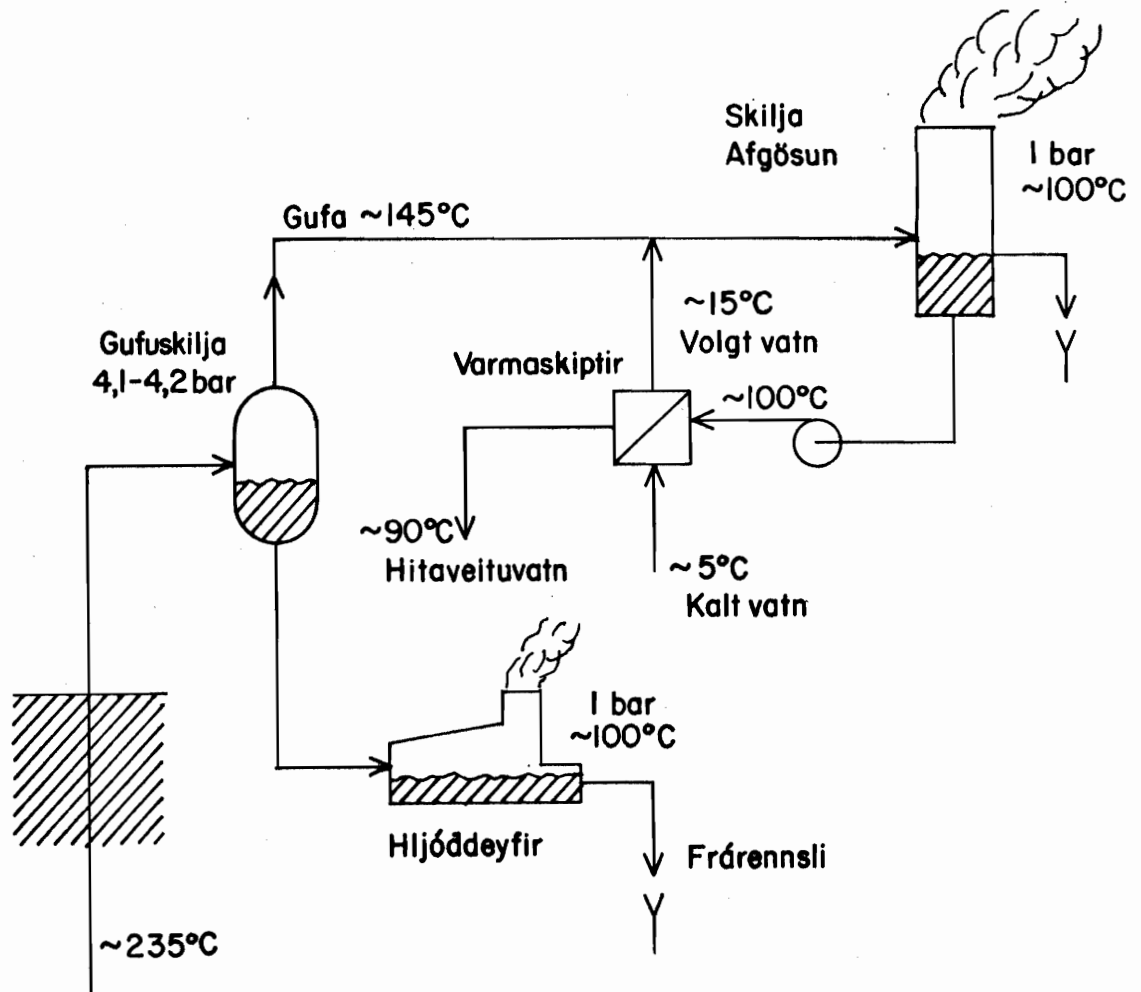
Dagsetning	Uppleystur kísill
30.08.78	655 mg/kg
30.08.78	617 mg/kg
05.09.78	666 mg/kg
05.09.78	646 mg/kg
05.09.78	627 mg/kg
14.09.78	646 mg/kg

