



ORKUSTOFNUN  
Raforkudeild

# SVARTSENGI I

Grunnvatnsrannsóknir vegna fersk-  
vatnsöflunar fyrir varmaorkuver

Jón Ingimarsson  
Jónas Elíasson

OS80031/ROD12  
Reykjavík, desember 1980

Unnið fyrir  
Hitaveitu Suðurnesja

# **SVARTSENGI**

## **I**

**Grunnvatnsrannsóknir vegna fersk-  
vatnsöflunar fyrir varmaorkuver**

**Jón Ingimarsson  
Jónas Elíasson**

**OS80031/ROD12  
Reykjavík, desember 1980**

**Unnið fyrir  
Hitaveitu Suðurnesja**

ÁGRIP

Fjallað er um ferskvatnsrannsóknir Straumfræðistöðvar Orkustofnunar 1978-80 fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Meginmarkmið rannsóknaanna var að afla nægilegs fersks vatns til framleiðslu hitaveitunnar og kanna áhrif vatnstökunnar á vatnsbúskap svæðisins. Meginniðurstöður rannsóknaanna eru, að virkjuð vatnsból anni þörfum hitaveitunnar a.m.k. fram undir aldamót og mjög ósennilegt sé, að affallsvatnið frá varmaorkuverinu muni menga vatnsvinnslusvæðið. Allt grunnvatn á svæðinu flýtur ofan á sjó og er í þrýstijafnvægi við hann. Yfirborðsvatn er mjög lítið og nánast öll úrkoma sígur niður í grunnvatnið eða gufar upp. Grunnvatns- hæð á vatnsvinnslusvæðinu er í 1,25-1,30 m hæð yfir meðalsjávarmáli og ferskvatnslagið er 45-50 m þykkt. Vatnið á vatnsvinnslusvæðinu er gott neysluvatn. Dæluprófanir benda til að lektin í grennd við vatnsbólin sé um 0,05 m/s, sem telst mjög mikil lekt. Samtals er áætlað að virkjuð vatnsból (HSK-2, HSK-4, HSK-9, HSK-10 og Gjá) anni 420 lítra dælingu á sekúndu, án þess að mengunar frá sjónum undir ferskvatnslaginu gæti í því vatni sem dælt er. Frágangur ferskvatnshola takmarkar dælingu úr þeim og gerir túlkun þrepaðalinga óáreiðanlega. Samkvæmt grunn- vatnsreiknilíkani, sem gert var af svæðinu, má búast við um 0,10-0,15 m lökkun grunnvatnsins á svæðinu við 370 lítra dælingu á sekúndu. Niður- stöður líkansins benda til að írennsli 270 lítra af affallsvatni á sekúndu frá varmaorkuverinu valdi ekki mengun á vatnsvinnslusvæðinu. Sett er fram tillaga um rekstur vatnsbólanna og eftirlit með rekstrinum, með tilliti til öryggis vatnsvinnslunnar.



EFNISYFIRLIT

	Bls.
ÁGRIP .....	3
EFNISYFIRLIT .....	5
TÖFLUSKRÁ .....	7
MYNDASKRÁ-KORTASKRÁ .....	7-8
YFIRLIT .....	i-iv
1 INNGANGUR .....	9
1.1 Fyrri rannsóknir .....	9
1.2 Rannsóknir Straumfræðistöðvar .....	13
2 VATNAFRÆÐILEGAR AÐSTÆÐUR .....	17
2.1 Inngangur - markmið .....	17
2.2 Jarðfræði .....	17
2.3 Veðurfar .....	19
2.4 Grunnvatnsgeymir .....	23
2.5 Grunnvatnshæð .....	25
2.6 Gæði vatns og hitastig .....	33
2.7 Vatnsbúskapur .....	34
3 DÆLUPRÓFANIR .....	39
3.1 Inngangur - markmið .....	39
3.2 Úrvinnsla .....	40
3.2.1 Úrvinnsla þrepaðæluprófana .....	40
3.2.2 Úrvinnsla langtímadæluprófana .....	46
3.2.3 Úrvinnsla jöfnunar .....	49
3.3 Niðurstöður dæluprófana .....	50
4 VATNSGÆFNI VATNSBÓLA .....	53
4.1 Inngangur - markmið .....	53
4.2 Úrvinnsla .....	53
4.3 Niðurstöður .....	54
5 LÍKANREIKNINGAR .....	55
5.1 Inngangur - markmið .....	55
5.2 Uppbygging grunnvatnslíkans fyrir Svartsengissvæðið .....	55
5.2.1 Ytri mörk svæðis - randskilyrði .....	56
5.2.2 Írennsli .....	56
5.2.3 Lekt .....	56
5.2.4 Gerð þríhyrninganets af vatnasvæðinu .....	57

	Bls.
5.3 Stilling líkansins .....	57
5.4 Áhrif dælingar ferskvatns og leka affallsvatns í grunnvatnið .....	59
5.5 Mat á gæðum líkans og næmni fyrir breyttum forsendum ....	60
5.6 Niðurstöður .....	62
6 VATNSVINNSLUÁÆTLUN .....	63
7 EFTIRLIT MEÐ VINNSLU OG FREKARI RANNSÓKNIR .....	65
8 NIÐURSTÖÐUR .....	67
HEIMILDASKRÁ .....	69
VIÐAUKAR: A Dæluþrófanir .....	71
B Vatnsgæfni vatnsbóla .....	81

KORT 1-7 í sérstakri kortamöppu

TÖFLUSKRÁ

	Bls.
1 Meðalhitastig (°C) mánaða og árs við Reykjanesvita og á Keflavíkurflugvelli .....	20
2 Meðalúrkoma (mm) mánaða og árs við Reykjanesvita, á Keflavíkurflugvelli og í Grindavík .....	20
3 Meðalgnóttargufun (mm) mánaða og árs á Keflavíkurflugvelli ....	22
4 Meðalgrunnvatnshæð (m) mánaða og árs í borholum þar sem grunnvatnshæðin er sírituð .....	26
5 Samband milli grunnvatnshæða í borholum .....	32
6 Efnagreiningar ferskvatnssýna .....	33
7 Meðalírennsli (mm) mánaða og árs við Grindavík fyrir árin 1932-1976, alls 43 ár .....	36
8 Meðalírennsli (mm) mánaða og árs við Svartsengi ásamt meðalgrunnvatnshæð (m) í HSK-12 fyrir 1978-79 .....	36
9 Niðurstöður úrvinnslu þrepaðæluprófana .....	42
10 Lekt (m/s) við vatnsból miðað við þrepaðæluprófanir .....	44
11 Áætluð meðaldæling ( $m^3/s$ ) úr vatnsbólum 1978.01.01-1979.12.31 .	48
12 Meðalgrunnvatnshæð (m) í borholum .....	49
13 Lekt (m/s) í umhverfi vatnsbóla miðað við þrepa- og langtíma-dæluprófanir .....	51
14 Lekt (m/s) í mismunandi jarðefnum .....	51
15 Vatnsgæfni vatnsbóla $Q_{max}$ ( $m^3/s$ ) .....	54
16 Tillaga um rekstur ferskvatnsbóla Hitaveitu Suðurnesja til 1990 .....	64

MYNDASKRÁ

1 Rannsóknarsvæði, afstöðumynd .....	12
2 Reykjaneskagi: Jarðfræði, yfirlit .....	18
3 Dreifing úrkomu á Íslandi (mm/ári) .....	21
4 Gnóttargufun á Íslandi (mm/ári) .....	22
5 Grunnvatnshæð í borholum við Seltjörn, Stapafell og HSK-6, 1976.05-1979.12 .....	27

	Bls.
6 Grunnvatnshæð í borholum HSK-11 og HSK-12, 1977.09-1979.12 og reiknað írennsli við Svartsengi, 1977.03-1979.12 .....	29
7 Samband grunnvatnshæðar í borholum þar sem grunnvatnshæðin er sírituð fyrir tímabilið 1978.01-1978.05 .....	31
8 Ferskvatn, selta (ppmCl <sup>-</sup> ). Jafnseltulínur .....	35
9 Ferskvatn, hiti (°C). Jafnhitalínur .....	35
10 Reiknað írennsli (mm/ári) í Grindavík 1932-1977 .....	37
11 Þrepadæluprófun .....	39
12 Þrepadæluprófanir í HSK-5, HSK-9 og HSK-10 á árinu 1978 .....	41
13 HSK-10. Frágangur og jarðlagaskipan .....	46
14 Vatnsborð í HSK-6 við dælingu úr HSK-5 .....	47
15 Jöfnun vatnsborðs í HSK-5 .....	50
16 Hitaveita Suðurnesja.. Svartsengi.. Spá um ferskvatnsnotkun ...	63

#### KORTASKRÁ

- 1 Þríhyrninganet, írennsli og randskilyrði
- 2 Sprunguáhrif
- 3 Svæði með sömu lekt, jafnhæðarlínur grunnvatns, rennslisörvar og grunnvatnsskil við náttúrulegar aðstæður (tilfelli I)
- 4 Svæði með sömu lekt, jafnhæðarlínur grunnvatns og rennslisörvar við 0,37 m<sup>3</sup>/s dælingu og 0,27 m<sup>3</sup>/s írennsli affallsvatns (tilfelli I)
- 5 Svæði með sömu lekt, jafnhæðarlínur grunnvatns og rennslisörvar við náttúrulegar aðstæður (tilfelli II)
- 6 Svæði með sömu lekt, jafnhæðarlínur grunnvatns og rennslisörvar við 0,37 m<sup>3</sup>/s dælingu og 0,27 m<sup>3</sup>/s írennsli affallsvatns (tilfelli II)
- 7 Svæði með sömu lekt, jafnhæðarlínur grunnvatns og rennslisörvar við 0,37 m<sup>3</sup>/s dælingu og 0,27 m<sup>3</sup>/s írennsli affallsvatns (tilfelli III)



## YFIRLIT

Skýrslan fjallar um grunnvatnsrannsóknir Straumfræðistöðvar Orkustofnunar 1978-1980 vegna ferskvatnsöflunar fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Höfuðmarkmið rannsóknanna var að finna hvort nægilegt grunnvatn væri á svokölluðu Lágasvæði til að anna þörf Hitaveitunnar fyrir ferskt vatn. Ennfremur skyldi kanna hvort hættu væri á að affallsvatnið frá varmaorkuverinu mengaði ferskvatnsbólun og hvernig heppilegast væri að haga vatnsvinnslunni.

Meginniðurstöður rannsóknarinnar eru þær, að möguleikar til vatnsvinnslu eru nægir á Lágasvæðinu til að anna þörfum Hitaveitu Suðurnesja fram til aldamóta og mjög ósennilegt er að affallsvatn varmaorkuversins mengi vatnsbólun, að minnsta kosti meðan orkuvinnsla verður innan þeirra marka sem áætlanir gera ráð fyrir. Sjálfri vatnsvinnslunni verður best hagað þannig, að fremur en bora holur séu byggðir brunnar í gjám eða á öðrum þeim stöðum þar sem staðbundið jarðrask hefur skapað mikla lekt jarðlaga. Niðurdráttur vegna slíkrar vatnsvinnslu er mjög lítill, en breiðir mikið úr sér. Það hefur því ekki mikla þýðingu að dreifa vatnsbólum yfir stórt svæði, heldur verður að láta gæði vatnsins, aðstæður til brunngerðar og ýmis kostnaðaratriði ráða staðsetningu brunna. Ef það vatn sem nú er unnið telst hafa óheppilega efnasamsetningu þá er efnasnauðara vatn að finna norðan við vatnaskil, sem að óbreyttu ástandi liggja rétt hjá Gjánni HSK-100, í um 1-2 km fjarlægð frá núverandi vinnslusvæði. Að öðrum kosti eru góðar aðstæður til að gera nýjan brunn í næsta nágrenni við HSK-100 strax og þörf krefur.

Vatnsbúskapur Reykjanes er með þeim hætti að úrkoma að frádreginni uppgufun er um 1000 millimetrar á ári að meðaltali. Mest fellur á fjöllin en minna á láglandið. Allt þetta vatnsmagn rennur til grunnvatnsgeymis, afrennsli á yfirborði er svo lítið að það er ekki teljandi. Grunnvatnsgeymirinn sjálfur er ferskvatnslag, sem flýtur ofan á söltum sjó og er í þrýstijafnvægi við hann, að minnsta kosti þegar lítið er til lengri tíma en eins árs.

Ferskvatnslagið er 45-50 metra þykkt á vatnsvinnslusvæðinu, og nær 1,25-1,30 metra yfir meðalsjávarmál eins og flotjafnvægið segir til um. 4/5 hlutar þessa vatnsforða (eða um 40 metrar) eru gott drykkjarvatn en þar fyrir neðan er blöndunarlag með vaxandi seltu eftir því sem neðar

dregur. Við slíkar aðstæður er vatnsvinnslu sú hætta búin, að vatnið verði salt með tímanum, annaðhvort vegna þess að niðurdráttur vatnsborðsins umhverfis vatnsbólunni sögi saltvatnið uppí þau, eða straumurinn í ferskvatnslaginu geri blöndunarlagið þykkara. Af þessum orsökum er nauðsynlegt að fylgjast vel með rekstrinum og hefur sérstök hola verið boruð í því skyni að geta rannsakað hreyfingar skilflatarins og blöndunarlagsins.

Með tilliti til þessarar hættu var hámarksniðurdráttur á svæðinu ákveðinn og hámarksafköst virkjaðra vatnsbóla (HSK-2, HSK-4, HSK-9, HSK-10 og Gjáin) reiknuð 420 lítrar á sekúndu samtals, þar af gefur Gjáin ein 290 l/s. Sambandið milli niðurdráttar og rennslis úr vatnsbólum var fengið með dæluprófunum, bæði skammtíma þrepaðælingum og langtíma dæluprófunum, þar sem fylgst er með vatnsborðsbreytingum utan við vatnsbólið sjálft. Það olli töluverðum erfiðleikum um tíma, að samræmi milli niðurstöðu þrepaðælinga og langtímaðælinga fékkst aldrei verulega gott. Þetta atriði var kannað mjög rækilega, og reyndist orsökina vera, að sigtISRörum og sigtismöl var þannig fyrir komið í nokkrum holum að vatnsrennslið inn í þær hindraðist, svo vatnsborðið í holunum var lægra en rétt fyrir utan sigtismöl. Þetta þýðir að hættan á saltinnblöndun er ofmetin svo fremi sem eingöngu er farið eftir vatnsstöðunni í holunni sjálfri. Alllangan tíma tók að kanna þetta atriði og komast að réttri niðurstöðu.

Svæðisniðurdráttur vegna vatnsvinnslunnar var reiknaður í sérstöku reikniliíkani sem var gert vegna þessara rannsókna. Reyndist hann vera 10-15 sentimetrar á vatnstökusvæðinu fyrir 370 l/s vatnsvinnslu. Straumhraðar og straumstefnur grunnvatnsins voru líka reiknaðar með líkaninu og það metið hvort hætta væri á mengun vatnsbólanna vegna þess að 270 l/s af affallsvatni er sleppt hjá varmaorkuverinu. Reyndist sú hætta hverfandi, jafnvel þó árs írennsli minnkaði um 25%.

Í líkanreikningunum er tekið tillit til mismunandi írennslis, mismunandi lektar ólíkra jarðlaga, áhrifa sprungustefnu og sprunguþéttleika og mismunandi þykktar ferskvatnslagsins. Líkanið var stillt eftir þekktum vatnshæðum og sem niðurstaða fékkst lektarstuðull allra jarðlaga á svæðinu. Í grennd við vatnsbólunni reyndist hann vera 5-20 sentimetrar á sekúndu, sem er mjög góð lekt, og svarar þessi tala vel til þess mats sem gert var á lektarstuðlum í dæluprófunum og sjávarfallamælingum í

borholum. Líkanið er því talið gefa rétta mynd af ástandi grunnvatnsgeymisins eins og það er að meðaltali yfir langan tíma.

Það hefur hinsvegar komið í ljós að flotjafnvægið sem líkanið byggir á gildir ekki þegar til skemmri tíma er litið. Það er nokkuð ljóst að skilflötur vatns og sjávar fylgir ekki árstíðabundnum sveiflum grunnvatnsborðsins, heldur stendur að mestu leyti kyrr. Fyrir þessu eru hugsanlega einhverjar jarðfræðilegar orsakir, til dæmis þétt jarðlög sem hindra hreyfingar skilflatarins. Straumfræðistöðin telur þetta atriði ekki nægilega rannsakað, en bendir á, að í öllum líkanreikningum í þessari skýrslu er reiknað með stöðugu ástandi. Þá er óbeint gert ráð fyrir því að skilflöturinn hreyfist ekki langt frá meðalstöðu innan hvers árs. Afköst vatnsbóla eru því reiknuð út frá meðalnotkun og meðalstöðu grunnvatnsgeymis, sem er mun hagstæðari útkoma en sú sem fengist ef taka þyrfti tillit til hve grunnvatnsstaðan er mikið lægri á haustin en meðalstaðan.

Af niðurstöðum líkanreikninga má rekja grunnvatnsskil í nágrenni við vatnsvinnslusvæðið og orkuverið. Um tvennskonar grunnvatnsskil er að ræða, annarsvegar höfuðvatnaskil þar sem straumurinn stefnir til sinn hvorrar áttar burt frá vatnaskilunum, og hinsvegar straumlínuskil, þar sem straumurinn stefnir samsíða skilunum en fer ekki yfir þau. Úrvinnsla á þessum niðurstöðum er ekki fyllilega lokið, en eindregið er lagt til að sú úrvinnsla sé gerð mjög vandlega. Hún mun gefa verðmætar upplýsingar um írennslissvæði þess vatns sem verið er að dæla, um höfuðvatnaskil sem hindra útbreiðslu mengunar og um stefnu og stærð vatnsstrauma á líkansvæðinu. Þessar upplýsingar eru verðmætar þegar taka þarf afstöðu til nauðsynlegrar vatnsverndar og fylgjast þarf með útbreiðslu hugsanlegrar mengunar.

Straumfræðistöðin telur, að þau atriði sem ekki eru nægilega rannsökuð varðandi þétt jarðlög og flotjafnvægi ferskvatnslagsins eigi að rannsaka betur. Þessi rannsókn getur ekki talist óhjákvæmilega nauðsynleg vegna vatnsöflunar fyrir hitaveituna, því telja má nægilegt vatn fyrir hendi til að sinna hennar þörfum í nánustu framtíð. Rannsóknin hefur hinsvegar mikið vísindalegt gildi, auk þess sem hún er nauðsynleg ef á annað borð er talið æskilegt að vita hve mikið vatn má taka þegar tekið er tillit til hættunnar af saltvatnsmengun í þurrum árum með litlu írennsli.

Sú vitneskja sem þannig fengist gæti grundvallað enn frekari vatns-  
töku en nú er áætluð, og Hitaveita Suðurnesja hugsanlega staðið fyrir.  
Rannsóknin mundi fara þannig fram, að reiknað yrði írennsli sem tíma-  
röð, og gert tímaháð líkan af ferskvatnslaginu þar sem breytingar  
á grunnvatnsborði og hreyfingar skilflatar kæmu réttar fram og í  
samræmi við mælingar. Í slíku líkani má reikna stærð grunnvatnsforðans  
og meta endingu hans í þurrum árum, ennfremur má gefa yfirlit yfir  
breytingar á grunnvatnsskilum og mörk fyrir hreyfingu þeirra. Hið  
vísindalega gildi skal ekki nánar rakið, en vegna þess verður að telja  
eðlilegt að hér yrði um samvinnuverkefni Orkustofnunar og Hitaveitunnar  
að ræða.

## 1 INNGANGUR

Í skýrslunni er lýst rannsóknum Straumfræðistöðvar á árunum 1978-1980 sem lið í enn viðtækari rannsóknum Orkustofnunar fyrir Hitaveitu Suðurnesja á grunnvatnsstreymi á vestanverðum Reykjaneskaga. Hér er fyrst og fremst fjallað um athuganir á ferskvatni á vatnsvinnslusvæði hitaveitunnar og áhrif affallsvatns á grunnvatnskerfið. Vegna forsögu málsins er þessum inngangskafli skipt niður í fyrri rannsóknir annars vegar og rannsóknir Straumfræðistöðvar hins vegar.

### 1.1 Fyrri rannsóknir

Á árunum 1971-72 voru boraðar holur H-2 og H-3 á jarðhitasvæðinu við Svartsengi. Fékkst þá staðfesting á því að heita vatnið er blanda af sjó (2/3 hlutar) og vatni (1/3 hluti). Þá varð og ljóst að til að nýta mætti jarðhitann til hitunar húsa væri nauðsynlegt að flytja varmann yfir í neytluhæft ferskt vatn (sjá Karl Ragnars og Sveinbjörn Björnsson 1973). Hér á eftir verður gerð örstutt grein fyrir hvernig hugmyndir manna og þekking um grunnvatn og ferskvatnsöflunina hafa breyst. Síðan verður sérstaklega fjallað um rannsóknir Straumfræðistöðvar Orkustofnunar, og efni skýrslunnar kynnt.

Í skýrslunni "Varmaveita frá Svartsengi. Frumáætlun um varmaveitu til þéttbýlisins á Suðurnesjum" eftir Karl Ragnars og Sveinbjörn Björnsson (1973) segir:

"Varmaveitan þarf ferskt neytluhæft vatn, og er þörfin um 6 l/sek fyrir MW markaðar. Enda þótt nokkurt ferskt regnvatn sé ofan á heita jarðsjónum, er ekki á það treystandi í langvarandi vinnslu. Vatnið verður því að sækja út fyrir jarðhitasvæðið, þar sem ferskt vatnslag er allt að 100 m þykkt. Öruggst yrði að sækja vatnið í sprungusvæðið norðvestur af jarðhitasvæðinu, og gæti vegalengdin orðið allt að 5 km. Beitt verður jarðfræðiathugun og rafleiðni-mælingum til þess að velja líkleg vatnsból. Til könnunar er gert ráð fyrir að bora þurfi 2 holur, 40 m djúpar, til reynsludælingar".

Boranir þessar voru ekki gerðar, en höggborshola suðaustan við Stapafell dæluþrófuð. Hún var boruð 1965 sem skolvatnshola við borun eftir jarðhita. Niðurstöður þeirrar prófunar (Stefán Sigurmundsson 1973) bentu til mikillar lektar og þar af leiðandi mikillar vatnsgæfni. Torvelt

er hins vegar að meta lektina og vatnsgæfnina tölulega út frá þeim gögnum.

Í skýrslunni "Svartsengi, rannsókn jarðhitasvæðisins og vinnslutækni" eftir Karl Ragnars og Stefán Arnórsson, feb. 1974, segir:

"Mælingar hafa sýnt, að sjór liggur undir öllum Reykjanesskaga vestanverðum. Ofan á sjónum flýtur linsa af fersku vatni, sem eðlilega er regnvatn að uppruna. Vegna eðlisþyngdarmunar fersks vatns og sjávar fleygar linsa af fersku vatni sig niður í sjóinn eftir því hversu yfirborð linsunnar eða grunnvatnsflöturinn stendur hátt yfir sjó, líkt og ísjaki á vatni. Lætur nærri að linsan nái um 35 m niður fyrir sjávarmál fyrir hvern metra, sem grunnvatnsflöturinn nær yfir sjávarmál. Öryggi er í því að dæla vatni úr borholum, þar sem ferskavatnslinsan er þykkust. Of mikill niðurdráttur á grunnvatnsfleti á svæði umhverfis borholur getur leitt til þess, að ferskavatnslinsan eyðist og sjór komi inn í borholurnar.

Vestan þjóðvegarins til Grindavíkur eru engar slíkar jarðmyndanir, sem valdið gætu staðbundnum háum grunnvatnsfleti og því þykkri linsu. Grunnvatnsflöturinn hækkar því jafnt og þétt frá sjó. Í borholu við Stapafell er grunnvatnsflöturinn um 3 m yfir sjó, og má gera ráð fyrir, að þessi flötur nái allt að 4 m hæð yfir sjó austur að þjóðveginum til Grindavíkur. Með yfirborðsathugunum mun verða reynt að athuga, hvort grunnvatnsflötur liggja verulega hærra undir hraununum austan Svartsengisfells og á svæðinu þar næst fyrir norðan og sunnan".

Í sömu skýrslu segir einnig:

"Reynsla af borunum á hraun bendir til þess, að dæla megi a.m.k. 50 l/sek úr hverri holu, og ætti 45 MW varmaskiptistöð því ekki að þurfa meira en 6 kaldavatnsholur, og yrði þá 1 til vara. Slíkt er talið nauðsynlegt, þar sem dælur geta bilað.

Á þessu ári er áætlað að bora 2 holur eftir köldu vatni. Hinn 12. febrúar var byrjað á fyrri holunni og er hún skammt fyrir norðan jarðhitasvæðið. Með henni fæst mikilvæg vitneskja um legu grunnvatnsflatar og hugsanleg áhrif frá jarðhitasvæðinu við dælingu úr holunni".

Einungis ein hola (merkt HSK-1 á mynd 1) var þó boruð árið 1974 til að sjá Gufubornum fyrir vatni en vatn úr henni reyndist ekki hæft til varmaskipta. Holan var dæluprófuð (sjá Laufey Hannesdóttir 1975) en erfitt er að áætla lektina og vatnsgæfnina út frá prófuninni. Niðurstöðurnar benda þó til mikillar vatnsgæfni.

Árið 1975 tók Hitaveita Suðurnesja til starfa. Í desember það ár gerðu Hitaveitan og Orkustofnun samning um að Orkustofnun tæki að sér rann-

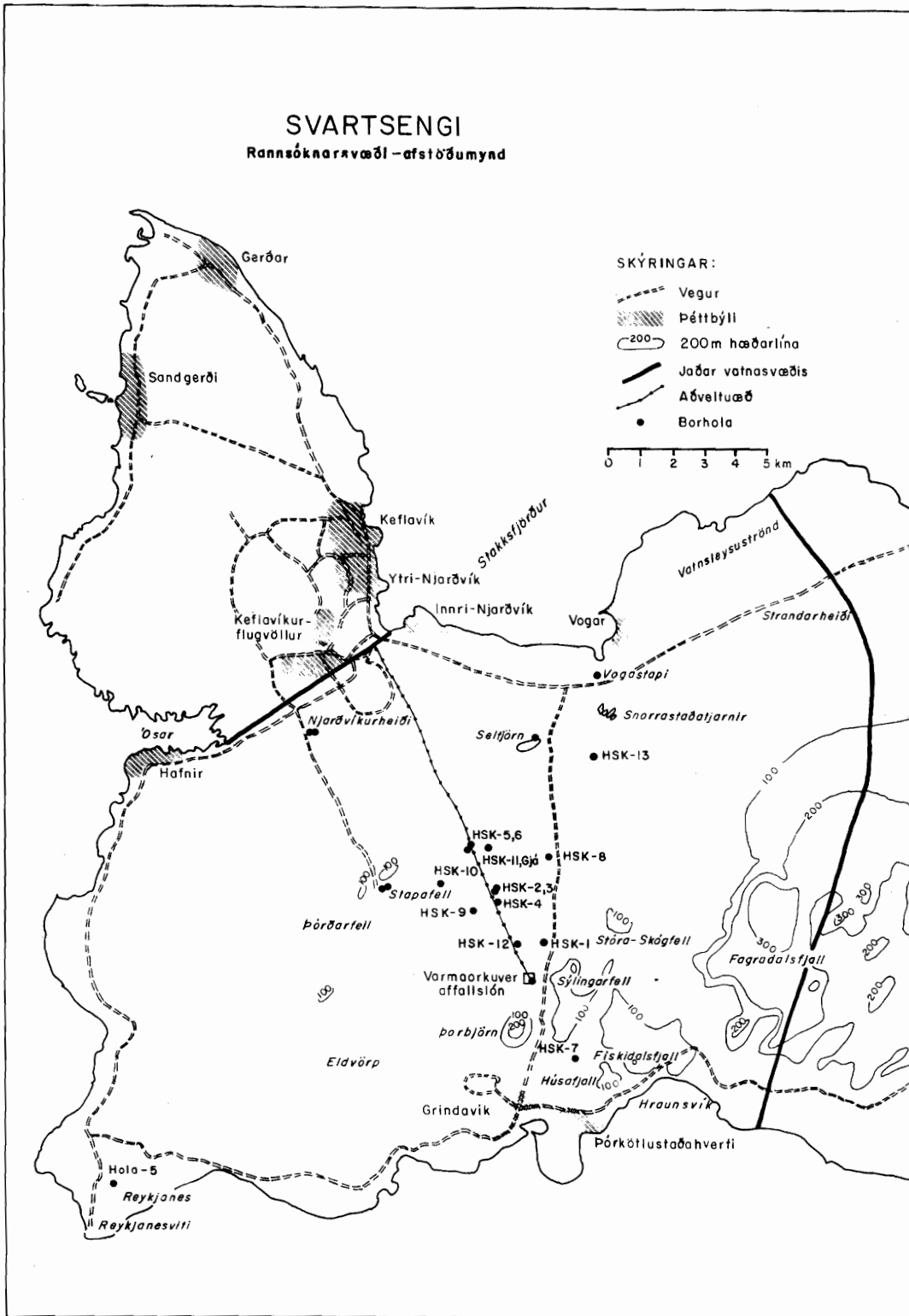
sóknir á grunnvatnsrennsli og ráðgjöf um öflun ferskvatns fyrir varmaorkuver í Svartsengi. Jarðkönnunardeild var falið að sjá um ferskvatnsrannsóknirnar.

