

Árni Hjartarson

**VATNAFARSKORT  
OG  
GRUNNVATNSKORTLAGNING**

Ritgerð til meistaraááðu við Háskóla Íslands

1994

## EFNISYFIRLIT

<i>ÁGRIP</i>	5
<i>Samantekt á efni ritgerðarinnar</i>	5
<i>Helstu niðurstöður</i>	5
<i>ALMENNUR HLUTI. VATNAJARÐFRÆÐI</i>	7
1. <i>ÚR SÖGU VATNAFRÆÐINNAR</i>	7
1.1 <i>Kalt grunnvatn</i>	7
1.2 <i>Jarðhiti</i>	9
1.3 <i>Vatnafræði og vatnajarðfræði</i>	11
1.4 <i>Íslensk vatnafarskort</i>	11
2. <i>VATNAFRÆÐI</i>	13
2.1 <i>Skilgreining fræðigreinarinnar</i>	13
2.2 <i>Vatnafarshringurinn</i>	13
2.3 <i>Jarðvatnið og lagskipting þess</i>	15
2.4 <i>Grop (porosity)</i>	18
3. <i>LEKT OG LEKTARFLOKKAR</i>	20
3.1 <i>Helstu einingar</i>	20
3.2 <i>Pakkaraprófun</i>	22
3.3 <i>Dæluprófanir</i>	22
3.4 <i>Vatnafarslíkön</i>	22
3.5 <i>Lekt í íslenskum jarðlögum</i>	23
4. <i>VEITAR - STEMMAR</i>	28
5. <i>LITIR OG LEKTARFLOKKAR Á VATNAFARSKORTUM</i>	31
5.1 <i>Lektarflokkun á foldinni</i>	32
6. <i>GRUNNVATNSBORÐ</i>	35
7. <i>VATNASVIÐ OG VATNASKIL</i>	37
7.1 <i>Vatnasvið</i>	37
7.2 <i>Yfirborðsvatnaskil</i>	37
7.3 <i>Grunnvatnsskil og grunnvatnsstraumar</i>	37
8. <i>ÁR OG LINDIR</i>	38
8.1 <i>Hvað er lind?</i>	38
8.2 <i>Stærð og rennslissveiflur</i>	39
8.3 <i>Lindahiti</i>	39
8.4 <i>Íslenskar stórlindir og lindár</i>	40
8.5 <i>Jökulár</i>	42
8.6 <i>Svelgir og skyld fyrirbæri</i>	42
8.7 <i>Afrennslislaus svæði</i>	43
8.8 <i>Rennsli og rennslismælar</i>	43
9. <i>JARÐHITI</i>	43



<i>SÉRSTAKUR HLUTI. - VATNAFAR Á HÁGÖNGUSVÆÐI</i>	45
10. <i>AFMÖRKUN SVÆÐISINS</i>	45
10.1 <i>Örnefni</i>	46
11. <i>ÚRKOMA OG ÚRKOMUKORT</i>	49
12. <i>LÝSING Á VATNAFARI RANNSÓKNARSVÆÐISINS</i>	50
12.1 <i>Kaldakvísl og Sveðja</i>	50
12.2 <i>Búfuverskvísl</i>	52
12.3 <i>Eyvindarkvíslar</i>	53
12.4 <i>Hreysiskvísl</i>	54
12.5 <i>Lindasvæði við Þjórsá norðan Hreysiskvíslar</i>	55
12.6 <i>Volgrur vestan Þjórsár</i>	56
12.7 <i>Háhitasvæðið í Köldukvíslarbotnum</i>	56
13. <i>GRUNNVATNSBORÐ</i>	61
14. <i>VATNASKIL</i>	61
14.1 <i>Yfirborðsvatnaskil</i>	61
15. <i>GRUNNVATNSHITI</i>	61
16. <i>LEKTARGREINING</i>	65
16.1 <i>Laus jarðlög</i>	65
16.2 <i>Berggrunnur</i>	65
17. <i>HÖGGUN</i>	67
18. <i>EFNAINNIHALD VATNS</i>	69
18.1 <i>Uppruni uppleystra efna í vatni</i>	69
18.2 <i>Efnainnihald og hiti</i>	73
18.3 <i>Styrkur klórs</i>	78
18.4 <i>Útskolað natríum</i>	80
18.5 <i>Útskolað magnesíum</i>	80
18.6 <i>Dreifing kolsýru</i>	83
18.7 <i>Súlfat</i>	83
18.8 <i>Hlutfall kalíums og natríums</i>	86
18.9 <i>Samsætumælingar</i>	88
19. <i>HELSTU NIÐURSTÖÐUR</i>	92
19.1 <i>Niðurstöður um þróun aðferða við vatnafarslega kortlagningu.</i>	92
19.2 <i>Niðurstöður um vatnafar á Hágöngusvæði</i>	92
20. <i>ÞAKKIR</i>	95
<i>HEIMILDIR</i>	96
<i>VIÐAUKI - SKÝRINGAR VIÐ VATNAFARSKORT</i>	100

## ÁGRIP

### *Samantekt á efni ritgerðarinnar*

Þessi ritgerð fjallar um vatnajarðfræði, kortlagningu vatnafars og vatnafarskort. Í upphafi er farið fáeinum orðum um sögu fræðigreinarinnar bæði hérlandis og á alþjóðavettvangi svo og um þróun vatnafarskorta. Síðan eru nokkur grundvallatriði tekin til umfjöllunar og skilgreiningar settar fram á helstu hugtökum og fyrirbrigðum fræðanna svo sem gropi, lekt, leiðni, veitum, stemmum, lindum o.fl. Íslensk gögn um þessi mál eru skoðuð og rætt um hvernig vatnafarslegum upplýsingum verði sem best fyrir komið á kortum.

Seinni hluti ritgerðarinnar fjallar um kortlagningu ákveðins landssvæðis þar sem gerð er grein fyrir vinnubrögðum sem beitt er og vandamálum sem við er að kljást á foldinni. Svæðið sem um ræðir er sá hluti Sprengisands og Vonarskarðs sem er á kortblaðinu Syðri-Háganga, 1914 II, í kvarða 1:50.000 frá Landmælingum Íslands. Byrjað er á umræðu um örnefni. Þótt þau flokkist ekki undir fræðasvið vatnajarðfræðinnar eru þau sameiginlegur ábyrgðarhluti allra kortagerðarmanna. Næst er veðurfarinu gerð örlítill skil, einkum úrkomuþættinum, en augljóst er að vatnafar ræðst mjög af honum. Þá er vatnafari svæðisins lýst, rætt um helstu vatnasvið, rennsli og rennslismælingar í ám og lindum. Samanburður á rennslismælingum og úrkomugögnum bendir til að vatn tapist með grunnvatnsstraumum út af vatnasviði Köldukvíslar. Farið er nokkrum orðum um grunnvatnsborð, vatnaskil og hitastig lindavatns og grunnvatns. Því næst er kafli um lektargreiningu. Þar kemur jarðfræðin til sögunnar. Helstu jarðmyndunum svæðisins er lýst og farið ofan í saumana á því hvernig þeim er skipt í lektarflokka í samræmi við lekt og lektareiginleika. Þetta er mikilvægt atriði því lekt jarðmyndana hefur afgerandi áhrif á almennt vatnafar og þar að auki ræður lektin miklu um útlit vatnafarskorta því að litir þeirra ráðast af henni.

Gerð var sérstök athugun á efnafræði grunnvatns og yfirborðsvatns á svæðinu. Einnig voru efnafræðigögn af aðliggjandi svæðum tekin til meðhöndlunar. Reynt var að finna út hvernig slík gögn gætu komið að notum í vatnafarslegri kortlagningu bæði til að finna uppruna og rennslisleiðir grunnvatns og til að aðgreina grunnvatnsstrauma.

Með ritgerðinni fylgir vatnafarskort sem segja má að sé kjarni verksins.

### *Helstu niðurstöður*

Vatnafarsleg kortlagning á Íslandi á sér um tveggja áratuga langa sögu. Helstu staðlar og tákni hafa þróast út frá alþjóðlegum kortum og kortlagningaraðferðum. Helsta fyrirmyndin var Alþjóðlegt vatnafarskort af Evrópu (International Hydrogeological Map of Europe 1: 1.500.000) en Íslandshluti þess kom út 1980. Staðlarnir hafa tekið all miklum

breytingum í áranna rás. Lektarflokkar eru mun fleiri og einnig hafa mörg ný kortatákn verið innleidd sem helgast af sérstöðu Íslands, einkum hvað varðar jarðhita og jökulvötn, eld og ísa. Þessari þróun er þó langt því frá lokið. Tiltölulega lítil reynsla er t.d. enn komin á kortlagningu jarðhitans eftir þessum stöðlum.

Ljóst er að lektarflokkunin er allmikið vandamál. Lektarflokkarnir eru e.t.v. fullmargir, þekking á lekt og lektareiginleikum jarðmyndana skammt komin og gögn um lekt á hinum ýmsu svæðum landsins bæði strjál og sundurleit.

Efnagreiningar á yfirborðsvatni og þó einkum á grunnvatni sýna að af þeim má hafa góð not við kortlagningu. Klórstyrkur í grunnvatni gefur góðar vísbendingar um uppruna og meginrennslisleiðir þess. Tvívetni og samsætur súrefnis hafa mikið verið notuð til að rekja þennan uppruna en mælingar á klórinnihaldinu gefa síst verri raun. Önnur efni s.s. Na, CO<sub>2</sub> og SO<sub>4</sub> virðast gefa góðar vísbendingar um áhrif sprungna og sprunguskara á grunnvatnið. Grunnvatn sem streymir um súr jarðlög inniheldur hlutfallslega meira af kalíum og natríum en vatn af basískum svæðum. Þessi hækkun sýnir sig vel í K/Na hlutfallinu. Grunnvatnsstraumur frá súru landssvæði einkennist því af háu K/Na hlutfalli. Á grundvelli efnagreininganna má skilgreina tvo aðal grunnvatnsstrauma á kortlagningar-svæðinu, grunnvatnsstraum sem tengist sprunguskara frá Tungnafellsjökli og grunnvatnsstraum sem gengur til suðvesturs frá Hágöngum.



## ALMENNUR HLUTI. VATNAJARÐFRÆÐI

### 1. ÚR SÖGU VATNAFRÆÐINNAR

#### 1.1 Kalt grunnvatn

Þótt vatnafræðin sé tiltölulega ung fræðigreinin á hún sér rætur aftur í grárri forneskju. Mannskepnan er háð vatninu, eðli þess og hegðun hefur því alltaf verið henni umhugsunarefni. Fyrstu menningarþjóðir sögunnar Mesapótamíumenn, Súmerar og Egyptar grundvölluðu ríki sín á bökkum stórfljóta og áttu allt sitt undir þekkingu á eðli þeirra og duttlungum. Uppsprettulindir, ár og vötn hafa löngum seitt að sér hugi fólks og fátt hefur jafnoft fyllt skáldin innblæstri og andagift. Það er því ekki að undra þótt snemma vaknaði spurningin um hvar þetta vatn væri upprunnið. Í ritum grískra og rómverskra heimsspekinga eru víða tilgátur um uppruna lindavatns og grunnvatns. Þar getur að líta bæði fjarstæðukenndar hugarsmíðar og nútímalegar kenningar. Allt fram á 18. öld var almennt talið að lindavatn gæti ekki verið regn að uppruna. Því var trú að að rigningarvatnið væri ekki nógu mikið til að viðhalda stöðugu rennsli fallvatna og þar að auki að jörðin væri svo þétt að regnvatn næði ekki að síga nema mjög grunnt í hana. Hinir eldri heimsspekingar Grikkja, svo sem Pales og Platón gerðu ráð fyrir að lindavatn væri ætíð úr sjó sem flæddi um göng djúpt í jörðu, inn undir fjöllin, hreinsaðist þar og stigi upp í vellandi lindum. Aristóteles áleit að loft kæmist inn í dimma og svala hella, þéttist þar í sagga og vatn og streymdi þaðan að uppsprettulindum. Rómverski arkitektinn Vitruvius setti fyrstur manna fram ákveðna hugmynd um að grunnvatnið væri regn og snær að uppruna. Hann hélt því fram að fjöllin fengju á sig mun meiri úrkomu en láglendið, vatn sigi í jörðina, rynni langar leiðir neðanjarðar og kæmi fram í lindum við rætur þeirra. Þessu var þó almennt hafnað þar til á 17. eða 18. öld.

Norrænar þjóðir höfðu sínar hugmyndir um eðli grunnvatnsins. Í Prologus Snorra Eddu er þess getið að norrænum mönnum heiðnum var ýmis náttúra jarðarinnar hagleikin. "Þat var eitt eðli, at jörðin var grafin í háum fjallatindum ok spratt þar vata upp ok þurfti þar eigi lengra at grafa til vatns en í djúpum dölum; svá er ok dýr ok fuglar at jamlangt er til blóðs í höfði ok fótum". Af þessu og ýmsu öðru drógu fornmennt þá ályktun "... at jörðin væri kvik ok hefði líf með nökkrum hætti, ok vissu þeir at hon var furðuliga gömul at aldartali ok máttug í eðli; hon fæddi oll kvikvendi ok hon eignaðist allt þat er dó; fyrir þá sök gáfu þeir henni nafn ok töldu ætt sína til hennar".

Allar miðaldir voru hugmyndir manna mjög á reiki um uppruna grunnvatns og linda en hin almennt viðtekna skoðun var þó sú forngríska kenning að um einhverskonar hringrás væri að ræða frá sjó, um jörð, upp í lindir á yfirborði og í sjó á ný. Á 17. öld færðist mjög í aukana að menn beittu mælingum við allar náttúrurannsóknir. Fransmaðurinn Pierre Perrault (1608-1680) framkvæmdi um árabíl mælingar á úrkomu og árrennsli á ofanverðu vatnasvæði Signu. Árið 1674 birti hann þær niðurstöður sínar, að það vatn sem

félli á vatnasviðið væri sex sinnum meira en það vatn sem rynni af því með ánni. Þar með vísaði hann á bug þeirri gömlu grísku kenningu, að úrkoman dygði ekki til viðhalds vatnsföllum. Enski stjörnufræðingurinn og náttúruvísindamaðurinn Edmund Halley birti 1693 niðurstöður rannsókna sinna á uppgufun. Þar sýndi hann meðal annars fram á að uppgufun vatns úr sjó væri næg til að fæða af sér allt straumvatn, ofan jarðar sem neðan.

Á 19. öld var lagður grunnur að nútímajarðfræði og þar með vatnafræði, hreyfingum grunnvatnsins og eðli. Fer nú að fjölga mjög þeim nöfnum sem koma við sögu vatnafræðinnar. Franskur verkfræðingur og vatnsveitustjóri í Dijon, Henry Darcy (1803-1858) að nafni, rannsakaði streymi gegn um sand og fann sambandið milli þrýstimunar og vökva-streymis í gropnu efni. Þetta samband er kallað Darcys lögmál. Það var sett fram árið 1856 og þykir mörgum sem upp úr því hafi vatnajarðfræðin tekið að marka sér sess sem sjálfstæð fræðigrein.

Í Ferðabók Eggerts Ólafssonar og Bjarna Pálssonar, sem byggir á athugunum frá árunum 1750-1760, getur að líta flokkun á íslensku vatni. Hún er í kaflanum um drykkjarvatn í Borgarfirði (gr. 184).

*"Jökulvatn.* Menn drekka það ekki nema í neyð, enda virðist það ekki, eftir því sem því er lýst, vera hæft til neyslu. Oft höfum við þó séð hesta og aðrar skepnur drekka það.

*Mýravatn.* Þar eð brunnar eru venjulega grafnir í lægðum, svo þeir þorni ekki á sumrum, er megnið af brunnavatni á landinu af þessu tagi. Ofan á það leggst bláleit, þunn skán, en gulur leir sest á botninn. Það er barkandi á bragðið, en veldur aldrei neinum óþægindum.

*Bergvatn,* svo kallast á Íslandi allt ár- og lækjarvatn, sem ekki er komið undan jöklum eða er hvítt af jökulleir. Það er ætíð kalt, tært, heilnæmt og það er algerlega bragðlaust og er notað jafn mikið og brunnavatnið.

*Uppsprettu- og lindavatn* fæst hvervetna við rætur fjalla og hæða. Það er léttara en áður taldar vatnstegundir, og sömu leiðis kaldara og tærara og því mest eftirsótt.

*Kaldavesl,* sem eiginlega þýðir kaldur vökvi, er þó enn kaldara og tærara en uppsprettuvatnið. Það er einnig heilnæmara og meira hressandi en allar aðrar bragðlausar vatnstegundir. Af kaldavesli er oft sérstök æð í lindum og uppsprettum. Það frýs ekki á vetrum og virðist vera öðru vatni kaldara á sumrin, það er almannamál, að í mestu frostum sé það volgt. Sennilega hefur þessi skoðun skapast af því, að það er þá ekki eins kalt og frosna vatnið. ...

*Hveravatn* er notað til drykkjar í Reykholtsdal og víðar, þar sem það fæst lyktarlaust og auðveldara er að ná því en öðru góðu vatni. Þegar hveravatnið hefur kólnað er það kælandi, svalt og bragðgott. Það er einnig notað í te, og er þá soðið fyrst yfir eldi, og finnst þá ekki munur á því og öðru vatni. Víðast hvar er nokkur afkeimur af hveravatni, einkum brennisteinsbragð. Þó er lítið af honum í vatninu en meira í jarðveginum í kring, sem vatnið hitar. Oft er brennisteinslykt af vatninu, þótt það sé bragðlaust. Það er þannig sjaldgæft að fá hveravatn, sem bæði er lyktar- og bragðlaust. Algengt er að drekka hveravatn víðs vegar á landinu, og kenna menn aldrei nokkurs lasleika eða óþæginda af því.

Þessi nálega 250 ára gamla flokkun Eggerts og Bjarna á vatninu hefur staðist tímans tönn furðanlega. Hún er grundvöllurinn að þeirri flokkun sem við höldum enn í dag.



Jónas Hallgrímsson sinnti vatnafræðiathugunum ekki mikið á ferðum sínum um landið. Þó gerði hann hitamælingar í gjánum á Þingvöllum og á lindum hjá Keldum á Rangárvöllum. En í kvæðinu Fjallið Skjaldbreiður, sem hann kallaði ferðavísur frá sumrinu 1841, kemur fram að hann gerði sér glögga grein fyrir miklum grunnvatnsstraumum undir Þingvallahraunum. Hann lýsir vatnafarslegum afleiðingum Skjaldbreiðargossins þannig:

Vötnin öll er áður féllu  
undan hárrí fjalla-þröng,  
skelfast, dimmri hulin hellu,  
hrekjast fram um undirgöng.  
Öll þau hverfa að einu lóni,  
elda þar sem flóði sleit.  
Djúpið mæta mest á Fróni,  
myndast á í breiðri sveit.

Um aldamótin 1900 hafði vatnafræðin haslað sér völl sem sjálfstæð vísindagrein. Fyrst í stað var mest áhersla lögð á yfirborðsvatnafræði, mælingar á vötnum og vatnsföllum og athuganir á eiginleikum þeirra. En rannsóknir á grunnvatni sigldu strax í kjölfarið. Fyrstu raunverulegu vatnamælingarnar héraendis voru gerðar sumarið 1881. Það var norskur jarðfræðingur, Amund Helland, sem stóð að þeim. Hann hafði mikinn áhuga á jöklum og jökulrofi og mældi allar ár sem koma frá Vatnajökli og athugaði aurburð þeirra. Um aldamótin 1900 tóku menn að huga að raforkuframleiðslu og beislun vatnsfalla í því skyni. Samfara því voru gerðar allmargar rennismælingar. Elliðaárnar voru t.d. mældar 1894. Reglulegar vatnamælingar hófust 1919 og voru í umsjá Vegamálastjóra en 1947 tók Raforkumálastjóri við þeim og síðan Orkustofnun. Fyrst í stað voru einungis gerðar stakar rennismælingar en seinna voru settir upp kvarðar og lesið reglulega af þeim milli mælinga. Síritandi vatnshæðarmælar komu til sögunnar um 1950 og nú munu á þriðja hundrað síritandi mæla vera í ám, vötnum og borholum um allt land (Sigurjón Rist 1990).

Guðmundur Kjartansson (1909-1972) lagði grunninn að flokkun íslenskra vatnsfalla með grein sinni, Vatnsfallstegundir; í Náttúrufræðingnum 1945. Flokkun ána í jökulár, dragár og lindár hefur reynst bæði eðlileg og nytsöm. Þetta er þó séríslensk flokkun og á vart við annars staðar.

## 1.2 Jarðhiti

Hugmyndir Íslendinga til forna um uppruna og eðli jarðhitans má rekja til skoðana grískra heimsspekinga á orsökum eldgosa. Talið var að brennisteinsbruni í iðrum jarðar samfara vindgangi ylli upphitun bergs og vatns, eldgosum og hveravirkni. Þessari skýringu er haldið fram í Konungsskuggsjá sem talin er rituð í Noregi um 1250.

Í íslenskum ritum finnst nánast ekkert um jarðhita fyrr en með Íslandslýsingu þeirri sem nú er kennd við Odd biskup Einarsson, Qualiscunque Descriptio Islandiae, frá seinni hluta 16. aldar og þar lifa grísku hugmyndimar enn góðu lífi.

Upphaf jarðborana á Íslandi var þegar vísindafélagið danska sendi þeim Eggerti og Bjarna jarðnafar. Þeir félagar nefndu nafarinn Rata og Eggert orti um hann Rata-ljóð, 12 erinda drápu. Nafnið er fengið úr Snorraeddu en Óðinn boraði gat á Hvítbjörg með born-

um Rata. Í 6. erindi Rata-ljóða er verkfærinu lýst svo:

Níutíu og nokkurra feta  
nafarinn stóri sagður er,  
í þrjátíu liðum ljónar geta  
legginn skrífað, eins sem ber,  
sundur, stundum saman með  
silast hjólum verkfærið;  
þrjá við stólpa styðst hann Rati  
stendur vindan efst í gati.

Þann 12. ágúst 1755 hófust þeir handa við borun hjá hvernum í Laugarnesi í Reykjavík. Þarna boruðu þeir 14 feta djúpa holu en þá var fyrir þeim grágrýti sem nafarinn vann ekki á. Sumarið eftir fluttu þeir verkfærið til Krýsuvíkur og boruðu tvær holur, aðra 32 feta djúpa. Hin holan var 9 feta djúp, en þá fór að gjósa.

Við boranimar urðu þeir Eggert þess varir að hitinn fór ekki jafnt vaxandi með dýpi, heldur voru ákveðin lög heitust en kaldara beggja vegna. Af þessu drógu þeir þá ályktun að hveravatn og jarðhiti ættu ekki rót sína að rekja djúpt í iður jarðar, heldur stöfuðu þau af hita frá efnabreytingum grunnt í jarðskorpunni, á nokkurra feta eða faðma dýpi. Þeir töldu að hitinn á hverasvæðunum stafaði af gerjun í hveraleirnum. Kenningar Platós og hinna eldri heimsspekinga Grikkja um flutning sjávarsagga um göng í jörðinni virðast hafa haft áhrif á þá því þeir reyna að skýra efnainnihald og seltu jarðhitavatsins í Krýsuvík með þeim. Reyndar verður að viðurkenna, að kenningar Forngríkkja eru ekki svo fjarri lagi á jarðhitasvæðum Reykjanesskagans þegar á allt er litið.