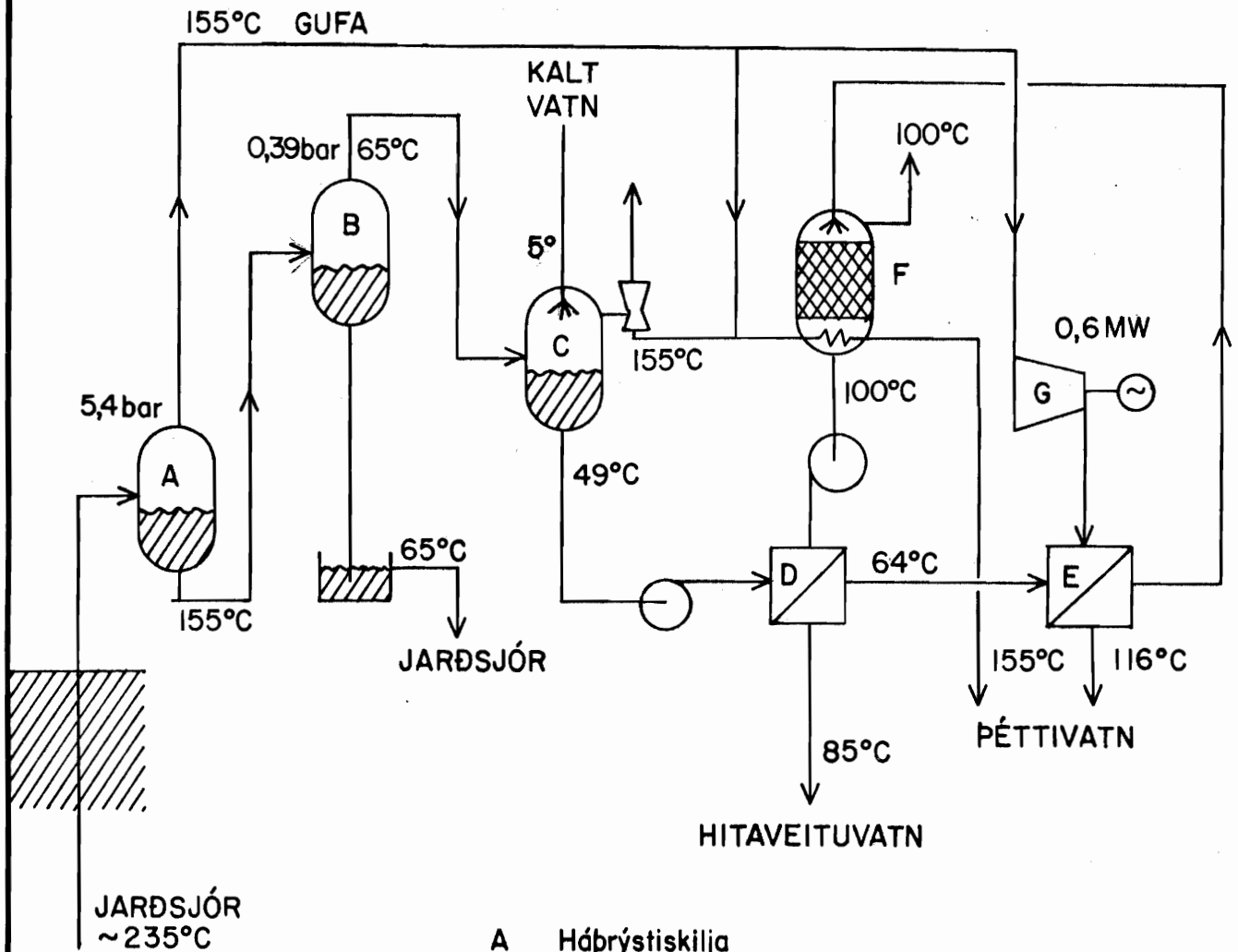


MYND 1. - Hluti af loftmynd Landmælinga Íslands nr. 3211F af  
dvalarlóninu, 14. ágúst 1978. Mælikvarði 1:2.000.