Á árabílinu 1975-1976 breyttist eðli rannsókna og umfang þeirra jókst, enda var ákveðið að hefja vatnssölu til Grindavíkur þegar haustið 1976. Þá var talið með hliðsjón af dæluprófunum við Stapafell og í HSK-1 og sjávarföllum í holum meðfram ströndinni, að í hrauninum væri lektin a.m.k. 1 cm/s. Í mars 1976 hófust boranir á vinnsluholum og í ágúst 1976 voru holur HSK-2 og HSK-4 dæluprófaðar. Vatnsborðslækkunin í þeim var þremur til sjö sinnum meiri en í HSK-1 og höggborsholu við Stapafell við sömu dælingu.

Hið aukna umfang rannsókna leiddi í ljós fyllri vitneskju um þykkt ferskvatnslagsins og reyndist það aðeins um þriðjungur til helmingur af því sem áður hafði verið gert ráð fyrir. Miðað við þær forsendur sem almennt er gengið út frá við athuganir á vatnsgæfni borhola í ferskvatni, sem flýtur á sjó, þ.e. að þynning lagsins vegna dælingar megi vera um fjórðungur af upphaflegri þykkt, mátti vatnsborðslækkunin einungis vera um 0,3 m í stað 0,6-0,9 m miðað við 100-150 m þykkt ferskvatnslag. Þessi atriði urðu þess valdandi að svartsýni fór að gæta um hagkvæmni vatnsvinnslunnar.

Á árinu 1976 gerðu starfsmenn Straumfræðistöðvar, samkvæmt beiðni Jarðkönnunardeildar, líkan af grunnvatni á svæðinu miðað við þá þekkingu sem fyrir hendi var. Niðurstöður þess líkans bentu til mun hærri lektar á vatnsvinnslusvæðinu en dæluprófanir í HSK-2 og HSK-4. Sumarið 1976 fundu starfsmenn Jarðkönnunardeildar víðáttumikla gjá sem náði vel niður fyrir vatnsborð og er hún kölluð Gjá. Hún var dæluprófuð af Jarðkönnunardeild í febrúar 1977. Erfitt reyndist að vinna úr niðurstöðum prófunarinnar vegna þess hve náttúruleg sveifla grunnvatnsborðsins var mikil á meðan á dælingunni stóð, en prófunin benti þó til mikillar lektar og vatnsgæfni. Niðurstöður líkans Straumfræðistöðvar, þrátt fyrir takmörk vegna ófullnægjandi þekkingar á ýmsum þáttum, og fundur Gjárinnar gáfu á ný tilefni til bjartsýni um hagkvæmni vatnsvinnslunnar.

Í júní 1977 lauk borun HSK-10 og þar með borun eftir fersku vatni í svæðinu. Alls voru boraðar 6 höggborsholur. Á þessum tíma var lögð



80 10 09 JI/IS Svartsengi F-20090

MYND 1

Rannsóknarsvæði, afstöðumynd



sívaxandi áhersla á að nýta Gjána til vatnstöku. Í framhaldi af niðurstöðum dælingar úr henni átti að skera úr um hvort betra væri að grafa og sprengja brunna eða bora höggborsholur.

## 1.2 Rannsóknir Straumfræðistöðvar

Í sumarbyrjun 1977 breyttist skipulag ferskvatnsrannsókna Orkustofnunar. Straumfræðistöð verður aðili að rannsóknunum, en hafði áður unnið lítillega að gerð grunnvatnslíkans að beiðni og undir stjórn Jarðkönnunardeildar. Á árinu 1977 vann Straumfræðistöðin að gerð nýs og fullkomnara líkans af grunnvatnskerfinu, jafnframt var henni falið að vinna úr öllum dæluprófunum, meta vatnsgæfni og undirbúa frekari dæluprófanir í samvinnu við Jarðkönnunardeild og verkfræðing Hitaveitu Suðurnesja. Einnig vann Straumfræðistöðin úr mælingum á grunnvatnshæð og mælingum á sjávarföllum. Niðurstöður úrvinnslu úr dæluprófunum, mælinga á grunnvatnshæð og sjávarföllum eru í skýrslunni "Svartsengi. Framvinduskýrsla um ferskvatnsathuganir", jan. 1978. Í árslok 1977 voru settir upp 5 síritandi grunnvatnshæðarmælar. Tilkoma þeirra gerði úrvinnslu langtímadæluprófana í Gjá og HSK-5 mögulega.

Á árinu 1978 var úrvinnsla úr veðurfarsgögnum falin Straumfræðistöðinni. Á árinu 1978 voru eftirtalin vatnsból dæluprófuð: HSK-5, HSK-9, HSK-10 og Gjáin (Jón Ingimarsson 1978). Niðurstöður þrepaðalingar í Gjánni bentu til að hún væri mjög vatnsgæf og nefndar voru tölur um 300-360 l/s sem leyfilega dælingu án hættu á uppdrætti jarðsjávar, en bent á að langtímadæling yrði að skera úr um þetta. Langtímadæling hófst síðan í júní 1978. Við þrepaðalingu í HSK-5 kom í ljós að gat var á fóðringu og kom bæði sigtismöl og svarf með vatninu. Unnt var að gera við fóðringuna, en ekki var hægt að koma í veg fyrir að svarfið kæmist inn í holuna. HSK-5 hefur því ekki verið virkjuð. Þrepaðaling í HSK-9 benti til að holan væri ein af þrem bestu holunum á svæðinu og var lagt til að hún yrði virkjuð. Niðurstöður þrepaðalingar í HSK-10 voru, að lektin og vatnsgæfnin væri tíu sinnum minni en í HSK-9 og að holan væri sú lélegasta á svæðinu. Þessi niðurstaða kom talsvert á óvart og var leitað skýringa. Í ljós kom að í holunni var óvenjulega þykkt lag af sigtismöl, jafnframt því sem vatnsgæfu lögin voru að miklum hluta ofan við sigtISRörin. Vatnið þyrfti því að renna niður með fóðurrörinu gegnum sigtismölinu og inn í gegnum sigtISRörið. Það var því eðlilegt að vatnsborðslökkunin (þrýsti-

fall) væri mikil við dælingu úr holunni. Í framhaldi af þessu var lagt til að hafin yrði vinnsludæling úr holunni á a.m.k. 30 l/s, en hvatt til eftirlits með efnainnihaldi í vatninu úr holunni.

Um áramót 1978-79 var samskonar sigtismöl og notuð var í Svartsengi lektarprófuð af Straumfræðistöðinni. Niðurstöður prófunarinnar bentu til að áhrif sigtismalar væru enn meiri en áður var talið. Ekki var þó unnt að leiðrétta þrepadæluprófanir vegna þessa. Við þrjú vatnsbólanna eru rannsóknarholur. Þrýstifall í sigtismöl við dælingu úr vatnsbólunum hefur ekki áhrif á vatnsborðslækkun í þessum holum. Vatnsborðslækkunin bendir til mun hærri lektar og vatnsgæfni en þrepadælingar gáfu til kynna. Með þeim fékkst einnig gott samræmi milli lektargilda miðað við sjávarföll og grunnvatnslíkan annars vegar og dæluprófanir hins vegar. Verulegt ósamræmi hafði verið meðan einungis var miðað við þrepadælingar.

Í þessari skýrslu er fjallað um rannsóknir Straumfræðistöðvar á árunum 1978-1980. Mestur hluti rannsókna fól fram 1978 og fyrri hluta árs 1979, en vegna úrvinnslu á langtímadæluprófun Gjár þurfti gögn sem náðu yfir allt árið 1979. Markmið þessara athugana hafa verið að afla hitaveitunni fersks vatns, könnun á áhrifum vatnstöku einkum með tilliti til uppdráttar skilflatar ferskvatnsins og jarðsjávarins og könnun á afdrifum affallsvatns (heits jarðsjávar) frá orkuverinu.

Skýrslunni er skipt eftir verkþáttum og í upphafi hvers kafla er lýst tilgangi með viðkomandi verkþætti, jafnframt því sem aðferðum er stuttlega lýst. Þá er gerð grein fyrir úrvinnslu og loks eru niðurstöður. Í skýrslunni eru fræðilegum grundvelli úrvinnslu ekki gerð skil, enda er hún ekki skrifuð með fræðimenn í huga, heldur þá sem eiga að taka ákvarðanir á grundvelli niðurstaðna rannsókna. Í viðaukum við skýrsluna er fræðilegum grundvelli lýst í stuttu máli.

Í kafla 2 er fjallað um vatnafræðilegar aðstæður á svæðinu. Í kaflanum er fjallað um þætti eins og gerð grunnvatnsgeymis, grunnvatnshæð og írennsli, en allt eru þetta þættir sem skipta mjög miklu máli við úrvinnslu dæluprófana vegna mats á vatnsgæfni vatnsbólanna og eru auk þess grundvöllur grunnvatnslíkans af svæðinu. Kafli 2 er því í raun grundvöllur annarra kafla skýrslunnar.

Í kafla 3 er fjallað um dæluprófanir. Í kaflanum er lekt umhverfis vatnsbólun metin. Lektin segir til um hæfni bergsins til að leiða vatn og er því grundvallarþáttur við mat á vatnsgæfni vatnsbólanna. Dæluprófanir eru einnig hjálpartæki til að ákvarða gerð og stærð dæla í vatnsbólun og hve djúpt á að sökkva þeim. Það má því með rétti segja að kaflar 2 og 3 séu grundvöllur svara við tæknilegum spurningum um vatnsvinnsluna.

Um vatnsgæfni vatnsbóla er fjallað í kafla 4. Í þeim kafla er að finna töflu um líklega vatnsgæfni einstakra vatnsbóla.

Í kafla 5 er fjallað um grunnvatnsreiknilíkan af vatnasvæðinu. Frumniðurstöður líkanreikninga voru kynntar hitaveitunni og ráðgjafarverkfræðingum hennar á fundi í júlí 1978. Með líkaninu er leitað svara við áhrifum vatnsvinnslunnar á svæðið sem heild svo og afdrifum affallsvatns frá varmaorkuverinu.

Í kafla 6 er sett fram tillaga um vatnsvinnsluáætlun með tilliti til að svör fáist sem fyrst við áhrifum vatnstöku í einstökum vatnsbólum, einkum á þetta við aukna dælingu úr Gjá og dælingu úr HSK-10.

Í kafla 7 eru tillögur um eftirlit með vinnsludælingu og tillögur um frekari rannsóknir sem æskilegt er að gerðar verði.

Í kafla 8 er loks gerð grein fyrir helstu niðurstöðum rannsókna Straumfræðistöðvarinnar. Rétt er að benda á að ferskvatnsvannsóknirnar hafa ekki nýst sem skyldi við ferskvatnsöflunina og hönnun veitukerfisins. Meginástæðan fyrir þessu er hve seint markvissar rannsóknir af þessu tagi hófust, bæði hvað varðar upplýsingasöfnun, svo sem um grunnvatnshæð, og verkrannsóknir, til dæmis dæluprófanir. Skýringin á þessu er einkum sú að verklegum framkvæmdum var hraðað mjög og fóru þær því fram úr rannsóknum.

Að rannsóknum Straumfræðistöðvar hafa starfað auk höfunda þeir Snorri Páll Kjaran, Kristján Ágústsson, Björn Erlendsson og Gestur Gunnarsson. Náið samstarf hefur verið við Sverri Þórhallsson verkefnisstjóra, Freysteinn Sigurðsson og aðra starfsmenn Jarðkönnunardeildar við rannsóknirnar. Einnig hefur verið samstarf við Vatnamælingar Orkustofnunar, ráðgjafarverkfræðinga hitaveitunnar, Sveinbjörn Björnsson prófessor, ráðgjafa hitaveitunnar í ferskvatnsmálum, og starfsmenn Hitaveitu Suðurnesja. Öllum þessum aðilum er þakkað samstarfið.



## 2 VATNAFRÆÐILEGAR AÐSTÆÐUR

### 2.1 Inngangur - markmið

Könnun á vatnafræðilegum aðstæðum felur í sér könnun á landslagi, jarðfræði, veðurfari, hæð grunnvatnsborós, efnainnihaldi og hitastigi grunnvatns.

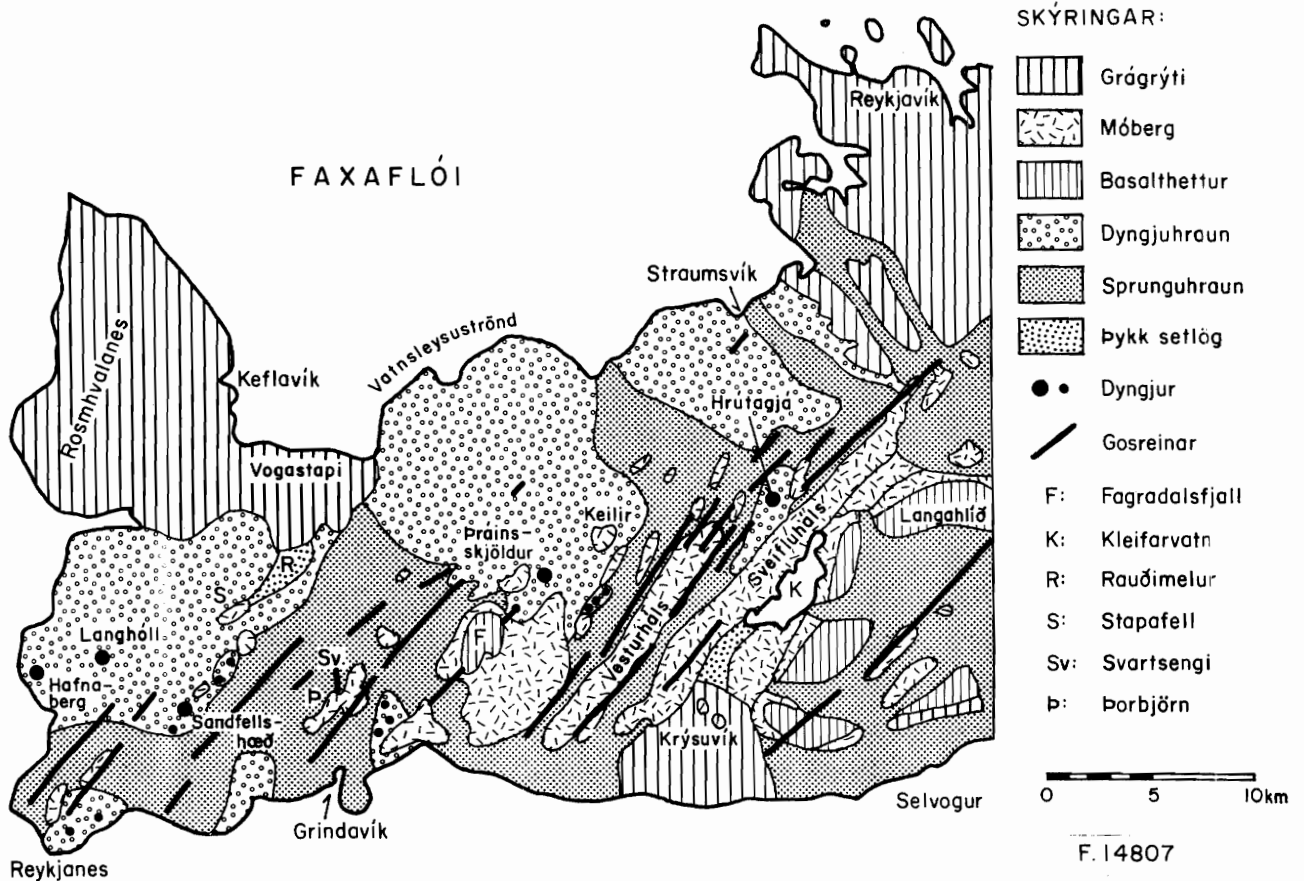
Jarðkönnunardeild Orkustofnunar hefur haft með höndum meginhluta þessara athugana, en frá fyrri hluta árs 1978 hefur Straumfræðistöð Orkustofnunar unnið úr veðurfarsgögnum og mælingum á grunnvatnshæð er starfsmenn Hitaveitunnar hafa framkvæmt frá miðju ári 1977.

Markmið með könnun á vatnafræðilegum aðstæðum er að gefa yfirlit yfir vatnsbúskap svæðisins. Úrvinnsla dæluprófana, útreikningur á vatnsgæfni vatnsbóla og gerð grunnvatnslíkans byggir á þessari könnun og þekkingu á vatnafræðilegum aðstæðum. Svæðið sem könnunin nær yfir er allur vestanverður Reykjaneskagi frá Fagradalsfjalli og Strandarheiði og vestur að Rosmhvalanesi, sjá mynd 1 á s. 12. Á svæðinu eru öll hugsanleg vatnsból fyrir Hitaveitu Suðurnesja, þeir staðir er hugsanlega skila úrkomu til vatnsbólanna og auk þess nær það til sjávar á þeim stöðum þar sem grunnvatnsafrennsli frá vatnsbólum fellur til sjávar.

### 2.2 Jarðfræði

Umfangsmiklar jarðfræðiathuganir hafa verið gerðar á Reykjaneskaga. Orkustofnun hefur látið gera nákvæm jarðfræðikort af hraunum og eldstöðvum á skaganum (Jón Jónsson 1978). Eldra berg er lítt flokkað á kortunum, því er einungis skipt í móberg og grágrýti. Jarðfræðileg könnun á vatnasvæðinu hefur verið í höndum jarðfræðinga Jarðkönnunardeildar. Í áfangaskýrslu frá 1976 (Freyr Þórarinsson o.fl. 1976) er gerð grein fyrir meginþáttum jarðfræðinnar. Mynd 2, sem er úr þeirri skýrslu, er yfirlitskort af jarðfræði svæðisins.

Hraun á yfirborði Reykjaneskaga eru frá nútíma (eftir lok ísaldar). Hraun þekja vatnsvinnslusvæðið og láglandið umhverfis það. Upp úr hraunum rísa nokkur móbergsfjöll, s.s. Þorbjörn og Stapafell. Í austri er Fagradalsfjallgarður að mestu úr móbergi.



MYND 2

Reykjaneskagi. Jarðfræði, yfirlit

Freysteinn Sigurðsson (sjá Frey Þórarinnsson o.fl. 1976) skiptir jarðlögum (bergskrokkum) í 5 flokka með tilliti til vatnsleiðni og geymslu (vatnsrýmdar).

1. Sprunguhraun: Oft brotin og með miklu gjalli. Vatnsrýmd veruleg, vatnsleiðni mjög góð.
2. Dyngjuhraun: Samfelldari en sprunguhraun. Vatnsrýmd fremur lítil en vatnsleiðni góð.
3. Grágrýti: Lík dyngjuhraunum en þéttari. Vatnsrýmd lítil, vatnsleiðni sæmileg.
4. Bólstraberg (og kubbaberg): Myndað úr glufóttu storkubergi (basalti). Vatnsrýmd fremur lítil en vatnsleiðni góð eða sæmileg.
5. Þursaberg (og gyskiberg): Myndað úr gler- og storkubergsbrotum. Vatnsrýmd mikil en vatnsleiðni léleg. (Sbr. Davis, S.N.; De Wiest, R.J.M. 1970, s. 333 frh.)"

Misgengi og opnar sprungur eru víða á vatnasvæðinu. Höggun hefur talsverð áhrif á vatnsleiðnina, sjá Freysteinn Sigurðsson (tilv. s. 18). Sumarið 1979 mældi Jarðkönnunardeild höggun á svæðinu norðan og norðaustan varmaorkuversins. Könnunin var gerð í framhaldi af fyrstu niðurstöðum líkanreikninga, en þær bentu til að nokkrir möguleikar væru á að affallsvatn frá orkuverinu leitaði til norðvesturs inn á vatnsvinnslusvæðið. Könnunin miðaði einnig að því að athuga útbreiðslu móbergs í ferskvatnslaginu neðan hrauna, en það hefði talsverð áhrif á vatnsleiðnina. Úrvinnslu þessara rannsókna er ólokið, og niðurstöður eru væntanlegar í skýrslu frá Jarðkönnunardeild.

Á milli hraunlaganna eru víða mjög lek gjalllög. Lárétt leiðni er af þessum sökum meiri en lóðrétt. Ef þétt setlög liggja ofan við skilflöt ferskvatnsins og sjávarins má leyfa mun meiri niðurdrátt í borholum en ella. Að sögn jarðfræðinga Jarðkönnunardeildar er ólíklegt að slík setlög séu fyrir hendi á vatnsvinnslusvæðinu og þá eingöngu í pollum og meira eða minna brotin vegna höggunar.

Vegna líkanreikninga gerði Freysteinn Sigurðsson jarðfræðingur á Jarðkönnunardeild kort af þeim svæðum á vatnasvæðinu þar sem búast má við sömu eða svipaðri vatnsleiðni. Kortið var grundvallað á áður nefndum 5 jarðlagaflokkum. Einnig gerði Freysteinn kort af sprungum og áhrifum þeirra á vatnsleiðni, þ.e. mismunandi leiðni eftir sprungum og þvert á þær. Nánari grein er gerð fyrir þessum kortum í kafla 5.2.

### 2.3 Veðurfar

Á eða við vatnasvæðið eru þrjár veðurathugunarstöðvar; Reykjanesviti, Keflavíkurflugvöllur og Grindavík. Frá því í mars 1977 hefur Hitaveita Suðurnesja mælt úrkomu og hámarks- og lágmarkshitastig á hverjum sólarhring í Svartsengi. Hitafar á svæðinu er milt, vindar og úrkoma síbreytileg.

Meðalhitastig áráanna 1931-1960 er 5,2°C á Reykjanesi og 4,9°C á Keflavíkurflugvelli (Jón Eypórsson og Hlynur Sigtryggsson 1971). Meðalhitastig í öllum mánuðum ársins er yfir 0°C, sjá töflu 1. Gera má ráð fyrir að meðalhiti á öllu svæðinu sé svipaður, þar sem hæðarmunur er fremur lítill og stærsti hluti svæðisins er undir 60 m y.s.

TAFLA 1

Meðalhitastig (°C) mánaða og árs við Reykjanesvita og á Keflavíkurflugvelli

Veðurstöð	J	F	M	A	M	J	J	Á	S	O	N	D	Ár
Reykjanes	0,4	0,6	2,0	3,4	6,6	9,0	10,8	10,6	8,6	5,4	3,1	1,6	5,2
Keflavíkur- flugvöllur	0,1	0,3	1,6	3,0	6,5	9,2	10,7	10,4	8,4	5,0	2,8	1,2	4,9

Meðal mánaðar- og ársúrcoma á veðurathugunarstöðvum er sýnd í töflu 2. Úrkomumælingar eru ekki samfelldar á veðurathugunarstöðvunum, þannig vantar t.d. úrkomuna árin 1945-47 á Reykjanesi. Efri línan í töflunni sýnir úrkomuna tímabilið frá upphafi mælinga til 1960 (sjá Jón Eypórsson og Hlyn Sigtryggsson 1971). Neðri línan í töflunni er meðaltal úrkomu frá upphafi mælinga til 1976 (Kristján Ágústsson 1978). Munurinn á ársmeðaltölum fyrir þessar tímaraðir er lítill, mest 3,4% en munurinn í mánaðarmeðaltölum er allt að 21%.

TAFLA 2

Meðalúrcoma (mm) mánaða og árs við Reykjanesvita, á Keflavíkurflugvelli og í Grindavík

Veðurstöð	Tímabil	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Ár
Reykjanes	'34 - '60	94	77	83	79	61	59	58	76	111	129	116	109	1052
	37 ár	91	82	94	79	67	66	56	78	105	129	102	107	1056
Keflavíkur- flugvöllur	'52 - '60	105	78	86	67	60	54	58	84	115	126	117	117	1067
	22 ár	93	92	104	74	63	64	55	78	101	129	108	112	1073
Grindavík	22 ár*	112	93	104	87	66	77	61	86	112	140	114	120	1172
	37 ár	106	91	103	87	68	73	63	83	108	130	107	115	1134

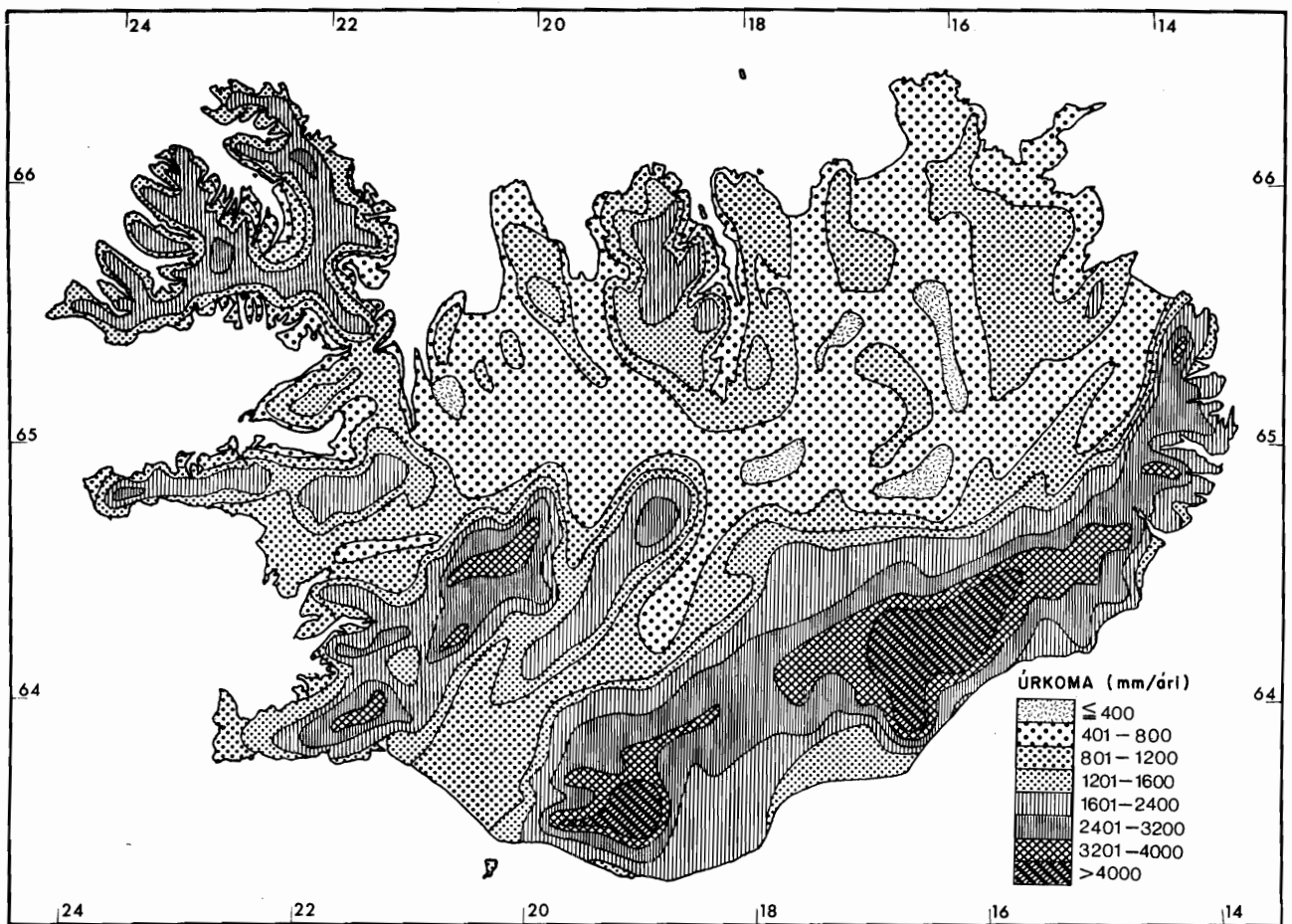
\* frá '32-'60, en úrkomumælingar vantar fyrir nokkur ár á tímabilinu.