Sveinn Pálsson skipti íslenskum vatnsföllum í tvo flokka, bergvötn og jökulvötn eins og alþýða landsins hafði þá þegar gert um aldir. Í Jöklařitinu lýsir hann eiginleikum hvors flokks fyrir sig. Varðandi jarðhita var hann hallur undir kenningar um upphitun vatns grunnt í jörðu. Þegar hann skoðaði Geysi 1797 setti hann fram nánari útlæggingu á þeim. Kallaði hann jarðlögin sem hituðu vatnið varmalögin (*stratum calorificium*).

Þegar kom fram á 19. öld voru flestir vísindamenn komnir á þá skoðun að eldvirkni ætti rætur að rekja djúpt í iður jarðar og að hitinn þar væri eftirstöðvar frá þeim tíma er jörðin varð til sem glóandi eldhnöttur við myndun sólkerfisins. Þá var einnig almennt viðurkennt að kalda grunnvatnið væri regn að uppruna og hluti af vatnafarshringnum. Aftur á móti töldu flestir að hveravatn væri ættað úr kvikunni í jarðariðrum að stórum hluta til. Sú skoðun var ríkjandi langt fram á 20. öld. Í ritgerð Trausta Einarssonar, *Über das Wesen der heissen Quellen Islands* (1942), er í fyrsta sinn hérlendis sett fram sú kenning að hveravatnið sé að mestu eða öllu leyti úrkomuvatn að uppruna, sem sigið hafi djúpt í jörðu og hitnað vegna hins almenna jarðhitastiguls. Síðari tíma rannsóknir, einkum samsetumælingar, hafa sýnt að kenningar Trausta um úrkomuna eiga víðast hvar við. Samsetumælingar á íslensku vatni hófust strax um 1950 og niðurstöður þeirra þóttu sanna að nánast allt ferskvatn, kalt sem heitt, væri úrkoma að uppruna (Gunnar Böðvarsson 1962, Bragi Árnason 1976). Hugmynd Trausta um upphitun vatnsins er umdeildari. Sveinbjörn Björnsson (1980) færði rök fyrir því að a.m.k. sum lághitasvæði séu svokölluð hræringarkerfi sem fá orku frá grunnstæðum varmagjafa. Orkureikningar Gunnars Böðvarssonar (1982, 1983) bentu til hins sama að kenningar Trausta stæðust ekki alstaðar. Nú hallast menn að því að ekki sé hægt að gera eitt líkan sem lýsi aðstæðum á öllum jarðhitasvæð-



um landsins heldur verði að hugsa sér nokkur mismunandi líkön og samspil milli þeirra (Stefán Arnórsson og Sigurður R. Gíslason 1990, Stefán Arnórsson 1993).

### 1.3 Vatnafræði og vatnajarðfræði

Eitt af því sem mönnum hætti löngum til að telja óþrjótandi hversu sem af væri ausið var vatnsforði jarðarinnar. Það var ekki fyrr en um 1950 að enn sannaðist fyrir mönnum hið fornkveðna að allt eyðist sem af er tekið, jafnvel vatnið. Þá stóðu þeir líka frammi fyrir augljósum afleiðingum langvarandi rányrkju, grunnvatnsborð var víða komið niður úr öllu valdi og yfirborðsvatn og grunnvatn mengað og spillt. Viðbrögð manna voru með ýmsum hætti en alstaðar óx áhugi fyrir vatnafræðum og skilningur á nytsemi þeirra dýpkaði til muna. Þetta leiddi til örrar þróunar alþjóðlegs samstarfs. Á 13. þingi UNESCO var samþykkt að efna til alþjóðlegs vatnafræðiáratugs sem standa skyldi frá 1965 til 1975. Tilgangurinn var að efla fjölþjóðlega samvinnu í vatnafræðirannsóknum og þjálfun sérfræðinga og tækniliðs í vísindalegri vatnafræði. Þannig skyldi gera sem flestum þjóðum kleift að meta vatnsauð sinn og nýta hann skynsamlega í samræmi við sí- auknar þarfir vegna fólksfjölgunar og þróunar í iðnaði, landbúnaði og fiskvinnslu. Um 1960 höfðu verið gerð vatnafarskort í stórum mælikvarða af afmörkuðum svæðum hér og hvar um heim en þau voru ósamræmd og gerólík innbyrðis. Commission for Hydrological Maps var stofnað 1959 og eins og nafnið bendir til skyldi það fyrst og fremst fást við samræmingu og þróun vatnafarskorta. Árið eftir var hafinn undirbúningur að Hinu alþjóðlega vatnafarskortinu Evrópu (International Hydrogeological Map of Europe 1:1.500.000) í samstarfi við IAH og UNESCO. Þetta kort var fyrsta vatnafarskortinu sem ráðist var í að gera af stórum lendum. Það kostaði vitaskuld geysi mikla undirbúningsvinnu og tilraunir að ná fram kortatáknum og vinnuaðferð sem tryggði samfellda túlkun á hinum ýmsu og oft gagnólíku svæðum álfunnar. Þessi kortlagning er nú á lokastigi. Fyrsta kortblaðið kom út árið 1970 en alls eiga að koma út 30 kort. Hverju kortblaði fylgir bæklingur til að fylla upp í þá mynd sem hinn smái kvarði kortsins fær dregið fram.

### 1.4 Íslensk vatnafarskort

Fyrsta íslenska vatnafarskortinu er kort Guttorms Sigbjarnarsonar af Þórisvatnssvæði frá 1972. Vegna lögunar kortlagningarsvæðisins hefur kortið almennt verið kallað Saltfiskurinn. Það er hvorki í stöðluðum kvarða né með stöðluðum táknum en ber þó svipmót evrópukortanna enda hafði Orkustofnun þá nýverið gefið út Alþjóðaskýringar við jarðvatns- kort í þýðingu Kristins Einarssonar (Orkustofnun 1971). Á Saltfisknum eru sýnd vatna- skil bæði á yfirborði og í grunnvatni, lindir, svelgir, grunnvatnshæðarlínur, rennsli í ám og stærðir vatnasviða. Ýmsir fleiri vatnafræðilegir þættir eru koma fram en þessi upptalning ætti að nægja til sönnunar því að um raunverulegt vatnafarskort er að ræða. Jarð- myndunum er hins vegar ekki skipt upp í lektarflokka eins og gert er á seinni tíma vatnaf- arskortum. Í skýrslu með kortinu eru vangaveltur um lektarflokkun jarðmyndana en fyrsta magnlæga lektarflokkun á stórum svæðum hérlendis birtist í riti Freysteins Sig- urðssonar (1976), Straumsvíkursvæði.

Næsta kort var bein afurð hins fjölþjóðlega samstarfs sem rætt var um hér að framan, Alþjóðlegt vatnafarskort af Íslandi og Færeyjum í kvarða 1:1.500.000 (Árni Hjartarson o.fl. 1980). Á þessu korti er í fyrsta sinn reynt að skipa íslenskum jarðmyndunum í lektar-



flokka og draga fram vatnafræðileg einkenni landsins á samræmdan hátt. Kortið er í full smáum skala til að hafa beint hagnýtt gildi en það markar þó ákveðið skref fræðilega séð.

Næsta skref í vatnafarslegri kortlagningu hérlendis kom í kjölfar samnings milli Orkustofnunar og Landsvirkjunar um alhliða jarðfræðilega kortlagningu á virkjanasvæðinu við efri hluta Þjórsár. Samningurinn fól í sér gerð þrennskonar korta, berggrunnskorta, jarðgrunnskorta og vatnafarskorta, í mælikvarða 1:50.000. Fyrsta vatnafarskortið kom út 1986 (Árni Hjartarson 1986). Síðan hafa komið út fjögur vatnafarskort til viðbótar af þessu svæði.

Árið 1990 gerði Orkustofnun samning við nokkur sveitarfélög á höfuðborgarsvæðinu um svipaða kortlagningu og unnin hafði verið fyrir Landsvirkjun. Mælikvarðinn var þó stærri, eða 1:25.000. Fyrsta vatnafarskortið í þeirri syrpu kom út 1992 (Árni Hjartarson o.fl. 1992) Samhliða þessum verkefnum hafa vinnubrögð og verklag við vatnafarskortlagningu þróast og staðlaðar merkingar fyrir íslensk vatnafarskort litið dagsins ljós (Árni Hjartarson og Freysteinn Sigurðsson 1984). Í þeim köflum sem hér fara á eftir eru helstu vandamál kortlagningar af þessu tagi reifuð og greint frá þeim úrlausnum sem beitt hefur verið við kortavinnuna.

## 2. VATNAFRÆÐI

Áður en hafist verður handa við að lýsa almennum vandamálum og úrlausnum við gerð vatnafarskorta er nauðsynlegt að fara nokkrum orðum um grundvallaratriði vatnafræðanna. Hér á eftir verða því helstu hugtök þeirra skýrð og skilgreind í stuttu máli.

### 2.1 Skilgreining fræðigreinarinnar

*Vatnafræði (hydrology)* má skilgreina sem þau vísindi sem fjalla um ferska vatnið á jarðarkúlunni, ástand þess og hringrás, eðlis- og efnafræðilega eiginleika, áhrif þess á umhverfið og áhrif umhverfisins á það.

Vatnafræðin er nátengd ýmsum greinum náttúruvísinda og teygir sig langt inn á svið veðurfræði, jöklafræði og jarðfræði. Kjarni hennar felst í þekkingu á afrennsli vatnsins af þurrlandi ofanjarðar og neðan og tengsl þessa rennslis við veðurfar og jarðfræði. Vatnafræðinni má skipta niður í undirgreinar, *yfirborðsvatnafræði (surface hydrology)*, *jarðvatnsfræði (geohydrology)* og *vatnajarðfræði (hydrogeology)*.

*Yfirborðsvatnafræði* vélar um mælingar á fallvötnum, stöðuvötnum og afrennslisháttum og eiginleikum yfirborðsvatns almennt. *Jarðvatnsfræði* beinist að rannsóknum á jarðvatni, bæði heitu og köldu, einkum eðlis- og efnafræðilegum eiginleikum þess. *Vatnajarðfræði* er all hliðstæð jarðvatnsfræðinni en þar er megináherslan þó lögð á jarðfræðina og hún skoðuð með tilliti til hegðunar vatnsins. Vatnajarðfræði er millistig milli vatnafræði og jarðfræði. Allir þeir síbreytilegu þættir sem framangreindar greinar spanna eru einu nafni nefndir vatnafar.

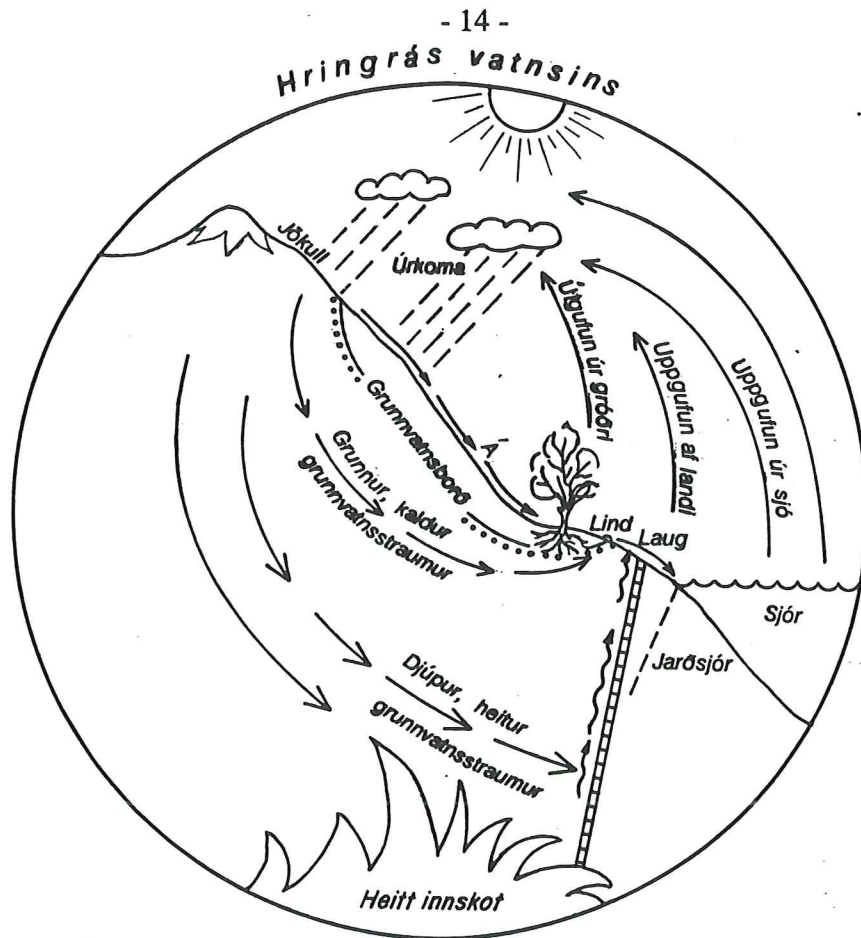
*Vatnafar (hydrological conditions)* er orð sem liggur við að ekki þurfi að skýra. Hér í ritgerðinni er það notað oft en tölu verður á komið. Vatnafar er hugtak sem notað er um almenna eiginleika og hegðun ferskvatns bæði ofanjarðar og neðan og gagnkvæmt samstil þess við umhverfið. Orðið gefur til kynna síbreytilegt ástand og er hliðstætt orðinu veðurfar. Í ensku er ekkert eitt orð til yfir hugtakið en hydrological conditions er oft notað.

### 2.2 Vatnafarshringurinn

Vatnið fyrirfinnst í ótal myndum á jörðinni allt frá innsta kjarna hennar að útmörkum gufuhvolfsins. Í jarðariðrum er það uppleyst í berginu, í jarðskorpunni streymir það um sem grunnvatn eða er bundið í setlögum og kristöllum bergs. Á yfirborði er það í formi sjávar, stöðuvatna, fallvatna og íss. Lífverurnar eru öðru fremur byggðar úr vatni og í lofthjúpunum leikur það mikilvægt hlutverk.

Að frátöldu vatninu í iðrum jarðar og því sem bundið er í seti og kristöllum er vatnið á eilífri hringrás úr einum staðnum í annan og einu forminu í annað. Þetta er *vatnafarshringurinn (The Hydrologic Cycle)*. Vatnsmagnið í vatnafarshringnum hefur verið áætlað um  $1,5 \times 10^9$  km<sup>3</sup> sem skiptist eins og tafla 1 sýnir.

Það er athyglisvert hversu raki gufuhvolfsins er lítil að magni til. Á móti því kemur að flutningur vatnsins um þennan hluta vatnafarshringins er mjög hraður. Nánast allt það vatn sem um þurrlandið fer, hvort heldur í fallvötnum, grunnvatnsstraumum eða jöklum, hefur borist frá hafi í gufuformi.



Mynd 1. Vatnafarshringurinn.

Afdrif þeirrar úrkomu sem á land fellur verður með fernum hætti. Einn hlutinn gufar beint upp aftur. Annar hlutinn rennur af á yfirborði í ár og læki og berst í faðm hafsins á skömmum tíma og lokar hringnum fljótt og vel, á fáeinum dögum, vikum eða mánuðum. Þriðji hlutinn sígur í jörðu og niður í grunnvatnið. Gróður jarðar drekkur þó eitthvað af þessu vatni í sig þegar í stað og það hverfur fljótt til andrúmsloftsins á ný með útgufun frá plöntunum. Fjórði hlutinn fellur á jökla og getur setið þar inni frosinn í óratíma.

TAFLA 1: Vatnsbirgðir jarðar.

	Flatarmál 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>	Rúmmál 10 <sup>6</sup> km <sup>3</sup>	Rúmmál %	Dvalar- tími
Sjór	361	1370	94%	~4000ár
Jarðvatn	130	60	4%	~10ár
Ís	18	30	2%	10-1000 ár
Ár og vötn	1,6	1,4	0,05%	~10ár
Loftraki	504	0,01	0,001%	~10dagar

(Heimild: Freeze og Cherry 1979)

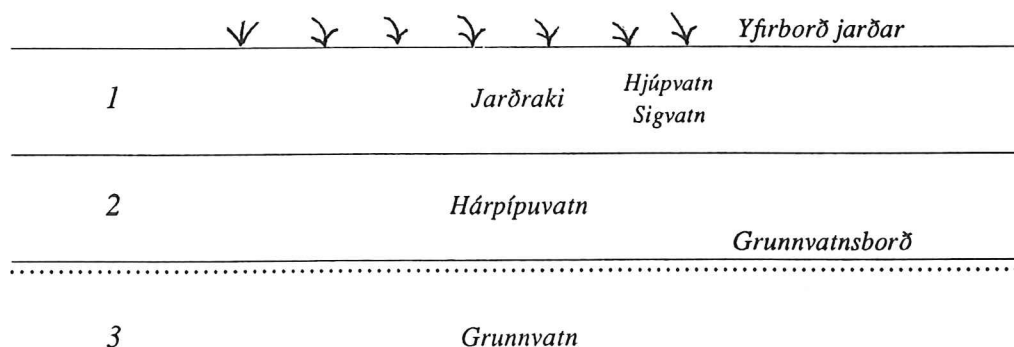
Grunnvatnið sígur hægum straumi undan halla og þrýstingi, einkum undan halla grunnvatnsborðs, og kemur til yfirborðsins í uppsprettum, þar sem svo hagar til að grunnvatnsflötur sker yfirborðið. Síðan getur það horfið í jörðu á ný eða runnið rակleitt til sjávar. Hluti þess kemur upp í neðansjávarlindum eða fjörlindum. Grunnvatnið getur tafist svo öldum eða árpúsundum skiptir neðanjarðar. Aldur þess fer að mestu eftir því hversu



djúpt í jörðu það kemst og hversu þétt jarðlögin sem það seytlar um eru. Vatn sem streymir um laus yfirborðslög er sjaldan nema nokkurra daga eða vikna gamalt er það kemur fram á ný í lindum sem hafa bæði sveiflukennt hitastig og vatnsmagn. Kalda-vermsl hafa bæði stöðugt hitastig og tiltölulega jafnt rennsli. Vatnið í þeim hefur að jafnaði runnið neðanjarðar svo mánuðum skiptir. Heitt vatn er venjulega jafnframt gamalt. Það hefur komist djúpt í jörðu og tekið í sig hitann sem þar ríkir. Elsta jarðhitavatn á Íslandi hefur verið talið meira en 10 þúsund ára (Bragi Árnason 1976). Jöklar geta valdið mikilli seinkun á hringferð vatnsins eins og gefur að skilja. Í Grænlandsjökli er ís sem er yfir 200.000 ára og á Suðurskautslandinu er talið að finna megi allt að 400.000 ára gamlan ís.

### 2.3 Jarðvatnið og lagskipting þess

Í íslenskum jarð- og vatnafræðiskrifum hafa orðin jarðvatn og grunnvatn verið notuð jöfnum höndum um allt vatn neðan grunnvatnsborðs. Vatn í jörðu ofan grunnvatnsborðs hefur verið kallað jarðraki. Hér verða þessi orð skilgreind nánar og jafnframt gerð grein fyrir lagskiptingu jarðvatnsins.



Mynd 2: Lagskipting jarðvatnsins.

Jarðvatn (*subterranean water*) er hér notað sem samheiti um vatn undir jarðaryfirborði, hvort heldur sem það er undir eða yfir grunnvatnsfleti. Jarðvatninu má skipta í þrjá aðal-flokka eða lög eftir ástandi þess á hverjum stað. Mörkin milli þessara laga eru ekki skörp. Gleggstu skilin eru þó við grunnvatnsflötinn. Þar er þrýstingur vatnsins jafn loftþrýstingi, undir honum er hann hærri en yfir honum er vatnsþrýstingurinn lægri loftþrýstingi.

1. *Jarðvegsraki og jarðvegsrakabelti (soil moisture, soil moisture zone)*. Jarðvegsrakabeltið er efsta lag jarðvatnsins. Yfirborð þess fylgir yfirborði jarðar. Þykkt þess er mis-jöfn, sums staðar vantar það alveg til dæmis þar sem grunnvatnsflötur er við yfirborð. Holrými milli korna er að hluta fyllt vatni og að hluta lofti. Vatni í jarðvegi má skipta í tvo flokka:

a) *Hjúpvatn (pellicular water)*

b) *Sigvatn (gravitational water, percolating water)*

Hjúpvatnið er að mestu bundið í jarðlögin með sameindakröftum og liggur sem örþunn himna utan á kornum jarðvegsins. Sigvatnið er laust vatn sem hripar niður í gegn um jarðveginn áleiðis til grunnvatnsins.

2. *Hárpípuvatn og hárpípubelti (capillary water, capillary fringe)*. Hér er um að ræða þunnt lag yfir grunnvatnsfleti þar sem jarðlögin eru mettuð vatni sem dregist hefur sökum hárpípukrafta upp fyrir grunnvatnsborð. Þykkt þessa lags er eingöngu háð kornastærð eða gropi jarðlaganna. Í sandi er það nokkurra cm þykkt en í leir getur það náð nokkrum metrum.

3. *Grunnvatn og grunnvatnsbelti (groundwater, groundwater zone)*. Grunnvatnið tekur við neðan grunnvatnsborðs. Þar er allt holrými bergsins vatnsfyllt. Þrýstingurinn er hærri en loftþrýstingur. Þegar um er að ræða frjálstan grunnvatnsflöt er vatnsþrýstingurinn á hverjum stað í samræmi við dýpið undir grunnvatnsborði. Stundum valda þétt jarðlög því að þrýstingurinn er mun meiri, eða mun minna, en dýpið segir til um. Þegar þrýstingurinn er meiri en samsvarar dýpinu er talað um *þrýstivatn (artesian water)*. Sú hæð sem vatnið getur þrýst sér upp í, t.d. í borholu, nefnist *þrýstivatnshæð (pizometric surface)*. Stundum er þrýstivatnsborðið hærra en jarðaryfirborð og gýs þá borholan og lindir koma upp í ólgandi bullaugum. Á sama hátt og þétt jarðlög geta orsakað þrýstivatn geta þau einnig valdið undirþrýstingi þannig að fleira en eitt grunnvatnsborð er til staðar. Í borun við slíkar aðstæður getur grunnvatnsborðið í borholu lækkað snögglega þegar komið er niður í gegn um þéttu lögin.