Mynd 2

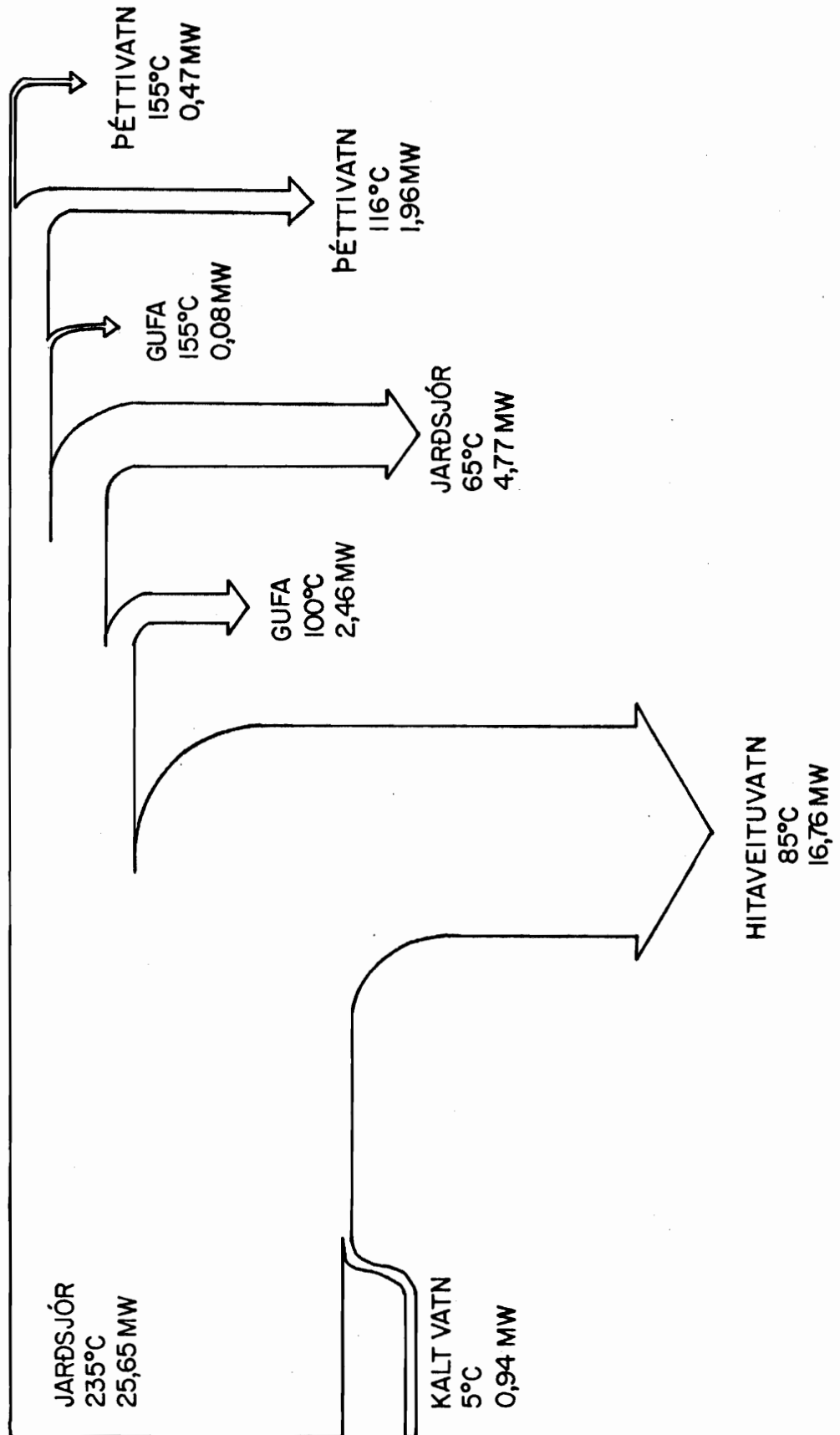




- A Háþrýstiskilja
- B Lágþrýstiskilja
- C Forhitari
- D Kælir
- E Eftirhitari
- F Afloftari
- G Gufuhverfill