Mæld úrcoma er að jafnaði minni en raunveruleg úrcoma vegna þess að í vindi grípa regnmælar minna regn en í logni (t.d. tapast um 15% úrkomu-



nnar við 3 vindstig). Þegar úrkoman er snjór verður þetta misræmi enn meira. Vegna þess að yfirleitt fylgjast vindur og úrkoma að, er nauðsynlegt að leiðrétta úrkomumælingar. Oft er bætt 25% við en það svarar (ef úrkoma fellur sem regn) til um 15 hnúta eða fjögurra vindstiga.

Úrkoma vex með hæð (aðalregla). Þegar úrkoma er áætluð á vatnasvæðinu er nauðsynlegt að taka mið af því. Á mynd 3 er sýnd dreifing úrkomu um landið (Jón Eypórsson og Hlynur Sigtryggsson 1971). Í kafla 5 er dreifing og magn úrkomu á vatnasvæðið áætluð.

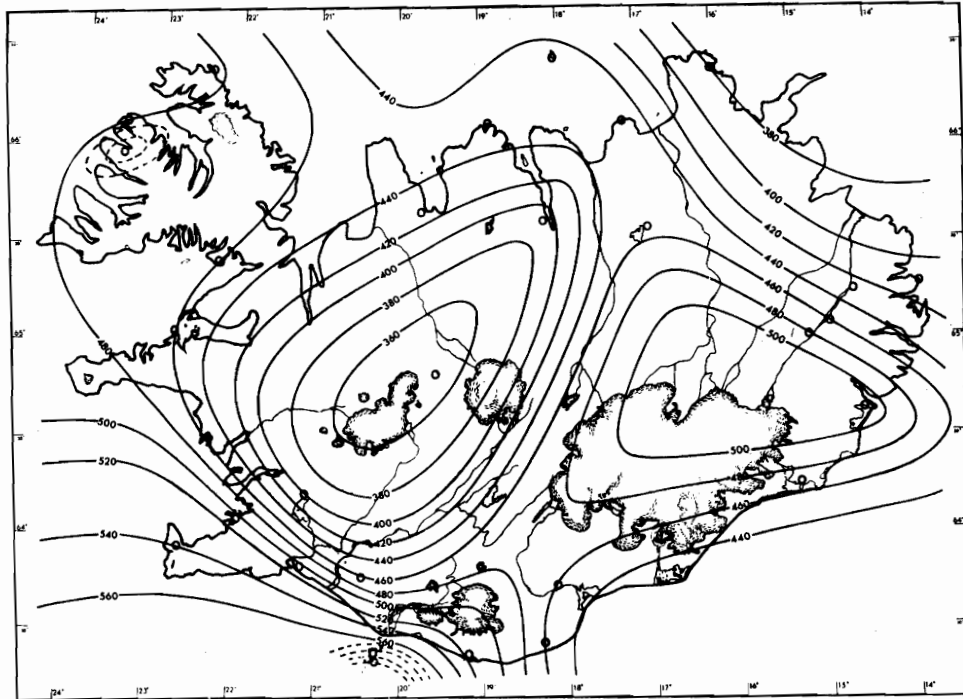


MYND 3

Dreifing úrkomu á Íslandi (mm/ári)  
(Heimild: Jón Eypórsson & Hlynur Sigtryggsson 1971)

Við útreikning á írennsli í grunnvatn skiptir gnóttargufun ("evapo-transpiration"), þ.e. mesta mögulega gufun úr jörð og gróðri, verulegu máli. Engar beinar mælingar eru til á gnóttargufun, en Markús Á.

Einarsson (1972) notaði jöfnu Penman (s. 7) til að reikna út gnóttargufun á 28 veðurathugunarstöðvum á landinu og gerði síðan kort af gnóttargufun á landinu, sjá mynd 4. Í töflu 3 eru meðaltöl mánaða og árs fyrir gnóttargufun á Keflavíkurflugvelli. Raungufun ("actual evapotranspiration") er minni en gnóttargufun, þar sem gnóttargufun er uppgufun úr rakamettuðum jarðvegi, eins og hún getur orðið mest.



MYND 4

Gnóttargufun á Íslandi (mm/ári)  
(Heimild: Markús Á. Einarsson 1972)

TAFLA 3

Meðalgnóttargufun (mm) mánaða og árs á Keflavíkurflugvelli

	J	F	M	A	M	J	J	Á	S	O	N	D	Ár
Gnóttargufun	8	15	32	51	86	89	99	75	39	16	12	17	539

Af töflu 2 sést að úrkoma er mest á haustin og fyrri hluta vetrar. Þessi

dreifing úrkomunnar á árinu er mjög hagstæð rekstri hitaveitunnar, þar sem vatnstakan er mest á kaldasta tíma ársins desember-mars, sbr. töflu 1. Í kafla 2.7 verður fjallað nánar um vatnsbúskap á vatnasvæðinu.

#### 2.4 Grunnvatnsgeymir

Grunnvatnið á vestanverðum Reykjaneskaga flýtur ofan á sjó og er í þrýstijafnvægi við hann. Við þessar aðstæður er grunnvatnsgeymirinn kallaður ferskvatnslag. Grunnvatnsborðið er í beinum tengslum við andrúmsloftið gegnum glufur í hrauninu, við tölum þá um opinn grunnvatnsgeymi eða grunnvatnsgeymi með "frjálsum" vatnsborði.

Þykkt ferskvatnslagsins reiknast eftir lögmáli kenndu við Ghyben-Herzberg, sem segir til um þykkt lagsins miðað við hæð efra borðs grunnvatnsins yfir meðal sjávarmáli, þannig að skilyrði um þrýstijafnvægi sé uppfyllt. Lögmálið er:

$$h = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_v} \cdot H \quad (1)$$

þar sem:  $h$  er þykkt ferskvatnslagsins  
 $H$  er hæð efra borðs ferskvatnslagsins yfir meðal sjávarborði  
 $\rho_s$  er eðlismassi sjávarins  
 $\rho_v$  er eðlismassi ferska vatnsins

Eðlismassi sjávarins er áætlaður 1,026-1,030 g/cm<sup>3</sup> (Jón Ingimarsson og Snorri Páll Kjaran 1978). Það þýðir að ferska lagið er 35-40 sinnum þykkara en hæð efra borðs grunnvatnsins yfir sjávarmáli. Á vatnsvinnslusvæðinu er þykkt þess 45-50 metrar. Ástæða er til að benda á að ef grunnvatnshæðin lækkar um 0,1 m vegna dælingar þá þynnist ferskvatnslagið um 3,5-4,0 m.

Skil neysluhæfs ferskvatns og sjóblandaðs vatns eru fremur skörp. Selta vatnsins eykst með dýpi, lítið ofan til en hratt í neðstu metrunum. Vegna þessa er ekki nema um 3/4 af ferskvatnslaginu nothæft vatn, a.m.k. á vatnsvinnslusvæðinu. Nánar er fjallað um gæði vatnsins í kafla 2.6.

Við þessar aðstæður er fræðileg þykkt ferskvatnslagsins skilgreind þannig:

$$h \cdot (\rho_s - \rho_v) = \int_0^{\infty} (\rho_s - \rho) \cdot dz$$

$z$  er lóðréttur ás frá grunnvatnsborði og niður á við.

Vatnasvæðið (sjá mynd 1 s. 12) takmarkast til austurs og norðvesturs af áætlaðri legu grunnvatnsskila. Í gegnum þessa jaðra rennur ekki grunnvatn. Að öðru leyti er vatnasvæðið umlukið hafi. Með þessu móti er vatnasvæðið þannig skilgreint, að smávegis tilfærsla á jöðrunum hefur ekki áhrif á vatnstökusvæðinu sjálfu.

Geymslustuðull vatns í jarðlagi ("storage coefficient"),  $S$ , segir til um það vatn sem grunnvatnsgeymirinn getur gefið frá sér á flatareiningu við 1 m lökkun á þrýstihæð. Í opnum grunnvatnsgeymum er geymslustuðullinn jafn virkri groppu ("effective porosity"). Á vatnasvæðinu er hann áætlaður 0,1 (eða 10%) á hraunasvæðum, 0,2 (eða 20%) á móbergssvæðum og 0,01 (1%) á grágrýtissvæðum. Það skal tekið fram að engar mælingar hafa verið gerðar á geymslustuðli bergs á svæðinu.

Lekt ("permeability"),  $k$ , segir til um hæfni efnis til að leiða vökva. Lektin er mæld í m/s. Lektin á vatnasvæðinu er mjög mismunandi eftir bergtegundum. Hún er mest á gjalllögum milli hraunanna (stærðargráða 0,1-1 m/s), lægri í hraunstálinu en lægst í grágrýtinu og móberginu (stærðargráða 0,001 m/s). Eins og líkingar (2) og (3) sýna verður lektin í lárétta stefnu mun meiri en í lóðréttu stefnu á hraunasvæðum þar sem grunnvatnsgeymirinn samanstendur af þunnum lagmótum hrauna og þykkum hraunlögum. Lektin í lárétta stefnu reiknast samkvæmt:

$$k_x = \frac{\sum_{i=1}^N D_i \cdot k_i}{\sum_{i=1}^N D_i} \quad (2)$$

þar sem  $D_i$  er þykkt lags með lektina  $k_i$ . Lektin í lóðréttu stefnu reiknast samkvæmt:

$$\frac{1}{k_z} = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{D_i}{k_i}\right)}{\sum_{i=1}^N D_i} \quad (3)$$

Eins og fram kom í kafla 2.2 setja sprungur mjög svip sinn á vatnasvæðið. Lektin samsíða sprungunum er mun meiri en hornrétt á þær. Í köflum 3 og 5 er fjallað nánar um mat á lekt á vatnasvæðinu.

Í höggborsholu í grágrýtið á Njarðvíkurheiði, sjá mynd 1 s. 12, hafa komið fram loftþyngdaráhrif (sjá Jón Ingimarsson og Snorri Páll Kjara 1978).

Við ströndina koma áhrif sjávarfalla fram í borholum. Þau hafa verið notuð til að meta hlutfallið milli geymslustuðuls og lektar (Jón Ingimarsson og Snorri Páll Kjara 1978).

## 2.5 Grunnvatnshæð

Mælingar á grunnvatnshæð fyrir Hitaveitu Suðurnesja hófust sumarið 1975. Reglubundnar mælingar á grunnvatnshæð í borholum hófust í maí 1976. Niðurstöður úrvinnslu mælinganna fram á mitt ár 1977 hafa verið birtar í skýrslu (sjá Jón Ingimarsson og Snorra Pál Kjara 1978). Frá árslokum 1977 hefur grunnvatnshæð verið sírituð í borholum við Seltjörn, við Stapafell, HSK-6, HSK-11 og HSK-12. Að auki hafa mælingar verið gerðar á mánaðar fresti í holum á Njarðvíkurheiði (höggbors- og heilfóðruðum holum), við Vogastapa, við Stapafell (fóðurhola), í HSK-1, HSK-3, HSK-7, HSK-8, HSK-10 og HSK-13, sjá mynd 1 s. 12. Grunnvatnshæðarmælingar voru í höndum Jarðkönnunardeildar Orkustofnunar fram á mitt ár 1977 en hafa síðan verið í höndum Hitaveitu Suðurnesja. Vatnamælingar Orkustofnunar annast frumúrvinnslu síritandi grunnvatnshæðarmælinga. Úrvinnsla grunnvatnshæðarmælinga var falin Straumfræðistöð Orkustofnunar frá miðju ári 1977.

Til að meta grunnvatnshæðina á svæðum þar sem engar borholur eru voru framkvæmdar rafleiðnimælingar til mælinga á þykkt ferskvatnslagsins. Niðurstöður þeirra hafa einkum verið notaðar við líkanreikninga, einkum á austurhluta svæðisins, sjá kafla 5. Tvær skýrslur um úrvinnslu rafleiðnimælinganna hafa verið gefnar út (sjá Kristján Ágústsson og Frey Þórarinsson 1979 og Lúðvík S. Georgsson 1979).

Mælingarnar sýna miklar sveiflur í grunnvatnshæð, ef tekið er mið af að þykkt lagsins ætti að sveiflast 35-40 falt miðað við grunnvatnshæðina, sjá myndir 5 og 6. Fyrri part vetrar verður grunnvatnshæðin um 2,0 m í hæðarkerfi Njarðvíkur en fer niður í rúmlega 1,0 m í maí-júlí. Í töflu 4 er meðalgrunnvatnshæð mánaða fyrir árin 1978-79 í borholum þar sem grunnvatnshæðin er sírituð. Ástæða er til að benda á að hér er einungis um vísbendingu um árssveiflu að ræða, því tímaröðin er einungis tvö ár.

TAFLA 4

Meðalgrunnvatnshæð (m) mánaða og árs í borholum, þar sem grunnvatnshæðin er sírituð (í hæðarkerfi Njarðvíkur)

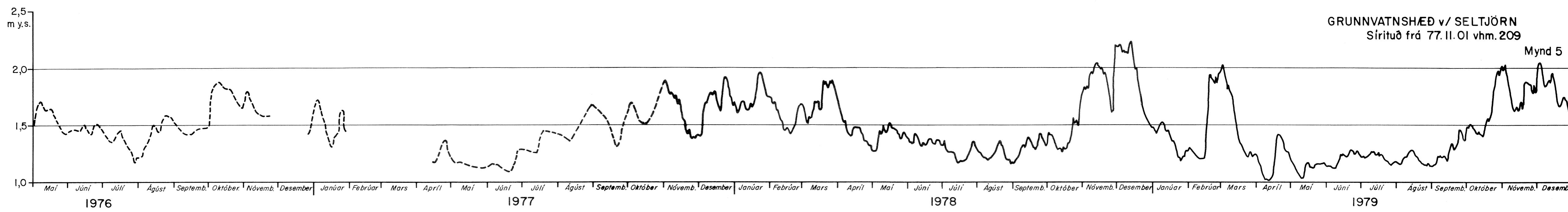
Mæli- staður	J	F	M	A	M	J	J	Á	S	O	N	D	Ár
Seltjörn	1,55	1,54	1,62	1,32	1,27	1,29	1,23	1,22	1,46	1,51	1,85	1,86	1,46
Stapafell	1,52	1,51	1,60	1,31	1,24	1,25	1,22	1,21	1,29	1,46	1,80	1,84	1,44
HSK-6	1,64	1,62	1,72	1,42	1,34	1,33	1,29	1,26	1,32	1,53	1,92	1,96	1,53
HSK-11	1,64	1,63	1,71	1,40	1,32	1,32	1,28	1,26	1,34	1,54	1,94	1,97	1,53
HSK-12	1,64	1,60	1,71	1,41	1,34	1,34	1,31	1,28	1,34	1,52	1,92	1,99	1,53

Grunnvatnsgeymirinn svarar úrkomu mjög hratt, þannig eru dæmi um að vatnshæðin hafi hækkað um 0,25 m á einum sólarhring. Um samband úrkomu og grunnvatnshæðar verður nánar fjallað í kafla 2.7.

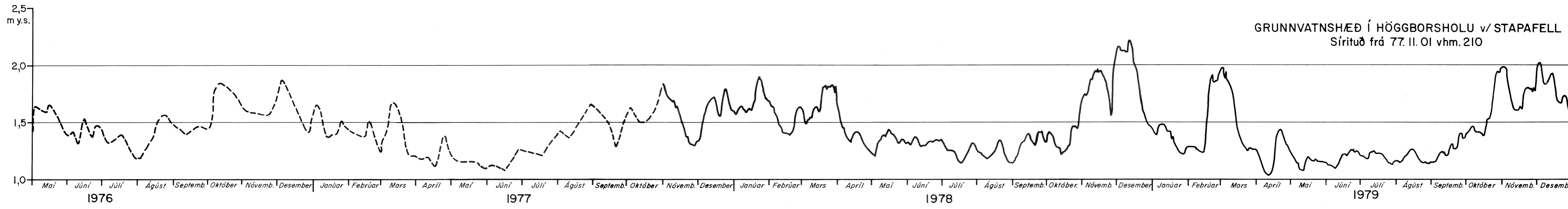
Sterkt samband er milli grunnvatnshæðar í borholunum (Jón Ingimarsson og Snorri Páll Kjara 1978). Reiknaðar hafa verið jöfnur ("bestu línur"), sem lýsa best sambandi milli grunnvatnshæða. Fyrir síritandi grunnvatnshæðarmælingar (nóv./des. 1977 - ársloka 1979) hafa verið fundnar "bestu línur" fyrir sambandið milli grunnvatnshæða í borholum (t.d. (HSK-11) = A + (HSK-12) + B). Niðurstöður reikninganna eru í töflu 5. Á mynd 7 eru sýndar fjórar af þessum línur ásamt mæliniðurstöðum. Tilgangurinn með útreikningi á þessum línur er að fá grunn til að einangra lækun grunnvatnsborðs vegna dælinga frá náttúrulegum grunnvatnssveiflum. Það torveldar nokkuð að síritandi mælingar hófust ekki fyrr en einu ári eftir að vatnsvinnslan hófst og áreiðanlegar mælingar af ótrufluðu grunnvatnsborði eru því ekki til. Í kafla 3 verður fjallað nánar um þetta atriði.

GRUNNVATNSHÆÐ v/ SELTJÖRN  
Sírituð frá 77.11.01 vhm. 209

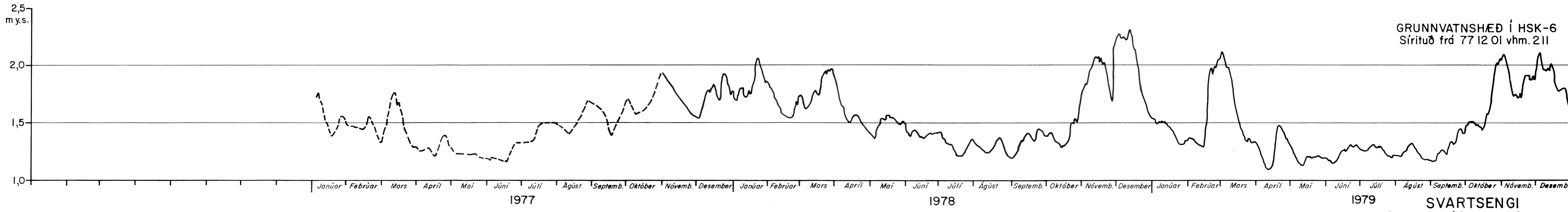
Mynd 5



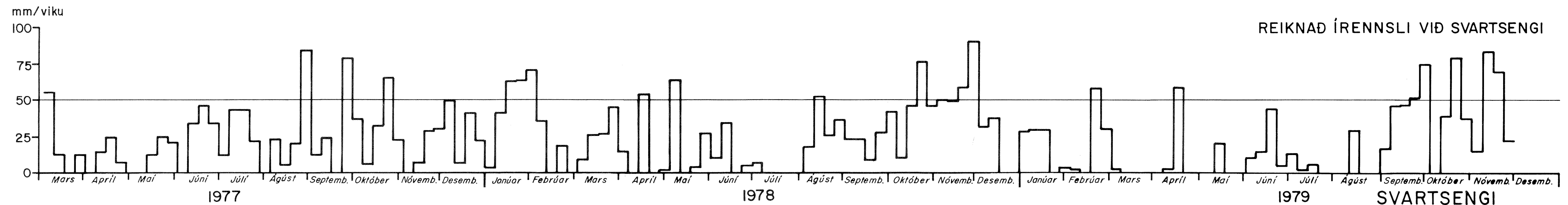
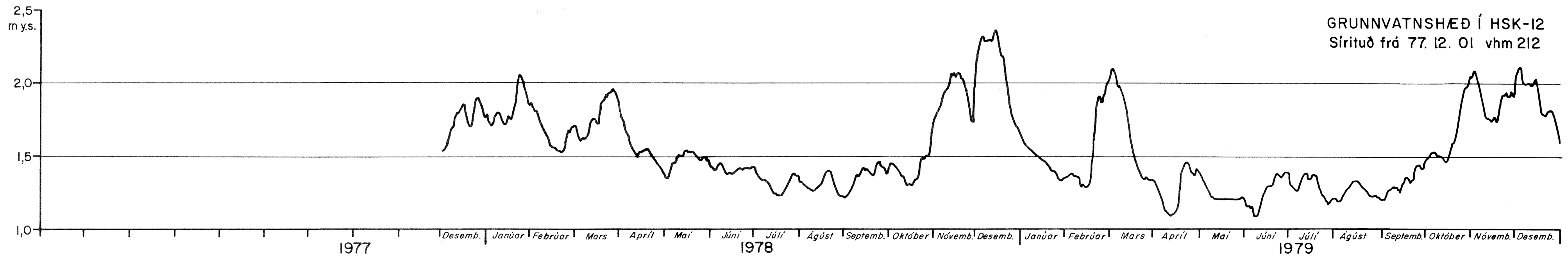
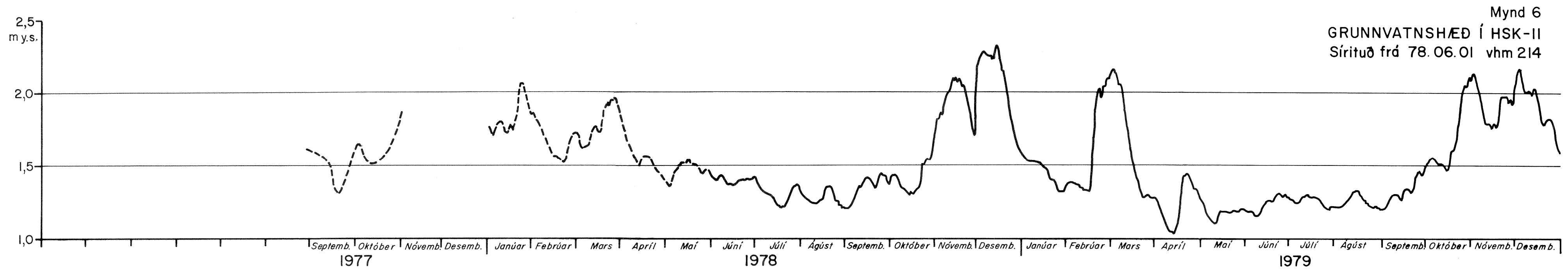
GRUNNVATNSHÆÐ Í HÖGGBORSHOLU v/ STAPAFELL  
Sírituð frá 77.11.01 vhm. 210



GRUNNVATNSHÆÐ Í HSK-6  
Sírituð frá 77.12.01 vhm. 211

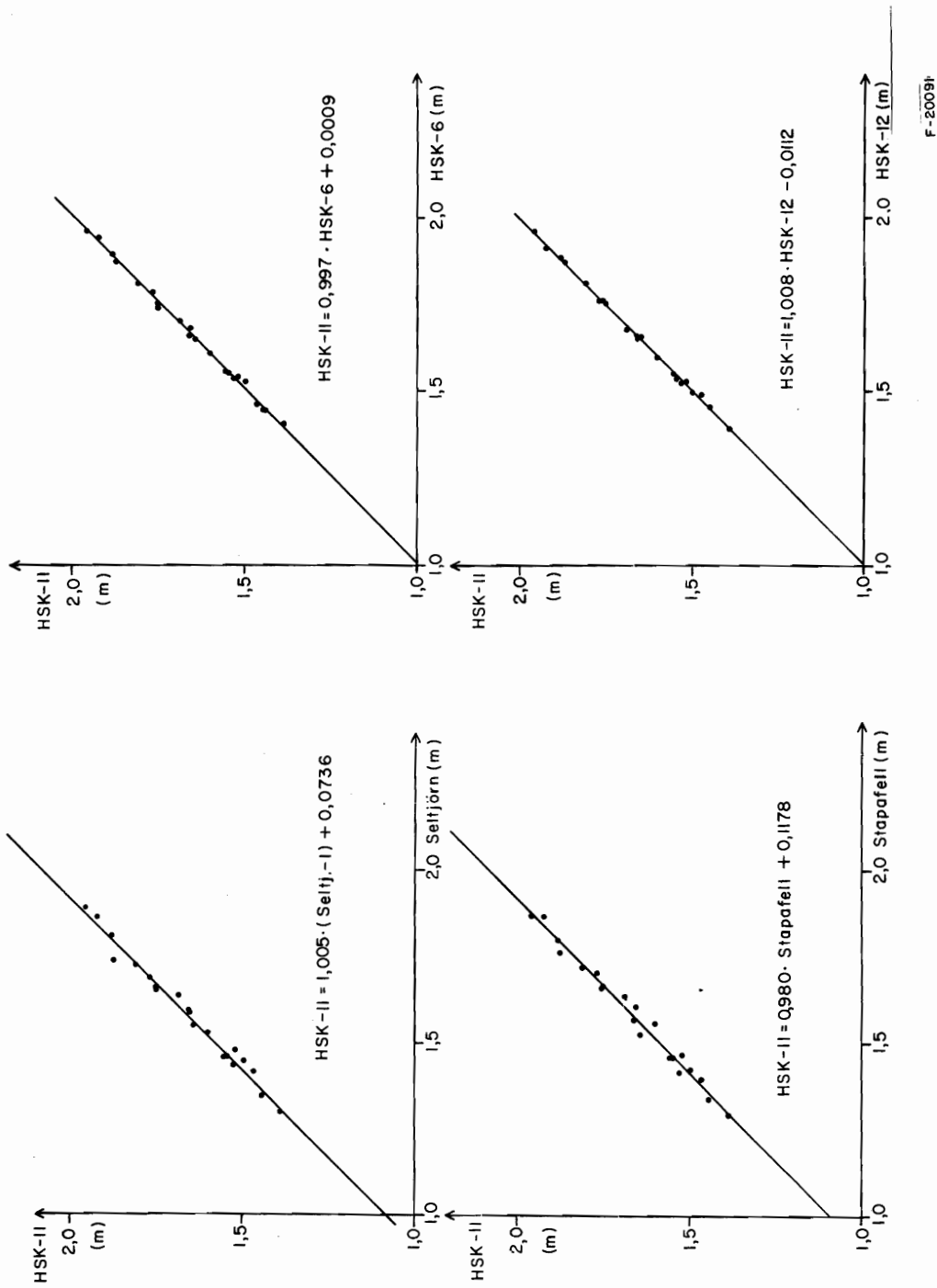


SVARTSENGI  
Grunnvatnshæð í borholum við Seltjörn,  
Stapafell og HSK-6, 1976 05-1979 12



SVARTSENGI  
Grunnvatnshæð í borholum HSK-II og HSK-12  
og reiknað írennsli við Svartseng 1977 03-1979 12





MYND 7

Samband grunnvatnshæðar í HSK-11 og öðrum borðholum þar sem grunnvatns-  
hæðin er sírituð fyrir tímabilið 1978.01-1978.05

TAFLA 5

Samband milli grunnvatnshæða í borholum

Tíma- bil	1978.01.01-1978.05.31	1978.07.01-1979.03.15	1979.04.01-1979.12.31
	HSK-11=1,005•(Seltj.-1) <sup>*</sup> +0,0736	HSK-11=1,062•(Seltj.-1) <sup>*</sup> -0,0269	HSK-11=1,094•(Seltj.-1) <sup>*</sup> -0,0681
	HSK-11=0,980•Stapafell +0,1178	HSK-11=1,120•Stapafell -0,0947	HSK-11=1,135•Stapafell -0,1097
	HSK-11=0,997•HSK-6 +0,0009	HSK-11=1,015•HSK-6 -0,0148	HSK-11=1,059•HSK-6 -0,0826
	HSK-11=1,008•HSK-12 -0,0112	HSK-11=1,026•HSK-12 -0,0413	HSK-11=1,068•HSK-12 -0,1028

<sup>\*</sup>) Grunnvatnshæð í borholu við Seltjörnn deginum áður

Grunnvatnshæðin á vatnsvinnslusvæðinu er um 1,5 m í hæðarkerfi Njarðvíkur. Núllpunktur í hæðarkerfi Njarðvíkur er 0,24 m neðan við meðalsjávarborð samkvæmt mælingum Sjómælinga Íslands. Grunnvatnshæðin á vatnsvinnslusvæðinu er því um 1,25 m yfir meðalsjávarborði, sem svarar til þess að ferskvatnslagið sé 44-50 m þykkt (sjá kafla 2.4). Í móberginu á austurhluta svæðisins benda rafleiðnimælingar til þess að lagið sé um 125 m þykkt eða að grunnvatnshæðin sé 3,1-3,5 m yfir meðalsjávarborði.