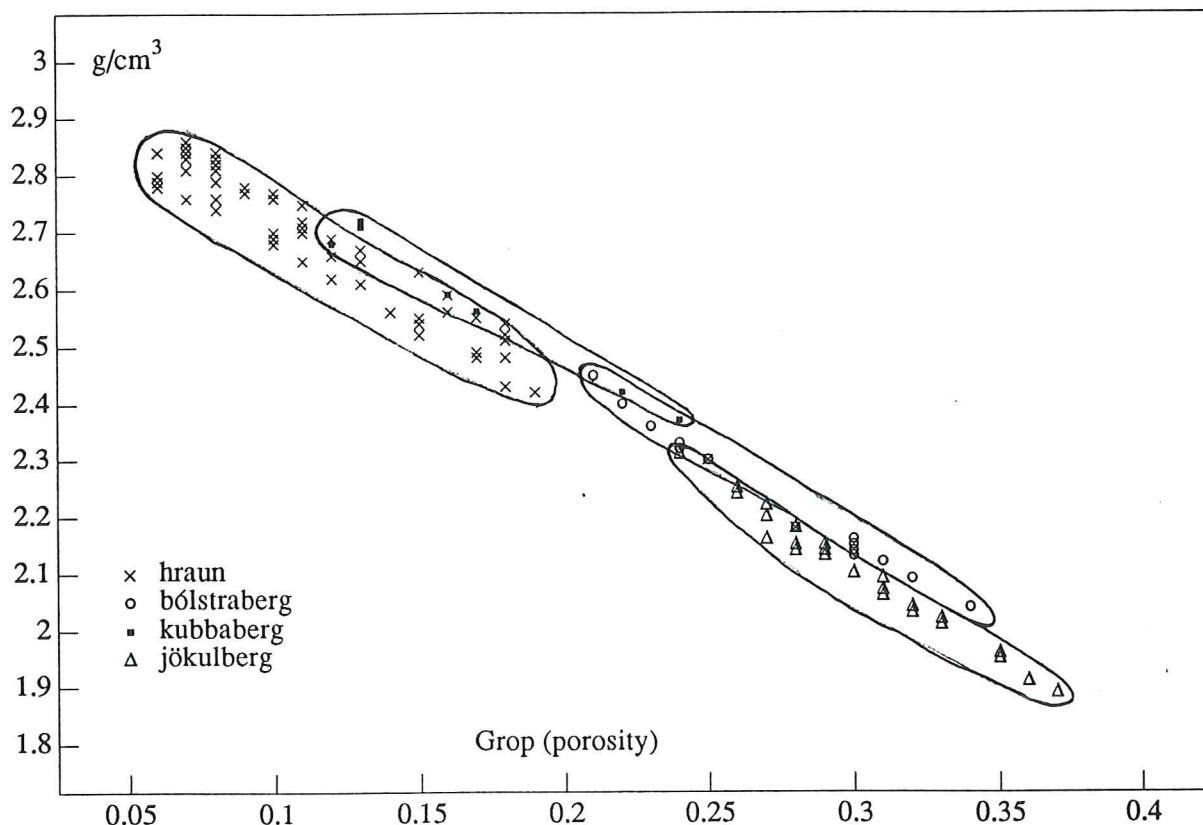
Þykkt grunnvatnslagsins á Íslandi er óþekkt en það mun markast að neðan af þéttum, óvatnsgengum jarðlögum þar sem bergþungi og hiti hafa lokað öllu holrými í jarðlögum.

TAFLA 2: Grop íslenskra jarðlaga.

Jarðlag	Grop %
Möl	30 - 40
Grófsandur	30 - 40
Fínsandur	30 - 35
Méla	40 - 50
Leir	45 - 55
Jökulruðningur	30 - 50
Þelaurð	20 - 40
Berghlaupsurð	20 - 40
Hraun, þétt, blöðrulaust	5 - 15
Hraun, blöðrótt	15 - 25
Hraunkargi	25 - 50
Grágrýti	10 - 20
Blágrýti	10 - 20
Bólstraberg	5 - 35
Kubbaberg	10 - 25
Móbergstúff	20 - 40
Sandsteinn	20
Leirsteinn	10
Jökulberg	25 - 35

Heimildir:

Árni Hjartarson o.fl. 1983,  
Freysteinn Sigurðsson og Jón Ingimarsson 1990,  
Svanur Pálsson 1972.



Mynd 3. Sambandið milli eðlisþyngdar og grops mismunandi bergtegunda í mældum sýnum af Tungnársvæði. (Gert eftir gögnum Svans Pálssonar 1972. Miðað er við eðlisþyngd þurra bergsýna og heildargrops).

#### 2.4 Grop (porosity)

Holrými það sem myndast milli korna og kristalla í jarðlögum, blöðrur í bergi, sprungur, glufur og gaphús, nefnist grop bergsins. (Orðið groppa hefur verið notað í sömu merkingu). Gropið er mælt sem hlutfall holrýmisins af heildarrúmmálinu og er ýmist gefið upp í prósentum eða sem hluti af heild.

$$n = V_h / V_o$$

n = grop

$V_h$  = rúmmál holrýmis

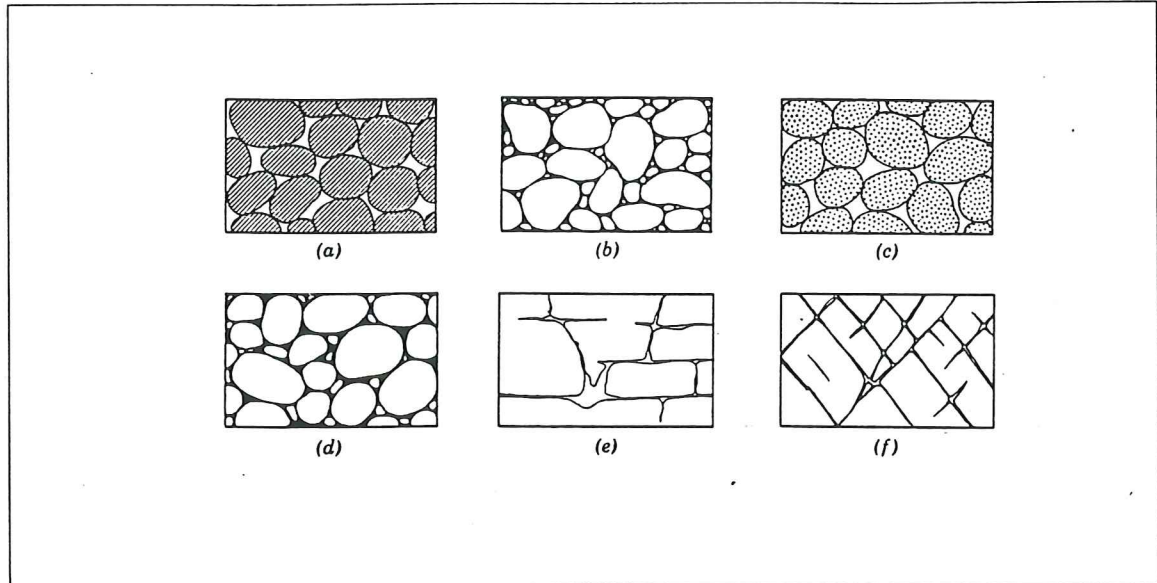
$V_o$  = heildarrúmmál

Grop bergs og lausra jarðlaga á yfirborði jarðar getur hlaupið á bilinu frá 0,01 og upp í meira en 0,5 (1-50%). Hærra grop en 0,4 er þó sjaldgæft. Í lausum jarðlögum fylgir gropið mest kornastærðinni og kornastærðardreifingunni, en í bergi er það millisteindarýmið, blöðrur og glufur sem ráða gropinu.

Gerður er greinarmunur á heildargropi (total porosity) og virku gropi (effective porosity). Virka gropið er það holrúm efnisins þar sem vatn getur streymt um við náttúrulegar aðstæður. Talsverður hluti grunnvatnsins er bundinn í efninu með sameinda- og hárpípukröftum, t.d. í þröngum glufum, og fær ekki streymt burt. Grop er mjög hátt í leir, 0,5 eða meir. Virkt grop í honum getur hins vegar verið hverfandi lítið. Þrátt fyrir mikið vatnsinnihald er mjög litlu vatni hægt að ná úr leirnum. Grop í blöðróttu basalti er oft umtalsvert,



0,1-0,2, en blöðrumar geta verið ósamtengdar og hvergi vatnsleiðandi glufur nema milli stuðla. Ekkert beint samband þarf því að vera milli grops og lektar bergsins en þess mis-  
skilnings hefur víða gætt.



Mynd 4. Ýmsar gerðir grops. (A) Vel flokkað set með miklu gropi. (B) Illa flokkað set með litlu gropi. (C) Líkist flokki A en er gert úr kornum sem sjálf eru gropin svo heildargropið er hátt. (D) Einnig líkt flokki A en gropið hefur rírnað vegna útfellinga í glufum efnisins. (E) Berg með gisinni steindabyggingu (ferskt ólívínbasalt). (F) Berg sem sprungur hafa gert gropið (Meinzer 1923).

Virkt grop er hins vegar mælikvarði á miðlunarhæfni bergs og hversu miklu er hægt að ná af vatni úr því. Þessir eiginleikar eru nefndir *geymd* (storage) bergsins, en hún er ásamt með lekt og gropi einn af mikilvægustu vatnafarsþáttum jarðlaga. Grop ýmissa íslenskra jarðefna er gefin upp í töflu 2. Tölurnar þar eru ýmist byggðar á beinum mælingum eða mati. Beinu mælingarnar eru sumar gerðar á íslenskum sýnum en aðrar eru erlendar. Svanur Pálsson (1972) hefur gert allmiklar mælingar á gropi íslenskra bergtegunda. Mynd 3 er byggð á athugunum hans. Þar er sýnt sambandið á milli grops og eðlisþyngdar. Því meiri sem eðlisþyngdin er því minna er gropið. Hinar mismunandi tegundir bergs hópa sig furðu vel saman. Basalthraunin eru þyngst og minnst gropin enda munu sýnin hafa verið tekin úr þéttasta kjarna þeirra. Jökulbergið er léttast og gropnast. Mælingar á lausum jarðefnum hafa lítið verið stundaðar en gera má ráð fyrir að mól og sandur á Íslandi hafi svipað grop og mól og sandur erlendis. Grop bergs er ekki sýnt með beinum hætti á vatnafarskortum.

## 1. LEKT OG LEKTARFLOKKAR

### 1.1 Helstu einingar

Lektarflokkun jarðlaga er einn mikilvægasti þátturinn í vatnafarslegri kortlagningu. Jafnframt er það sá þáttur sem oft er hvað erfiðast að meta. Innrennsli vatns í jarðlög byggir upp vatnsþrýsting sem síðan veldur grunnvatnsstreymi. Geta jarðmyndunar til að leiða vatn nefnist *lekt* (*permeability*). Lektin er bæði komin undir eiginleikum efnisins, svo sem virku gropi, en ekki síður undir eðli vökvans sem um er að ræða, seigju hans, hitastigi og þrýstingi. Yfirhitað vatn rennur t.d. allt að tífalt greiðar og hraðar um jarðlög en kalt vatn myndi gera. Ef ástand vatnsins er stöðugt og tekur litlum breytingum í hita og efnainnihaldi, eins og gildir um kalt grunnvatn á Íslandi, ráða eiginleikar jarðlagsins nánast einir því hve greiðlega vatnið smýgur um það. Í kaldavatsfræðum er því yfirleitt átt við svokallaða *streymislekt* (*hydraulic conductivity*) þegar talað er um lekt án frekari skilgreiningar. Sú lekt er tjáð með lektarstuðlinum  $K$ . Af skilgreiningunni leiðir að

$$K = \text{vatnsmagn/flatarmál/tími} = >$$
$$K = \text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$$
$$K = \text{m/s}$$

Stundum er talað um *raunlekt* (*intrinsic permeability*). Hún er alfarið komin undir eiginleikum jarðlaganna, þ.e. flatarmáli þess holrýmis sem vökvinn flæðir um. Raunlekt hefur eininguna darcy ( $\text{m}^2$ ). Hún er mikið notuð í jarðhitafræðum og olíujarðfræði en minna í kalda vatninu.

*Vatnsleiðni* (*transmissivity*) jarðlags er mælieining á það vatnsmagn sem farið getur um ákveðið jarðlag á tímaeiningu við ákveðinn þrýsting. Leiðnin er tjáð með leiðnistuðlinum  $T$ . Hann er ekkert annað en lektarstuðullinn  $K$  margfaldaður með þykkt lagsins, þ:

$$T = K \cdot b.$$

$T$  hefur mælieininguna  $\text{m}^2/\text{s}$ .

*Lu* (*Lugeon unit*) er lektareining sem mikið hefur verið notuð við lektarprófanir á borholum hérlandis. Tæknilega séð er þetta hagkvæm eining en fræðilega séð ekki eins góð. Mælingarnar eru oftast framkvæmdar samhliða borun með svokölluðum pakkara og dælu.

$$1 \text{ Lu} = \text{Lugeon unit} = 1 \text{ l/mín. /m}$$

í 76 mm víðri holu  
við þrýstinginn 10 kg/cm<sup>2</sup>

Menn hafa fengist nokkuð við að umreikna Lu-gildi yfir í K-gildi (Stuðull 1989, Bjarni Bjarnason 1983). Frá fræðilegu sjónarmiði er fátt því til fyrirstöðu en í reyndinni er það erfitt. Vandamálið liggur í því að við borun í jarðlög sest borsvarf á holuveggi og þrýstist út í glufur og sprungur bergsins. Þannig á sér stað þétting og lektarmælingar sýna nánast alltaf of lág gildi. Þetta skiptir ekki máli við innbyrðis samanburð á lekt í borholum en þegar á að yfirfæra lektarmælingarnar á öröskuð jarðlög sem teygja sig yfir stór svæði koma vankantarnir í ljós.

*Jafnleitinn og misleitinn lekt.* Lektargildi jarðlaga segja ekki alla söguna um lektareiginleika þeirra. Hún getur verið mismikil í ólíkar stefnur. Í lárétt lagskiptum hraunastafla, t.d. þar sem víðáttumikil hraunlög með þéttan kjarna en lek kargalög með botni og yfirborði liggja hvert á öðru er augljóst að lektin, er mun meiri í lárétta stefnu en lódrétta. Lektin er misleitinn.



Tafla 3: Lektargildi í borholum víða um land

Staður	Jarðlag	Bil m	Lu	Aldur m. ár	Heimild
Fljótsdalsheiði FS-31	Tert.bas.	1-100	15	3	Þórólfur H. Hafstað 1990
Fljótsdalsheiði FS-32	Basalt+set	41-130	1	3	Þórólfur H. Hafstað 1990
Fljótsdalsheiði FS-32	Völuberg	64-125	1	3	Þórólfur H. Hafstað 1990
Fljótsdalsheiði FS-33	Basalt+set	30-122	3	2,5-3	Þórólfur H. Hafstað 1990
Fljótsdalsheiði FS-34	Basalt+set	20-90	2	2	Þórólfur H. Hafstað 1990
Fljótsdalsheiði FS-35	Basalt+ml.	15-110	9	1,5-2	Þórólfur H. Hafstað 1990
Fljótsdalsheiði FS-36	Basalt+ml.	20-100	1	1,5	Þórólfur H. Hafstað 1990
Fljótsdalsheiði FS-38	basalt+ml.	20-90	2	3,5-5	Þórólfur H. Hafstað 1990
Sandafell SF-3	Umm.staffi	20-105	2		Björn Jónasson o.fl 1981
Sandafell SF-17	Umm.staffi	3-39	20		Björn Jónasson o.fl 1981
Sandafell SF-23	Umm.staffi	13-87	4,5		Björn Jónasson o.fl 1981
Sandafell SF-25	Ólivin bas.	30-74	<10		Björn Jónasson o.fl.1983
Sultartangi ST-22	Hraunastaffi	4-39	300		Björn Jónasson o.fl 1981
Kvíslaveita KV-15	Kvartert þól.	6-50	8		Þórólfur H. Hafstað 1981
Kvíslaveita KV-7	Jök.+þól.	9-50	16		Þórólfur H. Hafstað 1981
Kvíslaveita KV-9	Ól.þól+set	8-51	6		Þórólfur H. Hafstað 1981
Kvíslaveita KV-9	Hvanngiljaset	21-51	8		Þórólfur H. Hafstað 1981
Kvíslaveita KV-11	Hraunl.+set	2-50	4		Þórólfur H. Hafstað 1981
Kvíslaveita KV-11	Hvanngiljaset	20-50	6		Þórólfur H. Hafstað 1981
Vatnsfell VK-16	Mób.túff	9-37	4		Björn Jónasson o.fl. 1986
Búðaháls BH-2	Basalt+ml.	4-100	10		Orkustofnun 1980
Búðaháls BH-3	Basalt+ml.	4-66	6		Orkustofnun 1980
Þórisvatn O-2	Mób.breksía	7-63	7		Bjarni Kristinsson o.fl. 1984
Þórisvatn O-3	Bólstrab.sandf.	45-81	37		Bjarni Kristinsson o.fl. 1984
Vatnsfell VF-14	Móberg	3-96	18	0,1	Haukur Tómasson o.fl. 1970
Þórisvatn O-1	Bólstrab.sandf.	11-41	104	0,2	Haukur Tómasson o.fl. 1970
Þórisvatn O-4	Bólstrab.sandf.	10-50	84	0,2	Birgir Jónsson 1970
Búrfell BF-1	Basalt+ml.	0-150	2		Snorri Páll Snorrason 1981
Búrfell BF-18	Basalt+mób.	7-40	2,6		Bjarni Bjarnason 1983
Búrfell BF-19	Basalt+völub.	9-40	5,3		Bjarni Bjarnason 1983
Búrfell BF-20	Basalt	19-50	7,8		Bjarni Bjarnason 1983
Búrfell BF-21	Basalt	10-50	10,7		Bjarni Bjarnason 1983
Blönduvirkjun BV-2	Basalt+set	10-100	12,3	kv.	Ágúst Guðmundsson o.fl. 1979
Blönduvirkjun BV-10	Basalt+set	17-65	7,9	kv.	Ágúst Guðmundsson o.fl. 1979
Blönduvirkjun BV-10	Basalt+set	65-117	1,1	tert.	Ágúst Guðmundsson o.fl. 1979
Blönduvirkjun BV-11	Basalt+jök.	8-52	7,1	kv.	Ágúst Guðmundsson o.fl. 1979
Blönduvirkjun BV-13	Basalt+set	10-110	10,9	tert.	Ágúst Guðmundsson o.fl. 1982
Blönduvirkjun BV-14	Basalt+set	8-108	4,3	tert.	Ágúst Guðmundsson o.fl. 1982
Bárðardalur SS-1	Hraun	4-40	177		Haukur Tómasson 1964
Gljúfurleit GS-10	Mób.+bas.+set	10-110	2,7	1-2	Ágúst Guðmundsson 1986
Álfsnes ÁN-2	Grágrýti	10-74	5	0,2	Stuðull 1989
Álfsnes ÁN-3	Grágrýti	7-64	4	0,2	Stuðull 1989
Álfsnes ÁN-5	Grágrýti	4-40	6	0,2	Stuðull 1989
Reykjavík RK-1	Kubbaberg+set	16-56	3	0,2	Birgir Jónsson 1988
Reykjavík AK-1	Kubbaberg+set	14-45	17	0,2	Birgir Jónsson 1988
Búrfell BH-4	Hraun	5-102	133	0,007	Elsa G Vilmundardóttir 1977

Í móbergsmýndunum, sem oftast hafa óreglulega lagskiptingu, þar sem túff, kubbaberg og móberg fléttast saman í eina bendu, er lektin að vísu mjög misjöfn frá einum stað til annars en í heild og stórt séð má þó segja að hún sé tiltölulega jöfn í allar áttir. Lektin er jafnleit. Það sama gildir í lausum jarðlögum. Þar sem lagskipting er mikil, einkum þegar malarlög og leirlög leggjast til á víxl, er misleitin lekt. Algengara er þó að lekt lausra jarðlaga sé jafnleit.

### 3.2 Pakkaraprófun

Algengasta aðferð til lektarmælinga í borholum er svokölluð pakkaraprófun. Hún er yfirleitt gerð samfara borun holunnar enda þarf helst jarðbor við prófunina. Afmörkuð eru ákveðin lengdarbil í holunni (t.d. 5 m) ofan frá og niður úr og þau prófuð hvert fyrir sig. Pakkaranum er komið fyrir líkt og tappa í holunni og lekt bergsins neðan hans er mæld með því að dæla vatni undir ákveðnum þrýstingi í gegn um hann. Mælt er hversu hratt vatnið sígur út í holuvegginn. Mælingin er endurtekim undir mismunandi þrýstingi og lektin síðan reiknuð út.

Lektarmælingar með pakkara í borholum hófust hér á landi sumarið 1960 við rannsóknarboranir sem tengdust athugunum á virkjun Hvítár við Hestvatn (Haukur Tómasson 1961). Þá var fenginn norskur sérfræðingur til að kenna Íslendingum tæknina á þessum fræðum. Ungur verslunarskólanemi, Haraldur Sigurðsson, sem nú er prófessor í jarðvísindum við háskólann á Rhode Island í Bandaríkjunum, var ráðinn til Jarðborana ríkisins til að nema lektarmælingalistina af Norðmanninum. Þetta var upphafið á jarðfræðaferli hans. Eftir þetta þóttu lektarmælingar ómissandi þáttur í öllum virkjanarannsóknum.

### 3.3 Dæluprófanir

Aðrar aðferðir til að meta lekt og leiðni í jarðlögum eru dæluprófanir. Þessar prófanir eru einkum þrenns konar, þrepaðæling, langtímadæling og tvíþóldæling. Vatni er dælt úr borholu (eða í hana) og um leið fylgst með breytingum á grunnvatnsborði í kring um dæluholuna, oftast í sérstökum mæliholum. Raunar er dæluprófunum mest beitt til að meta vatnsgæfni og afköst borhola og gefa góða raun. Hins vegar gilda að nokkru leyti sömu takmarkanir á þeim og á lektarprófunum þegar niðurstöður þeirra eru yfirfærðar á óröskðuð jarðlög.

### 3.4 Vatnafarslíkön

Eins og fyrr greinir gefa lektarmælingar og dæluprófanir í borholum ekki fullnægjandi upplýsingar um svæðisbundna lekt jarðlaga. Þannig hafa þær komið að takmörkuðu gagni við gerð vatnafarslíkana. Í vatnafarslíkönum eins og þeim sem unnin hafa verið fyrir Landsvirkjun, Vatnsveitu Reykjavíkur og Hitaveitu Suðurnesja, hefur verið reynt að meta lekt og leiðni jarðlaga út frá veðurfars- og rennismæligögnum (Vatnaskil 1988, Vatnaskil 1991). Ákoman á svæðin hefur verið metin út frá úrkomumælingum og snjósmælingum. Yfirborðsafrennsli er fengið með hefðbundnum vatnamælingum. Grunnvatnsrennsli er metið út frá mælingum á lindum og lindarennsli og á áætlunum sem byggja á vatnajarðfræðilegum athugunum. Aðrir þættir eins og uppgufun, lekt og leiðni eru síðan oftast áætluð út frá óbeinum athugunum. Líkönin eru síðan stillt af með margendurtekinni tölvukeyrslu þar til sem mest samræmi hefur náðst milli áætlaðra og mældra stærða. Reynslan af vatnafarslíkönum hefur sennilega fært mönnum í hendur skásta matið á raunverulegri lekt íslenskra jarðmyndana.