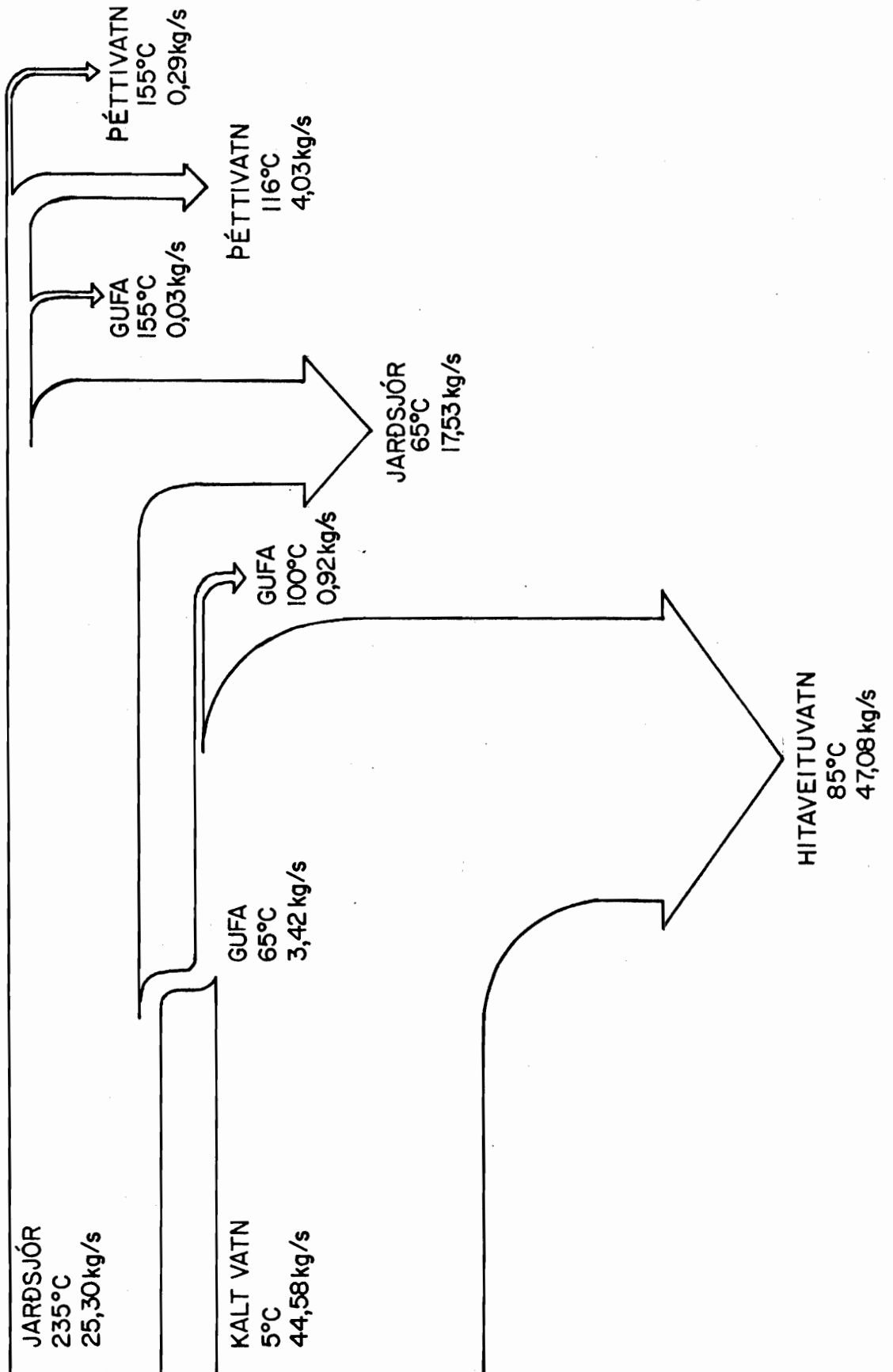


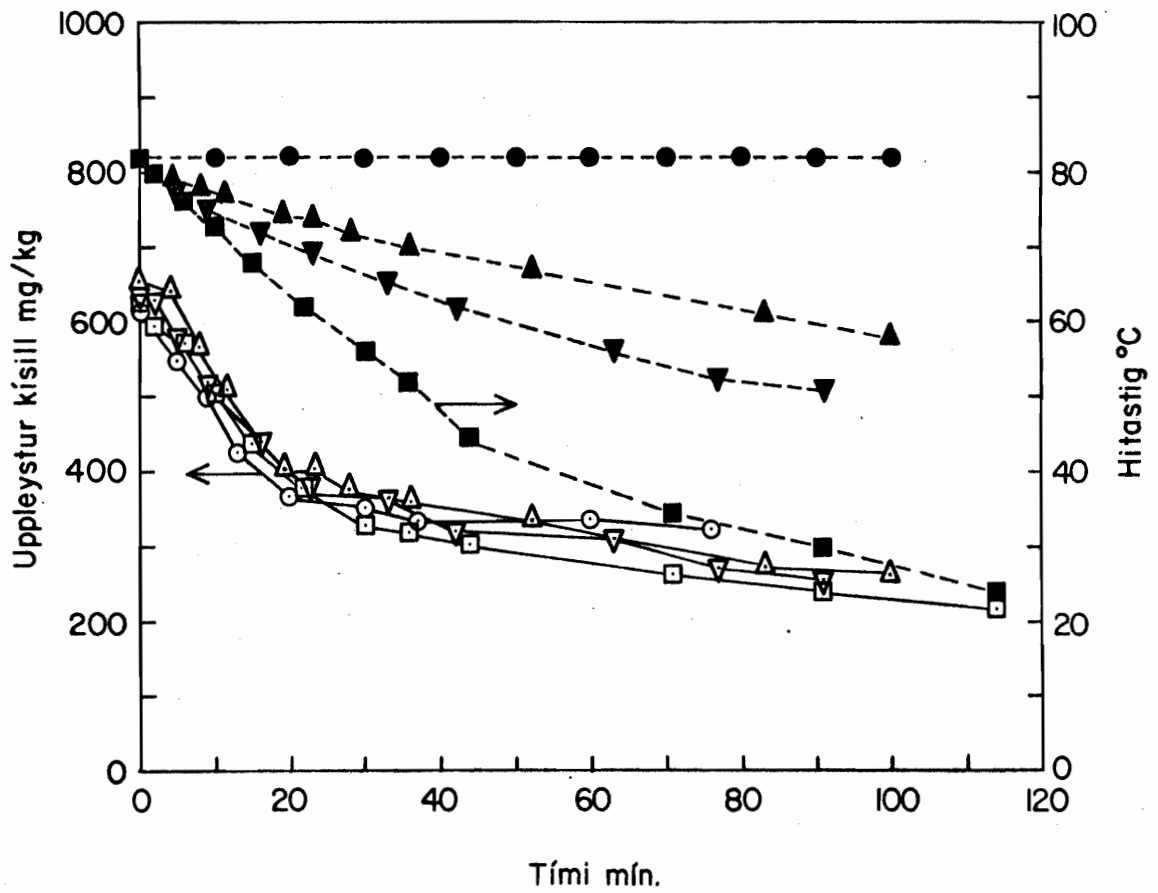