Eins og áður hefur komið fram eru miklar sveiflur í grunnvatnshæðinni (efra borði ferskvatnslagsins). Við samanburð á vatnsborðsbreytingum í höggbors- og fóðurholum við Stapafell annars vegar og hins vegar á Njarðvíkurheiði fyrir tímabilið mars 1977 - desember 1978 kemur í ljós að vatnsborðsbreytingar í höggbors- og fóðurholum eru þær sömu. Þetta þýðir að á þessu tímabili hafa skil ferskvatns og sjávar ekki hreyfst (sjá Jón Ingimarsson og Snorra Pál Kjara 1978). Í HSK-11 hafa verið gerðar reglulegar mælingar á legu neðra borðs lagsins frá lokum árs 1977; ekki hefur orðið vart umtalsverðra breytinga þar.

Út frá meðalvatnshæð í fóðurholu er hægt að meta eðlismassa jarðsjávarins sem ferskvatnslagið flýtur á. Eðlismassi jarðsjávarins er samkvæmt þessu:

1,026 - 1,028 g/cm<sup>3</sup> undir ferskvatnslaginu við Stapafell  
og 1,028 - 1,030 g/cm<sup>3</sup> undir ferskvatnslaginu á Njarðvíkurheiði.

(sjá Jón Ingimarsson og Snorra Pál Kjara 1978).

## 2.6 Gæði vatns og hitastig

Strangar kröfur eru gerðar um efnainnihald ferska vatnsins sem er notað í orkuverinu. Ekki hefur fengist skilgreint það hámark efnainnihalds sem miðað skal við, en því jafnan svarað að það vatn sem nú er unnið sé á mörkum þess að valda útfellingum (einkum magnesíum útfellingum). Ekki er hætta á tæringu og vatnið telst vel hæft til drykkjar. Niðurstöður efnagreininga á ferska vatninu eru í töflu 6.

TAFLA 6

Efnagreiningar ferskvatnssýna (Snorri Páll Snorrason 1980)

	pH við 20°C	SiO <sub>2</sub> (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	Mg <sup>2+</sup> (ppm)	Ca <sup>2+</sup> (ppm)
HSK-1	7,75	20,6	22,5	245					18,4
HSK-2	7,7	14,1	15,7	75	11,3	32,5	1,5	8,1	7,1
HSK-4	7,5	14,7	18	73	11,7	33	1,6	7,9	7,4
HSK-5		12,3		46,2	7,4	21,1	1,7	4,4	4,8
HSK-8	7,6 - 8,0	3 - 11	12 - 14	57	10,5	28 - 29	1,1	3,9	7 - 9
HSK-9	8	12 - 13	18	71 - 72	12,1	34 - 38	1,9	6,9	4 - 9
HSK-10	7,2	3 - 8	16,3	49 - 51	9,3	24 - 33	3,6	5,0	7
HSK-12	7,2 - 7,4	12 - 16	18 - 20	152 - 165	23 - 26	78 - 84	3 - 4	11,2	16
Gjá		13,0		66,6	9,8	28,7	1,5	6,5	7,1

Mælingar á hita og seltu ferskvatnsins, sýnataka og efnagreiningar eru í höndum Jarðkönnunardeildar Orkustofnunar. Gefnar hafa verið út tvær skýrslur þar sem komið er inn á þessa þætti: "Hitaveita Suðurnesja. Ferskvatnstrannsóknir. Áfangaskýrsla fyrir árið 1976" OSJKD-7609, eftir Frey Þórarinsson o.fl. og "Hitaveita Suðurnesja. Ferskvatnstrannsóknir. Hita- og seltumælingar 1975-77" OSJKD-7716, eftir Freysteinn Sigurðsson.

Rannsóknir Jarðkönnunardeildar benda til þess að vatnið á Lágasvæðinu greinist í tvo flokka, sbr. mynd 8. Á suðaustur hluta svæðisins er klóríðinnihald vatnsins um 70 ppm, á því svæði eru HSK-2, HSK-4, HSK-8, HSK-9 og Gjáin. Á norðvestur hluta svæðisins er klóríðinnihald vatnsins 30-50 ppm, á því svæði eru HSK-5 og HSK-10. Álitleg brunnstæði norður

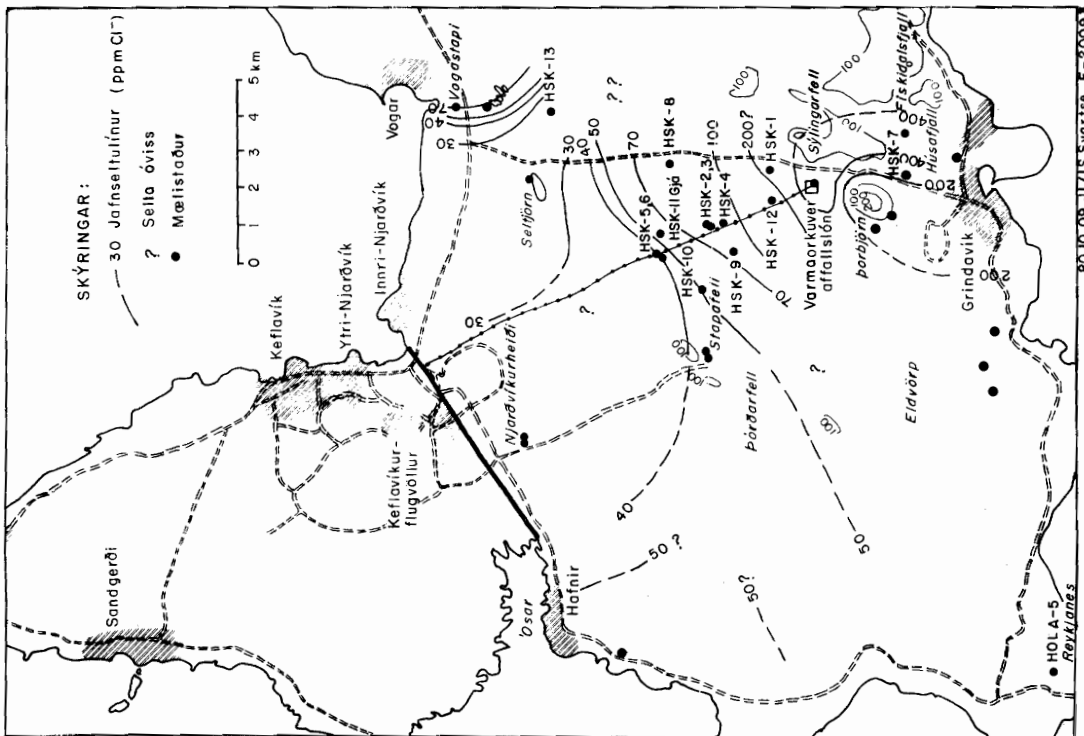
af Gjánni eru að líkindum einnig á því svæði. Í töflu 6 sést að magnesíuminnihald og klórinnihald fylgjast nokkuð vel að, svo vatnið á norðurhluta svæðisins hefur efnafræðilega eiginleika sem eru heppilegri fyrir vinnsluna í orkuverinu, en hinn hlutinn sem er nær orkuverinu. Ef útfellingar- og önnur efnavandamál aukast er hægt að ráðast í vatnsvinnslu á norðvestursvæðinu. Þess vegna er æskilegt að valið verði brunnstæði á þessu svæði og efnainnihaldið kannað.

Hitastig vatnsins er svipað á öllu svæðinu (sjá mynd 9) en hækkar þó til suðurs í átt að varmaorkuverinu, vafalítið vegna áhrifa jarðhitans.

## 2.7 Vatnsbúskapur

Í kafla 2.3 var gerð grein fyrir úrkomu og uppgufun á vatnasvæðinu.

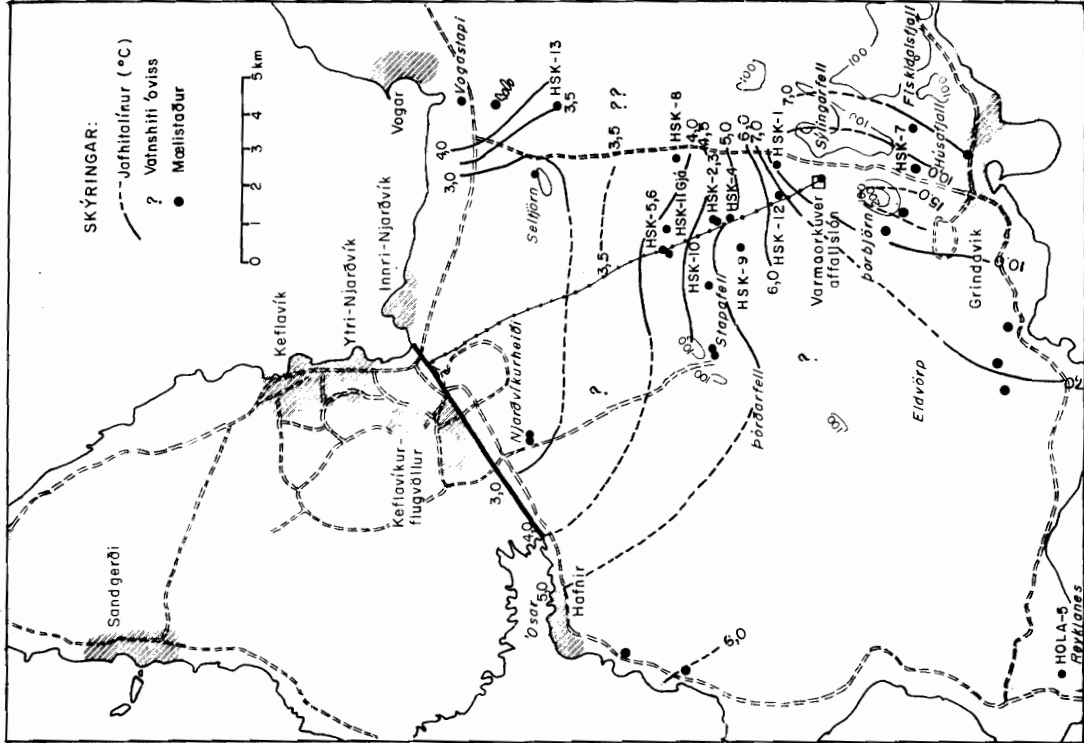
Stöðuvötn á vatnasvæðinu eru Seltjörn og Snorrastaðatjarnir. Engar ár eru á svæðinu og vatn rennur svo til einungis í farvegum í leysingum meðan frost er í jörðu. Á veturna fýkur lítill hluti af snjónum á haf út. Írennslið er því hægt að reikna án mikillar skekkju með því að draga raungufun frá úrkomu. Eins og kom fram í kafla 2.3 er mikil óvissa í úrkomumælingum og dreifingu úrkomunnar á svæðið. Veðurathugunarstöðvarnar eru allar í grennd við sjó og í lítilli hæð yfir sjó, í Grindavík í 5 m hæð, við Reykjanesvita í 20 m hæð og á Keflavíkurflugvelli í 52 m hæð. Til að reikna út hvernig úrkoman vex með hæð eru notaðar reynslujöfnur ("empirical formula"). Skekkja í úrkomumælingum er veruleg vegna truflunar vinds. Ekki hefur verið gerð tilraun til að leiðrétta daglegar úrkomumælingar vegna vinds, en þegar Kristján Ágústsson (1978) reiknaði meðalírennsli í Grindavík fyrir árin 1932-1976 voru eftirfarandi forsendur notaðar: Bætt var 25% við úrkomumælingar (svarar til fjögurra vindstiga fyrir rigningu en tveggja í snjókomu); raungufun var metin sem 80% af gnóttargufun; reiknað var út írennsli fyrir hvern mánuð. Ef "raungufun" í einum mánuði var meiri en 1,25 sinnum úrkomumælingin í sama mánuði var reiknað með að ekkert írennsli hafi verið í grunnvatnið. Niðurstöður útreikninga á írennsli eru í töflu 7, sjá einnig mynd 10.



MYND 8

Ferskvatn, selta (ppmCl<sup>-</sup>). Jafnseltulínur

80 10 09 JI/IS Svarise. F-20093



MYND 9

Ferskvatn, hiti (°C). Jafnhitalínur

80 10 09 JI/IS Svarise. F-20093

TAFLA 7

Meðalírennsli (mm) mánaða og árs við Grindavík fyrir árin 1932-1976, alls 43 ár

	J	F	M	A	M	J	J	Á	S	O	N	D	Ár
Meðal-írennsli	127	95	96	60	24	24	20	60	108	146	125	129	1013
Staðal-frávik	74	59	61	39	31	30	32	54	60	66	74	57	331

Úrkomumælingar hafa verið gerðar norðan við varmaorkuverið í Svartsengi frá því í mars 1977. Mælingarnar hafa verið notaðar við að reikna út írennsli á viku grunni. Við útreikningana var gert ráð fyrir sömu forsendum og við töflu 7, þ.e. að 25% er bætt við úrkomumælingar og raungufun er áætluð 80% af gnóttargufun. Á mynd 6, s. 27, er írennslið sýnt. Tafla 8 sýnir meðalmánaðar og -árs írennsli fyrir árin 1978-79 ásamt meðalgrunnvatnshæð í HSK-12 fyrir sama tímabil.

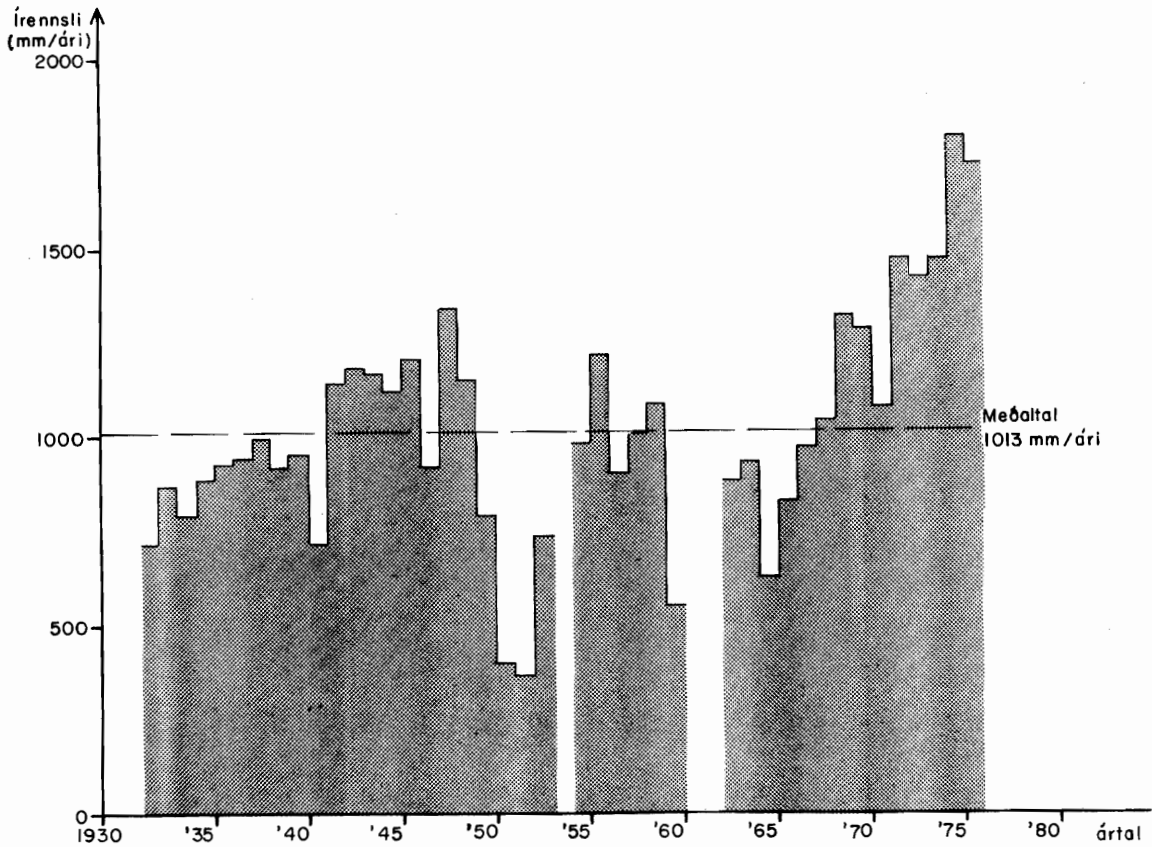
TAFLA 8

Meðalírennsli (mm) mánaða og árs við Svartsengi ásamt meðalgrunnvatnshæð (m) í HSK-12 fyrir 1978-79

	J	F	M	A	M	J	J	Á	S	O	N	D	Ár
Meðal-írennsli við Svartsengi	149	81	57	64	56	65	11	81	141	193	227	*) (82)	1207
Meðalgrunnvatnshæð í HSK-12	1,64	1,60	1,71	1,41	1,34	1,34	1,31	1,28	1,34	1,52	1,92	1,99	1,53

Við samanburð á grunnvatnshæð og reiknuðu írennsli kemur fram greinileg samsvörun. Á mynd 6, s. 29, má rekja saman hækkun grunnvatns og reiknað írennsli. Þau gögn, veðurfar og grunnvatnshæð, sem hefur verið safnað

\*) Einungis 1978



F-20094

MYND 10

Reiknað írennsli (mm/ári) í Grindavík 1932-1977

saman skapa grundvöll fyrir nákvæma athugun á svörun grunnvatnshæðar við úrkomu. Hér verður þó ekki farið út í slíka athugun. Ef talin verður þörf á að halda ferskvatnsrannsóknum áfram ætti slík athugun að hafa nokkurn forgang, þ.e. hún getur skapað grundvöll til að spá fyrir um vatnsbúskap á svæðinu í þurru árferði. Á það skal bent að árin 1951 og 1952 er írennslið við Grindavík metið milli 350-400 mm hvort ár, samanborið við 1013 mm á ári að meðaltali árin 1932-1976, sjá töflu 7.

Grunnvatnshæð og vatnsþörf hitaveitunnar fara vel saman því grunnvatnið stendur hæst um áramót en vatnsþörfin er mest um og upp úr áramótum.





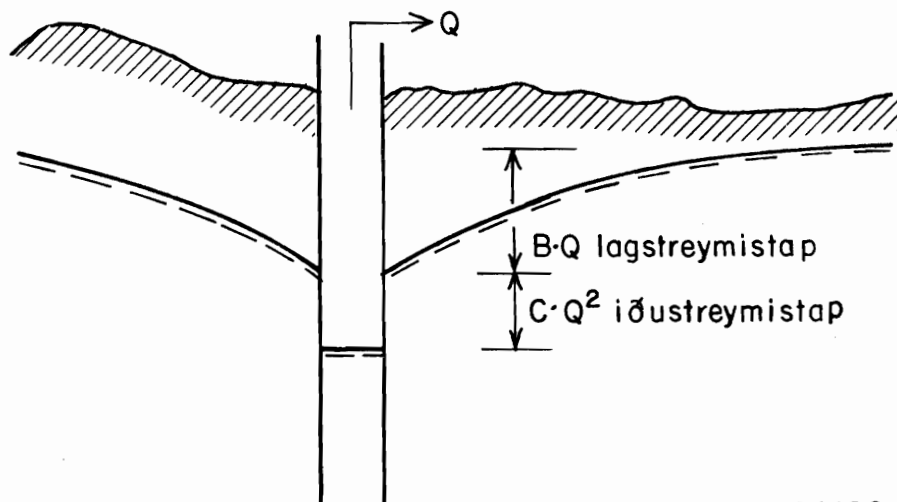
### 3 DÆLUPRÓFANIR

#### 3.1 Inngangur - markmið

Markmið með dæluþrófunum er að meta lekt grunnvatnsgeymisins og iðustreymistap í dæluholum. Við útreikninga á vatnsgæfni borholanna er lektin grundvallaratriði. Stærð og staðsetning dæla er valin með hliðsjón af lekt grunnvatnsgeymisins og iðustreymistapi í dæluholum, sjá þrepaðælingar.

Dæluþrófunum má skipta í þrennt, þrepaðæluþrófanir, langtímaðæluþrófanir og jöfnun.

Við þrepaðæluþrófanir er vatni dælt í þrepum úr holunum, rennsli og vatnsborð í holunni er mælt. Hvert þrep stendur yfir í ákveðinn tíma, t.d. 15 mínútur, og dælingin er jöfn innan þrepsins, síðan er dælingu breytt og næsta þrep hefst. Tilgangurinn með þrepaðælingum er að meta leiðni bergsins í næsta nágrenni holanna og iðustreymistapið í holunni (sjá mynd 11). Stærð og staðsetningu á dælum má síðan velja á grundvelli þrepaðælinga.



F-20100

MYND 11

Þrepaðæluþrófun

Við langtímaðælingar er stöðugt rennsli úr holum í "langan" tíma. Fylgst er með vatnsborði í athugunarholu og rennslinu. Tilgangurinn með langtímaðælingum er að meta lekt grunnvatnsgeymisins. Við langtíma-

dælingu Gjár hefur einnig verið fylgst með hreyfingu blöndunarlags ferskvatns og jarðsjávar undir ferskvatnslaginu.

Við jöfnun er fylgst með hækkun vatnsborðs að lokinni dælingu. Tilgangurinn er að meta leiðni í grennd við holu (að lokinni þrepaðælingu) og leiðni grunnvatnsgeymisins (að lokinni langtímadælingu).

Straumfræðistöð Orkustofnunar hefur séð um framkvæmd dæluprófana og úrvinnslu frá hausti 1977 í samvinnu við Jarðkönnunardeild. Jón Ingimarsson og Snorri Páll Kjaran (1978) hafa gert grein fyrir dæluprófunum 1976-77, og Jón Ingimarsson (1978) hefur gert grein fyrir dæluprófunum 1978. Samanburður á lektarstuðlum miðað við dæluprófanir, sjávarfallamælingar (sjá Jón Ingimarsson og Snorra Pál Kjaran 1978) og líkanreikninga er gerður í kafla 5.5.

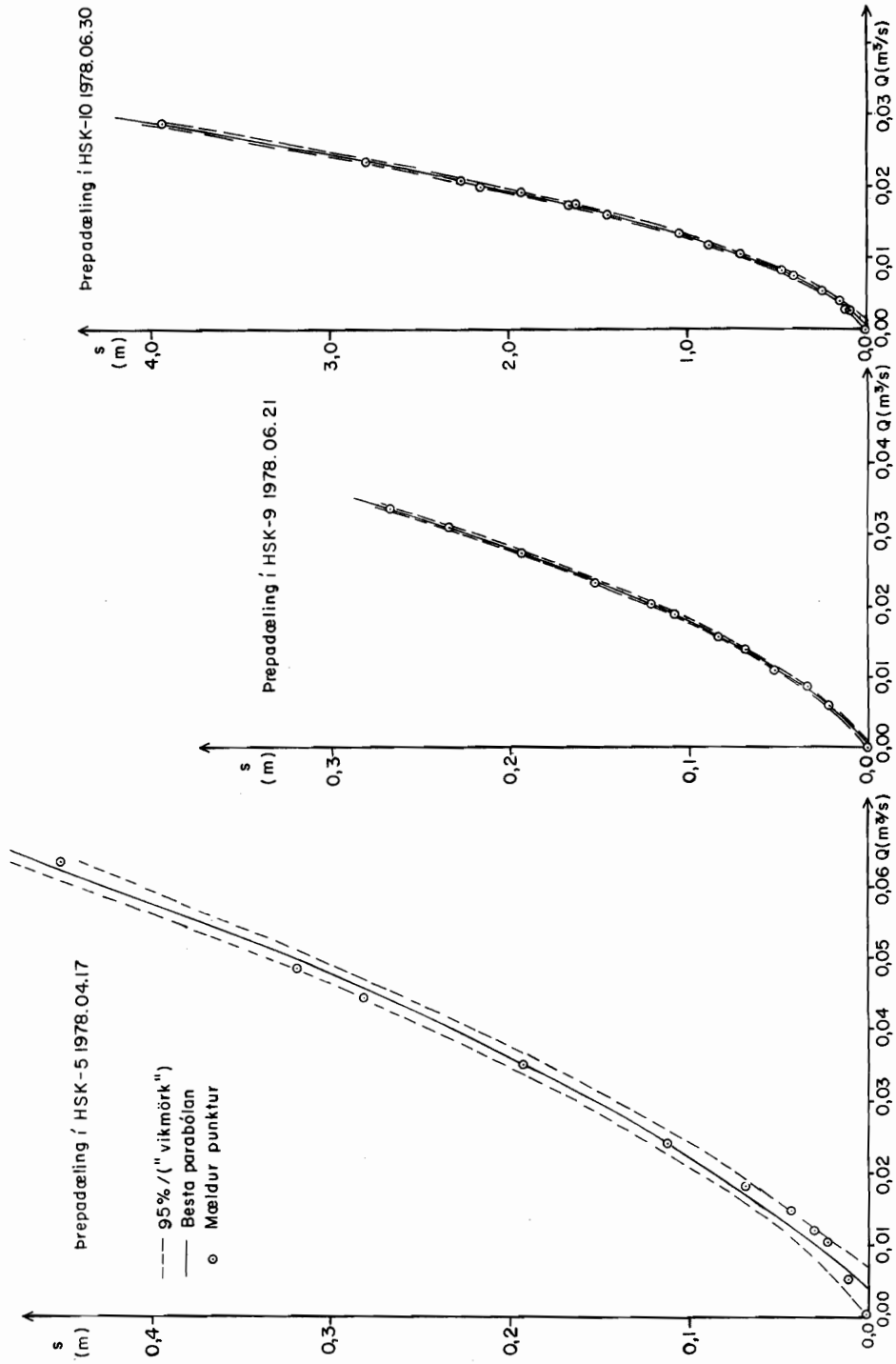
### 3.2 Úrvinnsla

Fræðilegum grundvelli fyrir úrvinnslu dæluprófana er lýst stuttlega í viðauka A.