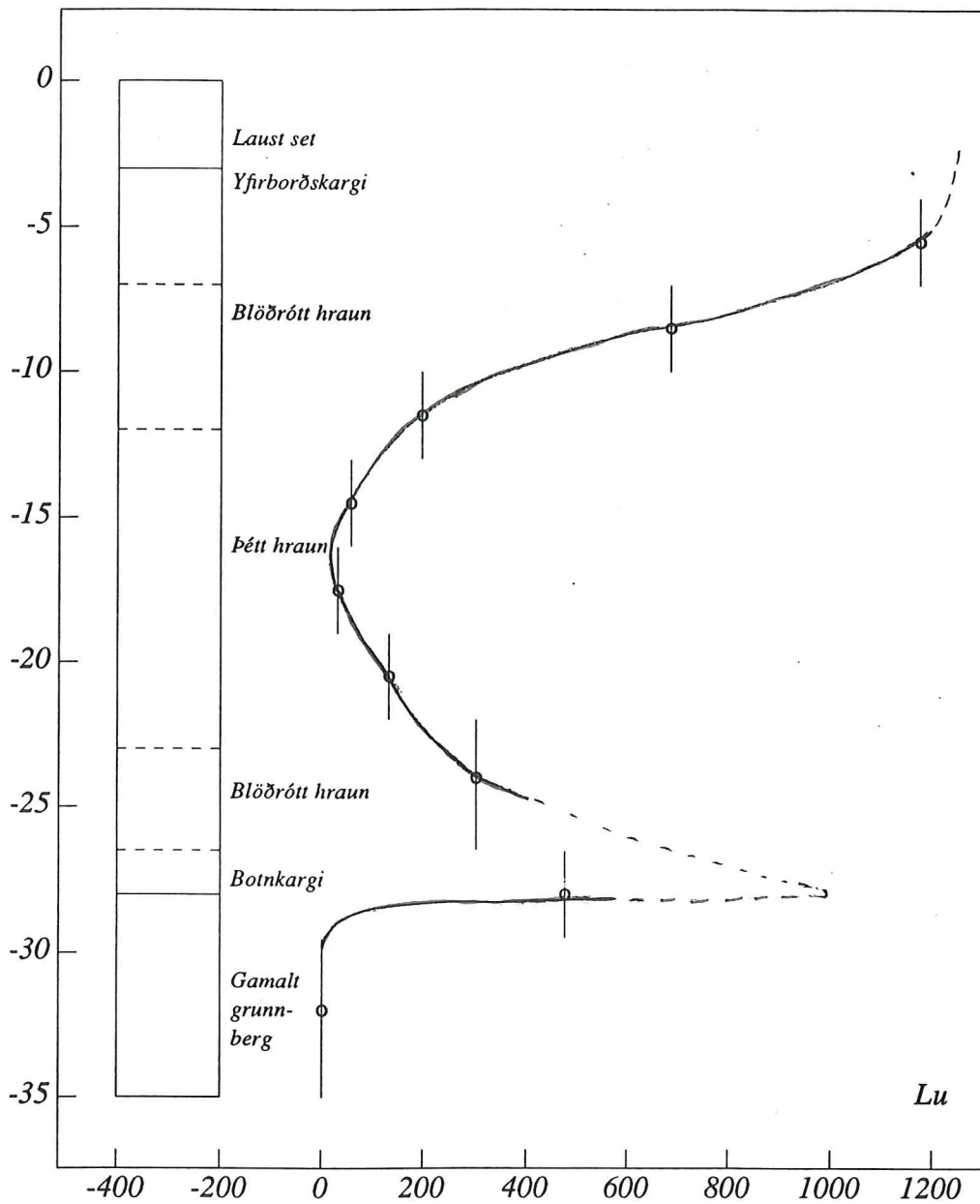


Tafla 4: Lekt og leiðni íslenskra jarðmyndana skv. vatnafarslíkönum (Freysteinn Sigurðsson, óbirt gögn).

Jarðlag	Lekt K m/s	Leiðni T m <sup>2</sup> /s (50 m þykkt)
Hraun og kargi	$10^0 - 10^{-2}$	$5 \cdot 10^1 - 5 \cdot 10^{-1}$
Meðal hraun	$10^{-1} - 10^{-3}$	$5 \cdot 10^0 - 5 \cdot 10^{-2}$
Grágrýti	$10^{-2} - 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-1} - 5 \cdot 10^{-3}$
Bólstraberg	$10^{-2} - 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-1} - 5 \cdot 10^{-3}$
Kubbaberg	$10^{-2} - 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-1} - 5 \cdot 10^{-3}$
Grágrýti og móberg	$10^{-3} - 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-4}$
Móberg	$10^{-3} - 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-5}$
Setberg	$10^{-3} - 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-5}$
Árkvarter staffli	$10^{-4} - 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-5}$
Tertíer staffli	$10^{-5} - 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-6}$
Ummyndað berg	$10^{-5} - 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-7}$

### 0.1 Lekt í íslenskum jarðlögum

Nútímahraun eru lekust allra jarðmyndana. Lektin er langmest í gjallhluta þeirra. Mynd 5 sýnir lekt í Tungnárhrauninu Th-i, Búrfellshrauni, eins og hún mældist í lektarprófun í borholunni ST-5 við Sandafell (Björn Jónasson 1975). Hraunið er um 25 m þykkt á þessum stað. Lektin í efstu 4 m var ekki mæld en þar eru laus yfirborðslög og kargi. Neðar tekur við blöðrótt hraun, ögn leirfyllt. Lektin er mikil efst en minnkar er neðar dregur og nær lágmarki í þéttasta kjarna hraunsins. Þar er mjög lítið um blöðrur. Síðan vex lektin á ný er nálgast hraunbotn og er mikil í botnkarganum. Þar neðan við er komið í gamalt ummyndað berg þar sem lektin er nánast engin. Lektardreifingin í hrauninu er dæmigerð fyrir nútímahraun Þess ber þó að gæta að hraunið er óvenju þykkt. Basalthraun eru oftast á bilinu 5-10 m þykk.



Mynd 5: Lekt í borholunni ST-5 í Búrfellshrauni, Th-i, við Þjórsá. (Gert eftir mynd Björns Jónassonar 1975)."

Lekt hlýskeiðshrauna frá seinni hluta ísaldar er mun minni en í nútímahraunum. Ísaldarjökla hafa víða sorfið burt yfirborðskarga af þeim og leirfylling (méla) veldur oft mikilli þéttingu. Mynd 6 er af borholusniði úr BV-2 við Blöndu (Ágúst Guðmundsson og Birgir Jónsson 1979). Lektin er dæmigerð fyrir það sem gerist í eldri hlutum berggrunnins, þ.e. í tertíera staflanum og bergi frá fyrri hluta ísaldar. Efst í holunni skiptast á basalthraun, sandsteinn og jökulbergslög frá fyrri hluta kvarter. Á 175 m dýpi er mislægi en neðan þess er jarðlagasyrpa frá tertíer. Lektin er nokkuð breytileg í efstu 100 m en er hvergi há. Á um 50 m dýpi sker holan sprungu eða brotabelti í berginu og þar rýkur lektin upp. Neðar tekur við mjög þéttur kafli, sums staðar með nánast enga lekt. Í tertíera staflanum mælist lektin á bilinu 1,5-3 Lu en neðst í holunni er hún þó tífalt hærri.





Tafla 5: Leiðni- og lektargildi frá Reykjavík og Mosfellssveit (Þorsteinn Thorsteinsson 1975).

Jaraðahitakerfi	°C	Þykkt	T (cm <sup>2</sup> /s)	K (cm/s)	k (cm <sup>2</sup> )
Laugarnes	135	33	60	1,8x10 <sup>-2</sup>	4,1x10 <sup>-8</sup>
Elliðaár	100	17	35	2,1x10 <sup>-2</sup>	6,2x10 <sup>-8</sup>
Reykir	85	60	250	3,8x10 <sup>-2</sup>	13,7x10 <sup>-8</sup>

Svo sundurleitar sem íslenskar móbergsmýndanir eru verður lekt þeirra afar misjöfn frá einum stað til annars. Fínt ósprungið og ummyndað móbergstúff er með þéttasta bergi en algengir fylgifiskar þess, kubbaberg og bólstraberg, eru aftur á móti afar lek og ganga næst nútímahraunum að lekt. Jökulberg hefur svipaða lektareiginleika og móbergstúff.

Þéttustu bergmýndanir á Íslandi er líklega hinn holufyllti hluti tertíera staflans. Í töflu 3 sést að lektin þar er 1-3 Lu nema þar sem sprungur auka á hana.

Þorsteinn Thorsteinsson (1975) hefur reiknað út nokkur lektar- og leiðnigildi á vinnslu-  
svæðum Hitaveitu Reykjavíkur (tafla 5). Berglöggin þar eru á tertíerum aldri, um 2,5 milljón ára. Leiðnin T er reiknuð út frá dæluprófunum. Lektin K er fengin með því að deila þykkt veitisins upp í leiðnina T. Lektin er háð eiginleikum bæði veitis og jarðhitavökva-  
ns. Til að bera saman eiginleika jarðlaga á jarðhitasvæðunum er raunlektin k reiknuð út:

$$k = K v/g$$

K = lektarstuðull

v = seigja vatns

g = þyngdarhröðun

#### 4. VEITAR - STEMMAR

Jarðlag eða jarðmyndun sem inniheldur mikið vatn og leiðir það vel nefnist *veitir* (*aquifer*). Orðið *grunnvatnsgeymir* (*groundwater reservoir*) er notað í svipaðri merkingu en er þó oftast samsettur úr mörgum tengdum veitum. Veitir þarf ekki allur að vera vatnsmettaður, hluti hans getur verið ofan grunnvatnsborðs. Veitar hafa yfirleitt allmikla útbreiðslu og oft eru þeir ofan á, undir eða á milli þéttari laga sem skilgreind eru sem illa leiðandi. Hin þétta lög geta verið af ýmsu tagi og þrjú af þeim sjást víða nefnd í fræðunum:

*Stemmir* (*Aquiclude*) er vatnsmettuð en tiltölulega þétt myndun sem leiðir vatn illa. Leirlög eru dæmi um stemmi.

*Aquifuge* er þétt myndun sem hvorki leiðir né inniheldur vatn. Granít er dæmi um slíka jarðmyndun.

*Aquitard* er vatnsmettuð myndun en tregleiðandi en ef hún er nógu stór getur hún verið þýðingarmikill grunnvatnsgeymir sem gefur vatn til aðlægra veita (Todd 1976). Tvö síðastnefndu hugtök hafa ekki fengið viðurkennd íslensk heiti (Freysteinn Sigurðsson hefur þó þýtt *Aquitard* sem *sleitir* (sbr. aðrekkaviðsleitir).

TAFLA 6: Veitar og stemmar í íslenskum jarðlögum.

Veitar	Stemmar
Lek, laus yfirborðslög; sandur, mól, urð	Þétt laus yfirborðslög; jökulurð, hvarfleir
Nútmahraun	
Bólstraberg, kubbaberg	Móbergstúff
Óholufyllt hraunlög	Holufyllt hraunlög
Vel flokkað setberg	Fínkorna eða illa flokkað setberg
Sprungur og sprungusvæði	Gangar og innskot

*Opinn veitir* (*unconfined aquifer*) hefur frjálst grunnvatnsborð sem hækkar og lækkar í samræmi við úrkomu, írennsli, úrdælingu eða aðrar ytri aðstæður

*Lokaður veitir* (*confined aquifer, artesian aquifer*) er jarðmyndun þar sem grunnvatnið er þakið þéttum lögum og er undir hærri þrýstingi en ríkir í andrúmsloftinu.

Veitunum má skipta í tvo flokka (tafla 6). Anars vegar eru veitar í lausum yfirborðslögum og hins vegar eru veitar í berggrunni. Veitar í yfirborðslögum eru mikilvægir þar sem berggrunnurinn er þéttur og illa vatnsgæfur. Stærstu veitarnir í þessum flokki eru jökulár-sandar og áreyrar. Aðrir veitar í flokknum svo sem skriður og framhlaup hafa jafnan fremur litla útbreiðslu. Hagnýt þýðing þeirra er þó mun meiri en stærðin gefur til kynna því víða um land er neysluvatn sótt í slík jarðlög. Malarásar, sem eru mikilvægir veitar víða í Skandinavíu, einkum í Svíþjóð, eru fágætir í byggð hérlendis og hafa nær enga

vatnafarslega þýðingu. Mestu veitar á Íslandi eru nútímahraunin. Þau eru lekust allra jarðlaga sem hafa einhverja verulega útbreiðslu og gleypa oft nánast alla úrkomu sem á þau fellur. Mikil hraunaflæmi eru afrennslislaus á yfirborði en við jaðra þeirra streymir vatnið fram í miklum lindum. Sprungusvæði, einkum sprunguskarar tengdir virkum goskerfum, eru einnig mikilvægir veitar. Þeir tengjast oft veitum í hraunum og mynda saman vatnsgæfustu grunnvatnsgeyma sem finnast á jarðarkringlunni.

Sprungur hafa víða afgerandi áhrif á streymi vatns um berggrunn landsins. Í þeim efnum eru hinir virku sprunguskarar goskerfanna áhrifamestir. Eins og nánar verður vikið að síðar eru flest stærstu lindasvæði landsins tengd slíkum sprungum. Sprunguskarar eru oftast í lekum jarðmyndunum, nútímahraunum og ungu móbergi. Víða brjóta þeir einnig upp miðlungslekan grágrýtisstafla og eldri móbergsmýndanir en sjaldnar þéttara berg. Sprungur tengdar jarðskjálftasvæðum hafa einnig víða mikla vatnafarslega þýðingu, bæði á heitt og kalt vatn. Gamlar sprungur og misgengi hafa hins vegar oftast lítil sem engin áhrif á grunnvatnsstrauma. Þær hafa þést og eru jafn þéttar eða jafnvel þéttari en grannbergið. Á vatnafarskortum er nauðsynlegt að gefa sprungum og sprungusvæðum einkunn eða merkingu sem sýnir hvort þær eru lekar eða þéttar.

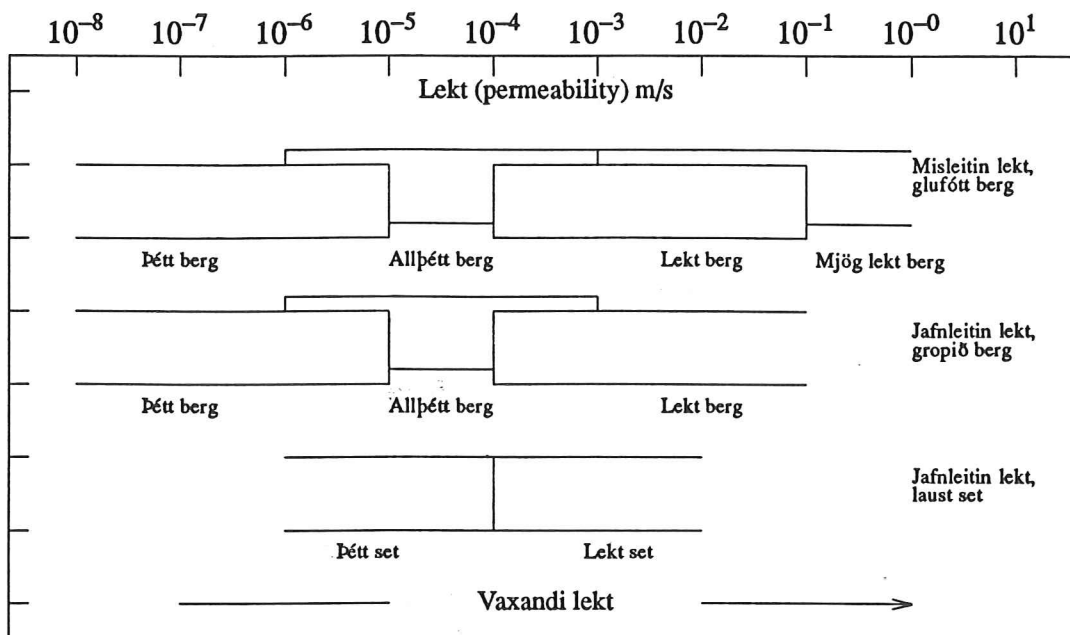
Aðrir mikilvægir veitar í berggrunni eru óholufyllt hraunlög. Einkum eru það grágrýtislög frá síðari hluta kvarter en á stöku stað er eldri hraunlagastafli vatnsríkur og lekur. Þannig hagar til á nokkrum stöðum á Vestfjörðum þar sem óholufylltur jarðlagastafli af tertíerum aldri er mjög lekur. Á móbergssvæðunum eru bólstraberg og kubbaberg, sem víða hafa mikla útbreiðslu, vatnsgæfustu veitarnir.

Stemmun í íslenskum jarðlögum má skipta í tvo flokka eins og veitunum, en það eru stemmar í lausum jarðlögum og stemmar í berggrunni. Algengustu stemmar í lausum jarðlögum eru útbreidd jökulruðningslög. Það er þó ekki algilt að jökulruðningur sé þéttur. Í undantekningartilfellum er hann það grófkoma að hann leiðir vatn vel. Þetta á t.d. við um þelaurðir. Leir- eða siltlög, sem að uppruna eru vatnaset eða sjávarset, mynda víða stemma.

Í berggrunni er þéttur og holufylltur hraunlagastafli útbreiddasti stemmirinn. Á tertíeru svæðunum myndar berggrunnurinn víða einn órofa stemmi af þessari gerð en á stöku stað auka sprungur á lektina. Á móbergssvæðum er móbergstúff algengasti stemmirinn og víða sést að setberg í stafla er stemmir. Gangar og innskot mynda einnig oft einskona stemmi í berggrunni.







Mynd 7. Lektarflokkar á íslenskum vatnafarskortum. Litþekjur á vatnafarskortum sýna lekt jarðlaganna en gefa minni upplýsingar um gerð þeirra eða uppruna að öðru leyti. Ef um laus jarðlög er að ræða tákna ljósblár litur lek lög en ljósbrúnn þétt, eins og sýnt er í neðstu litaröðinni á myndinni. Í berggrunni eru tvær litaráðir. Neðri röðin er fyrir berg þar sem lektin er tiltölulega jöfn bæði í lárétta og lóðrétta stefnu eins og víða gerist í móbergi, bólstrabergi og kubbabergi. Efstá litaröðin er notuð fyrir berggrunn þar sem lárétt leiðni er mun meiri en sú lóðrétta eins og gerist í hraunastafla og í reglulega lagskiptum jarðlögum. Báðar litaráðirnar enda í sama dökkbrúna litnum sem tákna þétt eða lítt vatnsleiðandi berg.

## 1. LITIR OG LEKTARFLOKKAR Á VATNAFARSKORTUM

Litþekjan á vatnafarskortum er notuð til að tákna lekt og lektareiginleika jarðlaganna. Þessi flokkun er nokkuð misjöfn frá einu landi til annars. Hérlandis hefur skapast sú venja að hafa lektarflokkana níu talsins (mynd 7). Á nýjustu kortum SGU (Sveriges Geologiske Undersøgelse) í mælikvarða 1:50.000 eru flokkarnir einnig níu en þeir eru þó að mörgu leyti frábrugðnir íslensku flokkunum (tafla 7). Á alþjóðlegum stöðlum, eins og t.d. þeim sem notaður er á alþjóða vatnafarskortin frá BGR/UNESCO, er gert ráð fyrir sex mismunandi lektarflokkum. Í íslensku flokkuninni er tekið mið af tveimur atriðum. Í fyrsta lagi lekt jarðlaganna og í öðru lagi lektareiginleikum, einkum því hvort grunnvatnið fylgir sprungum eða öðrum glufum bergsins. Í íslenska staðlinum er einnig tekið mið af stefnuvirkni, þ.e. því hvort lektin er jafnleitinn eða misleitinn.

*Sænskur lektarstaðall.* Svíar hafa gefið út allmörg vatnafarskort í kvarða 1:50.000. Þau eru um margt ólík íslensku kortunum. Lektarflokkun þeirra byggir mjög mikið á beinum mælingum. Kortin eru flest af þéttbýlum svæðum sem eru mjög vel þekkt jarðfræðilega og mikil gagnasöfn og mælingar úr borholum fyrirliggjandi. Holurnar eru meira eða minna staðlaðar, allar álíka djúpar og víðar og eins frá gengnar. Afköst þeirra eru því notuð til að ákvarða lektarflokkana (tafla 7).

Tafla 7. Sænskur staðall (Gustafsson 1992).

	Sprunguveitir (sprickakvifer)
	2-5 l/ s á holu 0.5-2 l/ s á holu
	Sprungu- og gropveitir (sprick ock porakvifer)
	5-20 l/ s á holu 2-5 l/ s á holu 0.5-2 á holu 0.2-0.5 l/ s á holu 0-0.2 l/ s á holu
	Gropveitir (grunnvatnsaðstæður í kvarterum setlögum)
	Svæði rík af grunnvatni og góðar aðstæður til nýtingar. Svæði með vatnsríkum sand- og malarlögum undir illa vatnsleiðandi seti, einkum leir og jökulurð.

### 5.1 Lektarflokkun á foldinni

Hvernig ber jarðfræðingur sig að við vatnafarskortlagningu á foldinni? Áður en hún fer fram þurfa öll meginatriði í jarðfræði svæðisins að vera kunn. Æskilegast er auðvitað að búið sé að gera almenn jarðfræðikort, þ. e. berggrunnskort og jarðgrunnskort. Við kortlagningu hérlendis hefur því oft ekki verið að heilsa. Vatnafarskortin á virkjanasvæði Þjórsár voru gerð samhliða kortlagningu á berggrunni og lausum jarðlögum og vatnafarskortin á höfuðborgarsvæðinu líka. Þar hafa þau raunar alltaf verið fyrst í röðinni en ekki síðust eins og eðlilegast hefði verið. Hvað sem því líður þá er ljóst að jarðfræðingurinn þarf að byrja á því að gera sér glögga grein fyrir jarðlagaskipan og höggun berggrunns og umfangi lausra jarðlaga áður en hafist er handa við vatnafarskortid.



*5.1.1 Laus jarðlög.* Góð byrjun er að átta sig á því hvort og að hve miklu leyti laus yfirborðslög hafi áhrif á vatnafar. Þykk setlög eru oft mettuð grunnvatni en stundum er þó það djúpt á grunnvatnsborð að þau ná ekki niður í það og hafa því lítil áhrif. Ef setlögín öll, eða að hluta, teljast innihalda grunnvatn er næsta skref að meta í hvorn lektarflokkinn þau fara, þann þetta eða þann leka. Yfirleitt fer jökulruðningur, sjávarset, pakkaðar skriður og berghlaup í þetta flokkinn en áreyrar, sandar, lekar skriður, lækjarkeilur og lek berghlaup í leka flokkinn.

*5.1.2 Hraun.* Á almennu kortunum eru hraun jafnan höfð áberandi enda einkennandi jarðmyndanir fyrir Ísland. Jaðrar þeirra eru dregnir upp með nákvæmni, þeim skipt upp í einstök hraun eftir aldri og gerð og sýnd með litaröð sem greinir þau vel frá öðrum svæðum. Algengast er að þau séu sýnd í fjólubláum litum og út í bleikt. Hraun eru ekki síður mikilvæg eining á vatnafarskortum. Fá eða engin jarðlög hafa meiri lekt og víða eru þau mikilvægir veitar. Þegar vatn stendur uppi í þeim eða lindir spretta fram undan jöðrum þeirra er engum blöðum um það að fletta að í þeim er mikið grunnvatn. Vatnsrík hraun eru sýnd í dökkgrænum lit sem engar aðrar jarðmyndanir fá. Sums staðar skipta þau þó litlu máli, til dæmis þar sem þau liggja á öðrum lekum jarðmyndunum og eru yfir grunnvatnsborði. Vatnsvinnslusvæði Vatnsveitu Reykjavíkur í Heiðmörk er víða þakið hraunum. Þau hafa þó ekki afgerandi þýðingu fyrir vatnafarið því grunnvatnsstraumurinn sígur fram í eldri jarðmyndunum undir hrauninu og honum er stýrt af sprunguskaranum sem sker jarðlögin. Jarðfræðingurinn stendur því frammi fyrir þeirri þraut að meta hvar hraunin ná niður fyrir grunnvatnsborð því aðeins þar er hægt að draga fram vatnafarslega eiginleika þeirra og merkja hana með dökkgrænum lit mikillar lektar.

*5.1.3 Lekt móberg og súrt berg.* Þegar búið er að afgreiða hraunin er komið að hinu eldra bergi. Í upphafi er best að flokka það í tvennt; berg með jafnleitna lekt og berg með misleitna lekt. Það eru einkum móbergsmýndanir og ýmiskonar myndanir úr súru bergi sem fara í fyrri flokkinn en basískur hraunlagastaflí og flest setlög fara í þann seinni. Ungar móbergsmýndanir sem ríkar eru af bólstrabergi og kubbabergi fara í lekasta flokk hins jafnleitna bergs. Lindir sem streyma fram undan slíkum jarðmyndunum gefa lektina oft ljóslega til kynna. Stærð þeirra getur farið yfir 100 l/s að meðaltali. Stundum liggja slíkar jarðmyndanir þó yfir grunnvatnsfleti og koma ekki fram sem lektareiningar á kortum.