Mynd 4

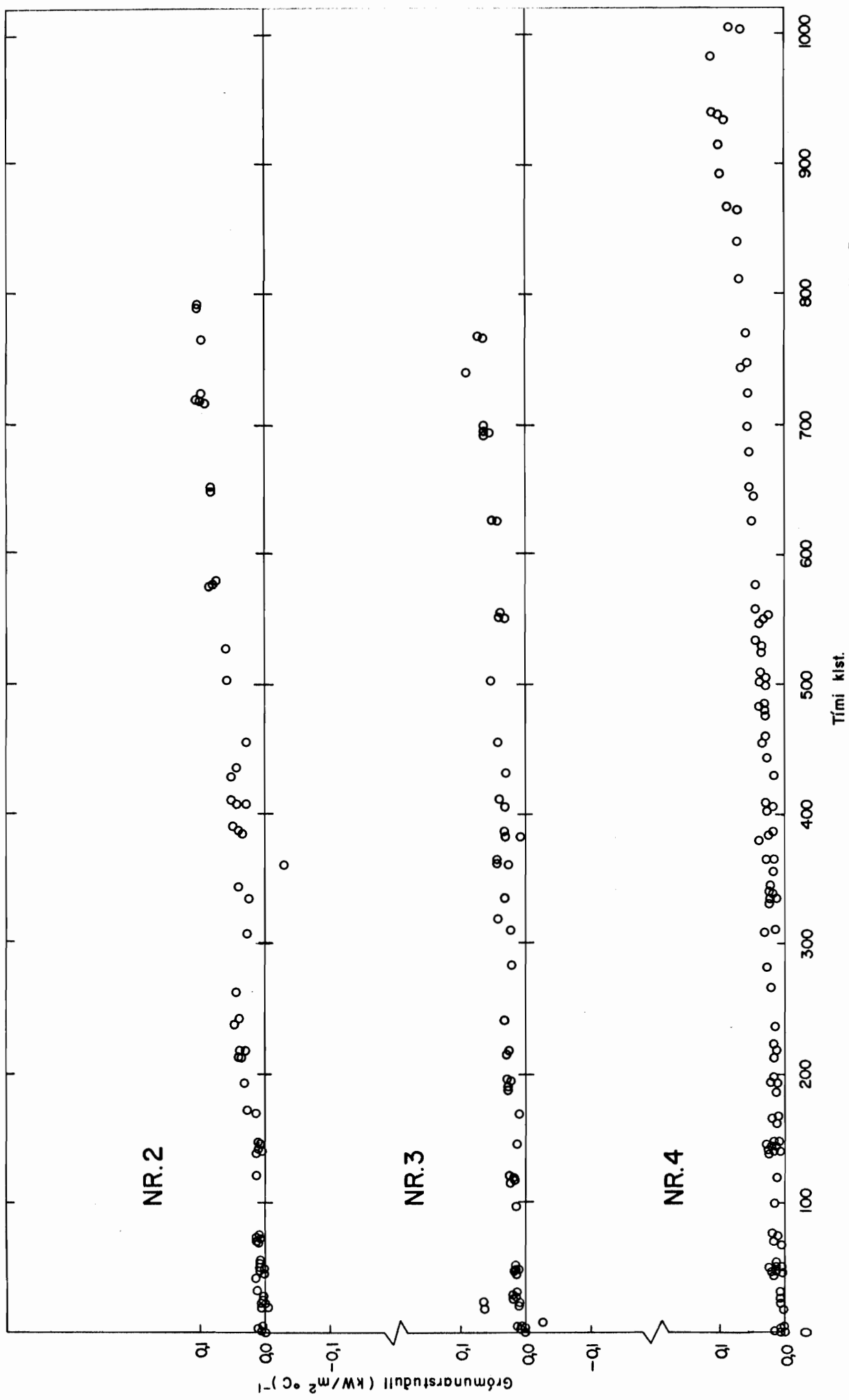




Mynd 5







Mynd 7