#### 3.2.1 Úrvinnsla þrepaðæluprófana

Í töflu 9 eru niðurstöður úrvinnslu þrepaðæluprófana í ferskvatnsbólum Hitaveitu Suðurnesja. Á mynd 12 eru mæliniðurstöður ásamt bestu parabólum fyrir þrepaðælingar í HSK-5, HSK-9 og HSK-10, sem voru framkvæmdar á árinu 1978. Við þrepaðælingu í Gjá (1978.06.01) varð vatnsborðslökkunin óveruleg og því ekki unnt að vinna tölulega úr prófuninni.

Eins og fram kemur í töflu 9 eru niðurstöður þrepaðæluprófana mjög breytilegar fyrir einstök vatnsból. Það skal tekið fram að við dæluprófanirnar voru aðstæður mjög mismunandi, við prófanir 1976 og 1977 var vatnsborðslökkunin mæld með vatnsborðsmælum, en við dæluprófanir 1978 og 1979 var notaður síritandi þrýstiskynjari. Mælinákvæmni hans er mun meiri en vatnsborðsmælanna. Ýmsir þættir trufla mælingarnar, í fyrsta lagi má nefna að vatnsborðið í dæluholunni er óstöðugt og í öðru lagi er þrýstifall í sigtismölinni og við innrennsli í sigtISRörið. Í desember 1978 - janúar 1979 voru framkvæmdar mælingar á lekt sigtismalar í Straumfræðistöð Orkustofnunar að Keldnaholti. Við mælingarnar kom í ljós að talsvert þrýsti-



F-20095

MYND 12

Prepaddæluþrófanir í HSK-5, HSK-9 og HSK-10 á árinu 1978

TAFLA 9

Niðurstöður úrvinnslu þrepadæluprófana (S er lækkun grunnvatnsborðs í holunni í metrum, Q er rennsli í rúmmetrum á sekúndu)

Hola	Dags.	Jafna bestu parabólu	$r_1^{**}$	Jafna bestu línu	$r_2^{**}$
HSK-2	76.08.07.	$S \approx -0,023 (\pm 0,193) + 32,6 (\pm 14,1)Q + 127,6 (\pm 259,4)Q^2$	0,996	$S/Q \approx 28,0 (\pm 10,7) + 231,0 (\pm 306,0)Q$	0,723
HSK-2	76.08.10.	$S \approx -0,036 (\pm 0,096) + 12,5 (\pm 8,6)Q + 439,8 (\pm 145,6)Q^2$	0,998	$S/Q \approx 6,5 (\pm 2,7) + 557,2 (\pm 74,3)Q$	0,989
HSK-2	77.10.27.	$S \approx -0,012 (\pm 0,053) + 19,7 (\pm 5,8)Q + 1104 (\pm 140)Q^2$	1,000	$S/Q \approx 16,4 (\pm 3,8) + 1199 (\pm 140)Q$	0,990
HSK-4	76.08.21.	$S \approx 0,032 (\pm 0,050) + 10,7 (\pm 4,9)Q + 266,3 (\pm 94,6)Q^2$	0,999	$S/Q \approx 12,8 (\pm 2,4) + 232,4 (\pm 66,0)Q$	0,980
HSK-4*	76.08.21.	$S \approx 0,095 (\pm 0,042) + 5,7 (\pm 3,7)Q + 346,1 (\pm 63,9)Q^2$	1,000		
HSK-4	76.08.22.	$S \approx 0,030 (\pm 0,035) + 11,1 (\pm 3,3)Q + 202,2 (\pm 67,6)Q^2$	0,999	$S/Q \approx 12,4 (\pm 1,0) + 187,8 (\pm 29,7)Q$	0,994
HSK-4*	76.08.22.	$S \approx 0,077 (\pm 0,019) + 7,5 (\pm 1,6)Q + 262,4 (\pm 28,9)Q^2$	1,000		
HSK-4	77.10.18.	$S \approx 0,002 (\pm 0,027) + 1,6 (\pm 2,2)Q + 364,2 (\pm 41,5)Q^2$	1,000	$S/Q \approx 2,1 (\pm 1,1) + 352,2 (\pm 31,1)Q$	0,997
HSK-5	77.03.11.	$S \approx 0,001 (\pm 0,017) + 4,3 (\pm 2,2)Q + 76,1 (\pm 50,0)Q^2$	0,997	$S/Q \approx 4,4 (\pm 0,7) + 74,0 (\pm 24,4)Q$	0,927
HSK-5	77.03.14.	$S \approx 0,000 (\pm 0,015) + 1,9 (\pm 1,5)Q + 79,4 (\pm 28,1)Q^2$	0,999	$S/Q \approx 2,0 (\pm 1,1) + 79,7 (\pm 29,6)Q$	0,980
HSK-5	77.03.16.	$S \approx 0,005 (\pm 0,017) + 1,5 (\pm 1,4)Q + 79,5 (\pm 23,8)Q^2$	0,997	$S/Q \approx 2,1 (\pm 0,5) + 67,5 (\pm 13,9)Q$	0,974
HSK-5	78.04.17.	$S \approx -0,015 (\pm 0,018) + 3,7 (\pm 1,4)Q + 59,8 (\pm 22,3)Q^2$	0,998	$S/Q \approx 1,6 (\pm 0,6) + 96,8 (\pm 18,0)Q$	0,975
HSK-8	77.05.03.	$S \approx 0,000 (\pm 0,031) + 11,4 (\pm 4,8)Q + 1301 (\pm 150)Q^2$	1,000	$S/Q \approx 10,4 (\pm 3,3) + 1346 (\pm 158)Q$	0,998
HSK-8	77.06.06.	$S \approx 0,050 (\pm 0,074) - 2,6 (\pm 7,4)Q + 1633 (\pm 159)Q^2$	0,999	$S/Q \approx 6,7 (\pm 2,4) + 1401 (\pm 88)Q$	0,995
HSK-8	77.06.07.	$S \approx -0,012 (\pm 0,038) + 16,2 (\pm 3,9)Q + 1153 (\pm 85,7)Q^2$	1,000	$S/Q \approx 13,8 (\pm 1,6) + 1213 (\pm 61)Q$	0,997
HSK-9	78.06.21.	$S \approx -0,001 (\pm 0,002) + 3,0 (\pm 0,3)Q + 151,1 (\pm 8,8)Q^2$	1,000	$S/Q \approx 2,8 (\pm 0,2) + 157,0 (\pm 8,3)Q$	0,997
HSK-10	78.06.30.	$S \approx -0,022 (\pm 0,035) + 30 (\pm 6,0)Q + 4016 (\pm 220,9)Q^2$	1,000	$S/Q \approx 22,7 (\pm 2,4) + 4296 (\pm 155,0)Q$	0,998

\* Mældum punkti, (S,Q) = (0,0), sleppt að öðru leyti eins og mæling með sömu dagsetningu

\*\*  $r_1$  er fylgnistuðull fyrir parabólu,  $r_2$ , en fylgnistuðull fyrir beina línu, gæði reiknilíkans er betra eftir því sem  $r$  er nær 1,000.

fall er í sigtismölinni. Jafna fyrir þrýstifall í sigtismöl hefur sama form og við þrepaðælingar, eða  $\Delta h = a \cdot Q + b \cdot Q^2$ . Stuðlarnir  $a$  og  $b$  eru mjög breytilegir eftir því hversu sigtismölin er þökkuð og eftir þykkt sigtismalarlagsins. Af borskýrslum má lesa hversu mikil sigtismöl fór í hverja holu, þannig má fá nokkrar upplýsingar um meðalþykkt sigtismalarlagsins. Eins og áður kom fram er lektin hæst í gjalllögum (karganum) milli hraunanna, þykkt þeirra er óþekkt svo og holuvíddin (þ.e. þvermál holunnar á hverju dýpi). Það er því ekki hægt að leiðrétta fyrir þrýstifallinu í sigtismölinni, en unnt að fullyrða að raunveruleg lekt í umhverfi holunnar er meiri (hærri) en reiknuð lekt. Hér á eftir verður fjallað um hvert vatnsbólanna fyrir sig.

Eins og fram kemur í viðauka er beint samband milli lektar ("permeability") og línulega hluta parabólanna eða skurðpunkta línanna við  $S/Q$ -ásinn, en skurðpunkturinn er fastinn í bestu línunni í töflu 9. Fyrir HSK-2 er línulegi hlutinn milli 6,5 og 32,6  $m/m^3/s$ , í svigum eru 95% vikiörk ("confidence interval"), miðað við þau er áætlað að línulegi hlutinn liggi milli 15-20  $m/m^3/s$ , eða að lektin  $k$  sé á bilinu 0,0010-0,0014 m/s, sjá töflu 10. Í holu HSK-2 eru 9 m af 10" sigtiströrum og utan við sigtiströr voru settir 117 pokar af sigtismöl, meðalþykkt sigtismalarlagsins er áætluð um 0,18 m.

Úrvinnsla þrepaðælinga í HSK-4 gefur línulegan stuðul á bilinu 1,6-7,5  $m/m^3/s$  (sjá athugasemd í töflu 9), út frá vikiörkum má áætla að hann liggi á bilinu 2-6  $m/m^3/s$ , eða að lektin sé á bilinu 0,0037-0,012 m/s. Í holuna voru sett 9 m af 10" sigtiströrum og 67 pokar af sigtismöl, meðalþykkt sigtismalarlagsins er áætluð 0,13 m.

Línulegi stuðullinn í HSK-5 er á bilinu 1,5-4,4  $m/m^3/s$ . Við útreikninga á lekt er miðað við að hann liggi á bilinu 2-3  $m/m^3/s$ . Lektin reiknast 0,0076-0,012 m/s. Í holuna fóru 6 m af 10" sigtiströrum og 58 pokar af sigtismöl. Meðalþykkt sigtismalarlagsins er áætluð um 0,12 m.

Mikil dreifing er á línulega stuðlinum fyrir HSK-8, eða ÷ 2,6-16,2  $m/m^3/s$ , (negatíf gildi eru óraunhæf). Út frá vikiörkum er stuðullinn áætlaður 4-13  $m/m^3/s$  og lektin reiknast 0,0016-0,0057 m/s. Í holuna voru sett 6 m af 10" sigtiströrum og 40 pokar af sigtismöl. Meðalþykkt sigtismalarlagsins má áætla um 0,08 m.

Einungis ein þrepadæling hefur verið gerð í HSK-9, línulegi stuðullinn var á bilinu 2,8-3,0 m/m<sup>3</sup>/s. Miðað við 3,0 m/m<sup>3</sup>/s reiknast lektin 0,0076 m/s. Í holuna voru sett 6 m af 10" sigtISRörum og 58 þokar af sigtismöl. Meðalþykkt sigtismalarlagsins er áætluð 0,12 m.

Í HSK-10 hefur verið gerð ein þrepadæling. Línulegi stuðullinn var á bilinu 22,7-30 m/m<sup>3</sup>/s. Út frá vikmörkum má gera ráð fyrir að línulegi stuðullinn sé á bilinu 23-25 m/m<sup>3</sup>/s, það gefur lekt 0,00079-0,00087 m/s. Í HSK-10 voru sett 6 m af 8" sigtISRörum og 65 þokar af sigtismöl. Meðalþykkt sigtismalarinnar er áætluð um 0,14 m.

TAFLA 10

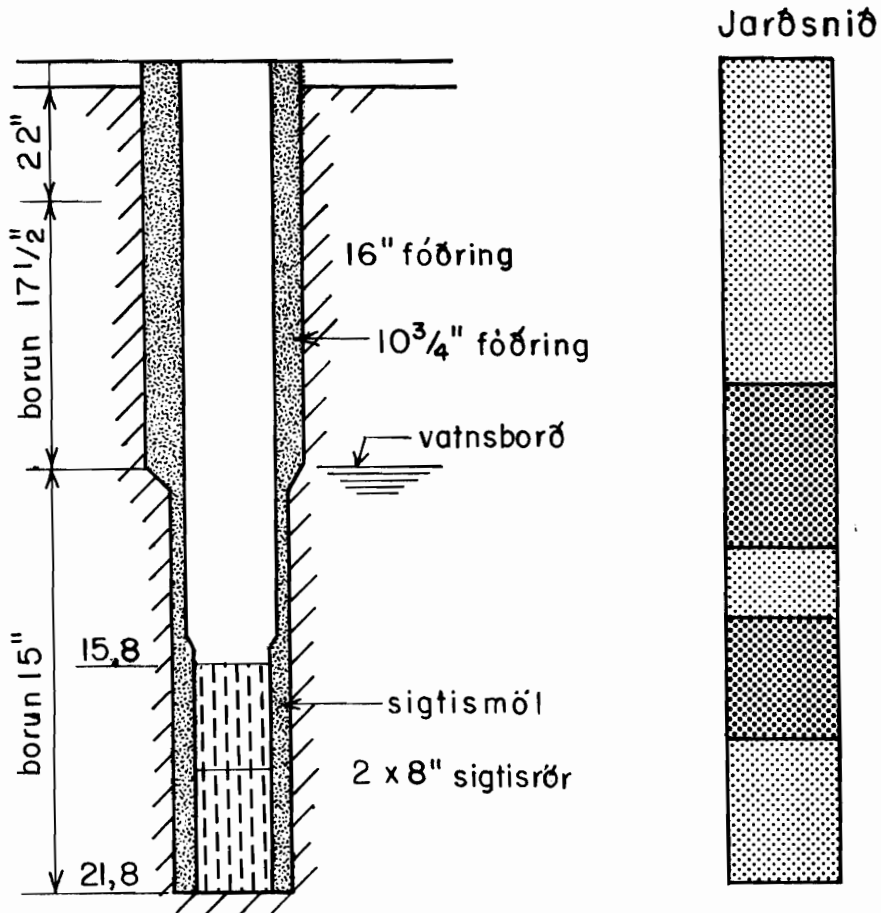
Lekt (m/s) við vatnsból miðað við þrepadæluprófanir

Vatnsból	Lekt k(m/s)
HSK-2	0,0010 - 0,0014
HSK-4	0,0037 - 0,012
HSK-5	0,0076 - 0,012
HSK-8	0,0016 - 0,0057
HSK-9	0,0076
HSK-10	0,00079 - 0,00087



Í töflu 10 eru niðurstöður útreikninga á lekt í nánasta umhverfi holanna út frá þrepadælingum. Eins og fram kemur reiknast meðallektin á bilinu 0,00079-0,012 m/s eða um 15-faldur munur. Auðveldlega mætti skýra þennan mun með lítið eitt mismunandi jarðlögum (t.d. þykkt á karga). Ýmislegt bendir þó til þess að þessi reiknuðu gildi á lekt séu of lág og ef til vill með minni dreifingu, því að talsvert þrýstifall er í sigtismölinni og er það líklega mest (við sömu dælingu) í HSK-10 og HSK-2, en þar reiknast lektin minnst. Við nánari skoðun á jöfnum "bestu parabólanna" sést að stuðullinn "C" við  $Q^2$  er einnig mjög breytilegur milli holanna eða frá um  $60 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{s})^2$  upp í um  $4300 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{s})^2$ . Annarar gráðu liðurinn svarar til iðustreymis þrýstifallsins við rennsli í gegnum sigtismölinna og innstreymistapsins í sigtISRörið og dæluna. "C" er stærst fyrir HSK-10, HSK-8 og HSK-2 (ath. skipt var um dælu í HSK-2 og HSK-4 eftir

dæluprófanir 1976). Frágangur á HSK-10 er sýndur á mynd 13 ásamt niðurstöðum svarfgreininga (Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1978, Elsa G. Vilmundardóttir, óbirt gögn hjá Orkustofnun). Gert er ráð fyrir að lektin sé mun hærri í gjallkarganum. Miðað við að gjallkarginn sé vatnsgefari þá sést á mynd 13 að vatnið úr efra gjalllaginu þarf að streyma 3-6 m niður með fóðurrörinu gegnum sigtismölinu til þess að komast inn í rörið. Á þessari leið yrði verulegt þrýstifall, það má því búast við að það sé aðallega neðra gjalllagið sem færir holuna en efsti hluti þess er þó ofan við sigtISRörið. Svarfgreiningar í HSK-8 benda til að gjalllagið sé allt ofan við sigtISRörin, þ.e. gjalllagið er frá um 4 m ofan vatnsborðs og niður í ca. 4 m neðan vatnsborðs, efri brún sigtISRöra er um 6 m neðan vatnsborðs. Í HSK-5 og HSK-9 eru gjalllögin á móts við sigtISRörin, en lektin reiknast hæst í þessum holum. Eins og fram kemur í kafla 1 voru höggborsholur við Stapafell og HSK-1 dæluprófaðar á árunum 1973-74. Við Stapafell var dælt 24 l/s í 8 klst og mældist vatnsborðslökkun í holunni 0,11 m, í HSK-1 var dælt 20 l/s og mældist vatnsborðslökkunin 0,10 m. Þetta er svipuð vatnsborðslökkun og í HSK-5 við sömu dælingu en 4-7 sinnum minni en í HSK-2 og HSK-4. Höggborsholan við Stapafell var án fóðurrörs og án sigtismalar, en HSK-1 var frágengin með fóður- og sigtISRörum og sigtismöl. Að ofansögðu er ljóst að skýra má mun í lekt milli holanna a.m.k. að nokkru með þrýstifalli í sigtismöl. Til að meta lekt við dæluprófanir þarf því að mæla vatnsborðslökkun utan við sigtismalarlagið og helst í sérstökum athugunarholum í grennd við dæluholur. Ástæðan fyrir þessu er að niðurdrátturinn utan við sigtismöl er ákvarðandi fyrir hvað taka má úr holunum eins og rakið er í skýrslu Jóns Ingimarssonar og Snorra Páls Kjara frá 1978.

Ef ný vatnsból verða boruð, þarf að gæta þess að sigtISRörum og sigtismöl sé þannig komið fyrir að vatnsstraumurinn inn í holuna sé sem minnst hindraður.



SKÝRINGAR:

-  Berg, hart í borun, yfirleitt túlkað sem þétt basalt
-  Berg lint í borun, sýni rauðoxideruð yfirleytt túlkað sem gjallkent hraun

F-20096

MYND 13

HSK-10. Frágangur og jarðlagaskipan

3.2.2 Úrvinnsla langtímadæluprófana

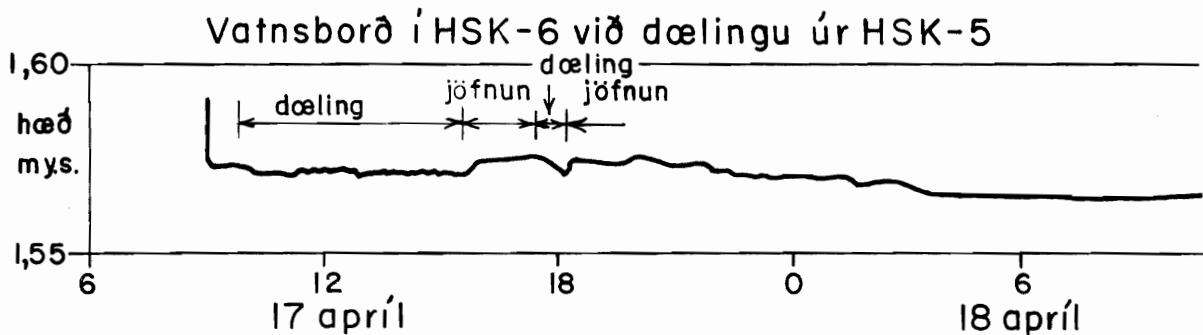
Langtímadæluprófanir hafa verið gerðar í þeim vatnsbólum á vatnsvinnslu-svæðinu þar sem boraðar hafa verið rannsóknarholur. Vatnsbólín eru HSK-2 með HSK-3 sem rannsóknarholu, HSK-5 með HSK-6 sem rannsóknarholu og Gjáin með HSK-11 sem rannsóknarholu. Prófanir í HSK-2 og HSK-5 stóðu einungis yfir í 2-9 klukkustundir. Í Gjá hafa prófanir staðið yfir frá því í júní 1978, samfara vinnsludælingu.

Langtímadæling í HSK-2 var gerð 25. október 1977, prófunin stóð yfir í



um 9 klukkustundir og var dælt 38 l/s úr holunni. Vatnsborð í HSK-3 var síritað meðan dæling stóð yfir. Fjarlægðin milli holanna er um 24,8 m. Vatnsborðslækkunin í HSK-3 var um eða innan við 0,01 m. Miðað við 0,01 m lækkun vatnsborðs í holunni reiknast meðallektin milli hola HSK-2 og HSK-3,  $k = 3,6 \cdot 10^{-2}$  m/s.

HSK-5 var dæluprófuð 17. apríl 1978. Prófunin var tvískipt með jöfnun vatnsborðs ("recovery") á milli. Fyrri hluti prófunarinnar stóð í um 5 klukkustundir, jöfnun vatnsborðs í 1 1/2 klukkustund og seinni dælingin í tæplega 1 klukkustund. Vatnsborðið í HSK-6 var síritað við dælingu, sjá vatnshæðarmæli (vhm) 211, á mynd 14. Fjarlægðin milli holanna er um 27,0 m. Meðaldæling í fyrri hluta prófunarinnar var 27 l/s.



MYND 14

F-20097

Vatnsborð í HSK-6 við dælingu úr HSK-5

Vatnsborðslækkunin í HSK-6 var ca. 0,004 m. Meðallektin milli holanna samkvæmt ofansögðu er  $k = 5,8 \cdot 10^{-2}$  m/s. Meðaldæling í seinni hluta prófunarinnar var 42 l/s og vatnsborðslækkunin í HSK-6 var um 0,006 m. Meðallektin milli holanna er  $k = 6,5 \cdot 10^{-2}$  m/s. Miðað við ofangreindar prófanir má áætla að meðallektin milli HSK-5 og HSK-6 sé  $k \approx 6 \cdot 10^{-2}$  m/s.

Langtímadæluprófun á Gjanni hefur staðið yfir frá í júní 1978. Prófuninni má skipta í tvö tímabrep. Í fyrra þrepinu frá 8. júní 1978 - 27. mars 1979 var meðaldæling úr Gjanni 48 l/s. Í síðara þrepinu frá 28. mars 1979 - 31. desember 1979 var meðaldæling úr Gjanni 98 l/s. Í töflu 11 er sýnd áætluð meðaldæling úr einstökum vatnsbólum fyrir tímabilin 1978.01.01-1978.05.31, 1978.07.01-1979.03.15 og 1979.04.01-1979.12.31. Í um 12 m fjarlægð frá Gjanni er rannsóknarhola HSK-11, sem nær í gegnum ferskvatns-

lagið og niður í sjó. Grunnvatnshæðin í HSK-11 er sírituð (vhm 214).

TAFLA 11

Áætluð meðaldæling ( $m^3/s$ ) úr vatnsbólum 1978.01.01-1979.12.31

Tíma- bil	Vatns- ból	HSK-2 ( $m^3/s$ )	HSK-4 ( $m^3/s$ )	HSK-9 ( $m^3/s$ )	Gjá ( $m^3/s$ )	Alls ( $m^3/s$ )
1978.01.01- 1978.05.31		0,025	0,030	0	0	0,055
1978.07.01- 1979.03.15		0,012	0,012	0	0,048	0,072
1979.04.01- 1979.12.31		0,005	0,011	0,004	0,098	0,118

Eins og fram kemur í kafla 2.5 er sterkt samband milli grunnvatnshæða í borholum. Í kaflanum kemur einnig fram að tilgangurinn með mati á sambandi milli grunnvatnshæða í borholum er að fá grunn til að meta lökkun grunnvatnshæðar vegna dælingar. Við úrvinnslu á langtíma-dælingu úr Gjá er þetta samband notað.

Við dælingu úr vatnsbólum lækkar grunnvatnshæðin á mjög víðáttumiklu svæði. Til þess að meta lektina milli Gjárinnar og HSK-11 er nauðsynlegt að einangra lökkun grunnvatnsborðs í HSK-11 vegna dælinga úr öðrum vatnsbólum en Gjúnni og einnig hækun vegna affallsvatns. Til þess að finna vatnsborð án áhrifa dælingar er nauðsynlegt að einangra lökkun vatnsborðs vegna dælinga úr öllum vatnsbólum og hækun vegna affallsvatns frá síritandi grunnvatnshæðarmælingum. Þá er loks unnt að einangra lökkun grunnvatnsborðs vegna dælinga úr Gjúnni. Lökkun grunnvatnsborðs vegna dælinga úr einstökum vatnsbólum er áætluð með hjálp grunnvatnslíkans, sjá kafla 5. Í töflu 12 er leiðrétt meðalgrunnvatnshæð fyrir áðurgreind tímabil.

TAFLA 12

Meðalgrunnavatnshæð (m) í borholum

Tíma- bil	Hola	Seltjörn *	Stapafell *	HSK-6 *	HSK-12 *	HSK-11 **
1978.01.01- 1978.05.31		1,587	1,576	1,674	1,662	1,671
1978.07.01- 1979.03.15		1,510	1,492	1,573	1,568	1,568
1979.04.01- 1979.12.31		1,390	1,376	1,459	1,439	1,433

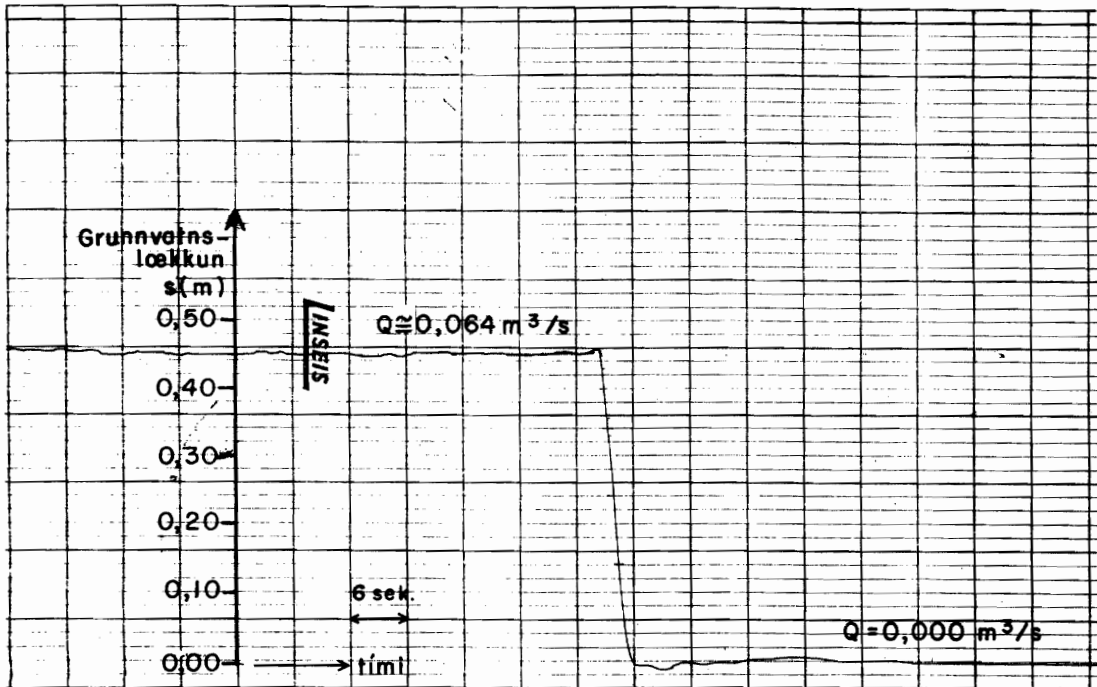
\* leiðrétt vegna dælingar úr HSK-2, HSK-4, HSK-9, Gjá og leka úr affallslóni

\*\* leiðrétt vegna dælingar úr HSK-2, HSK-4, HSK-9 og leka úr affallslóni

Miðað við þessa leiðréttu meðalgrunnavatnshæð er lækkun vatnsborðs í HSK-11 0,010-0,014 m við dælingu á 48 l/s úr Gjánni. Meðallektin milli Gjárinna og HSK-11 út frá því reiknast  $k = 0,043 \text{ m/s} - 0,059 \text{ m/s}$ . Við dælingu á 98 l/s úr Gjánni lækkar grunnavatnsborð í HSK-11 aftur á móti um 0,025-0,029 m/s. Þetta gefur reiknaða meðallekt  $k = 0,046-0,054 \text{ m/s}$ . Meðallektin út frá þessum tveim dælingum er því áætluð  $k = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ .