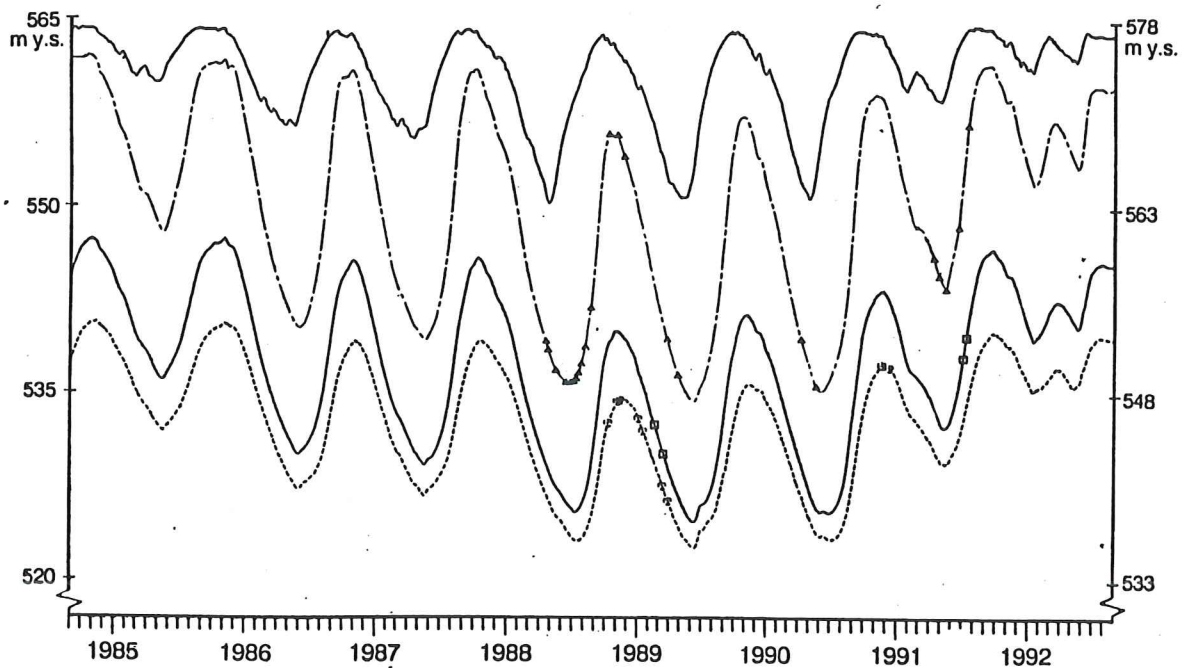
*5.1.4 Miðlungslekt móberg og súrt berg* fylla þennan flokk. Honum tilheyra ungar túffríkar móbergsmýndanir og kubbabergs- og bólstrabergsmýndanir og súrt berg sem tekið er að þéttast vegna holufyllinga og ummyndunar.

*5.1.5 Lekur hraunlagastaflí* hefur alla jafna misleitna lekt og skipar næsta lektarflokk fyrir neðan nútímahraunin. Yfirleitt má nota holufyllingu eða ummyndun í berginu sem mælistíku á lektina. Ferskt og óholufyllt grágrýti er jafnan lekt en um leið og fer að bera á holufyllingum er hægt að ganga að því sem gefnu að lektin hefur minnkað að mun. Oftast er þó betra að meta lekt grágrýtissvæða út frá stærð linda og lindaáhrifum í árrennsli. Grágrýtissvæði þar sem lindir með meðalrennsli yfir 100 l/s finnast og glögg lindáreinkenni eru á ám fara næsta örugglega í þennan flokk.

*5.1.6 Miðlungslekur hraunlagastaflí* einkennist af holufyllingum á byrjunarstigi, lindum allt að 100 l/s og góðum lindastofni í árrennsli.

5.1.7 Þétt berg er alla jafna töluvert holufyllt og ummyndað (þ.e.a.s. ekki ferskt). Lindir stærri en 10 l/s eru sjaldgæfar og þá oftast tengdar lekum sprungum. Vötn sem falla frá slíkum svæðum eru einkum dragár. Lindaáhrifa verður lítið eða ekki vart. Í þéttum hraunastafla er misleitni bergsins að mestu horfin. Þéttur hraunlagastafli og þétt móberg fær sama litinn á vatnafarskortum.

## 6. GRUNNVATNSBORÐ



Mynd 8: Sveiflur á vatnshæð í Þórisvatni og á grunnvatnsborði í nágrenni þess samkvæmt sítitamælingum vatnsárin 1984 til 1991. Efsta línan sýnir vatnsborð Þórisvatns og hæð þess yfir sjó er skráð á hægri ramma myndarinnar. Neðri línurnar eru í borholum við vatnið (LL-1, O-3, O-20). Vatnshæðin í þeim er merkt á vinstri rammann. (Landsvirkjun, vatnamælingar).

Grunnvatnsborðið fylgir í stórum dráttum landslagi en mýkir alla drætti þess. Þó er mjög misjafnt hversu nán þessi fylgni er. Þar sem jarðlög eru þétt er alla jafna grunnt á grunnvatnsborð og grunnvatnsflöturinn víkur sjaldan verulega frá yfirborði. Þar sem jarðlög eru lek er grunnvatnsborðið mun flatara og endurspeglar landslagið ekki nema í litlum mæli. Á utanverðum Reykjanesskaga rís grunnvatnsborð til dæmis ekki nema fáa metra upp fyrir sjávarmál þótt fjöll og hálsar nái nokkur hundruð metra hæð (Freysteinn Sigurðsson 1985). Á hraunasvæðum getur verið djúpt á grunnvatnið. Við Litlu kaffistofuna í Svínahrauni ofan við Sandskeið er neysluvatnshola þar sem meira en 70 m eru niður á grunnvatnið. Á tertíeru svæðunum er víðast hvar ekki djúpt á grunnvatnsflöt jafn vel ekki hátt til fjalla.

Á vatnafarskortum eru oft sýndar grunnvatnshæðarlínur en þó er ekki einhlítt að það sé gert. Þar sem berggrunnur er þéttur er grunnvatnsflöturinn oftast svo nálægt yfirborði að það hefur litla þýðingu að draga sérstakar hæðarlínur fyrir hann þar sem þær falla því sem næst ofan í hæðarlínur kortsins. Í kortlagningu höfuðborgarsvæðisins var farin sú leið að sýna grunnvatnshæðarlínur á hinum lekari svæðum en í árkrartera og tertíera berginu á Kjalarnesi og í Esju eru þær ekki sýndar. Víða eru upplýsingar um grunnvatnsborð af svo skornum skammti að ómögulegt er að kortleggja það. Þetta gildir t.d. um efri hluta Heiðmerkur og Bláfjallasvæðið. Þar eru hvorki vötn né lindir og engar borholur sem ná í vatn.



Allvíða kemur grunnvatn fyrir í tveimur eða fleiri hæðum í jarðlögum og þá eru jafnframt til staðar jafnmargir grunnvatnsfletir. Þetta getur átt sér stað þar sem láréttur stemmir, t.d. þétt, þykkt setlag, skilur að tvo veita. Þessar aðstæður geta valdið vandamálum í grunnvatnskortlagningu t.d. þegar taka skal afstöðu til þess hvaða grunnvatnsflöt eigi að sýna. Stundum getur grunnvatnslinsa með mjög takmarkaða útbreiðslu sem situr á þéttu lagi yfir hinum almenna grunnvatnsfleti villt mönnum sýn og litið út eins og bunga eða hæð í grunnvatninu. Hið sanna kemur oft ekki í ljós fyrr en borað er á staðnum. Svona linsur eru stundum nefndar *falskt grunnvatn* eða *villuvatn* (*perched groundwater*) og sýna falskt grunnvatnsborð.

Grunnvatnsborðið er aldrei stöðugt, það sveiflast upp og niður eftir aðstæðum. Úrkoma hefur mest áhrif en loftþrýstingur hefur einnig sitt að segja í lokuðum veitum. Fallvötn hafa áhrif hið næsta sér og sama gildir um sjávarföll. Afrennslislaus stöðuvötn endurspeglar sveiflurnar í grunnvatnsborðinu því vatnsborð þeirra ræðst mest af grunnvatnsstöðunni. Smá vötn fylgja veðurfarssveiflum náði en stór vötn deyfa þær mikið. Kleifarvatn er eitt af stærstu vötnum landsins sem er án afrennslis á yfirborði. Vatnsborð þess hækkar og lækkar með óreglubundnum hætti. Þegar hátt stendur í því er talað um vatnsfyllu en þurrð þegar vatnsborðið er lágt. Vatnið varð snemma frægt fyrir vatnsborðsbreytingar sínar. Margir héldu að vatnsstaðan væri óháð úrkomu enda var erfitt að sjá tengslin án langtíma mælinga. Samfelldar vatnsborðsmælingar hafa verið gerðar á Kleifarvatni frá ársbyrjun 1954 af Vatnamælingum Orkustofnunar (Sigurjón Rist 1990). Mælingarnar sýna að vatnsborðið fylgir langtíma úrkomusveiflum, vatnsborðsbreytingin getur numið allt að 4,8 m. Fylla kemur í það þegar mörg úrkomusöm ár koma í röð en þurrð þegar þurrkaár verða hvert á eftir öðru.

Stundum er talað um fölsk vötn á sama hátt og falskt grunnvatn. Þá er átt við vötn sem ekki tengjast grunnvatnsfleti á svæðinu. Vötnin sitja á þéttu undirlagi og ef borað er í gegn um hann kemur í ljós að grunnvatnsflöturinn stendur miklu lægra. Slík vötn eru fremur sjaldgæf en þó vel þekkt. Launvatn vestan við Þórisvatn er dæmi um falskt vatn.

Síritandi grunnvatnsmælar hafa verið á nokkrum stöðum á landinu í lengri eða skemmri tíma. Vatnsveita Reykjavíkur rekur þrjá slíka mæla í Heiðmörk og á virkjanasvæðum Landsvirkjunar eru víða síritandi grunnvatnshæðarmælar, flestir eru upp með Þjórsá og í nágrenni Þórisvatns. Miklar sveiflur verða á grunnvatninu í Heiðmörk. Á vatnshæðarsíritanum Vhm189 við Þorgeirsstaði er t.d. 15 m munur á hástöðu og lágstöðu. Náttúrulegar sveiflur af þeirri stærðargráðu eru líklega sjaldgæfar. Þetta sýnir þó að við vatnafarskortlagningu þarf að hafa þessar sveiflur í huga og teikna grunnvatnshæðarlínur annaðhvort sem meðalgrunnvatnsstöðu eða sem grunnvatnsstöðu einhvern ákveðinn dag. Á vatnafarskortum Landsvirkjunar og vatnafarskortum á Höfuðborgarsvæðinu er miðað við meðalgrunnvatnsstöðu.

## 7. VATNASVIÐ OG VATNASKIL

### 7.1 Vatnasvið

Vatnasvið (*drainage basin, catchment area*) er landsvæði sem hefur sameiginlegt afrennsli fyrir yfirborðsvatn. Sérhver punktur á landi hefur sitt vatnasvið nema hann sé á vatnaskilum. Vatnasvið vatnsfalla er það landsvæði sem þau fá vatn sitt af.

### 7.2 Yfirborðsvatnaskil

Vatnaskil (*water divide, watershed*) er lína sem aðgreinir vatnasvið vatnsfalla. Á vatnafarskortum eru vatnaskil greind í aðalvatnaskil (*main- eða principal water divide*) og undirvatnaskil (*secondary- eða subordinal water divide*). Aðalvatnaskil umlykja vatnasvið aðalár, þ.e. ár sem á ósa við sjó. Undirvatnaskil umlykja vatnasvið þveráa. Það er sjaldnast vandkvæðum bundið að draga vatnaskil á kort. Oftast segja hæðarlínur til um það hvar vatnaskilin liggja. Þó geta komið upp álitamál á hraunasvæðum þar sem ekkert yfirborðsafrennsli er. Þar geta ríkt þær aðstæður að úrkoma sem sígur í jörð á svæðinu renni til annarra átta en landhalli segir til um. Þannig er talið að hátti til á vatnasviði Elliðaáanna. Rennsli þeirra er minna en svarar til aðhallandi landssvæðis (Sveinbjörn Björnsson 1987). Í kortlagningunni hafa menn hallast að því að draga vatnaskil samkvæmt landhalla yfirborðsins jafnvel þó vitað sé að úrkoma sem fellur á svæðið skili sér ekki til viðkomandi vatnsfalls. Af þessu leiðir að vatnaskil á yfirborði lands og vatnaskil í grunnvatni falla ekki alltaf saman.

Vatnaskil má draga með ýmsum hætti. Á grófum yfirlitskortum er oftast látið nægja að sýna einungis aðalvatnaskil. Á nákvæmari kortum (t.d. í kvarða 1:50.000) eru yfirleitt sýnd vatnaskil fyrstu og annars stigs þveráa. Á sérkortum í stórum mælikvarða eru vatnaskil stórra lækja jafnvel sýnd.

### 7.3 Grunnvatnsskil og grunnvatnsstraumar

Grunnvatnsskil (*groundwater divide*) eru skil milli tveggja grunnvatnsstrauma þar sem ekkert gegnumstreymi á sér stað. Grunnvatnsskil falla oft saman við yfirborðsvatnaskil þótt undantekningar séu frá því eins og þegar hefur komið fram. Oft er þó erfitt að negla niður mörk aðskilinna grunnvatnsstrauma. Margir slíkir straumar geta verið innan sama yfirborðsvatnasviðs og greinst hver frá öðrum á mismunandi efnainnihaldi eða hita. Grunnvatnsskil geta einnig hreyfst til vegna breytinga á úrkomu eða írennsli.

Á vatnafarskortum er gert ráð fyrir ákveðnum táknum fyrir grunnvatnsskil en þau eru sjaldan notuð. Á kortum er stefna grunnvatnsrennslis oft sýnd með fjólublárrí ör. Meginreglan er sú að vatnið streymir hornrétt á grunnvatnshæðarlínur. Á sprungusvæðum getur brugðið út af þessu þar sem sprungur liggja þvert eða skálægt á landhalla. Þannig háttar til í Heiðmörk og Kaldárbotnum þar sem Krísuvíkursprunguskarinn beinir grunnvatnsstraumi til suðvesturs, skálægt á vestlægan grunnvatnshalla.



## 8. ÁR OG LINDIR

Í vatnafarskortlagningu beinist athyglin að vonum mjög að lindum og lindasvæðum. Kortin þurfa að sýna allar helstu lindir, stærð þeirra, lindahita og gefa til kynna úr hvers konar veiti vatnið er ættað.

### 8.1 Hvað er lind?

*Lind (uppspretta)* kemur fram þar sem vatn flæðir með náttúrulegum hætti úr jörð upp á yfirborðið eða upp í vatn eða sjó. Oft er álitamál hvað telja skuli eina lind og hvað flokkist undir *lindasvæði* og síðan einnig hvað teljist eitt eða fleiri lindasvæði. Í strangasta skilningi er ein einstök lind aðeins lindaraugað sem vatnið vellur úr. Það er þó fremur sjaldgæft að lindarvatn spretti þannig upp, í stöku auga. Oftast er það sem í daglegu tali er nefnt lind, nokkur lindaraugu sem standa þétt og afmörkuð. Í kortlagningu eru slík svæði gjarnan sýnd sem ein lind en auðvitað fer það eftir mælikvarða kortsins hversu nákvæmir menn eru í þessu. Þó má beita þeirri þumalfingursreglu að lindasvæði sem er minna en 1 mm á kant á korti skuli sýnt sem einstök lind en fari svæðið yfir það skal það merkt sem lindasvæði. Í kvarðanum 1:50.000 þýðir þetta að mörkin eru 50 m á kant. Í kvarða 1:1.500.000, sem er kvarði alþjóðlegu kortanna, er einn mm aftur á móti 1,5 km. Algengt er að lindir raði sér á afmarkaða línu, t.d. á lagamótum eða eftir sprungu. Þá er talað um *lindalínu (spring horizon)*. Sama þumalfingursreglan getur gilt um hana og lindasvæðin. Fari línan yfir 1 mm á korti er eðlilegt að merkja hana sem lindalínu. Stundum er mikið álitamál hvað telja skuli eitt eða fleiri lindasvæði. Ef vatnið er allt ættað úr sömu jarðlögum, sama veitinum, er vandamálið hvort sýna skuli eitt eða fleiri svæði einungis landfræðilegt. Ef vatn úr tveimur aðskildum veitum og með ólík efnafræðileg einkenni kemur upp á sama svæðinu getur málið orðið flóknara. Í kortlagningu eru slík svæði yfirleitt ekki greind upp. Hitastigstölur við lindir geta þó sýnt að tvenns konar grunnvatn kemur upp á svæðinu.

Í umfjöllun um lindasvæði eru lindir oft skilgreindar út frá aðstæðum við lindaaugun. Berglindir spretta úr bergi, skriðulindir undan skriðum, sandvætlur úr lausum sandi o.s.frv. Í kortlagningu eru þær þó ekki flokkaðar eftir þessum einkennum en af nákvæmum kortum má oft ráða hverskonar lindir um er að ræða á hverjum stað. Todd (1980) gerir greinarmun á fimm tegundum linda:

1. *Lægðalindir (depression springs)* sem koma fram þar sem jarðaryfirborð sveigir sig niður fyrir grunnvatnsborð.

2. *Lagmótalindir (contact springs)* koma fram þar sem lek og vatnsmettuð lög liggja á miður lekum lögum sem fleyta vatninu til yfirborðsins. Lagmótalindir raðast oft á línur.

3. *Þrýstivatnslindir (artesian springs)* spretta upp þar sem grunnvatn undir þrýstingi kemur til yfirborðs annað hvort um opnu í hinn lokaða veiti eða um sprungu um hin þétta lög sem eru yfir honum. Vatn spýtist stundum í loft upp í þrýstivatnslindum, annars staðar myndar það bullaugu og vellankötlur.

4. *Lindir í þétu bergi (impervious rock springs)* koma fram í sprungum eða vatnsæðum í illa lekum jarðlögum.

5. *Gangna- eða sprungulindir (tubular or fracture springs)* spretta úr sívölum æðum eins og hraungöngum eða göngum í kalksteini eða úr sprungum í þétu bergi sem tengjast grunnvatni.

Þessi flokkun Todds á þokkalega við héraendis. Þó hafa tveir síðustu flokkarnir óskýra skilgreiningu. Þar myndi duga einn flokkur þ.e. *sprungulindir*. Lindir sem flæða fram í hraunhellum eða göngum í hrauni eru sjaldgæfar og eiga best heima í þeim flokki. Kalksteinslindir eru síðan sérstakt fyrirbrigði sem ekki þarf að hafa áhyggjur af héraendis.

Tafla 8: Stærðarflokkun linda  
(Meinzer 1923).

Flokkur	Stærð l/ s	Enskar einingar
1.fl.	>10.000	>353 f <sup>3</sup> /s
2.fl.	1.000-10.000	35-353 f <sup>3</sup> /s
3.fl.	100-1000	3,5-35f <sup>3</sup> /s
4.fl.	10-100	158 gallon-3,5 f <sup>3</sup> /s
5.fl.	1-10	16-158 gallon/mín.
6.fl.	0,1-1	1.6-16 gallon/mín.
7.fl.	0,01-0,1	1,25 pints-1,6 gallon/mín.
8.fl.	<0,01	<1,25 pints/mín.

### 1.1 Stærð og rennslissveiflur

Í vatnajarðfræði eru lindir og lindasvæði flokkuð eftir stærð. Tafla 8 er tekin frá Meinzer (1923) og sýnir þá stærðarflokkun sem algengust er. Á kortum eru lindir og lindasvæði flokkuð eftir þessu kerfi með sérstöku fjólubláu lindatákni fyrir hvern flokk. Efsti flokkurinn og þeir neðstu þrír hafa þó ekki sérstök korttákn.

Lindir taka rennslissveiflum líkt og lækir og ár. Sumar eru stopular og gefa vatn í vætutíð en hverfa í þurrkum. Aðrar eru stöðugar og jafnar. Reglan er sú að því stærri sem lindin er þeim mun minni er rennslissveiflan hlutfallslega. Rennslissveiflan stafar af veðurbreytingum og fylgir tíðarfari en getur þó tafist í einhvern tíma, jafnvel í mánuði. Óvenjulegir þurrkar geta þannig komið fram sem mikil lægð í lindarennslí nokkru eftir að þurrkunum er lokið. Yfirleitt er töfin þó ekki nema fáeinir dagar eða vikur. Miðlungs lindir fara venjulega í lágmark tvisvar á ári. Í fyrra skiptið er það í apríl, áður en snjóa tekur að leysa og í seinna skiptið í ágúst-september, áður en haustrigningar hefjast.

### 1.2 Lindahiti

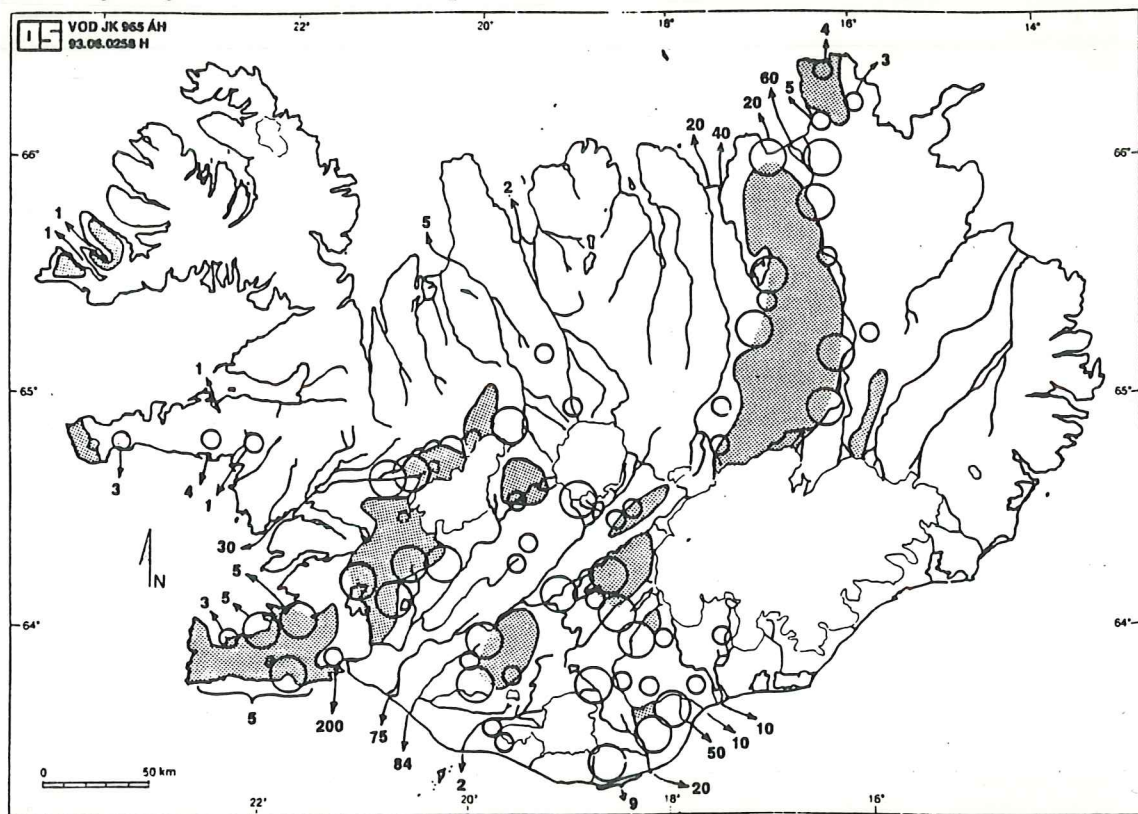
Grunnvatnshiti ræðst annarsvegar af lofthita og hins vegar af berghita og varmastreymi úr iðrum jarðar. Rannsóknir í borholum sýna að í efstu lögum grunnvatnsins er hitinn í nánnum tengslum við lofhitann og er mun hærri á sumrum en vetrum. Árstíðasveiflur í grunnvatninu dvína niður á við og á nokkurra metra dýpi eru þær horfnar en stöðugar og jafn hiti ríkir. Neðar tekur hiti að hækka með dýpi. Hversu ört hann hækkar er háð varmastreyminu úr iðrum jarðar og vatnsmagninu sem streymir um jarðlögin.