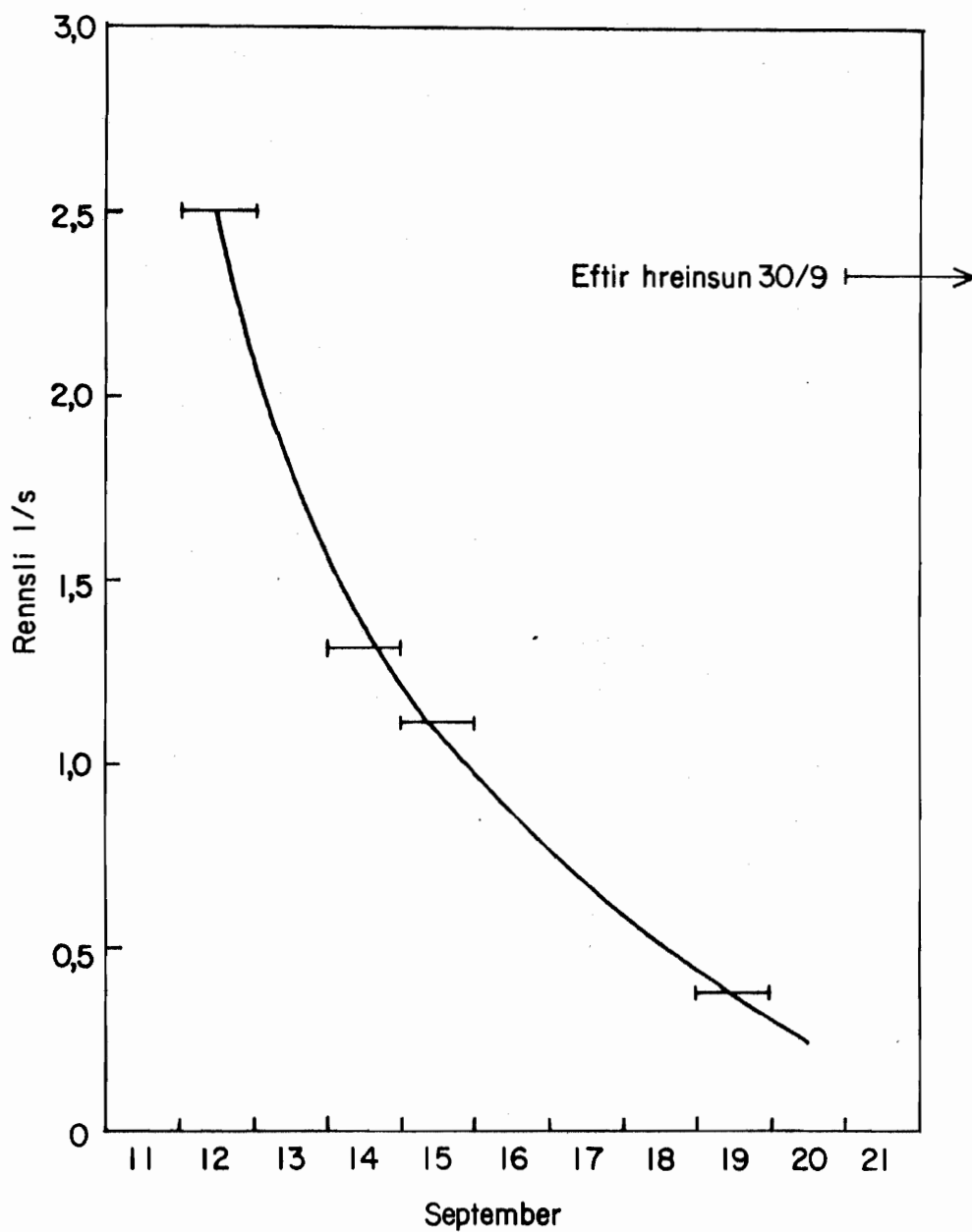
ORKUSTOFNUN

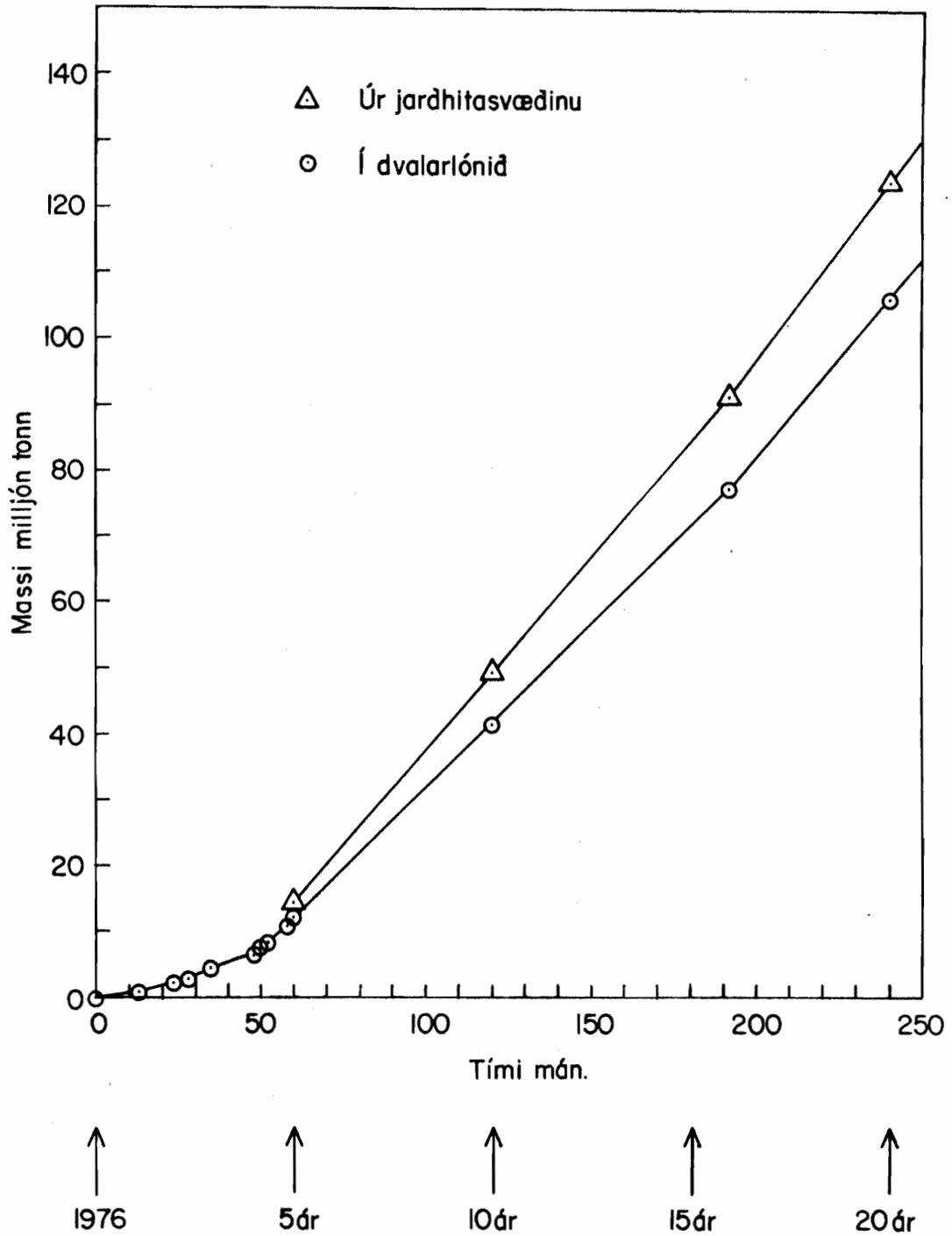
Grömunarstuðlar sem fall af tíma

79-02-27	Svarðse.
JSG/æ	Vinnslut.