### 3.2.3 Úrvinnsla jöfnunar

Við tilkomu síritandi þrýstiskynjara varð bylting í nákvæmni mælinga á vatnsborðsbreytingu í dæluholum. Á mynd 15 er sýnd jöfnun vatnsborðs í HSK-5 að lokinni dælingu á 64 l/s. Eins og sjá má á nánast full jöfnun sér stað á um 3 sekúndum.



MYND 15

Jöfnun vatnsborðs í HSK-5

Byltingin í mælinákvæmninni leiddi til þess að áreiðanleiki þrepa-  
dælinga við mat á lekt var dreginn mjög í efa og í framhaldi af  
því var lögð aukin áhersla á langtíma dæluprófanir sem gáfu mun  
hærri gildi á lekt en þrepaðælingar. Skýringar á þessu misræmi  
eru talðar vera, í fyrsta lagi þrýstifall í sigtismöl og í öðru  
lagi þrýstifall vegna þess að sigtISRör og kargalög standast ekki  
á í einstaka tilvikum, sbr. kafla 3.2.1.

3.3 Niðurstöður dæluprófana

Eins og fram kemur í kafla 3.2 er verulegt misræmi í lekt eftir  
því hvort hún er metin út frá þrepaðælingum eða langtímadælingum,  
sjá töflu 13. Í töflu 14 eru viðmiðunargildi á lekt í mismunandi  
lausum jarðefnum.

TAFLA 13

Lekt (m/s) í umhverfi vatnsbóla miðað við þrepa- og langtímadæluprófanir

Vatnsból	Lekt k (m/s)	Lekt k (m/s)	
	þrepaðæling	langtímadæling	
HSK-2	0,0010 - 0,0014	0,036	
HSK-4	0,0037 - 0,012		
HSK-5	0,0076 - 0,012	0,06	
HSK-8	0,0016 - 0,0057		
HSK-9	0,0076		
HSK-10	0,00079 - 0,00087		
Gjá		0,05	

Munurinn á lekt eftir því hvort miðað er við þrepa- eða langtímadælingar er 26-36-faldur í HSK-2 og 5-8-faldur í HSK-5. Skýringar á þessu misræmi er að leita a.m.k. að hluta í þrýstifalli í sigtismöl sem hefur mjög veruleg áhrif við þrepaðælingar, sjá nánar kafla 3.2. Áhrif þrýstifalls í sigtismöl eru hverfandi við langtímadælingar, en þar geta sprunguáhrif hins vegar skipt miklu. Ekki er unnt að leiðrétta lekt umhverfis HSK-4, HSK-8, HSK-9 og HSK-10 miðað við þrýstifall í sigtismöl, en lektargildin fyrir þær eru metin út frá þrepaðælingum og eru örugglega lægri en raunveruleg lekt kergsins í umhverfi þeirra.

TAFLA 14

Lekt (m/s) í mismunandi jarðefnum (sjá K. Terzaghi og R.B. Peck 1967, s. 55)

Lektar- stuðull	1,0	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-11</sup>	k(m/s)
Lekt er:	mjög mikil-mikil		nokkur-lítil			óveruleg - nánast engin							
Jarðefni	Hrein möl		Hreinn sandur og blanda af sandi og möl			Fínn og mjög fínn sandur, silt og leir				Óveðraður leir			

\* Gæðamat er miðað við íslenskar aðstæður þar sem lekt er yfirleitt meiri en erlendis

Við athuganir kom í ljós að þrýstifall í sigtismöl er meira en talið hafði verið. Samkvæmt því hefði verið eðlilegra að hafa styttri heilfóðringu en bæta inn sigtisrörum að sama skapi. Samkvæmt þrepaðælingum er HSK-10 langlélegasta holan, ástæða er til að hvetja til þess að boruð verði t.d. 2" rannsóknarhola (ca. 20-25 m djúp) í næsta umhverfi hennar og HSK-10 dæluprófuð að nýju með langtímadælingu.

Niðurstöður útreikninga á lekt fyrir vatnsbólun er í skyggða hluta töflu 13, lektargildi fyrir HSK-4, HSK-8, HSK-9 og HSK-10 eru hærri en þrepaðælingar gefa til kynna. Við samanburð á töflum 13 og 14 sést að lekt er mjög mikil í berginu umhverfis holurnar.

## 4 VATNSGÆFNI VATNSBÓLA

### 4.1 Inngangur - markmið

Aðalmarkmið ferskvatnsrannsóknna er að afla vatns fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Mat á vatnsgæfni einstakra vatnsbóla er því þýðingarmikið. Matið grundvallast á gerð og straumfræðilegum eiginleikum grunnvatnsgeymisins og vatnsbúskap svæðisins, sjá kafla 2.4, 2.7 og 3.3.

Vegna mats á vatnsgæfni hefur Straumfræðistöðin þróað reiknilíkan. Líkanið miðast við ferskvatnslag sem flýtur á jarðsjó, "ísótróp" og "hómógen" grunnvatnsgeymi og írennsli í hann. Líkanið byggir á nálgunum vegna þess að vatnsbólun ná einungis niður í hluta lagsins og grunnvatnsborðið er frjálst. Reiknilíkaninu er nánar lýst í viðauka B. Það reiknar niðurdrátt vegna vatnstöku þannig að tekið er tillit til allra helstu vatnafræðilegra þátta, sjá kafla 2 og 3.

### 4.2 Úrvinnsla

Við útreikning á hámarksvatnsgæfni vatnsbólanna er miðað við að niðurdráttur grunnvatnsborðsins við dæluholu megi vera fjórðungur af meðalgrunnvatnshæðinni yfir meðalsjávarmáli í samræmi við Bear og Dagan (1966a, 1966b). Reiknað er með að eðlismassi vatns sé  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , eðlismassi jarðsjávar  $1,028 \text{ g/cm}^3$ , holur séu 0,25 m (10") í þvermál og nái 10 m niður í vatn og að írennslið sé 1000 mm/ári. Þykkt lagsins er reiknuð við hverja holu fyrir sig miðað við meðalgrunnvatnshæð. Í reikningum er miðað við niðurstöður útreikninga á lekt, sjá töflu 13 í kafla 3. Fyrir HSK-2, HSK-5 og Gjá er miðað við niðurstöður langtímadælinga en fyrir HSK-4, HSK-8, HSK-9 og HSK-10 er miðað við þrepaðælingar en vatnsgæfni þeirra er meiri (sjá athugasemdir við töflu) þar sem lektin er vanmetin, sbr. 3.3. Við útreikninga á vatnsgæfni Gjár er miðað við að hún samsvari holu sem væri 10 m í þvermál og næði 2 m niður í grunnvatn. Niðurstöður útreikninga á vatnsgæfni eru í töflu 15. Það skal tekið fram að ekki má túlka niðurstöður þannig að unnt sé að dæla úr öllum vatnsbólum með hámarksafköstum samtímis.

TAFLA 15

Hámarksvatnsgæfni vatnsbóla  $Q_{\max}$  ( $m^3/s$ )

Vatnsból	Vatnsgæfni ( $m^3/s$ )
HSK-2	0,096
HSK-4	(0,012 - 0,035)*
HSK-5	0,154
HSK-8	(0,005 - 0,018)*
HSK-9	(0,022)*
HSK-10	(0,003)*
Gjá	0,290

\* Tölur í svigum miðast við lekt sem er reiknuð út frá þrepa-dælingum. Þessar tölur eru líklega töluvert lægri en raun-veruleg vatnsgæfni.

#### 4.3 Niðurstöður

Vatnsgæfni vatnsbóla er mjög mikil, þrátt fyrir að leyfileg lökkun grunnvatnshæðar umhverfis holurnar sé mjög lítil eða um 0,3 m. Í töflu 15 eru niðurstöður útreikninga á vatnsgæfni. Lekt umhverfis fjögur vatnsbólanna (HSK-4, HSK-8, HSK-9 og HSK-10) er illa ákvörðuð (þar eð rannsóknarholur vantar og ekki er unnt að framkvæma langtímadæluprófanir), vatnsgæfni þeirra er því illa ákvörðuð og gildin í töflu 15 sem eru innan sviga eru lágmarksgildi. Rétt er að benda á að við útreikninga á vatnsgæfni er miðað við að lárétt og lóðrétt lekt sé sú sama. Í sambandi við Gjá má einnig benda á að ekki er víst að hún sé lokuð í botninum og því gæti verið hætt á mengun ferskvatnsins í henni við minni dælingu en útreikningar á vatnsgæfni sýna. Um vatnsgæfni hennar sem og annarra vatnsbóla verður því endanlega að skera úr með eftirliti samfara vinnsludælingu. Ástæða er að vekja athygli á hvað vatnsgæfni vatnsbóla er mikil, einkum Gjárinnar, en hún ein getur meira en annað þörfum hitaveitunnar í dag eða 290 l/s. Til samanburðar má geta þess að Gjáin mundi anna þriðjungi af vatnspörf Vatnsveitu Reykjavíkur.



## 5 LÍKANREIKNINGAR

### 5.1 Inngangur - markmið

Í köflum 2 og 3 er lýst ýmsum rannsóknum á vatnafræði ferskvatnsvinnslu-  
svæðisins og dæluþrófunum. Tilgangur þessara rannsókna er að upplýsa um  
vantsbúskap svæðisins og straumfræðilega eiginleika bergsins. Þekking á  
þessum þáttum er hagnýtt við mat á vatnsgæfni vatnsbóla (sjá kafla 4) og  
við líkanreikninga.

Orðið líkanreikningar er hér notað fyrir stærðfræðilega diffurjöfnu sem  
líkir eftir grunnvatnsrennsli. Við líkanreikningana er margvíslegum upp-  
lýsingum um eiginleika grunnvatnsgeymisins, s.s. lekt og grunnvatnshæð og  
ýmsum ytri skilyrðum (t.d. írennsli) safnað á einn stað og þær tengdar  
saman með tölum. Niðurstöður verða því í innra samræmi við þær upplýsingar  
sem líkanið byggir á. Líkaninu er þannig fyrst og fremst ætlað það hlut-  
verk að tengja saman upplýsingar á tölulegan hátt.

Markmið með líkanreikningum er, auk þess að tengja saman þekkingu um  
vatnafræði svæðisins að meta afleiðingar truflana á náttúrulega hringrás  
vatnsins. Í þessu tilfalli eru truflanirnar annars vegar dæling úr fersk-  
vatnslaginu og hins vegar leki úr affallslóni varmaorkuversins. Spurt er  
spurninga eins og t.d. þessara: "Er hætta á mengun vatnsbóla vegna  
þynningar ferskvatnslinsunnar við dælingu?", og "Er hætta á að affalls-  
vatnið streymi til norðvesturs inn á vatnsvinnslusvæðið og mengi ferska  
vatnið?". Einnig var kannað með líkanreikningum hversu viðkvæmar niður-  
stöðurnar eru fyrir breyttum forsendum um vatnafræðilega eiginleika  
svæðisins, t.d. írennsli. Loks voru könnuð áhrif óhagstæðs árferðis  
(t.d. lítillar úrkomu) á rekstur ferskvatnsbólanna.

Líkanið sem notað er við reikningana gerði Snorri Páll Kjarran (1976), en  
vegna þessa verkefnis hefur þurft að auka nokkuð við líkanið og hafa auk  
höfunda þeir Ásmundur Jakobsson Orkustofnun og Sven Þ. Sigurðsson  
Raunvísindastofnun H.Í. unnið að því.

### 5.2 Uppbygging grunnvatnslíkans fyrir Svartsengissvæðið

Í þessum kafla verður sagt frá þeim vatnafræðiþáttum sem notaðir eru við  
gerð líkansins.

### 5.2.1 Ytri mörk svæðis - randskilyrði

Nauðsynlegt er að afmarka svæðið sem reikningar á grunnvatnsrennsli eiga að ná yfir. Við jaðar svæðisins er nauðsynlegt að þekkja annað hvort grunnvatnshæðina eða rennsli í gegnum jaðarinn, þessi skilyrði eru nefnd randskilyrði. Fjarlægð frá vatnsvinnslusvæðinu til sjávar er 6-7 km að sunnan og norðan en 10-12 km að vestan, það þykir því eðlilegt að takmarka svæðið við ströndina á þessum svæðum, randskilyrðið er að grunnvatnshæðin sé við meðalsjávarmál á þessu svæði, sjá kort 1 í kortamöppu. Randskilyrði að norðvestan og austan eru óþekkt. Við afmörkun svæðisins á þessum svæðum var því miðað við að áhrifa randarinnar gætti ekki á vatnsvinnslusvæðinu. Að norðvestan var lega randarinnar ákveðin milli Ósa og Njarðvíkur á ímyndaðri straumlínu. Að austan var legan ákvörðuð miðað við ímyndaða straumlínu, sjá kort 1. Randskilyrðið á þessum svæðum er að ekkert rennsli sé í gegnum röndina.

### 5.2.2 Írennsli

Í köflum 2.3 og 2.7 er fjallað um úrkomu, uppgufun, írennsli og vatnsbúskap á svæðinu. Við ákvörðun á írennsli "f" á vatnasvæðinu vegna líkanreikninga er stuðst við þá dreifingu úrkomunnar "Ú" sem sýnd er á mynd 3 og þær tölur hækkaðar um 25% vegna taps á úrkomumælum. Raun-  
gufun er áætluð 80% af reiknaðri gnóttargufun "G" (sjá mynd 4).  
Írennslið er því reiknað eftir jöfnunni:

$$"f" = 1,25 \cdot "Ú" - 0,8 \cdot "G"$$

Á korti 1 er írennslið á vatnasvæðinu sýnt. Í kafla 2.7 var írennslið við Grindavík reiknað 1013 mm/ári fyrir árin 1932-76 og ber því vel saman við áætlað írennsli. Í kafla 5.5 er næmni grunnvatnslíkansins fyrir breyttri úrkomu athuguð.

### 5.2.3 Lekt

Lektin er einn aðalþáttanna í gerð grunnvatnslíkans. Eins og fram kemur í kafla 2.2 gerði Freysteinn Sigurðsson jarðfræðingur kort af svæðum sem hann áleit með svipaða lekt og áætlaði hlutfallið milli þeirra (sjá kort 3 og 5). Sprungur og gjár eru margar á hraunasvæðunum og einnig er

talsvert um þær á móbergssvæðum. Sprungurnar hafa mikil áhrif á lekt, þannig er lektin í stefnu sprungnanna meiri en lektin þvert á þær. Freysteinn gerði einnig kort yfir svæði með sömu sprungustefnu og kort yfir svæði með sama hlutfall milli lektar í sprungustefnu og hornrétt á sprungustefnu, sjá kort 2. Við stillingu reiknilíkansins (sjá kafla 5.3) var lektinni breytt til að fá innra samræmi í þau gögn sem líkanið er byggt á. Á kortum 3 og 5 eru mismunandi kort yfir svæði með sömu lekt að lokinni stillingu líkansins.

Við mat á lekt var einnig stuðst við niðurstöður dæluprófana (kafla 3.3) og niðurstöður mælinga á sjávarföllum í borholum (sjá Jón Ingimarsson og Snorra Pál Kjaran 1978).

#### 5.2.4 Gerð þríhyrninganets af vatnasvæðinu

Lokaskrefið við gerð líkans af vatnasvæði er að leggja þríhyrninganet yfir svæðið. Við gerð netsins þurfa írennslið, lektin og sprunguáhrifin innan hvers þríhyrnings að vera eins. Holur þar sem vatnshæðin er þekkt og þar sem áætlað er að dæla upp fersku vatni eða niður affallsvatni þurfa að vera í hornpunktum þríhyrninga. Loks þurfa þríhyrningar að vera litlir á vatnsvinnslu- og affallssvæðunum, þar sem líkaninu er ætlað að gefa upplýsingar um áhrif truflana af völdum affallsvatns og vatnstöku.

Á korti 1 er þríhyrninganetið sem gert var eftir að tekið hafði verið tillit til ofangreindra atriða. Þríhyrningarnir eru alls 405 með 226 hornpunktum. Grunnvatnshæðin er reiknuð í 190 punktum en fastsett í 36 punktum við sjóinn (grunnvatnshæðin er í meðalsjávarhæð  $H = 0$ ).

#### 5.3 Stilling líkansins

Við stillingu líkansins er borin saman reiknuð grunnvatnshæð og mæld í 12 punktum inni á svæðinu. Punktarnir eru HSK-1, HSK-6, HSK-7, HSK-8, HSK-9, HSK-10, HSK-11, HSK-12, HSK-13, hola á Njarðvíkurheiði, hola við Seltjörn og hola við Stapafell (sjá kort 1). Einnig eru til nokkrar upplýsingar um grunnvatnshæð í HSK-3, HSK-4, Snorrastaðatjörnum og holu við Vogastapa. Vegna nálægðar holu við Vogastapa við sjó og truflana af völdum sjávarfalla er hún ekki notuð við stillingu líkansins. Auk þessa hafa verið gerðar mjög margar rafleiðnimælingar á vatnasvæðinu.

Þær eru einnig notaðar við stillingu líkansins, einkum mælingar á austasta hluta svæðisins.

Stilling líkansins fer þannig fram að lesin eru inn í rafreikni gögn yfir staðsetningu punkta, þríhyrninganet, írennsli, lekt, sprungustefnu, sprungu-áhrif og randskilyrði, sbr. kafla 5.2. Forritið fyrir grunnvatnslíkanið reiknar grunnvatnshæðina í öllum innri punktum og punktum á röndinni þar sem inn- eða útrennslið er þekkt. Bornar eru saman reiknaðar grunnvatnshæðir og mældar í 12 punktum. Skilyrði fyrir að líkanið teljist fullnægjandi eru:

$$\left| \frac{\sum_{i=1}^{12} \bar{H}_i - H_i}{12} \right| < 0,01 \text{ m} \quad (4)$$

$$\text{og } Sd = \left( \frac{\sum_{i=1}^{12} (\bar{H}_i - H_i)^2}{11} \right)^{1/2} \leq 0,05 \text{ m} \quad (5)$$

þar sem:  $\bar{H}_i$  er mæld meðalgrunnvatnshæð í holu  $i$ ,  
og  $H_i$  er reiknuð meðalgrunnvatnshæð í holu  $i$ .

Jafna (4) er skilyrði fyrir því að reiknuð meðalgrunnvatnshæð í borholunum sé í samræmi við mældu grunnvatnshæð. Til að uppfylla þetta skilyrði var viðmiðunarlekt á svæðinu breytt (þ.e. öll lektargildi í þríhyrningum eru margfölduð með sömu tölunni).

Jafna (5) er skilyrði fyrir því að mismunur á mældri og reiknaðri grunnvatnshæð í einstökum borholum verði ekki mjög mikill. Til að uppfylla þetta skilyrði var lektinni í einstökum þríhyrningum breytt í samvinnu við Freysteinn Sigurðsson. Stilling líkansins fer því þannig fram að reikningar eru endurteknir með breyttum lektargildum, þar til skilyrðum (4) og (5) er fullnægt.

Á korti 3 eru sýnd gildi á lekt að lokinni stillingu líkansins. Lektin á svæðinu hornrétt á sprungustefnu er á bilinu  $3,3 \cdot 10^{-3} - 3,3 \cdot 10^{-1} \text{ m/s.}^*$  Á kortinu eru jafngrunnvatnshæðarlínur, og örvar sem sýna stefnur og hraða grunnvatnsrennslisins og grunnvatnsskil samkvæmt líkanreikningum.

---

\*) Útkoma úr jöfnu (4) að lokinni stillingu var 0,004 m, en 0,027 m úr jöfnu (5).

Megingrunnvatnsstraumarnir frá vatnsvinnslusvæðinu virðast tveir til suðvesturs, annars vegar milli Þorbjarnar og Þórðarfells og hins vegar milli Þórðarfells og Stapafells, skilin milli þeirra liggja aðeins norðan við HSK-11. Grunnvatnsstraumnum milli Þorbjarnar og Þórðarfells má skipta í tvennt með straumlínu sem liggur miðja vegu milli HSK-12 og HSK-4. Vatnsvinnsluholurnar liggja norðvestan við skilin (selta er minni en 100 ppm Cl<sup>-</sup>) en jarðhitasvæðið er sunnan við skilin (selta yfir 100 ppm Cl<sup>-</sup>). Með því að nota örvar og grunnvatnshæðarlínur kortsins má reikna rennslismagn. Fjörurennsli reiknað á þennan hátt ber vel saman við mælingar Freysteins Sigurðssonar og Sigurðar G. Tómassonar. Grunnvatnshæðin á austurhluta svæðisins eru í ágætu samræmi við áætlaða grunnvatnshæð miðað við rafleiðnimælingar. Einna mest óvissa ríkir um grunnvatnshæðina vestan Þorbjarnar, það atriði verður skoðað nánar í kafla 5.5.

#### 5.4 Áhrif dælingar ferskvatns og leka affallsvatns í grunnvatnið

Að lokinni stillingu líkans, miðað við ótruflað (náttúrulegt) ástand, voru könnuð áhrif dælingar ferskvatns af vatnsvinnslusvæðinu og leka affallsvatns frá varmaorkuverinu í grunnvatnið. Athugunin miðaði fyrst og fremst að því að kanna hvort vatnsvinnslusvæðið muni geta séð hitaveitunni fyrir nægilegu vatni og hvort affallsvatnið muni leita frá varmaorkuverinu inn á vatnsvinnslusvæðið. Líkanið getur ekki svarað því hversu mörg vatnsból þarf til að fullnægja vatnspörf hitaveitunnar, úr því verður að skera með eftirliti samfara vinnsludælingu.

Ákveðið var að miða ferskvatnspörf og magn affallsvatns við hitaveituframleiðslu með 4500 klst nýtingu á ári, 6 MW raforkuframleiðslu, og 300 kg/s af gufu. Miðað við þessar forsendur er mesta ferskvatnspörf 0,37 m<sup>3</sup>/s og mesta magn affallsvatns 0,27 m<sup>3</sup>/s. Meðalferskvatnspörf er 0,19 m<sup>3</sup>/s og meðalmagn affallsvatns er 0,14 m<sup>3</sup>/s. Í líkaninu var líkt eftir grunnvatnsrennsli á svæðinu miðað við dælingu á 0,02 m<sup>3</sup>/s úr HSK-2, 0,04 m<sup>3</sup>/s úr HSK-4, 0,05 m<sup>3</sup>/s úr HSK-5, 0,05 m<sup>3</sup>/s úr HSK-9, 0,02 m<sup>3</sup>/s úr HSK-10 og 0,19 m<sup>3</sup>/s úr Gjá, alls 0,37 m<sup>3</sup>/s. Affallsvatni var dreift jafnt niður á tvo punkta, þ.e. við holu H-4 (punktur 69) við varmaorkuverið og punkt 68 norðvestan við orkuverið, alls 0,27 m<sup>3</sup>/s. Á korti 4 eru jafn-grunnvatnshæðarlínur og örvar sem sýna stefnu og hraða grunnvatnsrennslisins.

Við samanburð á kortum 3 og 4 sést að grunnvatnshæðarlínur hafa hliðrast

lítið eitt, einkum 1 m línan. Í grennd við írennslisstaði affallsins hefur grunnvatnshæðin hækkað, þ.e. 1 m línan færst í átt til sjávar, á öðrum svæðum hefur grunnvatnshæðin lækkað vegna dælingar. Grunnvatnslökkunin nær yfir meginhluta vatnasvæðisins. Grunnvatnsskilin við HSK-11 færast til suðurs og liggja við HSK-8. Athugun á færslu grunnvatnsskila vegna dælingar er ekki að fullu lokið, og verður gerð um það sérstök greinargerð síðar, og vatnsvinnslusvæðið rannsakað með tilliti til vatnsverndar. Áhrif dælingarinnar minnka þegar fjarlægist vatnsvinnslusvæðið, við Seltjörn er vatnsborðslökkunin t.d. 3,3 cm.

Dælingin snýr stefnu grunnvatnsrennslisins í grennd við orkuverið í átt til vesturs. Örvagnar sýna rennslisstefnuna í miðpunkti þríhyrninganna, en reikna verður með, að mengun sem grunnvatnsstraumurinn ber með sér fari ekki einungis í stefnu örvanna, heldur dreifist einnig til hliðar, þó ekki yfir grunnvatnsskil. Útbreiðsla á móti rennslisstefnu er þó mjög lítil, svo hætta á að vatnsbólun mengist af affallsvatni er óveruleg.

Niðurstaða reikninga á grunnvatnsrennslinu er helst sú að miðað við forsendur líkansins er ástæða til að ætla að hægt sé að taka nóg vatn af vatnsvinnslusvæðinu til þess að anna þörfum hitaveitunnar. Mengun af völdum affallsvatnsins mun fyrst og fremst verða til suðvesturs frá varmaorkuverinu og mun ekki gæta á vatnsvinnslusvæði hitaveitunnar. Í næsta kafla verða áhrif breyttra forsendna skoðuð.

#### 5.5 Mat á gæðum líkans og næmni fyrir breyttum forsendum

Í köflum 5.2-5.4 var lýst grunnvatnslíkani af vatnasvæðinu miðað við þær forsendur sem taldar eru líklegastar. Fram kom að þekkingin er víða glöppótt, t.d. lega austurjaðars vatnasvæðisins og írennslismagn. Tilgangurinn með þessum kafla er að meta hvernig niðurstöður líkanreikninganna eru háðar breyttum forsendum.

Hæð grunnvatns við og sunnan við varmaorkuverið er óþekkt. Vatnshæðin í holu H-1, en hún er austan við varmaorkuverið, bendir til að grunnvatnshæðin sé hærri en niðurstöður líkansins gáfu til kynna. Þess ber að geta að hola H-1 er sölt og heit og nær niður á um 240 m dýpi. Til þess að skýra þetta var ákveðið að reikna með minni lekt suðvestan affallsvæðisins en áður. Einnig var lektin á vatnsvinnslusvæðinu minnkuð með

tilliti til niðurstaðna dæluþrófana í HSK-2, HSK-5 og Gjá. Líkanið var stillt af miðað við þessar forsendur og ótruflað ástand. Útkoman úr jöfnu (4) að lokinni stillingu var 0,000 m, en 0,037 m úr jöfnu (5). Á korti 5 eru sýnd gildi á lekt hornrétt á sprungustefnu, þau eru á bilinu  $3,4 \cdot 10^{-3}$  m/s -  $3,4 \cdot 10^{-1}$  m/s. Á kortinu eru einnig jafnhæðarlínur grunnvatns ásamt örvum sem sýna stefnu og hraða rennslis.

Að lokinni stillingu voru áhrif sömu dælingar og leka affallsvatns og gert var ráð fyrir í kafla 5.4 skoðuð. Niðurstöður reikninga eru á korti 6. Samanburður á kortum 5 og 6 sýnir að grunnvatnsrennslíð í grennd við affallsvatnssvæðið stefnir í fyrstu til norðvesturs frá H-4 en snýst síðan til vesturs og að lokum leitar það til suðvesturs. Ekki er ástæða til að ætla að affallsgeirinn nái inn á vatnsvinnslusvæðið. Á vatnsvinnslusvæðinu hafa rennslisstefnur breyst verulega og stefna meir í átt að vatnsbólunum.