Lindahiti endurspeglar vatnshitann í grunnvatninu. Í smærri lindum er greinileg árstíðasveifla og þar sem þær eru í nánnum tengslum við yfirborðsvatn, t.d. á áreyrum getur árstíðasveiflan verið frá 0 til 12°C eða meir. Hitastig stórra linda og grunnvatnsstrauma er hins vegar stöðugut, víða 3-4°C, og sveiflast lítið milli árstíða. Í jarðfræðiritum hefur þess misskilnings nokkuð gætt að meðalhiti í stórum lindum og kaldavermslum sé nálægt



meðalárshita staðarins. Svo er ekki því hitinn ræðst af samspili nokkurra þátta s.s. lofthita og hlutfalli rigningarvatns og leysingavatns sem sígur til grunnvatnsins. Víða verður vart upphitunar í grunnvatni af völdum hás jarðhitastiguls og íblöndunar jarðhitavatns. Á íslenskum vatnafarskortum hefur skapast sú venja að gefa upp lindahitann sem víðast. Hitamælingar í lindum geta komið að góðum notum við að ákvarða uppruna grunnvatnsstrauma og afmarka veita í jarðlögum.

Mörkin milli kaldavermsla og volgra eru ekki fastákveðin. Sumir jarðhitamenn telja að um leið og lindahiti fari yfir meðalárshita á staðnum verði strangt til tekið að tala um volgru. Það er þó yfirleitt ekki gert. Á alþjóðlegum vatnafarskortum eru mörkin oft sett  $10^{\circ}\text{C}$  ofan við meðalárshita staðarins. Ef þessari reglu væri beitt hérlandis þýddi það að þessi mörk væru nokkrum gráðum lægri á hálandinu en á láglandi. Þess vegna hefur frekar verið farin sú leið að fastsetja þessi mörk við  $10^{\circ}\text{C}$ . Ef lindahiti er hærri telst lindin vera volgra og er merkt samkvæmt því með rauðu lindatákni.



Mynd 9. Afrennsli lindavatns af Íslandi. Myndin sýnir helstu lindasvæðin. Stór hringur táknar að þau gefi meira en  $5\text{ m}^3/\text{s}$  en lítill hringur að þau gefi  $1\text{--}5\text{ m}^3/\text{s}$ . Tölurnar við ströndina sýna hversu mikið af lindavatni berst til sjávar af einstökum vatnasviðum. Skyggðu svæðin eru afrennslislaus á yfirborði. Mest er af lindavatni í Ölfusá um  $200\text{ m}^3/\text{s}$ . Í heild er mælt og þekkt lindavatnsafrennsli af landinu öllu um  $680\text{ m}^3/\text{s}$ . Inn í þessa tölu vantar vatn frá óþekktum eða lítt athuguðum lindasvæðum svo heildarafrennsli lindavatns er líklega nærri  $1000\text{ m}^3/\text{s}$  (Árni Hjartarson 1993).



### 1.3 Íslenskar stórlindir og lindár

Lindir geta komið fram við mismunandi jarðfræðilegar aðstæður eins og áður er getið. Meginreglan er þó sú að þær birtast þar sem grunnvatnsflötur sker yfirborð lands. Síðan ræður lekt jarðlaga og framboð grunnvatns því hversu stórar þær verða. Þar sem jarðlög eru þétt eru lindir jafnan smáar en þar sem lek jarðlög þekja víðáttumikil svæði geta lindir orðið mjög stórar. Stærstar verða þær þegar jarðfræðilegar aðstæður beina grunnvatninu saman á þröngan blett og veita því þar upp á yfirborðið. Stærstu lindir og lindasvæði á Íslandi tengjast hraunum og sprungsvæðum og koma fram þar sem þetta tvennt fer saman við lægð eða lækun lands. Sum þeirra gefa af sér tugi tonna vatns á sekúndu hverri. Hvað stærð varðar eru þau á heimsmeðlikvarða. Tafla 9 sýnir mestu lindasvæði Íslands. Þau gefa öll 15 m<sup>3</sup>/s eða meir. Það er tölvvert skilgreiningaratriði hvernig raða skal lindasvæðum eftir stærð í töflu eins og gert er hér að neðan og vandalaust er að gera töflu þar sem röðin yrði all frábregðin. Hér eru notuð þau viðmið að lindasvæðið sé stærra en 15 m<sup>3</sup>/s og gefi meira en m<sup>3</sup>/s á hvern ferkílómetra.

Tafla 9: Mestu lindasvæði Íslands.  
(Heimildir: Óbirt gögn Orkustofnunar og Vatnamælinga).

Nr.	Lindasvæði	Rennsli m <sup>3</sup> /s	Flatarm. km <sup>2</sup>	Veitir
1	Pingvallavatn	70	5	Sprungur, hraun
2	Brúará	36	10	Hraun, móberg
3	Eldvatn í Meðallandi	35	24	Hraun
4	Mývatn	32	7,5	Sprungur, hraun
5	Haukadalur	26	12	Grágrýti
6	Hraunfossar-Húsafell	20-25	7	Hraun
7	Rangárvellir	21	10	Hraun
8	Lón í Kelduhverfi	19	3,5	Sprungur
9	Svartá við Vaðöldu	18	2,5	Hraun, grágrýti
10	Rangárbotnar	15	3	Hraun
11	Suðurá, Bárðardal	15	7	Hraun

Erfitt er um samanburð á íslensku svæðunum við erlend lindasvæði því lítið hefur fundist af heimildum um þau. Á Bretlandi koma mestu lindirnar úr kalksteini. Þær stærstu eru í Havant, gefa rúmlega 1100 l/s að jafnaði og sjá Portsmouth fyrir meirihluta af neyusluvatni sínu (Aldwell o.fl 1978). Í Vatnsalfræðibókinni, The Water Encyclopedia (Todd 1970), er tafla með stærstu lindum Bandaríkjanna þ.e. öllum lindum sem hafa meðalrennsli meira en 2,8 m<sup>3</sup>/s (þ.e. meira en 100 rúmfet á sek.). Þær eru 65 talsins. Á Íslandi eru vafalítið helmingi fleiri lindir af þessari stærðargráðu. Það er athyglisvert að af þessum bandarísku lindum koma 38 úr gosbergi, 24 úr kalksteini og 3 úr sandsteini. Því má draga þá almennu ályktun að stærstu lindir heims séu tengdar gosbergi.

Stærsta lindasvæði landsins og þar með eitt það stærsta í heimi, er við Pingvallavatn. Vatnið hefur lítið innrennsli á yfirborði en afrennslið er rúmir 100 m<sup>3</sup>/s. Sprungusvæðið við norðurenda þess verður að teljast eitt samfellt lindasvæði. Það er um 10 km langt með

ströndum vatnsins. Breidd þess má hugsa sér 500 m og flatarmál því 5 km<sup>2</sup>. Við Þingvallavatn fara saman allar hagstæðustu aðstæður, víðáttumikil lek hraun, mikill sprunguskari, landslag sem beinir grunnvatninu að afmörkuðu svæði og lægð í landinu.

### 8.5 Jökulár

Á alþjóðlegum vatnafarskortum hafa jökulár enga sérmerkingu enda þurfa menn víðast hvar lítið um þær að hugsa. Á Íslandi setja jökulár og jökulvötn svo sterkan svip á landslag og vatnafar að óhjákvæmilegt þótti að innleiða sérstaka merkingu fyrir þau. Það er einfaldlega gert með því að sýna jökulvatnið með grænbláum lit í stað þess dökkbláa sem einkennir bergvatnið. En þetta vekur auðvita upp nýja spurningu. Hvað þarf vatnsfall að hafa hlutfallslega mikið jökulvatn til að vera merkt sem jökulá. Á að merkja það sem jökulsá þótt jökulvatnið sé aðeins 10% af heildarmagninu? Þessari spurningu hefur enn ekki verið svarað. Það stafar af því að á þeim svæðum sem hafa verið kortlögð hafa ekki komið upp nein vafaatriði. Allir munu geta samþykkt að Þjórsá sé jökulá frá jökli og til ósa og einnig munu flestir telja Ölfusá vera jökulá. Þó mun bergvatnsþátturinn í henni vera tölvert stærri en jökulvatnsþátturinn. Eyjafjarðará er hins vegar almennt talin dragá þótt efstu upptök hennar séu í ótal smájöklum á Tröllaskaga. Það er ljóst að jökulvatns-hlutinn þarf ekki að vera mikill til að áin kallist jökulá en nákvæm skilgreining bíður síns tíma.

Jökulhlaup í ám má heita séríslenskt fyrirbrigði. Við gerð vatnafarskortsins af Íslandi í 1:1.500.000 (Árni Hjartarson o.fl. 1980) voru innleidd sérstök vatnafræðitákn til að sýna ár sem jökulhlaup koma í. Þessi tákn, sem eru háspennu- eða eldingarörvar, hafa fengið alþjóðlega viðurkenningu. Blá ör þýðir jökulhlaup úr jökulstífluðu löni, rauð ör þýðir hlaup úr jarðhitahvelfingu undir jökli. Svo skemmtilega vill til að bæði þessi tákn koma fyrir á Hágöngukortinu sem kemur til umfjöllunar í seinni hluta þessa rits.

### 8.6 Svelgir og skyld fyrirbæri

Alþekkt er að ár og lækir síga víða í jörðu og hverfa. Víðast hvar gerist þetta á lítt áberandi hátt, vatn tapast úr vatnsfallinu á langri vegalengd og þverr svo að lokum. Vötn með stöðugt innrennsli af ám og lækjum hafa ekkert afrennsli. Sjaldgæft er að sjá vatn hverfa niður um svelg eða falla í sprungu. Þó eru til dæmi um þetta. Sylgja, sem kemur undan Sylgjujökli í vesturjaðri Vatnajökuls, rennur um jölulruðning og sanda nokkra kílómetra leið út á hraunin í Heljargjá og hverfur þar í hringiðum og með fossaflaum í sprungur. Þessi niðurföll eru þó ekki langlíf því áin fyllir þau og þéttir með jökulaur og sækir þannig fram ár frá ári. Kaldá fyrir ofan Hafnarfjörð, sem kemur upp í lindasvæðinu í Kaldárbotnum, hverfur á ný í hraunin 1-2 km neðan þess. Þar sjást engar hringiður en niðurföllin þar eru langlíf því tært lindavatnið þéttir þau seint. Víða um land hverfa ár og lækir í framburðarkeilur sínar en birtast aftir í lindum neðst í keilunum. Einnig eru víða dæmi um að ár og lækir hverfi í skriður og framhlaup.

Í vatnafræðiritum er ám gjarnan skipt í tvo flokka eftir því hvort vatn er að síga til þeirra eða frá þeim. Á sem er að bæta við sig vatni frá grunnvatninu kallast *aðsigsá* (*effluent stream*) en á sem er að tapa vatni með þessum hætti nefnist *hripá* (*influent stream*) Al-gengt að sama áin sé hripá á vissum svæðum en aðsigsá á öðrum.



Á vatnafarskortum er sérstakt merki sem sýnir hvar vatn hverfur í jörðu. Merkið er einkum notað þar sem vatnsfall hverfur gersamlega og einnig er það oft notað þótt aðeins hluti af vatninu hverfi. Í afrennslislausum vötnum sem hafa innrennsli á yfirborði er þetta merki sett í vatnið. Það er hins vegar ekki notað í vötnum sem hvorki hafa innrennsli né áberandi lindir.

### 8.7 Afrennslislaus svæði

Á alþjóðlegum vatnafarskortum er sérstök merking fyrir afrennslislaus svæði. Þessi svæði eru yfirleitt tengd eyðimörkum þar sem uppgufun er meiri en úrkoma og mestallt vatn sem til jarðar fellur eða rennur inn á svæðið, gufar upp en nær ekki til sjávar. Á Íslandi eru stór afrennslislaus svæði en þau eru allt annars eðlis og tengjast ekki uppgufun heldur lekt jarðlaganna. Þau eru einungis afrennslislaus á yfirborði. Grunnvatnsstraumar flytja vatnið burt. Alþjóðlegar merkingar á afrennslislausum svæðum eiga því ekki við héraendis. Stærstu afrennslislausu svæðin á Íslandi eru hraunaflæmin á Reykjanesskaga frá Reykjanestá og austur undir Ölfus, hraunin frá Þingvallavatni til Langjökuls og Ódáðahraun (sjá mynd 9).

### 8.8 Rennsli og rennslismælar

Af vatnafarskortum á að vera hægt að lesa rennsli vatnsfalla sem víðast. Þess vegna eru allir sírítar merktir inn, helst með nafni og númeri, og rennslið á mælistaðnum sýnt ásamt með stærð vatnasviðsins. Víða eru til allgóðar upplýsingar um rennsli þótt enginn síríti sé til staðar vegna reglulegra mælinga. Í kortlagningunni er reynt að meta meðalrennsli á slíkum stöðum og það merkt inn. Ef fáar mælingar eru til staðar er rennslismatið óöruggt að sama skapi. Rennslisáætlanir af því tagi eru sýndar innan sviga á kortinu.

## 9. JARÐHITI

Í þessari ritgerð er ekki ætlunin að fara nákvæmlega út í kortlagningu á jarðhita. Kortlagningarsvæðið sem verður til umfjöllunar hér á eftir býður ekki upp á það nema í takmörkuðum mæli. Þó verður ekki komist hjá því að minnast lítillega á þetta atriði. Upplýsingar um jarðhita eiga skilyrðislaust heima á vatnafarskortum. Þegar hefur verið gerð grein fyrir mörkum kalds vatns og jarðhitavatns. Volgrur laugar og hverir eru merkt með rauðum lindatáknum sem hafa sama form og táknin fyrir kaldar lindir. Jarðhiti er merktur á kort nánast hversu lítill sem hann er en kaldar lindir sem eru innan við 1 l/s eru yfirleitt ekki merktar.

Á jarðfræðikortunum af Íslandi í 1:250.000 eru 9 tákn fyrir mismunandi hverir og laugar:

- a) Óskilgreindur jarðhiti
- b) Súr hver.
- c) Brennisteinshver.
- d) basískur hver.
- e) Kísilhver.
- f) Laug.
- g) Kolsýrulaug.
- h) Kalklaug.
- i) Ölkelda.



Þegar kortin eru svo skoðuð nánar sést að vinsælasta táknið er óskilgreindur jarðhiti. Það er skrítið að þarna er hvorki tákn fyrir gufuhver eða goshver. Á kortum í stærri mælikvarða sýnist vera ástæða til að hafa slíkar merkingar. Engin reynsla hefur enn fengist á þessi tákn og skilgreiningar á hinum einstöku tegundum hvera eru eitthvað á reiki.

Stungið hefur verið upp á táknum fyrir jarðhitaummyndun, hveraskánir, brennisteinshrúður, kalkhrúður og sambökunarhellur (sbr. viðaukann Skýringar við vatnafarskort) en lítil reynsla er komin á þau.

Þar sem hitastigull í borholum er þekktur er sjálfsagt að merkja hann á kort. Og þar sem nægilega mikil gögn eru fyrir hendi má draga jafnhitastigulslínur. Hitastigull er þó vandmeðfarin stærð. Á vatnafarskortunum af höfuðborgarsvæðinu var sú leið valin að taka hita á ákveðnu dýpi í borholum (100 m undir sjó) og draga jafnhitalínur.

## *SÉRSTAKUR HLUTI. - VATNAFAR Á HÁGÖNGUSVÆÐI*

Hér á undan, í hinum almenna kafla ritgerðarinnar, hefur verið gerð grein fyrir helstu vandamálum og úrlausnum í almennri vatnafarskortlagningu. Í þeim hluta ritgerðarinnar sem hér fer á eftir verður greint frá hvernig þessum aðferðum er beitt við kortlagningu ákveðins svæðis. Svæðið sem um ræðir er sá hluti Sprengisands og Vonarskarðs sem er á kortblaðinu Syðri-Háganga 1914 II í kvarða 1:50.000 frá Landmælingum Íslands. Ástæðan fyrir því að þetta svæði var valið er einfaldlega sú að höfundur hefur unnið að rannsóknum og gert kort af hálendinu þarna sunnan og vestan við. Á þessu svæði átti hann einnig allmikil rannsóknargögn. Að auki er svæðið vel fallið til að vera einskona tilraunasvæði fyrir vatnafarslega kortlagningu á íslensku landsvæði. Það er við mörk gosbeltisins og fjölbreytilegar jarðmyndanir og sprungusvæði eru innan þess. Vatnafarið er einnig fjölbreytt, jökulár og lindár, stór og smá lindasvæði, kaldar lindir, lágþiti og háþiti.

Við lestur þeirra kafla sem hér fara á eftir er nauðsynlegt að hafa vatnafarskortíð sem fylgir ritinu til hliðsjónar þótt oft raunar farið út fyrir ramma þess

### *1. AFMÖRKUN SVÆÐISINS*

Hágöngukortið 1914 II nær eins og önnur kortblöð Landmælinga Íslands í 1:50.000 yfir rúmlega 680 km<sup>2</sup> svæði (28x24,5 km<sup>2</sup>). Það teygir sig frá Köldukvísl í suðri og norður fyrir Nýjadal. Í vestri nær það að Kvíslavatni en austurjaðarinn liggur fyrir mynni Vonarskarðs frá Köldukvíslarjökli að Tungnafellsjökli. Hvorugur jökullinn nær þó inn á kortblaðið. Norðvesturhornið nær inn á aura Þjórsárkvísla vestan Þjórsár. Lægsti staður er vatnsborð Kvíslavatns í nálægt 605 m yfir sjó en hæsti punktur er í hlífðum Tungnafellsjökuls, upp af Þvermóði, 1362 m.

Svæðið liggur í jaðri Suðurlandsgosbeltisins og hraun teygja sig inn á það úr suðaustri og norðri. Úr suðaustri koma hraun frá Veiðivatnagoskerfinu. Þeirra mest og elst er Hágönguhraun en yngst er Sveðjuhraun. Einkenni þessara hrauna er að þau eru öll plagíóklasdílott. Úr norðri kemur Háölduhraun sem er eitt af Hofsjökulshraunum. Engar nútímaeldstöðvar eru á kortinu. Fyrir utan nútímahraunin er berggrunnurinn úr móbergsmyndunum og hlýskeyðshraunum. Segulstefnan er alstaðar rétt og allar jarðmyndanir sem sjást eru myndaðar á Brunhes, núverandi segulskeiði og því yngri en 780.000 ára. Tvær gamlar megineldstöðvar setja verulegan svip á umhverfið. Það eru Hágöngur og Tungnafellsjökull. Laus jarðlög eru einnig umtalsverð og víða efnismikil en ekki fjölbreytt að sama skapi. Mest er það jökulruðningur og jökulvatnaset. Gróður er lítil. Hnausaver og Svörtubotnar eru í suðvestur horninu og Háumýrar eru norður undir Sprengisandi en stærsta samfellda gróðurvinnin innan kortblaðsins er í Nýjadal.



## 1.1 Örnefni

Í rannsóknum og kortlagningu á hálendi Íslands er örnefnafátækt víða til boga. Örnefnin eru einnig oft á reiki og tíðum spurning hvað telja megi góð og gild nöfn því mikið er um nýnefni og þau misjafnlega lukkuð eins og gefur að skilja. En öllum er frjálst að gefa nöfn. Jarðfræðingar og virkjanamenn hafa verið ötulir við nafngiftir þar sem þeir hafa starfað. Reglan er víðast sú að vel heppnuð og þörf nöfn haldast en miður góð og óþörf nöfn tynast. Kortagerðarmönnum er sá vandi á höndum að fara rétt með og þeir bera oft ábyrgð á því hvaða örnefni lifa og hvar þau festast í sessi. Hér verður því gerð grein fyrir því hvaða ástæður liggja að baki þeim örnefnum sem notuð eru á vatnafarskortinu af Hágöngum.

Á DMA kortinu Nyrðri-Háganga eru 37 örnefni. Á vatnafarskortinu eru örnefnin hins vegar 46 talsins. Til gamans má geta þess að á Herforingjaráðskortunum af sama svæði sem gefin voru úr 1943-1944 eru 19 nöfn en á korti Björns Gunnlaugssonar frá 1844 eru nöfnin 7 (tafla 10).

DMA kort Landmælinga Íslands hafa oft verið gagnrýnd fyrir örnefnarugling og raunar fyrir landgreiningu almennt (Árni Hjartarson 1991 a og b). Á þessu kortblaði sleppa þær betur en víða annars staðar þótt auðvelt sé að benda á misfellur. Nafnið Fjórðungakvísl er t.d. komið upp í Nýjadal en þar heitir kvíslin réttu lagi Nýjadalsá (á skilti við kvíslina stendur raunar Jökuldalsá og í sviga Nýjadalsá). Fjórðungakvíslarnafnið á ekki við fyrir en neðan við kvíslamótin við Hagakvísl, sem kemur úr Tómasarhaga. Á vatnafarskortinu er orðmyndinni Fjórðungakvísl haldið enda er hún á öllum kortum, allt frá Birni Gunnlaugssyni. Víða í ritum er kvíslin nefnd Fjórðungskvísl og er það talin jafnrétt há orðmynd enda í samræmi við nafngiftirnar Fjórðungsöldu og Fjórðungsvatn.

Norðan við Nýjadal er skilti við bílvaðið og á því stendur Jökuldalsá og í sviga undir Nýjadalsá. Þarna vottar enn fyrir gömlu deilumáli Norðlendinga og Sunnlendinga um nafn á dalnum vestan við Tungnafellsjökul. Dalurinn fannst 1845 og vildu Norðlendingar kalla hann Jökuldal en Sunnlendingar Nýjadal. Reyndin hefur síðan orðið sú að hann er nefndur Jökuldalur á kortum en Nýidalur manna á meðal.

Á DMA kortinu er örnefnið Hágöngur sett á fjöllin milli Nyrðri- og Syðri-Hágöngu. Réttu lagi er þetta samheiti á Hágöngunum tveimur og á því ekki heima á kortinu þar sem þær eru síðan nefndar sérstaklega. Þessi villa er raunar komin inn strax í annarri útgáfu Herforingjaráðskortsins. Fjöllin milli Háganga hafa hingað til verið nafnlaus.