F-18181

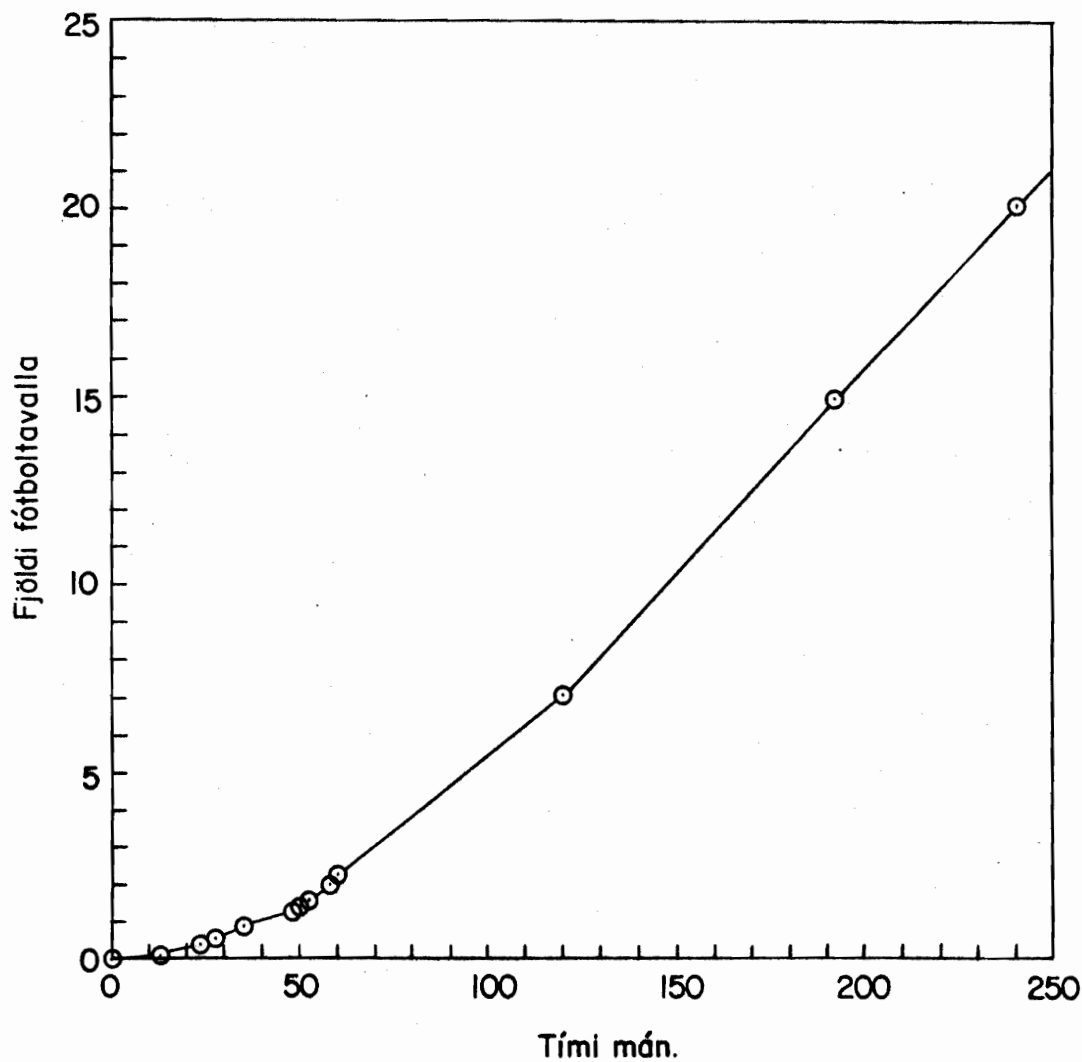








Mynd 10



↑  
1976

↑  
5ár

↑  
10ár

↑  
15ár

↑  
20ár



Mynd II