Loks var næmni líkansins athuguð fyrir eftirfarandi breytingum á forsendum:

1. Írennslíð á korti 1 og lektarstuðlar á korti 5 voru margfaldaðir með 0,75.
2. Reiknað var með útrennslí um austurjaðar svæðisins, sem samsvarar flutningi jaðarsins um ca. 2 km til vesturs.
3. Reiknað var með 1000 mm írennslí á ári yfir allt svæðið.
4. Írennslíð á korti 1 var margfaldað með 1,5.

Reikningarnir fyrir tilfelli 2, 3 og 4 voru gerðir miðað við lektarstuðla á korti 5. Reikningar fyrir öll tilfelli voru gerðir fyrir  $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$  dælingu ferskvatns og  $0,27 \text{ m}^3/\text{s}$  affallsvatn, eins og áður. Niðurstöður fyrir tilfelli 1 eru á korti 7. Við samanburð á kortum 6 og 7 sést að stefna grunnvatnsrennslisins er vestlægari á korti 7 í grennd við affallsvæðið. Hraði rennslisins er hins vegar minni. Það virðist ekki ástæða til að ætla að affallsgeirinn nái inn á vatnsvinnslusvæðið. Breytingar miðað við tilfelli 2, 3 og 4 eru minni en fyrir tilfelli 1. Grunnvatnshæðin á vinnslusvæðinu í þurru árferði með 750 mm/ári írennslí,  $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$  dælingu og  $0,27 \text{ m}^3/\text{s}$  affallsvatni er um 0,3 m lægri en sýnt er á korti 5.

Ástæða er til að bera saman niðurstöður útreikninga á lekt miðað við dæluþrófanir (sjá kafla 3), sjávarfallsmælingar (Jón Ingimarsson og Snorri Páll Kjara 1978) og niðurstöður líkanreikninga. Samkvæmt niður-

stöðum langtímadæluprófana er lektin á vatnsvinnslusvæðinu  $k = 3,6-6 \cdot 10^{-2}$  m/s, en samkvæmt niðurstöðum líkanreikninga er meðallektin  $k = 10 \cdot 10^{-2}$  m/s, miðað við kort 5, 6 og 7 og  $k = 19 \cdot 10^{-2}$  m/s miðað við kort 3 og 4. Auk þess eru nokkrar holur á jaðri svæða með  $k = 3,8 \cdot 10^{-2}$  m/s.

Samræmi milli niðurstaðna langtímadæluprófana og líkanreikninga telst því gott. Niðurstöður sjávarfallamælinga benda til að lektin milli Seltjarnar og sjávar sé  $2-4 \cdot 10^{-2}$  m/s (miðað við geymslustuðul 0,1) en niðurstöður líkanreikninga gefa  $2-3 \cdot 10^{-2}$  m/s. Milli Vogastapa og sjávar reiknast lektin  $4-20 \cdot 10^{-3}$  m/s miðað við geymslustuðul 0,05, en líkanreikningar benda til að hún sé  $4 \cdot 10^{-3}$  m/s. Milli HSK-13 og sjávar reiknast lektin  $2,8 \cdot 10^{-2}$  m/s miðað við geymslustuðul 0,1, en líkanreikningar benda til að hún sé  $3 \cdot 10^{-2}$  m/s. Milli holu 5 á Reykjanesi og sjávar er lektin miðað við sjávarfallamælingar, geymslustuðul 0,1 og grunnvatnshæð 0,3 m áætluð  $4,5 \cdot 10^{-1} - 6,3 \cdot 10^{-1}$  m/s en miðað við líkanreikninga  $5,7-5,9 \cdot 10^{-1}$  m/s. Samræmi milli sjávarfallamælinga og líkanreikninga telst því all gott.

Grunnvatnsskilin á korti 3 má bera saman við mynd 5 í "Hitaveita Suðurnesja. Hita- og seltumælingar 1975-1977", OSJKD7719, eftir Freysteinn Sigurðsson. Rennslisstefnum og svæðaskiptingum eftir vatnshita og seltu ber vel saman við örvar og grunnvatnsskil á korti 3.

### 5.6 Niðurstöður

Niðurstöður líkanreikninga sýna að svæðisniðurdráttur við  $0,370 \text{ m}^3/\text{s}$  dælingu er 0,10-0,15 m, ekki er unnt með líkaninu að segja til um fjölda borhola, sem þarf til að anna  $0,370 \text{ m}^3/\text{s}$  dælingu, því verða langtímadælu-  
prófanir að svara. Samkvæmt þeim tveim líkönum sem sett hafa verið upp fyrir vatnasvæðið er ekki ástæða til að búast við að affallsvatnsgeirinn nái að blandast vatninu á vinnslusvæðinu. Þó verður að geta þess að grunnvatnshæðin suðvestan við og við affallslónið er óþekkt, og ástæða er til að kanna hana með borun, sjá kafla 7. Í þurru árferði má búast við að vatnsborðslækkun á svæðinu verði um 0,3 m. Þar sem neðra borð ferskvatnslagsins hreyfist ekki í takt við grunnvatnsborðið, sbr. kafla 2, má líta á lagið sem geymslu sem jafnar út a.m.k. minni sveiflur í írennsli (þurr ár). Ekki er unnt að segja fyrir um hversu langa þurkkakafla þarf til að lagið þynnist í samræmi við lækkun grunnvatnsborðsins.

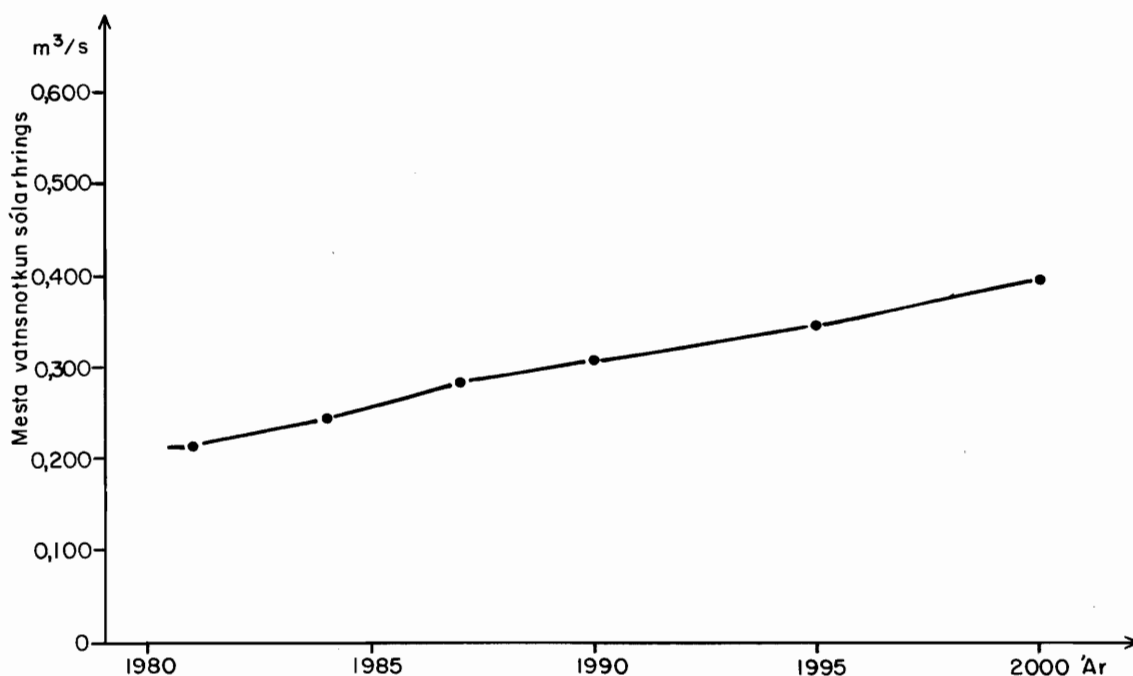
Gott samræmi er milli lektar miðað við langtímadælupróf, sjávarfallamælingar og niðurstöður lektar samkvæmt líkanreikningum.



## 6 VATNSÞÖRF OG VATNSVINNSLUÁÆTLUN

Í þessum kafla verður gerð grein fyrir spá um ferskvatnsþörf Hitaveitu Suðurnesja fram til aldamóta og sett fram tillaga um rekstur vatnsbóla hitaveitunnar fram til 1990.

Mynd 16 sýnir spá um ferskvatnsþörf hitaveitunnar til 2000. Spáin er í samræmi við spá um orkuþörf, sjá "Svartsengi. Athugun á vinnslu jarðhita." eftir Snorra Pál Kjara o.fl. (1980). Ráðgjafarverkfræðingar hafa gert áætlun um ferskvatnsþörf, sjá "Ferskvatnsöflun", maí 1979. Samkvæmt þeirri áætlun yrði ferskvatnsþörfin um 0,390 m<sup>3</sup>/s haustið 1981 og um 0,600 m<sup>3</sup>/s árið 1997. Þessar tölur eru verulega hærri en spáin á mynd 16 gerir ráð fyrir. Úr vatnsbólum hefur verið dælt um 0,15 m<sup>3</sup>/s en talið er að virkjuð vatnsból anní um 0,42 m<sup>3</sup>/s dælingu. Dælur og flutningskerfi anna um 0,39 m<sup>3</sup>/s, sjá "Ferskvatnsöflun", skýrslu ráðgjafarverkfræðinga.



F-20099

### MYND 16

Hitaveita Suðurnesja, Svartsengi. Spá um ferskvatnsnotkun

Nú er lokið tengingu eftirtalinna vatnsbóla: HSK-2, HSK-4, HSK-9, HSK-10 og Gjár. Eins og fram kemur í töflu 15 í kafla 4 er áætlað að úr HSK-2

megi dæla 0,096 m<sup>3</sup>/s, en vegna mikils holutaps (sjá kafla 3) eru 0,07 m<sup>3</sup>/s (70 l/s) talin hámarksafköst holunnar. Úr HSK-4 hefur verið dælt um 0,04 m<sup>3</sup>/s (40 l/s) í töflu 15 eru afköstin áætluð að minnsta kosti 0,035 m<sup>3</sup>/s. Áætluð afköst HSK-9 eru a.m.k. 0,02 m<sup>3</sup>/s. Afköst HSK-10 eru a.m.k. 0,003 m<sup>3</sup>/s. Úr Gjá hefur verið dælt um 0,100 m<sup>3</sup>/s og eru afköst hennar áætluð um 0,29 m<sup>3</sup>/s. Samtals er því áætlað að tengd vatnsból gefi a.m.k. 0,42 m<sup>3</sup>/s sem nægir Hitaveitu Suðurnesja a.m.k. fram undir 2000. Ítrekað hefur verið lagt til að dælt verði úr HSK-10 a.m.k. 0,03 m<sup>3</sup>/s (30 l/s) og fylgst með hvort seltuaukningar verði vart í vatni úr henni. Eins og fram kemur í köflum 3 og 4 eru líkur á að niðurstöður þrepaðalinga á holunni séu ónákvæmar og óhætt sé að dæla úr henni meira vatni en tafla 15 gefur til kynna. Verði slík dæling ákveðin er æskilegast að boruð verði rannsóknarhola við hana og fylgst með vatnsborðslækkun við vinnslu. Við dæluprófun á HSK-5 í apríl 1979 kom rauðleitt svarf inn í holuna ásamt meðsigtismöl. Lagt hefur verið til að gert verði við holuna þar sem vatnsgæfni hennar er mjög mikil og efnainnihald vatnsins er minna en í öðrum vatnsbólum (sjá 2.6). Ef viðgerð mistekst má athuga með virkjun á HSK-6.

Það skal ítrekað að reynslan verður að skera úr um hvort svæðið leyfir hámarksnýtingu allra holanna samtímis.

Í töflu 16 er tillaga um nýtingu vatnsbóla hitaveitunnar fram til 1990. Tillagan tekur mið af tillögum um frekari rannsóknir, t.d. yfirdælingu á HSK-9 og HSK-10, og reynslusöfnun vegna reksturs vatnsbólanna. Tölur í svigum sýna það vatnsmagn sem taka má, t.d. ef dælur bila eða leiðslur fara í sundur.

TAFLA 16

Tillaga um rekstur ferskvatnsbóla Hitaveitu Suðurnesja til 1990

Vatnsból	Ár				
	1980	1981	1984	1987	1990
	Vatnsnám, m <sup>3</sup> /s				
HSK-2	0,02	(0,05)	(0,05)	(0,05)	(0,05)
HSK-4	0,04	(0,05)	(0,05)	(0,05)	(0,05)
HSK-9	0,04	(0,05)	0,05	(0,05)	(0,05)
HSK-10	(0,03)	0,03	(0,03)	(0,03)	0,02
Gjá	0,10	0,19	0,20	0,28	0,28
Vatnsþörf	0,20	0,22	0,25	0,28	0,30

7 EFTIRLIT MEÐ VINNSLU OG FREKARI RANNSÓKNIR

---

Í kafla 4 er sagt að eftirlit samhliða vinnsludælingu verði að skera úr um vatnsgæfni vatnsbóla. Í þessu eftirliti felst:

- 1) Að haldið verði áfram síritun grunnvatnshæðar í eftirtöldum holum: Við Seltjörn, við Stapafell, HSK-6, HSK-11 og HSK-12.
- 2) Gerðar verði mánaðarlegar mælingar á grunnvatnshæð í fóðurholu við Stapafell og fóður- og höggborsholu á Njarðvíkurheiði.
- 3) Mælingum á veðurfarspáttum verði haldið áfram (úrkomu og hitastigi).
- 4) Ársfjórðungslega verði gerðar hita- og seltumælingar í HSK-6 og HSK-11.
- 5) Haldin verði dagbók yfir þær holur sem dælt er úr og hve miklu er dælt úr hverri holu.
- 6) Mánaðarlega verði vatnsborð í dældum holum og leiðni í dældu vatni mæld.

Með þessu eftirliti teljum við að öryggi vatnsvinnslunnar sé nægilega tryggt. Orkustofnun er reiðubúin til áframhaldandi samstarfs um söfnun gagna og úrvinnslu.

Talsverð óvissa ríkir um grunnvatnshæð vestan við Þorbjörn. Þar sem líkanreikningar eru mjög viðkvæmir fyrir grunnvatnshæðinni á þessum slóðum er nauðsynlegt að boruð verði hola til könnunar á grunnvatnshæð á því svæði eins og áður hefur verið lagt til. Holan mun einnig nýtast við rannsóknir á afdrifum affallsvatns. Grunnvatnshæðina í holunni þyrfti að sírita. Lagt er til að boruð verði kjarnahola við HSK-10 vegna frekari dæluprófunar. Prófunin gæfi mikilvægar upplýsingar um vatnsgæfni vatnsbóla á svæðinu almennt og einnig má benda á að efnainnihald í HSK-10 er minna en t.d. í Gjánni. HSK-5 telst mjög góð hola og á það bæði við vatnsgæfni og efna-innihald. Við dæluprófun kom rauður sandur úr henni. Við teljum ekki fullreynt hvort gera megi við holuna eða gera aðrar úrbætur svo hola nýtist og erum reiðubúnir til samstarfs um það. Einnig væri hugsanlegt að virkja HSK-6. Kjarnaholan gæfi mikilvægar upplýsingar um þétt jarðlög, sbr. 2.2.

Eins og fram kemur í kafla 2 hefur verið safnað umfangsmiklum gögnum um grunnvatnshæð og veðurfar á vatnasvæðinu. Þessi gögn gera það að verkum að unnt ætti að vera að fá fram samræmi milli úrkomu, afrennslis og

breytinga í grunnvatnsforða. Slíkt samræmt yfirlit yfir vatnsbúskap er forsenda fyrir því, að rannsóknarniðurstöður varðandi afleiðingar þess að grípa inní þennan vatnsbúskap með einhverjum hætti geti talist öruggar. Slíkt öryggi fæst ekki nema með vatnafræðilegu líkani sem er þannig gert, að það geti líkt eftir mælingum í náttúrunni með nægilegri nákvæmni. Á vestanverðum Reykjanesskaga hefur tekist að búa til líkan sem gefur breytingar á meðalgrunnvatnsborði milli staða með nægilegri nákvæmni, miðað við allar mælingar sem gerðar hafa verið. Líkanið er hins vegar enn ekki það fullkomið að það geti reiknað tímaháðar breytingar á grunnvatnsborði. Mjög góðar mæliniðurstöður varðandi þetta atriði fást hins vegar úr síritamælingum á grunnvatnshæð. Að vinna úr þessum mælingum á þann hátt sem hér hefur verið lýst er mjög þýðingarmikið verkefni frá vísindalegu sjónarmiði, og auk þess sem það hefur þá þýðingu fyrir hitaveituna sem áður hefur verið lýst. Hitaveitan og Orkustofnun ættu því að sameinast um þetta verkefni.

Vegna hættu á útfellingum í kerfi hitaveitunnar þarf að rannsaka og meta hættuna á útfellingum á magnesíum silikati og ákveða hvort ástæða sé til sérstakra viðbragða hennar vegna. Verði niðurstaðan sú að ástæða sé til aðgerða, felast þær í því að lækka magnesíummagn kalda vatnsins með því að fara vatnsvinnsluna, eða hluta hennar, yfir á svæði magnesíumsnauðara vatni eða lækka sýrustigið (minnka pH gildið) eins og fram hefur komið í skýrslu Trausta Haukssonar "Svartsengi. Efnasamsetning heits grunnvatns og hitaveituvatns" (júlí 1980). Vatn snautt af magnesíum finnst í um það bil 1-2 km fjarlægð frá leiðsluendum. Eins og áður er rakið, er ekkert sem bendir til þess að niðurdráttar vegna þurfi að fara með vatnsból þetta langt í burtu. Hitaveitan þarf því að ákveða hvort magnesíuminnihald vatnsins gefi tilefni til að ný vatnsból verði rannsökuð.

8 NIÐURSTÖÐUR

Eins og fram kemur í inngangi hefur meginmarkmið ferskvatnsrannsókna Orkustofnunar fyrir Hitaveitu Suðurnesja verið að afla hitaveitunni nægilegs fersks vatns og að kanna áhrif vatnstökunnar á vatnsbúskap svæðisins með tilliti til hækkunar skilflatar fersks vatns og jarðsjávar og könnun á afdrifum affallsvatns frá orkuverinu. Meginniðurstaða rannsókna Straumfræðistöðvar er að virkjuð vatnsból anni þörfum hitaveitunnar fram undir aldamót miðað við spá um ferskvatnsþörf (sjá mynd 16) og að mjög ósennilegt sé að affallsvatnið muni menga vatn á vinnslusvæðinu.

Eftirtaldir verkbættir ferskvatnsrannsókna Orkustofnunar fyrir Hitaveitu Suðurnesja hafa verið í höndum Straumfræðistöðvar:

1. Úrvinnsla vatnshæðarmælinga og veðurfarsathugana.
2. Úrvinnsla dæluprófana.
3. Mat á gæfni vatnsbóla.
4. Líkanreikningar.

Hér á eftir verður lýst helstu niðurstöðum þessara rannsókna:

1. Vatnafar. Nánast ekkert yfirborðsvatn er á rannsóknasvæðinu (undantekningar eru Seltjörn og Snorrastaðatjarnir). Nánast öll úrkoma sem fellur á svæðið gufar upp eða sígur niður í grunnvatnsgeyminn. Írennslið í grunnvatnsgeyminn er áætlað 800 mm/ári vestast og upp í 1600 mm/ári austast í fjöllunum, sjá kort 1.
2. Grunnvatnsgeymirinn er ferskvatnslag sem flýtur ofan á sjó. Lagið er í beinum tengslum við andrúmsloftið og í þrýstijafnvægi við sjóinn.
3. Lekt svæðisins er breytileg. Hún er mest á hraunasvæðum, allt að 0,6 m/s, en minnst á móbergs- og grágrýtissvæðunum, um 0,003 m/s. Á vatnsvinnslusvæðinu er lektin um 0,05-0,1 m/s. Gott samræmi er milli lektar miðað við langtímadæluprófanir, sjávarfalla-mælingar og líkanreikninga. Sprungur eru víða og er reiknað með að lektin í stefnu sprungnanna geti verið að meðaltali allt að þrisvar sinnum meiri en lektin hornrétt á þær.
4. Grunnvatnshæðin á vatnsvinnslusvæðinu er í 1,25 m - 1,30 m hæð yfir meðalsjávarmáli, sem þýðir að ferskvatnslagið er 45-50 m þykkt.

Grunnvatn stendur hæst um háveturinn og úrkomu gætir með örfárra daga seinkun.

Þrátt fyrir mikla sveiflu í grunnvatnshæð innan ársins (sjá myndir 5 og 6) eru breytingar í þykkt vatnslagsins litlar sem engar, þannig að lagið virkar sem miðlun yfir árið.

5. Vatnsgæði á vatnsvinnslusvæðinu eru viðunandi og telst vatnið gott drykkjarvatn. Útfellinga hefur lítillega orðið vart. Ef útfellingar verða vandamál má að öllum líkindum gera vatnsból norðan við Gjána en líkur benda til að vatn á þeim slóðum sé snauðara af magnesíum.
6. Dæluprófanir hafa verið gerðar á öllum vatnsbólum hitaveitunnar. Verulegur munur er á lekt samkvæmt þrepaðæluprófunum og langtímadæluprófunum. Þessi munur stafar af þrýstifalli í og við borholurnar, einkum í sigtismölinni. Niðurstöður langtímadæluprófana benda til þess að lektin á vatnsvinnslusvæðinu sé um 0,05 m/s, sem er mjög mikið.
7. Vatnsgæfni vatnsbóla er mjög mikil, þrátt fyrir að leyfileg lækun í grunnvatnshæð sé mjög lítil vegna þess hvað vatnslagið er þunnt. Straumfræðistöðin hefur gert líkan til útreikninga á vatnsgæfni vatnsbóla. Út frá þessu líkani er talið að virkjuð vatnsból gefi a.m.k. 420 sekúndulíttra. Nokkur óvissa er um hvort hægt sé að dæla samtímis með hámarksafköstum úr öllum vatnsbólum, úr því verður eftirlit samfara vinnsludælingu að skera. Miðað við vatnsþarfaráætlun er talin ástæða til að ætla að virkjuð vatnsból dugi hitaveitunni a.m.k. fram undir aldamót.
8. Líkanreikningar benda til að svæðið þoli vatnsnám á a.m.k. 370 sekúndulítrum og írennsli 270 sekúndulíttra af affallsvatni án hættu á mengun (af völdum uppdráttar jarðsjávar og affallsvatns).
9. Sett er fram tillaga um rekstur vatnsbóla og eftirlit samfara vinnsludælingu til að öryggi vatnsvinnslunnar sé nægilega tryggt.
10. Lagt er til að boraðar verði tvær rannsóknarholur. Annars vegar vestur af Þorbirni til mælinga á grunnvatnshæð og á afdrifum affallsvatns. Hins vegar við HSK-10 til að fá betra mat á lekt svæðisins.
11. Sett er fram hugmynd um að gert verði vatnafræðilíkan af vatnsvinnslusvæðinu til að fá samræmt mat á vatnsbúskap svæðisins.

HEIMILDASKRÁ

Fjarhitun h.f. & Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns 1979: Ferskvatnsöflun, 23 s.

Freyr Þórarinsson, Freysteinn Sigurðsson & Guttormur Sigbjarnarson 1976: Hitaveita Suðurnesja. Ferskvatnsrannsóknir. Áfangaskýrsla fyrir árið 1976. Orkustofnun, OS JKD 7609, 109 s.

Freysteinn Sigurðsson 1977: Hitaveita Suðurnesja. Ferskvatnsrannsóknir. Hita- og seltumælingar 1975-1977. Orkustofnun, OS JKD 7716, 56 s.

Freysteinn Sigurðsson, Sigurður G. Tómasson og Snorri Páll Snorrason 1978: Hitaveita Suðurnesja. Ferskvatnsrannsóknir. Borhola HSK-10, vatnajarðfræði. Orkustofnun, OS JKD 7813, 13 s.

Jón Eypórsson & Hlynur Sigtryggsson 1971: The Climate and Weather of Iceland. The Zoology of Iceland, Copenhagen and Reykjavik 1971, 62 s.

Jón Ingimarsson & Snorri Páll Kjaraan 1978: Svartsengi. Framvinduskýrsla um ferskvatnsathuganir. Orkustofnun, OS ROD 7802, 78 s.

Jón Ingimarsson 1978: Niðurstöður þrepaðalinga í HSK-5, HSK-9, HSK-10 og Gjá á tímabilinu apríl-júní 1978. Orkustofnun, greinargerð.

Jón Jónsson 1978: Jarðfræðikort af Reykjaneskaga (I Skýringar við jarðfræðikort, II Jarðfræðikort). Orkustofnun, OS JHD 7831, 333 s. ásamt kortamöppu.

Karl Ragnars & Sveinbjörn Björnsson 1973: Varmaveita frá Svartsengi. Frumáætlun um varmaveitu til þéttbýlisins á Suðurnesjum. Orkustofnun, OS JHD 7302, 33 s.

Karl Ragnars & Stefán Arnórsson 1974: Svartsengi - rannsókn jarðhitasvæðisins og vinnslutækni. Orkustofnun, OS JHD 7407, 14 s.

Kristján Ágústsson 1978: Dreifing úrkomu og írennslis á Reykjanesi og ákvörðun svarfalls írennslis og grunnvatnshæðar. Verkefni í Straumfræði II við Háskóla Íslands.

Kristján Ágústsson & Freyr Þórarinnsson 1979: Viðnámsmælingar á Reykjanes-  
skaga, vegna ferskvatnsöflunar Hitaveitu Suðurnesja. Orkustofnun,  
OS 79017, 43 s.

Laufey Bryndís Hannesdóttir 1975: Svartsengi, Reykjanes og jarðvatn.  
Handrit í vörslu Orkustofnunar.

Lúðvík S. Georgsson 1979: Svartsengi. Viðnámsmælingar á utanverðum  
Reykjaneskaga. Orkustofnun, OS 79042, 100 s.

Markús Á. Einarsson 1972: Evaporation and Potential Evapotranspiration  
in Iceland. Reykjavík, Veðurstofa Íslands, 24 s.

Orkustofnun, Vatnamælingar 1977, 78 og 79: Rennslisskýrslur fyrir vatns-  
hæðarmæla 209, 210, 211, 212 og 214.

Snorri P. Kjaran 1976: Theoretical and Numerical Models of Groundwater  
Reservoir Mechanism. Institute of Hydrodynamics and Hydraulic  
Engineering. Technical University of Denmark, Lyngby 1976, 196 s.

Snorri P. Kjaran, Jónas Elíasson & Gísli K. Halldórsson 1980: Svartsengi.  
Athugun á vinnslu jarðhita. Orkustofnun, OS 80021, 98 s.

Stefán Sigurmundsson 1973: Dæluprófun í kaldavatnsholu Stapafell,  
Reykjanesi. Orkustofnun, greinargerð.

Terzaghi, K. & Peck, R.B. 1967: Soil Mechanics in Engineering Practice.  
John Wiley & Sons, Inc., New York, 729 s.

Trausti Hauksson, 1980: Svartsengi. Efnasamsetning heits grunnvatns og  
hitaveituvatns. Orkustofnun, OS 80023, 38 s.