Vonarskarð er sýnt upp með Köldukvísl norður af Auröldu. Þar á örnefnið ekki heima. Það er e.t.v. matsatriði hvernig afmarka eigi Vonarskarð. Haraldur Matthíasson kannaði þessar slóðir ítarlega áður en hann skrifaði Árbók FÍ 1963 um Bárðargötu. Hann og Kristín kona hans gerðu tillögur um fjölmörg örnefni sem nú hafa fengið viðurkenningu og eru komin á kort. Þau vilja afmarka Vonarskarð við svæðið við Bálkafell og Svarthöfða í suðri og Fljótsborg og Tindafell (eða jafnvel Gæsahnjúk) í norðri (Haraldur Matthíasson 1963). Yfirleitt er Vonarskarð þó talið ná lengra til suðurs eða suður að Kvíslarhnjúkum.

Köldukvíslarbotnar er gamalt örnefni og fyrrum var talið að þar væru miklar útilegumannabyggðir. Á Herforingjaráðskortinu frá 1943 er nafnið sýnt við lindasvæði mikið við jaðar Sveðjuhrauns. Þar er einnig mikill jarðhiti. Í örnefnum þýða "botnar" gjarnan



Tafla 10: Örnefni

Björn Gunnl. 1844	Herf. 1943-4	DMA 1989	Vatnafarskort
Fjórðungakvísl	Fjórðungakvísl	Auralda	Auralda
Hágaunguhraun	Hágönguhraun	Austaríkrókur nyrðri	Austaríkrókur nyrðri
Háganga en nyrðri	Háumýrar	Austaríkrókur syðri	Austaríkrókur syðri
Háganga en syðri	Háumýrakvísl	Fjórðungakvísl	Eyrarrósagil
Kaldakvísl	Holtamannafréttir	Hágöngudalur	Eyvindarkvísl nyrðri
Vonarskarð	Hreysiskvísl	Hágönguhraun	Fjórðungakvísl
Þjórsá	Innra-Hreysi	Hágöngur	Hágöngudalur
	Jökuldalur	Háumýraalda	Hágönguhraun
	Kaldakvísl	Háumýrar	Háumýraalda
	Kistualda	Háumýrakvísl	Háumýrakvísl
	Köldukvíslarbotnar	Háölduhraun	Háumýralækur
	Nyrðri-Háganga	Hnausalda	Háumýrar
	Skrokksalda	Holtamannafréttur	Háölduhraun
	Sprengisandsvegur	Hreysiskvísl	Hnausalda
	Sprengisandur	Hreysislón	Holtamannafréttur
	Syðri-Háganga	Innrahreysi	Hreysisalda
	Vonarskarð	Jökuldalur	Hreysiskvísl
	Þjórsá	Kaldakvísl	Hreysislón
	Þjórsárvíslar	Kistualda	Innrahreysi
		Krosshnjúkar	Jökuldalur
		Kvíslarhnúkar	Kaldakvísl
		Köldukvíslarbotnar	Kistualda
		Mjóháls	Krossknjúkar
		Nyrðri-Háganga	Kvíslavatn
		Nýidalur	Kvíslarhnjúkar
		Ógöngur	Köldukvíslarbotnar
		Rauðhaus	Líparítgil
		Skrokkalda	Mjóháls
		Sprengisandsvegur	Nyrðri-Háganga
		Sprengisandur	Nýjadalsá
		Sveðja	Nýjadalsleið
		Svörtubotnar	Nýidalur
		Syðri-Háganga	Ógöngur
		Vonarskarð	Rauðhaus
		Þjórsá	Skerðingur
		Þjórsárvíslar	Skrokkalda
		Þvermóður	Sprengisandskvísl
			Sprengisandsvegur
			Sprengisandur
			Sveðja
			Svörtubotnar
			Syðri-Háganga
			Vonarskarð
			Þjórsá
			Þjórsárvíslar
			Þvermóður

lindasvæði sbr. Blautukvíslarbotnar, Rangárbotnar, Hnífárbotnar og Suðurárbotnar. Sagt er að Kaldakvísl hafi verið bergvatnsá fyrir á öldum og sé það rétt er líklegt að ein af meginupptökum árinna hafi verið í Köldukvíslarbotnum. Í bókunum Landið þitt og Íslandshandbókinni eru Köldukvíslarbotnar taldir á þessum stað. Þrátt fyrir þetta hefur örnefnið verið á reiki. Haraldur Matthíasson afmarkar Köldukvíslarbotna t.d. við upptök jökulkvíslanna sem koma undan Köldukvíslarjökli sunnan við Svarthöfða. Hans rök eru vafalaust þau að "botnar" vísi til efstu upptaka árinna. Á AMS og DMA kortunum eru Köldukvíslarbotnar merktir ofan í hraun það sem nefnt hefur verið Sveðjuhraun milli Köldukvíslar og Sveðju. Á næsta DMA korti við hliðina, Bárðarbunga 2014 III, kemur örnefnið fyrir á ný og er þá haft á jökulurðunum við jaðar Köldukvíslarjökuls á þeim slóðum þar sem Haraldur Matthíasson fann þeim stað. Hvað sem því líður mæla bestu rökkin með því að Köldukvíslarbotnar nái yfir lindasvæðið og aurana sem teygja sig frá Syðri-Hágöngu og norður fyrir Nyrðri-Hágöngu.

Á vatnafarskortinu eru nokkur nöfn sem ekki hafa áður sést á kortum. Þau eru:

Eyrarrósagil

Háumýralækur

Hreysisalda

Jökuldalsá

Líparítgil

Nýjadalsá

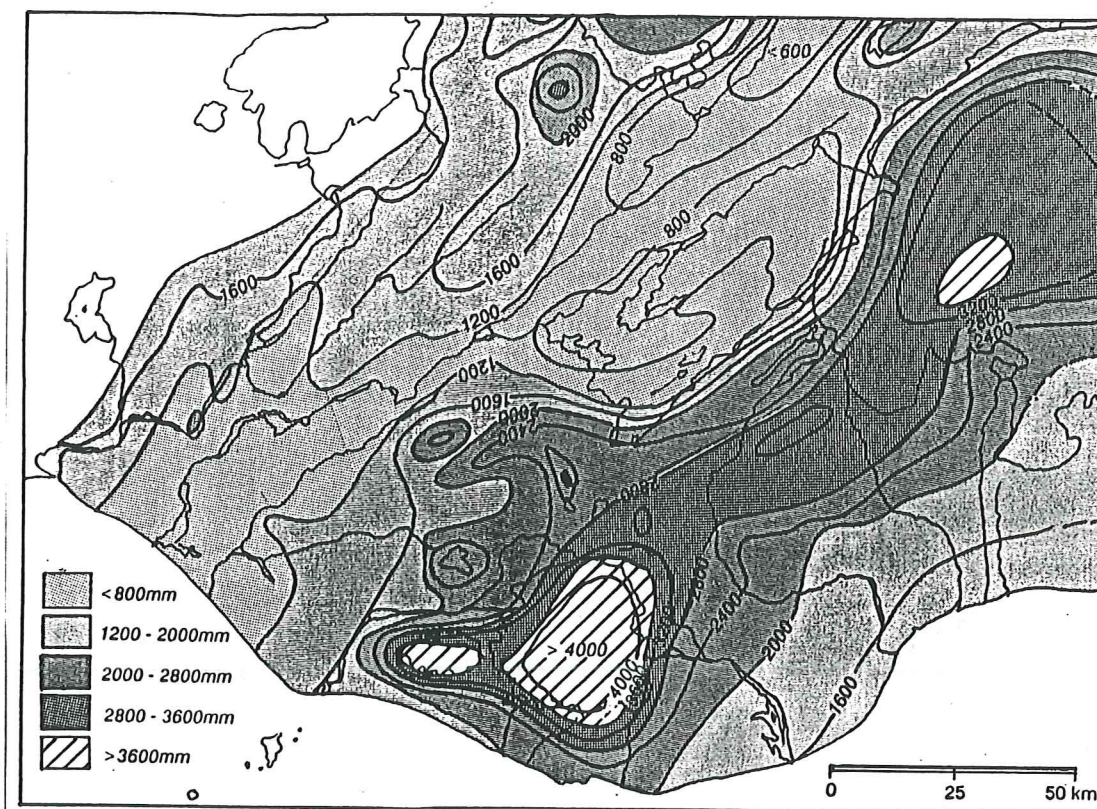
Nýjadalsleið

Sprengisandskvísl

Vonará

Eins og sjá má eru þau flest afleidd af eldri nöfnum og þurfa því engra skýringa við. Sprengisandskvísl er nafngift frá Hallgrími Jónassyni í Árbók F.Í. 1967. Einu beinu nýnefnum eru Eyrarrósagil, Líparítgil og Vonará. Ástæðan fyrir þeim er sú að í textanum hér í ritinu þarf nokkrum sinnum að vísa til þessara staða og í stað þess að tala sífellt um eyrarrósagilið hjá Skrokköldu, líparítgilið inn með Eyvindarkvísl nyrðri og bergvatnsána sem kemur úr Vonarskarði voru þeim gefin eigin nöfn.





Mynd 10. Úrkomukort (Trausti Jónsson 1986).

## 11. ÚRKOMA OG ÚRKOMUKORT

Úrkoma og úrkomuhættir móta vitaskuld vatnafar sérhvers landsvæðis. Á vatnafarskortum hefur þó lítið tíðkast að setja inn beinar úrkomuupplýsingar svo sem meðalársúrkoma og raunar enga veðurfarsþætti. Ástæðurnar fyrir því eru margar en aðalástæðan er þó sú að reiknuð meðaltöl hafa oft mun minna að segja um vatnafarið en frávikin (snjóþykkt, leysingar, hásumarhiti o.fl.). Algengast er að veðrinu séu gerð skil með skýringamyndum og smákortum á kortblaðinu utan aðalkortsins. Trausti Jónsson hefur gert úrkomukort af Miðsuðurlandi sem nær allt norður á Sprengisand (mynd 10). Þetta kort hefur verið birt á vatnafarskortum Orkustofnunar (Árni Hjartarson 1986, Árni Hjartarson o.fl. 1991). Litlar úrkomumælingar hafa verið gerðar á Hágöngusvæðinu en úrkoman þar hefur verið áætluð út frá mælingum í nágrenni þess. Gögnin eru úr safnmælum í Veiðivatnahrauni, Ljósufjöllum, Haldi við Tungná, Jökulheimum og Kjalöldum. Úrkomukortið sýnir að Hágöngusvæðið er fremur úrkomulítið. Á um helmingi kortsins er ársúrkoman undir 800 mm og í norðvestur horni þess er hún minni en 600 mm. Hafa verður hugfast að úrkoma virðist yfirleitt vera afar staðbundin. Fjöll hafa afgerandi áhrif og bendir ýmislegt til að úrkoman vaxi áveðurs í hlíðum þeirra um allt að 200 mm/100 m. Regnskuggar hlémegin eru einnig mjög skarpir og dæmi eru um að úrkoma sé tvöfalt meiri við fjallsrætur en 2-3 km frá þeim. Lítið er raunar vitað um úrkomu á háfjöllum sem og hlutfall skafrennings í ákomudreifingu (Trausti Jónsson 1986). Fyrstu snjóar koma á svæðið í septemberbyrjun og yfirleitt er orðið alhvítt fyrst í október. Síðan er yfirgnæfandi meirihluti úrkomunnar snjór fram til vors. Lítið bætist við grunnvatnið á þessum tíma. Vetrarblotar eru þó al-



gengir og stundum verður veruleg snjóleysing. Vatnið flýtur þó að mestu burt á yfirborði en svellalög og jarðklaki valda því að lítið sígur í jörðu. Vorleysingar hefjast í maí og eru að mestu afstaðnar í júnílok. Mikið ag leysingarvatninu tapast brott á yfgirborði því klaki fer ekki úr jörðu fyrr en eftir miðjan júní. Sumarúrkoman sígur hins vegar að mestu leyti í jörðu.

Fróðlegt er að skoða hvernig úrkomumælingum ber saman við rennslismælingar. Samkvæmt úrkomukorti Trausta Jónssonar er úrkoma á vatnasviði Köldukvíslar ofan Kvíslaveitu um 1400 mm/ár. Vatnasviðið er um 1100 km<sup>2</sup>. Meðal ársafrennsli ætti því að vera tæpir 50 m<sup>3</sup>/s. Rennslismælingar Vatnamælinga Orkustofnunar sýna hins vegar mun minna rennsli, 35-40 m<sup>3</sup>/s, öfugt við það sem vænta mátti. Hluta af vatnstapinu má skýra með uppgufun en afgangurinn hlýtur að tapast með grunnvatnsstraumum út af vatnasviðinu.

Ef vatnasvið Kvíslaveitu er skoðað á sama hátt verður útkoman eftirfarandi: Vatnasviðið ofan við mælistaðinn í Stóraversskurði er 420 km<sup>2</sup>. Meðal ársúrkoman á svæðinu er einungis um 800 mm. Vitað er að um 2 m<sup>3</sup>/s sleppa með grunnvatnsstraumi brott af svæðinu. Afrennslið ætti því að vera 12-14 m<sup>3</sup>/s sem kemur vel heim við mælingar (sbr. kafla 15.1.1 og 17.8).

## 12. LÝSING Á VATNAFARI RANNSÓKNARSVÆÐISINS

Við gerð vatnafarskorta er gott að byrja á því að skoða vatnafræðilega þætti svæðisins áður en farið er að spá í lekt jarðmyndana, veita, stemma o.s.frv. Vatnasvið eru ákvörðuð, rennslisgögn skoðuð og rennsli mælt þar sem þess gerist þörf. Reynt er að ákvarða hvaða lækir og ár hefa stöðugt rennsli og hver eru stopul. Lindir eru kortlagðar, stærðarflokkaðar, hiti mældur o.s.frv.

Allt það landsvæði sem er inni á kortblaðinu Nyrðri-Háganga 1914 II er á vatnasviði Þjórsár. Helstu vatnaskil deila svæðinu upp í fjóra hluta. Þeir eru vatnasvið Köldukvíslar, vatnasvið Kvíslaveitu, vatnasvið Fjórðungakvíslar og vatnasvið ána vestan Þjórsár. Með Kvíslaveituframkvæmdum breyttust vatnasvið Þúfuverskvíslar, Eyvindarkvíslar og Hreysiskvíslar. Áður féllu allar þessar ár til Þjórsár en nú renna þær eftir Kvíslaveitu til Þórisvatns. Einungis nyrsti hluti Kvíslaveitu sést á kortinu. Megnið af lónum hennar og skurðum liggja skammt vestan kortblaðsins.

Vatnsföll skiptast upp í aðalvatnsföll og þverár. Aðalvatnsfall rennur til sjávar, 1. stigs þverá í aðalvatnsfallið, 2. stigs þverá í 1. stigs þverá o.s.frv. Kaldakvísl er 2. stigs þverá. Hún fellur í Tungná sem aftur fellur í aðalvatnsfallið Þjórsá. Kaldakvísl er stærsta annars stigs þverá landsins og var með 1750 km<sup>2</sup> vatnasvið áður en vatnaveitingar og virkjanaframkvæmdir hófust við Þórisvatn. Þar af eru 420 km<sup>2</sup> jökull. Rennsli hennar í Þóristungum var um 60 m<sup>3</sup>/s. Vatnshæðarmælir Vhm 252 er við Þveröldu og mælistaður er við Syðri-Hágöngu.

### 12.1 Kaldakvísl og Sveðja

Vatnaskil Suður- og Norðurlands í Vonarskarði eru sérkennileg. Efstu drög Skjálfandafljóts og Köldukvíslar koma upp í hlíðum Tungnafellsjökuls og undan Bárðarbungu. Þau

falla niður á sléttan sand sem vatn getur legið yfir eins og í samfelldri gljá og stundum er eins og það nái sér til hvorugrar áttar. Kaldakvísl kemur undan Köldukvíslarjökli í nokkrum smálænum. Nyrsta kvíslin kemur undan Bárðarbungu og fellur niður í Vonarskarð milli Fremsta Bálkafells og Mið Bálkafells. Það virðast vera áraskipti á því hvoru megin kvíslarinnar vatnaskil Suður- og Norðurlands eru. Stundum fellur hún til Skjálfafljóts en stundum í Köldukvísl. Á DMA kortunum er hún sýnd falla til suðurs, á AMS kortunum skiptist hún jafnt milli landshluta en á Herforingjaráðskortinu er kvíslin ekki sýnd. Vatnasvið hennar er 50-60 km<sup>2</sup>. Kvísl þessi er sums staðar nefnd Bálká (Oddur Sigurðsson 1992). Í hana koma árlega smá jökulhlaup úr litlum jarðhitahvelfingum einhversstaðar í hlíðum Bárðarbungu. Fyrir vikið er sýnd rauð jökulhlaupaör við Köldukvísl norðan við Sveðjuhraun.

Auðvelt er að veita þessu vatni suður af og til Köldukvíslar. Landsvirkjun hefur gert það til að auka vatnsrennsli til Þórisvatnsmiðlunar en varanleg mannvirki hafa þó ekki verið reist enda munu Þingeyingar andsnúnir því að þröngva vatni suður á land sem fríviljugt vill streyma norður um Þingeyjarþing.

Þessi efsti hluti vatnasviðsins er utan kortblaðsins sem hér er til umfjöllunar og hefur ekki verið skoðaður til neinnar hlítar. Ekkert er vitað um rennsli eða grunnvatnsaðstæður á þeim slóðum. Kvíslin fellur til suðvesturs um Vonarskarð og kemur inn á kortblaðið norðan við Auröldu. Þar sveigir hún til vesturs niður með Sveðjuhrauni og um Köldukvíslarbotna.

Austur af Nyrðri-Hágöngu kemur lítil bergvatnaskvísl í Köldukvísl. Hún hefur verið nafnlaus hingað til en er nefnd Vonará í þessu riti. Hún dregst saman úr lækjarsprænum norðan við Kvíslahnúka. Á kortinu er hún sýnd renna gegn um bjúglaga vatn norðan Köldukvíslarbotna en í raun er þetta einungis gljá á sandinum. Eina rennismælingin sem gerð hefur verið í þessari kvísl er frá 25. ág. 1992, 370 l/s.

Sveðjuhraun er unglegt hraun sem komið er úr óþekktum eldstöðvum undir sunnanverðum Köldukvíslarjökli. Lindasvæði kemur fram undan vestustu tungum þess. Það er um 2,5 km að lengd. Í þessu riti er svæðið kallað Sveðjuhraunslindir en ef til vill eru þetta hinir upprunalegu Köldukvíslarbotnar. Vatnið streymir hæglátlega fram undan hraunjaðrinum og rennur í tveimur stórum lækjum frá hrauninu út á sandinn. Svæðið var skoðað 24. ágúst 1990. Lindahiti við nyrðri læk var þá víðast 2,0-2,5°C, kaldasta lindin 1,7°C en sú heitasta 4,0°C. Rennslið í læknum mældist 650 l/s með fleytingu. Syðri lækurinn var stærri og þar fór lindahitinu upp í 9,0°C enda gætir þar áhrifa frá jarðhitauppstreymi undir hrauninu. Mynd 11 sýnir hitadreifinguna og jarðhitasvæðið. Rennslið í læknum mældist 800 l/s með fleytingu. Í heild var því rennsli frá Sveðjuhraunslindum 1400-1500 l/s.

Austur af Syðri-Hágöngu fellur Sveðja í Köldukvísl. Upptök hennar eru í sunnanverðum Köldukvíslarjökli. Hún rennur um sandorpin hraun í nokkrum kvíslum og síðan á milli Sveðjuhrauns og Hágönguhrauns niður í Köldukvíslarbotna og í Köldukvísl. Syðsta kvíslin kemur úr Hamarskrika og teygir sig allt inn undir Sylgjujökul. Í Hamarskrika eru tvö stór jökullón, Hvítalón yst í krikanum og Hamarslón innar. Þessi lón eiga það til að tæmast og koma þá hlaup í Sylgju og Köldukvísl (Oddur Sigurðsson 1992). Í samræmi við það er sýnd blá jökulhlaupaör á kortinu við syðstu kvísl Sveðju.



Kaldakvísl rennur í þröngum farvegi suður með Syðri-Hágöngu, milli hrauns og hlíðar. Sunnan við fjallið fer hún út á hraunið og þvert yfir það í fossum og flúðum og fellur svo í gljúfur við suðurjaðar hraunsins sem hún fylgir allt suður af kortblaðinu.

Skömmu eftir að jökla leysti í lok ísaldar varð mikil goshrina á Veiðivatnareininni og hraun runnu víða. Meðal þeirra var Hágönguhraun sem komið er upp í óþekktum eldvörpum á Heljargjársvæði. Það flæddi til norðurs, yfir Köldukvísl, upp að Syðri-Hágöngu og allt vestur undir Skrokköldu. Innan við hraunstífluna myndaðist allmikið stöðuvatn. Affall vatnsins fann sér leið með norðurjaðri hraunsins með fram Syðri-Hágöngu og féll svo um Eyrarrósagil ofan hjá Skrokköldu niður í Hnausaver. Þá var ekki ver á þessum slóðum heldur stórt stöðuvatn með vatnsborð í 630 m y.s. Útfall hafði það til norðvesturs neðan við Svörtubotna til Þúfuverskvíslar og féll með henni til Eyvindarkvísla. Eftir að Kaldakvísl tók að renna gegn um vatnið í Hnausaveri leið ekki á löngu þar til hún hafði sorfið niður berghaftið við útfall þess og ræst það fram. Síðan beljaði hún viðspyrnulaust til norðurs og setti af sér framburðarfyllur á ármótunum við Þjórsá þar sem nú eru miklar hjallamyndanir við ósa Eyvindarkvísla.

Þetta ástand hélst ekki lengi. Upp við Syðri-Hágöngu fann áll úr Köldukvísl sér leið yfir Hágönguhraun og áður en langt um leið leitaði öll áin í það far. Vatnsvegurinn niður með Hágöngu þornaði og er þar nú fallett gil sem gaman er að þræða. Norðvestur úr Hnausaveri eru þurrir farvegir frá þessari tíð og þvegnar klappir þar sem áin hefur svarrað um fossa og flúðir en í verinu sjálfu hefur votlendisgróðurinn klætt jökulsáraurana gömlu.

## 12.2 Þúfuverskvísl

Vatnasvið Þúfuverskvíslar var 154 km<sup>2</sup> fyrir Kvíslaveituf framkvæmdir og það teygir sig í 1280 m y.s. í Syðri-Hágöngu. Um miðbik vatnasviðsins, sem nú er á kafi í Kvíslavatni, greindist áin í þrennt.

*Syðsta kvíslin* á upptök sín í Hnausaveri í 650 m y.s. Eyrarrósagil gengur upp frá verinu með hlíðum Skrokköldu og sveigir síðan upp með Hágönguhrauni að Köldukvísl sunnan Syðri-Hágöngu. Þetta er gamli Köldukvíslarfarvegurinn sem fyrir er nefndur. Smáar lindir koma hér og hvar undan hrauninu á þessum slóðum en vatnið sígur aftur í jörð svo stöðugt rennsli er ekki í farveginum. Þar sem Sprengisandsvegurinn liggur yfir þessa kvísl undir Skrokköldu er eyrarrósabreiðan fræga sem allir Sprengisandsfarar í seinni tíð hafa ljósmyndað í bak og fyrir. Eyrarrósaflekkirnir sem gefa gilinu nafn teygja sig inn í það ofan við veginn. Í Hnausaveri er lítið lindasvæði. Neðst í verinu var kvíslin um 200 l/s í ágúst 1990, mæld með fleytingu, en 340 l/s 26. ágúst 1992 mæld með flygli.