VIÐAUKI A

Dæluþrófanir

EFNISYFIRLIT

	Bls.
1 INNGANGUR - MARKMIÐ .....	73
2 PREPADÆLINGAR .....	73
2.1 Markmið .....	73
2.2 Framkvæmd þrepaðælinga .....	73
2.3 Fræðilegur grundvöllur þrepaðælinga .....	74
3 LANGTÍMADÆLUPRÓFANIR .....	77
3.1 Markmið .....	77
3.2 Framkvæmd langtímadæluþrófana .....	77
3.3 Fræðilegur grundvöllur og úrvinnsla langtímadælu- þrófana .....	77
HEIMILDASKRÁ .....	79

MYNDASKRÁ

1 Þrepaðæling .....	73
2 Lagstreymistap - Iðustreymistap .....	74
3 Besta parabólan - Besta línan.....	75
4 Aðferð Jacobs .....	76
5 Grunnvatnsrennsli í fljótandi vatnslagi á sjó .....	78

## 1 INNGANGUR - MARKMIÐ

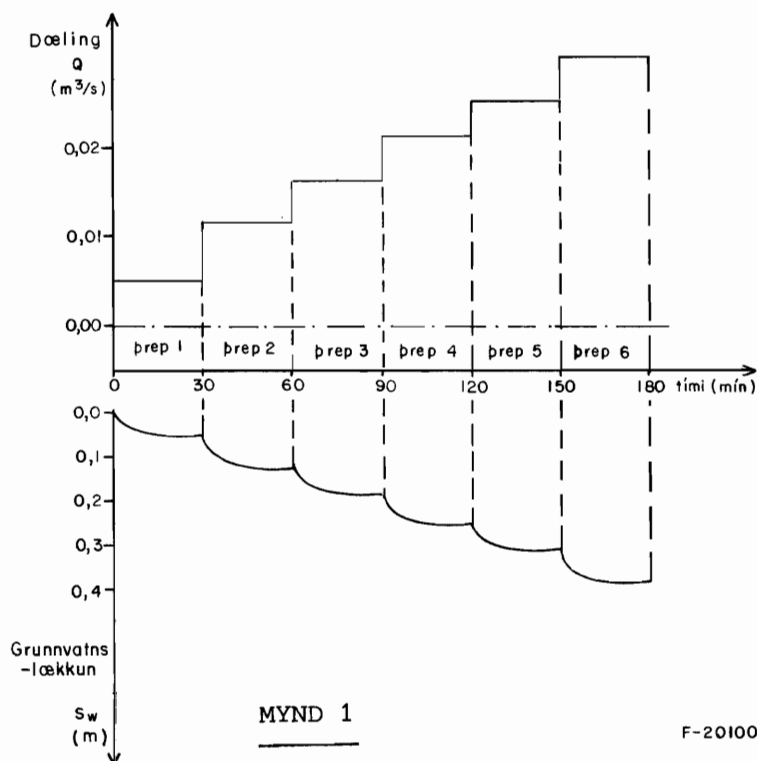
Markmið með dæluprófunum er að ákvarða (tölulega) straumfræðilega eiginleika grunnvatnsgeymisins og einstakra borhola.

Dæluprófunum má skipta í fernt, þrepaðæluprófanir, langtímadæluprófanir, jöfnun og ýmsar óbeinar aðferðir. Hér á eftir verður lýst stuttlega fræðilegum grundvelli tveggja fyrst tölðu dæluprófunaraðferðanna, sem og aðferðum við framkvæmd þeirra.

## 2 ÞREPADÆLINGAR

2.1 Markmið þrepaðæluprófana er að meta leiðni ("transmissivity") bergsins í næsta nágrenni holanna og iðustreymistapið í holunni. Á grundvelli niðurstaðna þrepaðæluprófana er stærð og staðsetning dælu ákveðin.

2.2 Framkvæmd þrepaðælinga. Dælt er vatni í þrepum úr eða í holuna. Rennsli úr (eða í) holunni er mælt ásamt hæð grunnvatnsborðs í holunni. Hvert þrep varir í ákveðinn tíma t.d. 15-60 mínútur. Dælingin er jöfn innan þrepsins, sjá mynd 1.



MYND 1

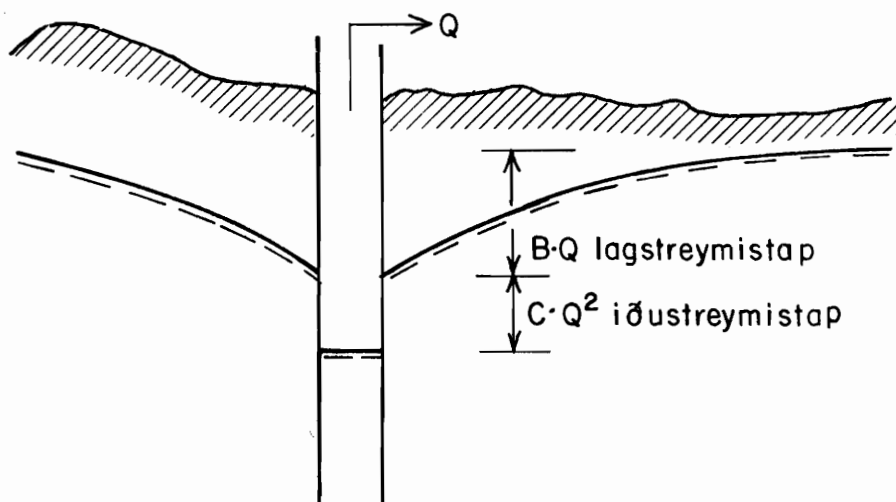
Þrepaðæling

F-20100

2.3 Fræðilegur grundvöllur og úrvinnsla þrepadælinga. Lækkun grunnvatnsborðs í dæluholu má skrifa með jöfnu:

$$s_{W_i} = B \cdot Q_i + C \cdot Q_i^n \quad (1)$$

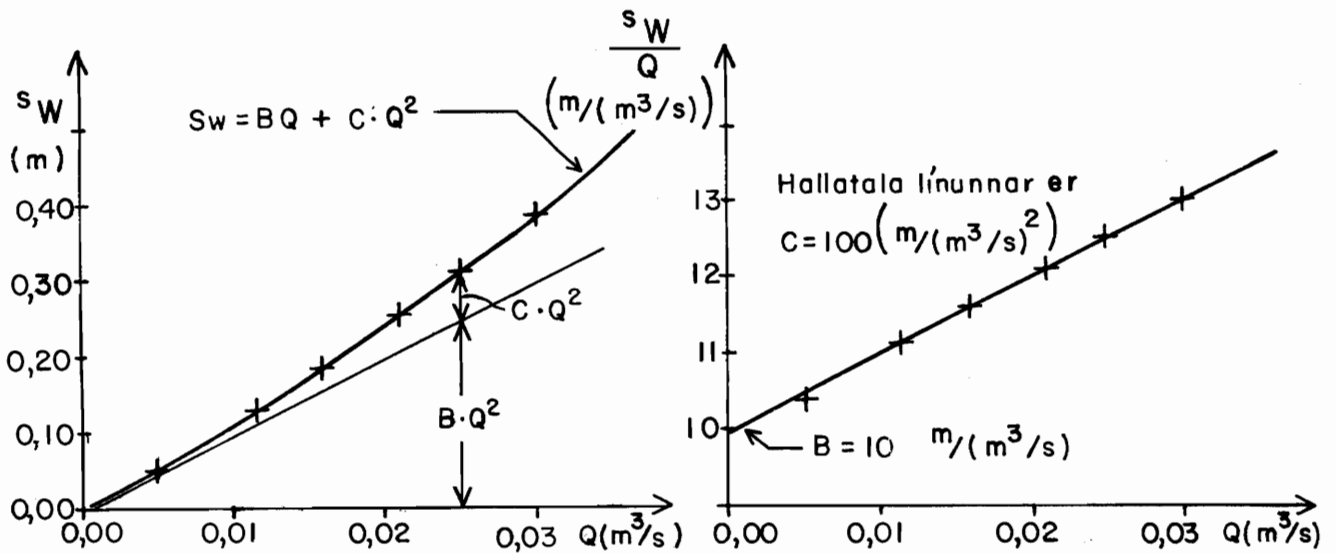
þar sem:  $s_{W_i}$  er lækkun grunnvatnsborðsins í metrum í lok  $i$ -ta þreps  
 $Q$  er rennslið í  $m^3/s$  í  $i$ -ta þrepi  
 $B \cdot Q$  er lagstreymistapið, sjá mynd 2  
 $C \cdot Q^n$  er iðustreymistapið, sjá mynd 2  
 $n$  er einhver tala í grennd við 2



MYND 2

Lagstreymistap - Iðustreymistap

Stuðullinn  $B$  er fall af tímanum  $t$  frá upphafi dælingar og er auk þess háður geymslustuðli  $S$  ("storage coefficient"), lekt  $k$  ("permeability"), þykkt grunnvatnsgeymisins  $m$  og holuradíá  $r_w$ . Stuðullinn  $C$  er háður dælunni, gerð sigtISRörsins, sigtismöl og nánasta umhverfi holunnar. Stuðlarnir  $B$ ,  $C$  og  $n$  eru fundnir með aðferð minnstu kvaðrata ("regression") út frá mælingum á  $s_w$  og  $Q$  í einstökum þrepum, sjá mynd 3.



F-20102

MYND 3

Besta parabólan - Besta línan

Margs konar reiknilíkön eru notuð til að ákvarða lektina  $k$  út frá stuðlinum  $B$ , háð gerð grunnvatnsgeymisins. Algengast er að nota Theislíkanið (sjá Theis 1935):

$$S = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot k \cdot m} \cdot W(u) \quad (2)$$

þar sem:

$$W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-x}}{x} dx \approx (-0,557 - \ln u + \frac{u}{1 \cdot 1!} - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \dots) \quad (3)$$

$$u = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot k \cdot m \cdot t} \quad (4)$$

$r$  er fjarlægð frá dæluholu á staðinn, þar sem grunnvatnshæðin er mæld

$m$  er þykkt grunnvatnsgeymisins

$t$  er tíminn sem liðinn er frá upphafi dælingarinnar

$$\text{Fyrir } u < 0,05 \text{ gildir } W(u) \approx \ln \left( \frac{0,562}{u} \right) \quad (5)$$

Gert er ráð fyrir að lækun grunnvatnsborðs við holuvegg sé jöfn lag-

streymistapinu  $B \cdot Q$ , samkvæmt því gildir:

$$B \cdot Q = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot k \cdot m} W(u_w)$$

eða

$$k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot B \cdot m} W(u_w) \quad (6)$$

þar sem:  $u_w = \frac{r_w^2 \cdot S}{4 \cdot k \cdot m \cdot t_p}$

$t_p$  er tíminn sem hvert þrep varir

$r_w$  er radíi holu

Ef  $u_w < 0,05$  (þ.e. tíminn sem þrepið varir er nægilega langur) gildir:

$$k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot B \cdot m} \ln \left( \frac{0,562}{u} \right) \quad (7)$$

Jafna (7) er leyst með ítrekun.

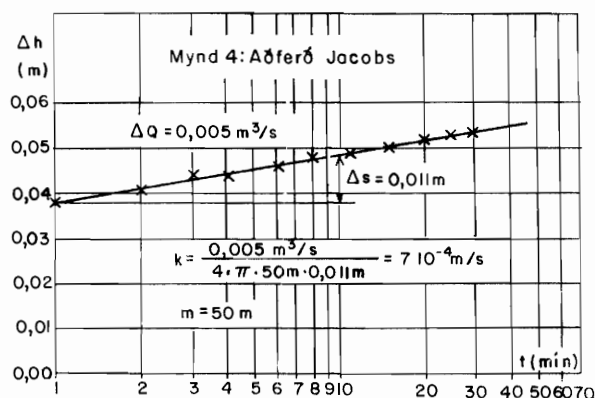
Í jöfnu (1) kemur fram að lækun grunnvatnsborðs í dæluholum er háð lag- og iðustreymistapi. Iðustreymistapið nær endanlegu gildi eftir mjög stuttan tíma, og er því nánast óháð tímanum frá því dælingin hófst. Lektina má því finna með því að teikna  $s_w$  línulega yfir  $\log t$  (aðferð Jacobs), sjá mynd 4. Þá gildir:

$$k = \frac{\Delta Q_i}{4 \cdot \pi \cdot m \cdot \Delta s} \cdot \ln(10) \quad (8)$$

þar sem:  $\Delta s$  er lækun grunnvatnsborðsins yfir tí-földun í tíma (ein dekaða), sjá mynd 4

$\Delta Q_i$  er breytingin í dælingu frá þrepi  $i-1$  til  $i$ .

MYND 4  
Aðferð Jacobs



### 3 LANGTÍMADÆLUPRÓFANIR

3.1 Markmið með langtímadæluþrófunum er að meta lekt og geymslustuðul grunnvatnsgeymisins.

3.2 Framkvæmd langtímadæluþrófana. Við langtímadæluþrófanir er vatnsborðið mælt sem fall af tímanum í a.m.k. einni athugunarholu. Rennslið er einnig mælt. Þrófunin getur tekið frá nokkrum klukkustundum upp í fleiri ár.

3.3 Fræðilegur grundvöllur og úrvinnsla langtímadæluþrófana. Margvísleg reiknilíkön eru notuð til að meta lekt og geymslustuðul út frá mæliniðurstöðum langtímadæluþrófana. Theis líkanið er eitt þeirra, sjá jöfnu (2). Til úrvinnslu langtímadæluþrófana í Svartsengi hefur Straumfræðistöðin gert sérstakt reiknilíkan (sjá Jón Ingimarsson o.fl. 1978) sem tekur mið af þeim vatnafræðilegu aðstæðum, sem ríkja þar. Hér verður það líkan kynnt.

Diffurjafnan fyrir rennsli grunnvatns í fljótandi vatnslagi á sjó er í sívalningshnitakerfi (sjá mynd 5):

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial H^2}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 H^2}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 H^2}{\partial z^2} = - \frac{2 \cdot I \cdot \Delta}{k \cdot (1 + \Delta)} \quad (9)$$

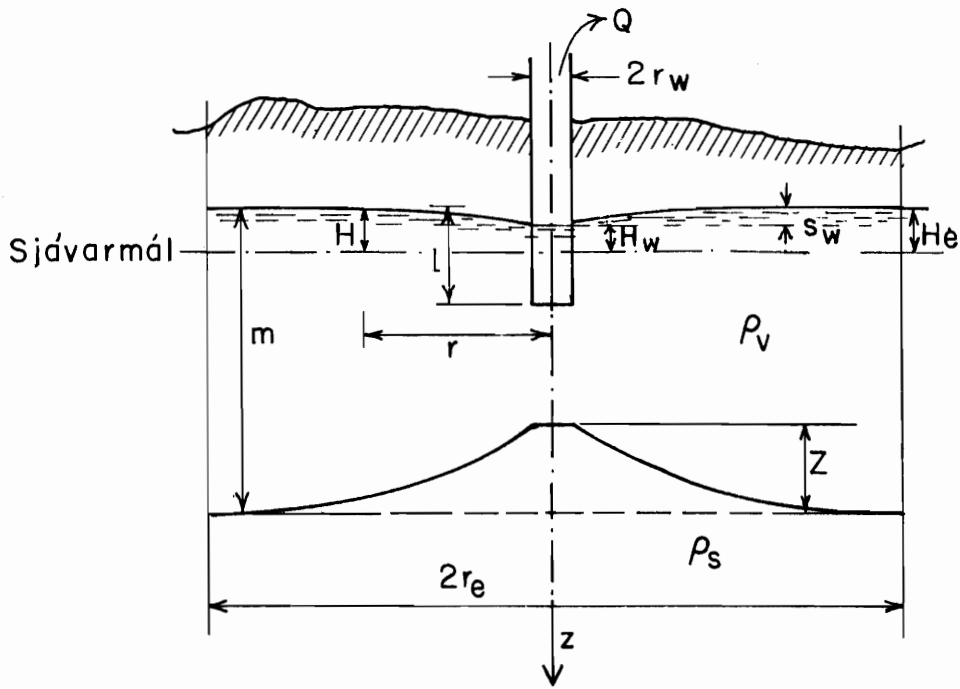
þar sem:  $\Delta = \frac{\rho_s - \rho_v}{\rho_v}$

$\rho_s$  er eðlismassi sjávar

$\rho_v$  er eðlismassi ferskvatnsins

I er írennsli í grunnvatnið

$\theta$  er horn í sívalningshnitakerfinu



F-20104

MYND 5

Grunnvatnsrennsli í fljótandi vatnslagi á sjó

Ef gert er ráð fyrir að straumlínurnar séu láréttar og grunnvatnsgeymirinn sé "ísótróp" og "homogen" gildir:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \cdot \frac{\partial H^2}{\partial r} \right) = - \frac{2 \cdot I \cdot \Delta}{k \cdot (1 + \Delta)} \quad (10)$$

Jafna (10) er leyst fyrir randskilyrðin:

$$\left. \frac{\partial H^2}{\partial r} \right|_{r=r_e} = 0 \quad \text{og} \quad \left. H^2 \right|_{r=r_e} = H_e^2 \quad (11)$$

þar sem:  $r_e$  er radius fyrir það svæði sem dælingin hefur áhrif á.

Lausn á jöfnu (10) miðað við randskilyrðin (11) er:

$$H_e^2 - H^2 = - \frac{I \cdot \Delta \cdot r_e^2}{k \cdot (1 + \Delta)} \left( \frac{1}{2} - \ln\left(\frac{r_e}{r}\right) \right) \quad (12)$$



Samfellujafnan (eða jafnan um varðveislu massans) er:

$$\pi \cdot r_e^2 \cdot I = Q \quad (13)$$

Ef jafna (13) er sett inn í jöfnu (12) fæst:

$$H_e^2 - H^2 = \frac{Q \cdot \Delta}{\pi \cdot k \cdot (1 + \Delta)} \cdot \left\{ \ln\left(\left(\frac{Q}{r^2 \cdot \pi \cdot I}\right)^{1/2}\right) - \frac{1}{2} \right\} \quad (14)$$

eða

$$k = \frac{Q \cdot \Delta}{\pi \cdot (1 + \Delta) \cdot (H_e^2 - H^2)} \cdot \left\{ \ln\left(\left(\frac{Q}{r^2 \cdot \pi \cdot I}\right)^{1/2}\right) - \frac{1}{2} \right\} \quad (15)$$

Jafna (15) er notuð til að meta lekt grunnvatnsgeymisins.

#### HEIMILDASKRÁ

C.V. Theis 1935: The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Trans. Amer. Geophys. Union, Volume 2, 519-524.

Jón Ingimarsson, Jónas Elíasson og Snorri Páll Kjarran 1978: Evaluation of Groundwater Level and Maximum Yield of Wells in a Fresh Water Lens in Svartsengi South-West Iceland. Nordis Hydrological Conference, Helsinki, 1978.



VIÐAUKI B

Vatnsgæfni vatnsbóla

EFNISYFIRLIT

	Bls.
1 INNGANGUR - MARKMIÐ .....	83
2 REIKNILÍKAN .....	83
HEIMILDASKRÁ .....	86

MYNDASKRÁ

1 Vatnsgæfni vatnsbóla - skýringarmynd .....	83
2 Vatnsgæfni vatnsbóla - línurit .....	85

1 INNGANGUR - MARKMIÐ

Markmiðið er að meta gæfni vatnsbóla út frá vatnafarslegum aðstæðum, s.s. írennsli, lekt og gerð vatnsbóla. Aðstæður til vatnsvinnslu úr vatnslagi sem flýtur ofan á jarðsjó eru mjög sérstakar. Þess vegna gerði Straumfræðistöð Orkustofnunar reiknilíkan til að meta vatnsgæfni vatnsbóla við þær kringumstæður.

2 REIKNILÍKAN

Í viðauka A var sett fram diffurjafnan (jafna 9) fyrir rennsli grunnvatns í vatnslagi og hún leyst (jafna 12). Þegar búið er að setja  $H = H_W$  þegar  $r = r_W$  (radíi holunnar), sjá mynd 5 í viðauka A, fæst:

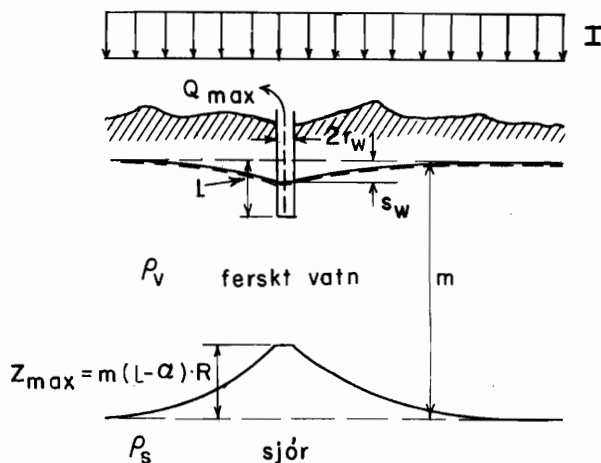
$$H_e^2 - H_W^2 = \frac{Q \cdot \Delta}{\pi \cdot k \cdot (1 + \Delta)} \cdot \left\{ \ln \left( \left( \frac{Q}{r_W^2 \cdot \pi \cdot I} \right)^{1/2} \right) - \frac{1}{2} \right\} \quad (1)$$

Lækkun grunnvatnsborðsins vegna dælingarinnar er:

$$s_W = H_e - H_W \quad (2)$$

Við lækkun grunnvatnsborðsins  $s_W$  hækkar skilflötur ferska vatnsins og jarðsjávarins (sjá mynd 1):

$$Z = \frac{s_W}{\Delta} \quad (3)$$



MYND 1

F-20103

Vatnsgæfni vatnsbóla, skýringarmynd

Bear og Dagan (1966a og 1966b) telja ráðlegt að skilflöturinn hækki ekki meira en um fjórðung af fjarlægðinni frá holubotni niður að skilfletinum ( $m - 1$ ). Dagan (1964) telur að þegar skilflöturinn hefur hækkað undir holunni vegna dælingar um helming af fjarlægðinni frá holubotni og niður að skilfletinum verði hröðun í hreyfingu skilflatarins og holan mengist af sjó. Muskat (1948) telur að hröðun eigi sér stað fyrr. Vegna þessa setjum við inn áhættustuðul  $R$ , sjá mynd 1, nú gildir:

$$Z_{\max} = (m - 1) \cdot R = m (1 - \alpha) \cdot R \quad (4)$$

þar sem:  $\alpha = \frac{1}{m}$  (5)

Miðað við þetta gildir:

$$H_{W_{\min}} = H_e - s_{W_{\max}} = H_e - \Delta Z_{\max} = \frac{\Delta}{(1 + \Delta)} m - m (1 - \alpha) \cdot R \quad (6)$$

Ef við færum (6) inn í (1), fæst:

$$\Delta \cdot m^2 \cdot (1 - \alpha) \cdot (2 - (1 + \Delta) \cdot (1 - \alpha) \cdot R) \cdot R = \frac{Q_{\max}}{\pi \cdot k} \left\{ \ln \left( \left( \frac{Q_{\max}}{r_W^2 \cdot \pi \cdot I} \right)^{1/2} \right) - \frac{1}{2} \right\} \quad (7)$$

Hámarksdæling verður því (án eininga):

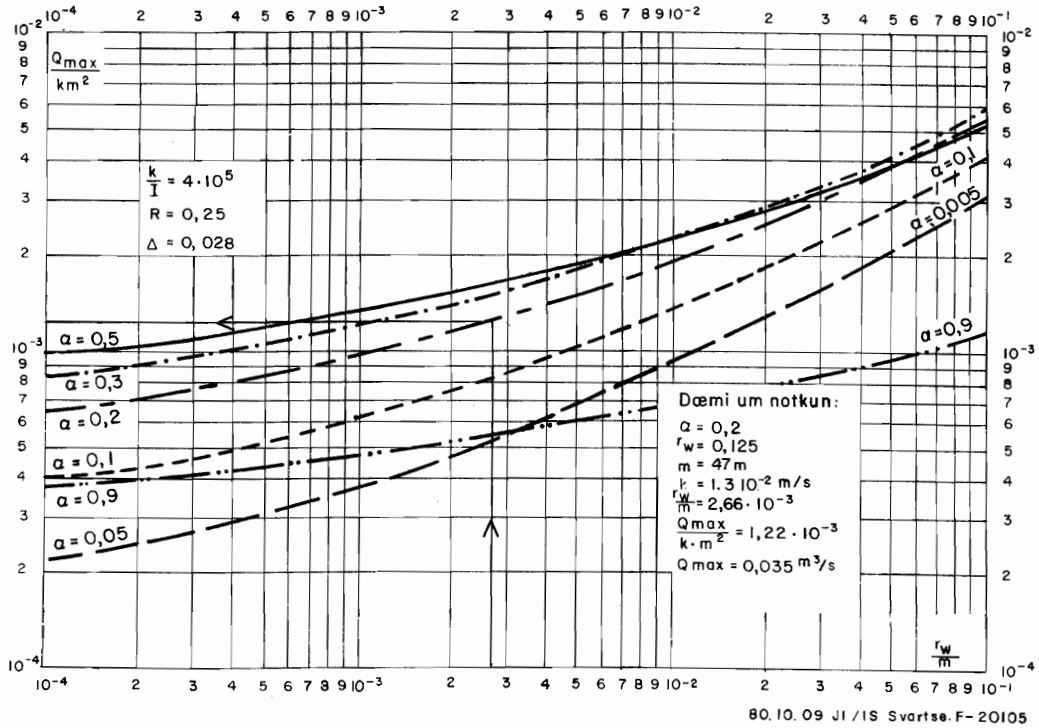
$$\frac{Q_{\max}}{k \cdot m^2} = \frac{\pi \cdot \Delta \cdot (1 - \alpha) \cdot (2 - (1 + \Delta) \cdot (1 - \alpha) \cdot R) \cdot R}{\ln \left\{ \left( \frac{1}{\pi} \cdot \frac{Q_{\max}}{k \cdot m^2} \cdot \frac{k}{I} \right)^{1/2} \cdot \frac{m}{r_W} \right\} - \frac{1}{2}} \quad (8)$$

Kozeny (1933) hefur sýnt fram á að fyrir vatnsból sem ná einungis niður í hluta grunnvatnsgeymisins fæst betri nálgun með því að margfalda jöfnu (8) með leiðréttingarstuðli. Samkvæmt því er vatnsgæfnin  $Q_{\max}$ :

$$\frac{Q_{\max}}{k \cdot m^2} = \frac{\pi \cdot \Delta \cdot (1 - \alpha) \cdot (2 - (1 + \Delta) \cdot (1 - \alpha) \cdot R) \cdot R}{\ln \left\{ \left( \frac{1}{\pi} \cdot \frac{Q_{\max}}{k \cdot m^2} \cdot \frac{k}{I} \right)^{1/2} \cdot \frac{m}{r_W} \right\} - \frac{1}{2}} \cdot \alpha \cdot \left\{ 1 + 7 \cdot \left\{ \frac{r_W}{m} \cdot \frac{1}{2 \cdot \alpha} \right\}^{1/2} \cdot \cos \left( \frac{\pi \cdot \alpha}{2} \right) \right\} \quad (9)$$

Á mynd 2 er jafna (9) teiknuð upp fyrir  $\frac{k}{I} = 4 \cdot 10^5$ ,  $R = 0,25$  og  $\Delta = 0,028$ .

Á myndinni er einnig sýnt hvernig má lesa úr línuritinu. Við teljum ráðlegt að nota  $R = 0,25$  við útreikninga á vatnsgæfni og vísun í því sambandi til Bear og Dagan (1966a og b). Við útreikninga á vatnsgæfni vatnsbóla Hitaveitu Suðurnesja er  $R = 0,25$  notað.



MYND 2

Vatnsgæfni vatnsbóla - línurit

HEIMILDASKRÁ

Bear, J. & Dagan, G. 1966a: Increasing the yield of a costal collector by means of special operation techniques. Progress Report No. 5. Technion - Israel institute of technology.

Bear, J. & Dagan, G. 1966b: The transition zone between fresh and salt waters in coastal aquifers. Progress Report No. 4. Technion - Israel institute of technology.

Dagan, G. 1964: The movement of the interface between two liquids in a porous medium with application to a costal collector.

Kozeny, J. 1933: Wasserkraft u. Wasserwirtschaft, 28, 101.

Muskat, M. 1946: The flow of homogeneous fluids through porous media. J.W. Edwards, Ann Arbor, Mich.