*Miðkvíslin* teygir sig um Svörtubotna og upp að Hágöngum. Svörtubotnar eru gróðurvin í 620 m hæð austur af Kvíslavatni milli miðálmu og nyrstu álmu Þúfuverskvíslar. Þar var áningastaður leitarmanna á Holtamannaafretti og þar sér fyrir tóftarbrotum gamals leitar-mannaskýlis. Miðkvíslin gengur upp á milli Skrokköldu og Rauðhauss og upp í Hágöngudal. Efstu upptök hennar eru í um 800 m y.s. sitt hvoru megin við Nyrðri-Hágöngu. Þar eru nokkuð stöðugar lindir og lækir streyma niður í Hágöngudal. Þetta er ekki raunverulegur dalur heldur mishæðótt svæði með litlum vötnum milli móbergs og líparítfjallanna. Þarna hverfur vatnið í jörð svo það er einungis í mestu leysingum og vatnavöxtum að það nær að renna á yfirborði niður hjá Skrokköldu. Farvegurinn er oftast þurr á þeim slóðum.

Stöðugar lindir eru ekki við kvíslina fyrr en niður undir Svörtubotnum. Þar bullar vatnið upp með þrýstingi úr basaltklöpp.

Það er ekki óvenjulegt að ár á hálendinu hagi sér með þessum hætti, séu stöðugar í rennsli efst og neðst en hverfular um miðbikið. Ástæðan hér er mun meiri úrkoma á hálendið við Hágöngur en er neðar og ef til vill er berggrunnurinn þar lítið eitt þéttari. Neðst í Svörtubotnum var kvíslin 200 l/s í ágúst 1990 og 1992. Lindahiti 3,4-5,5°C. Syðsta kvíslin og miðkvíslin sameinast neðan Svörtubotna rétt áður en þær hverfa til Kvíslavatns.

*Nyrsta kvísl Þúfuverskvíslar* kemur upp í Svörtubotnum og undan melöldunum vestan þeirra í 620-640 m y.s. Rennsli var 200-300 l/s og lindahiti 3,5-4,9°C í ágúst 1990.

Neðan kvíslamótanna, sem nú eru horfin í Kvíslavatn, rann Þúfuverskvísl um ógróna sandaura til norðurs uns hún féll í krappri beygju um unglegan farveg fram af Þúfuversfossi niður í Þúfuver.

Sumarrennsli í sameinaðri Þúfuverskvísl, þar sem Þúfuversstífla er nú, var 1500-2000 l/s (Árni Hjartarson 1981, Landsvirkjun, vatnamælingar).

### 12.3 Eyvindarkvíslar

Eyvindarkvísl er kennd við Fjalla-Eyvind sem átti kofa í Eyvindarveri skammt norðan við kvíslina. Hún greinist í tvennt, Syðri- og Nyrðri-Eyvindarkvísl, 3 km austan við Þjórsá

*12.3.1 Eyvindarkvísl syðri* greindist upp í þrjár smákvíslar sem nú renna hver í sínu lagi til Kvíslavatns en allur neðri hluti kvíslarinnar er nú kaffærður í vatninu. Syðsta smákvíslin tengist giljum sem koma niður frá hálendinu norður af Nyrðri-Hágöngu en sameinast sunnan Kistuöldu í gili sem hér verður nefnt Kistuöldugil. Gilið er oftast þurr nema í leysingartíð. Þá er þar oft mikið vatn á ferð. Kistuölduvatn á afrennsli til gilsins þegar hátt stendur í því. Vatnið er þó alla jafna afrennslislaust en vatnsborðssveiflur í því virðast spegla grunnvatnsflötinn. Niður undan vatninu eru smálindir í gilksammanum en vatnið frá þeim hverfur skammt neðan þeirra.

Efstu stöðugu lindir í Kistuöldugili eru í 680 m y.s. Vatnið sprettur þar úr basalti á 50-100 m langri línu. Rennsli er um 60 l/s og hiti 3,6-3,8°C. Örlitlar hvítar útfellingar eru á steinum en enginn þrýstingur á vatninu. 16.8.1991 var kvíslin á að giska 300 l/s við ósa. Ekki varð vart við skýrar og afmarkaðar lindir í gljúfrinu neðan efstu linda.

Við efstu upptök mið-smákvíslarinnar er dálítið lindasvæði í lægð sem verður þar milli jökulruðningsmelanna. Í lægðinni er gróðurvín og í henni koma lindimar upp, nokkuð dreift undan fokjarðvegi. Stórgrýti í melunum ofan lindanna vekur grun um að grunnt sé á grágrýtisberggrunn. Kalkútfellingar eru við lindaaugun. Hiti 5,6-6,8°C, rennsli 150-200 l/s þann 16.8. 1990.

Ársprænan frá svæðinu rennur um skamman veg til Kvíslavatns. Áður féll hún um djúpa dæld milli melhryggja til suðvesturs uns hún í 90° beygju snaraði sér inn á flatana við kvíslamótin og liðaðist þar um í bugðum milli gróinna bakka þar sem grávíðir og hálm-gresi réðu ríkjum. Norðan við beygjuna komu lindir upp í melunum og sjást þær enn rétt upp af lóninu. Hluti lindanna raðar sér á 150 m langa línu utan í mel. Í ágúst 1981 var



lindahitinn á bilinu 6,5-7,1°C. Sami hiti mældist 1990. Ekki verður séð úr hvers konar jarðlögum vatnið kemur því jökulruðningur byrgir sýn til berggrunnins. Lindalínan vekur þó grun um sprungu og þegar að er gáð virðist sem um samfellda sprungu geti verið að ræða frá lindasvæði syðstu smákvíslarinnar á botni vatnsins. Örpunnar ósamfelldar kalkútfellingar eru við lindirnar og rauðbrúnt slý er einkennisgróður lindalækjanna. Lindahitinn við miðkvíslina er mun hærri en mælist sunnar á vatnasviðinu. Hér er komið inn í hlýjan grunnvatnsstraum sem ræður ríkjum norður fyrir Hreysiskvísl.

Nyrsta smákvíslin féll fram á flatann þar sem smákvíslarnar mættust. Þar skaut grágrýtis-klöpp upp kryppunni við ána, í um 600 m y.s. Upp úr henni bulluðu ólgandi lindir um sprungur sem skáskáru ána en handan hennar voru fleiri lindaaugu. Á loftmyndum má rekja sprungu þessa til beggja handa frá ánni með stefnu 57°. Lindalínan var 110-120 m löng, 80-100 l/s, 6,2-6,3°C. Mælingarnar eru frá ágúst 1981. Þetta svæði er nú allt á kafi. Ofar með kvíslinni eru ekki stöðugar lindir en Eyvindarkvíslaskurður liggur eftir henni á kaffa.

Fyrir Kvíslaveituframkvæmdir var kvíslin oft um 1000 l/s við mót Eyvindarkvísla en nú renna þar oftast um 500 l/s. Meirihluti vatnsins er leki gegn um stífluna.

*12.3.2 Eyvindarkvísl nyrðri.* Engin áberandi lindasvæði eru við neðanverða kvíslina. Þó eru þar laundrjúgar vatnsuppkomur því mælingar sýna að á svæðinu frá kvíslamótum og upp að stíflu spretta 800-1000 l/s. Aðallindirnar eru líklega inn af Skollafit rétt vestur af kortjaðri, utan blaðsins. Þar sjást víða smáar lindir með hitann 6,0-6,9°C. Ónákvæm flotmæling á gamla vaðinu þar 1.8.1990 gaf 400 l/s.

Lítið sem ekkert lekur undan stíflunni. Ofan við stíflu rennur kvíslin um eyrar í grunnu daldragi. Mælingar sýna að lindastofn kvíslarinnar þar er 400-500 l/s. Á löngum kaffa eru þó hvorki lindir né þverlækir. Ofar greinist hún upp og þar eru lindasvæði. Þar er þykkt líparíthraun ráðandi í berggrunni og kemur vatnið úr því. Við suðurálmu kvíslarinnar eru dreifðar lindir í hvilft upp af farveginum. Þann 16.8.1990 var vatnsmagnið þarna á að giska 300 l/s. Lindahiti er breytilegur en almennt séð hár, heitastur nyrst en kaldari sunnar, 4,9-8,6°C. Aðalfarvegurinn teygir sig síðan 1,5 km til ANA.

Norðurálmán streymir um eyrar 2 km til norðausturs en þar ofan við tekur við gil í súra berginu. Efstu stöðugu upptök eru upp undir Nýjadalsvegi í nálægt 700 m y.s. Lindirnar koma fram í talsverðu gili sem að ofan markast af basaltlagi sem fríður foss mun falla fram af í leysingum. Undir basaltinu sér í líparíthraunið. Vatn sprettur víða úr því þarna í gilinu og eru þunnar ósamfelldar útfellingar við lindirnar. Frá þessu svæði renna í allt um 100 l/s af stöðugu lindavatni. Lindahiti er 6,4-9,4°C. Leysingafarvegir teygja sig til fjalla vestur af Nýjadal. Miklir misgengisstallar eru sunnan við þá sem tengdir eru Tungna-fellseldstöðinni.

#### *12.4 Hreysiskvísl*

Laus jarðlög á vatnasviði Hreysiskvíslar eru auk hins alltumfaðmandi jökulruðnings fyrst og fremst í mynd árhjalla. Við ósa Hreysiskvíslar eru víðáttumiklar fomar eyrar 7-8 m yfir núverandi eyrum hennar. Ekki verður betur séð en gröftur Þjórsár og lækkun flóðvallar hennar hafi valdið því, að Hreysiskvísl gróf sig ofan í þessa formu framburðarfyllu. Við

Þjórsárkvíslar handan Þjórsár má sjá samskonar árhjalla.

Hreysiskvísl rennur meðfram austur og suðurjaðri fyllunnar og hefur fyrir undarlega tilviljun, að því er virðist, brotið sér skarð gegnum jökulruðningsmela sunnan hennar rétt ofan óssins í stað þess að fylgja henni alla leið suður í Eyvindarkvísl.

Opnur eru illskárrir við Hreysiskvísl en við syðri kvíslamar. Jökulruðningskápan virðist enn þykkari á þessum slóðum en sunnar á svæðinu og víðast virðist hún tvö- eða þreföld. Vatnasvið Hreysiskvíslar teygir sig allt upp undir Nýjadal og því má gera ráð fyrir nokkurri bergtegundaauðgi nyrst og austast á svæðinu.

Hreysiskvísl er eindregnari lindá en aðrar ár á Kvíslaveitusvæði (sbr. töflur 4 og 6). Miklið lindasvæði er í farvegi kvíslarinnar neðanverðrar. Svæðið er um 3 km á lengd frá stíflu og upp með ánni. Það er 100-200 m á breidd og liggur á hæðarbilinu 600-620 m y.s.

Kvíslin rennur þarna víða á völubergsklöpp og mun lindavatnið koma upp um sprungur í henni. Það sést þó ekki nema á örfáum stöðum því vatnið kemur aðallega undan hjöllum og upp úr eyrum sem þekja berggrunninn beggja vegna ár. Í heild raða þær sér þó á línu með stefnuna 55°. Áin fylgir þessari stefnu í grófum dráttum og eru allar líkur á að þarna sé um all miklar og vel vatnsleiðandi sprungur að ræða.

Mælt vatnsmagn af þessu lindasvæði er 650-700 l/s samtals en heildarvatnsmagnið er vafalaust mun meira því ekkert mælir gegn því að á árbotninum séu umtalsverðar lindir. Athyglisvert er að norðan ár fer vatnshitinn í lindunum nokkuð jafnt lækandi til NNA úr 6,2° í 4,4°C.

Nokkru ofar greinist kvíslin og þar kemur árspræna úr austsuðaustri, 500 l/s. Upptök hennar eru 2-2,5 km vestan ármótanna í um 680 m hæð í dreifðum fremur óafmörkuðum lindum. Lindahiti er 5-5,5°C. Þrýstingur er á vatninu í lindunum.

Aðaláin nær lítið eitt norðaustur fyrir kvíslamótin. Þar er dálítið lindasvæði, 300 l/s eða svo. Þar sér á basaltklöpp undir jökulruðningi en undir basaltinu sér á einum stað á völuberg. Lindahiti er 4,4-4,7°C. Vatnið bullar upp um sprungur í basaltinu og ljósar kalkútfellingar eru kring um lindahaugun. Grýttur árfarvegur, sem að jafnaði er þurr, teygir sig um langa vegi til austnorðausturs, upp undir Nýjadal. Sýnilegt er að í leysingum streymir mikill vatnsflaumur þar um.

Samkvæmt mælingum Hannesar Haraldssonar (Landsvirkjun, vatnamælingar) er lindavatnsrennsli í Hreysiskvísl um 4000 l/s. Mælt vatnsmagn í lindum og lækjum var þó aðeins tæpir 2000 l/s. Það sem á vantar gæti að hluta til stafað af vanmati, því margar af lindunum var ekki unnt að mæla heldur var rennsli þeirra áætlað, en aðallega stafar það af ómælanlegum lindauppkomum á árbotninum.

### 12.5 Lindasvæði við Þjórsá norðan Hreysiskvíslar

Við Þjórsá beint norður af Innra-Hreysi, á þeim slóðum sem stíflumannvirki Kvíslaveitu hinnar meiri skulu rísa hvenær sem í hana verður ráðist, er lindasvæði allmikið og frítt. Vatn sprettur þar fram undan melhjólum þeim sem liggja að elfunni. Það líður ýmist fram á lagmótum lausra jarðlaga og völubergs eða bullar upp um sprungur í völuberginu.



Svæðið allt er 600-800 m langt en því má skipta upp í 4 hluta. Syðsti hlutinn er um 100 m langur. Lindaaugun ná frá vatnsborði og upp á eins metra hæð yfir það.

Næst er um 100 m þurr kaffi, síðan 100-200 m lindalína. Þar eru lindaaugun í 2 m hæð yfir vatnsfleti móðunnar.

Nokkru norðar gengur gil inn á milli melanna. Þar koma upp dreifðar lindir. Enn innar koma smálindir undan melunum og upp úr eyri við ána.

Hugsanlegt er að vatnsuppkomur séu í ánni þótt ekki verði þær séðar. Sjáanlegt lindarrensli á þessi lindasvæði er 200-300 l/s. Magntölur eru allar ágiskun.

### 12.6 Volgrur vestan Þjórsár

Upp með Þjórsá að vestan allt frá Þjórsárkvíslum gegnt Hreysiskvíslarósi og allt upp undir Háöldukvísl eru víða linauppkomur. Grunnvatn á þessum slóðum einkennist af tiltölulega háum hita 6-15°C en óreglulegri hitastigsdreifingu. Fyrir ofan Háumýrarkvísl rennur Þjórsá á löngum köflum meðfram austurjaðri Háölduhrauns. Um 1 km innan kvíslarinnar og vestan ár er melur sem skilur að hraunið og ána. Völuberg kemur fram neðst í melunum. Vatn streymir úr sprungum þess á um 100 m kafla 0-1 m yfir vatnsfleti. Þótt lindir þessar séu lítt frábrugðnar því sem gengur og gerist austan ár er vatnshitinn töluvert hærri. Nyrsta lindin er komist varð í var alveg í vatnsskorpunni. Hún var 11,2°C. Hitinn hækkar til suðurs og nær 15,5°C suður undir enda lindalínunnar. Syðsta lindin var þó 13,5°C.

Vatnsmagnið sem frá þessu svæði rennur er 20-30 l/s og myndar lítinn ál sem skilinn er frá ánni af sandeyri. Hvítar útfellingar eru á steinum við lindirnar og gróskuríkur slýgróður. Í lindalæknum morar allt af sílum en annars er lítið um fisk á þessum slóðum.

Vestan ár á fyrirhuguðu stíflustæði í Þjórsá gegnt lindasvæðinu sem lýst var í kafla 3.9, koma fram volgrur um sprungur í völubergsklöpp innan við 0,5 m fyrir vatnsfleti árinna. Gegnt innsta hluta Þjórsárlindasvæðisins smitar 12-13°C heitu vatni úr klöppunum. Aðal-lindirnar eru um 100 m neðar. Þær koma úr tveimur sprungum sem liggja nánast í framhaldi hvor af annarri, sú innri með stefnuna 6° en hin 20° austan við norður og er sú stefna mun meira áberandi á klapparsprungunum þarna í kring en hin fyrrnefnda.

Lindalínan er um 40 m á lengd og sprungurnar allt að 3 cm víðar. Syðri sprungan liggur eftir endilöngum hrygg í setinu um 1/2 m á hæð. Þrýstingur er á vatninu og vatnsmagn 20-30 l/s, hiti 11,6-12,7°C.

Nokkur hundruð metrum neðar gengur eyrarvík inn á milli jökulruðningsmelanna en um það rennur lækur frá mýrarflá í Þjórsárverum. Við ofanvert vikið seytla fram smálindir 1-2 l/s úr völubergi, 14,1°C. Undan Háölduhrauni koma allmargar lindir. Hiti þeirra er víðast 7-8°C. Heildarvatnsmagnið af öllu þessu svæði er 400 l/s.

### 12.7 Háhitasvæðið í Köldukvíslarbotnum

Jarðhitinn í Köldukvíslarbotnum hefur verið á skrá með íslenskum háhitasvæðum um árabíl. Svæðið er lítt kannað enda utan venjulegra öræfaleiða og hefur ekki hagnýtt gildi vegna legu sinnar. Aðaljarðhitinn er á aurunum sunnan við miðkvíslina. Hvergi sér á fast

berg. Svæðið er þrískipt. Stærsti bletturinn er á árbakkanum og myndar lágan aflangan hól sem er aðhald að ánni, 90x300 m. Árbakkinn er 1,5 m á hæð. Miklar háhitaummyndanir eru þar í kring. Þótt bletturinn sé samfelldur eru flest hveraaugun við sitt hvorn enda hans. Í suðaungum mældist mest 96°C í yfirborði. Litir: gulur, ljósgrænn, hvítgrár, steingrár. Reykir stíga upp af svæðinu en ekkert frárennsli er sjáanlegt.

Annar jarðhitablettur er litlu sunnar. Hann er í hringmynduðum hól sem er 2 m á hæð og um 70 m í þvermál. Bletturinn er með mun þéttari augum en sá fyrrnefndi og meiri gufu. Hér virðist hitinn mestur, 100°C grunnt í jörð, ekkert frárennsli á yfirborði. 150 m ANA við þennan blett er kulnaður hver, hringlaga blettur með útfellingum og ummyndun.

Þriðji bletturinn er aðeins sunnar og austar, hringmyndaður hóll 25 m í þvermál. Efst í honum eru tvö augu, annað eins og kulnað en úr hinu rýkur. 100°C eru grunnt undir yfirborði, ekkert vatnsrennsli.

Á loftmyndum sést ógreinilegur ljós blettur út í Sveðjuhrauni suðaustur af aðal jarðhitasvæðinu. Við tókum áttavítamið og gengum í 15 mínútur inn í hraunið og komum þá á jarðhitasvæði. Að vísu er ekkert vatn og varla gufu að sjá en rauðar leirskellur eru þar og hiti svo mikill skammt undir yfirborði að hendi verður ekki haldið þar. Bletturinn er hringlaga, tæpir 100 m í þvermál. Fínn leir er undir yfirborðslaginu laxableikur, gulur og hvítur. Þótt ekkert frárennsli sé á yfirborði verður vart við afrennsli frá þessu svæði í lindum við hraunjaðarinn. Lindir streyma þar fram á löngum kafla með norðvesturbrún hraunsins. Austustu lindirnar eru víðast hvar 2-3°C en vestast með jaðrinum hækkar hitinn og nær 9,1°C þar sem hlýjast er. Þessi hiti gæti samsvarað afrennsli sem næmi 5-10 l/s af sjóðandi vatni.

Á aurunum norðan við miðkvíslina er jarðhiti á nokkrum stöðum. Tveir áberandi hólar rísa þar upp af flatanum. Vestari hóllinn er jökulruðningsmelur, ljós yfirlitum vegna líparítmalar. Enginn jarðhiti er við hann. Eystri hóllinn er úr líparíti. Engin jarðhitaummerki eru á honum en niður með honum að sunnan rennur lækur. Volgt vatn sígur úr aurunum við lækinn suður af austurenda hólsins. Hiti 29,6°C en rennsli mjög lítið.

Austan við aurana eru móbergshólar og lítið vatn, eða öllu heldur gljá, í viki milli þeirra. Þaðan rennur dálítill lækur. Sunnan í móbergshólnum vestan gljárinnar alveg niður við aurana er ummyndaður blettur og grænar og gular jarðhitaútfellingar og hveralykt við smáaugu í læknum. Hiti 29,5 - 38,0°C í vatninu en 55°C 2 cm niðri í sandinum. Rennsli nauðalítið.

Á aurunum 250 m suður af þessu svæði eru tveir litlir en snotrir hverir. Um 100 m eru á milli þeirra. Sá vestari er við læk sem kemur úr suðaustri. Þar eru þrjú lítil augu með bullandi hveraleir í ummyndunarskellu sem er 5 m í þvermál. Hiti 79°C, ekkert rennsli á yfirborði, engin gufa.

Við hinn hverinn er ummyndunarskellan stærri eða 10-12 m í þvermál í gráum, gulum og ryðbrúnum litum. Sjóðandi hveraleir er í nokkrum augum og svolítill gufa sem þó sést ekki langt að. Hiti efst í hvæsandi gufuauga 96°C, í bullandi leirauga 87°C. Ekkert sjáanlegt rennsli.

Stefán Arnórsson (1991) hefur áætlað að gufustreymi frá svæðinu í heild sé 60 kg/s. Jarðhitinn í Köldukvíslarbotnum er á aflöngu svæði sem stefnir SSV-NNA. Það er um 5



km að lengd og 2 km á breidd. Í skránni Orkustofnunar eru Köldukvíslarbotnar taldir vera með smærri háhitasvæðum, um 8 km<sup>2</sup> að flatarmáli. (Valgarður Stefánsson ofl. 1982, Guðmundur Pálmason ofl. 1985). Ofangreind athugun sýnir að þetta er nærri lagi.





### 13. GRUNNVATNSBORÐ

Grunnvatnshæð er sýnd með 20 m hæðarbili á kortinu. Þar sem borholur eru afar fáar á svæðinu verður ákvörðun grunnvatnshæðar mest að byggja á lindum og afrennslislausum vötnum. Nóg er um lindir meðfram öllum vesturjaðri svæðisins og einnig í Köldukvíslarbotnum og nágrenni þeirra. Þar er því fremur auðvelt að draga grunnvatnshæð. Hins vegar versnar málið á norðausturhluta kortsins. Þar er á litlu að byggja. Lindir eru engar og fá vötn sem hægt er að treysta á. Nýjadalsá og nafnlaus dragá vestan við Mjóháls hjá Nýjadal gefa þó vísbendingu um að þar sé grunnt á grunnvatnsborð.

Grunnvatnsborð liggur lægst við Þjórsá og er í um 600 m. Það fer síðan í stórum dráttum hækkandi til norðurs. Mesta hæð þess er óþekkt og hætt er að draga grunnvatnslínur við 900 m. Þótt grunnvatnsborð rísi vafalítið hærra þar sem hálendið er mest. Grunnvatnshæðarlínur verða að teljast harla óvissar á öllum norðurhluta kortsins milli Þjórsár og Nýjadals. Vafalítið ætti að sýna hæðir eða bungur á grunnvatnsflötinn undir Hágöngunum en það er ekki gert á kortinu vegna þess að engin gögn eru fyrirbyggjandi um það.

### 14. VATNASKIL

#### 14.1 Yfirborðsvatnaskil

Yfirborðsvatnaskil eru dregin upp samkvæmt hæðarlínum á kortgrunninum. Hið kortlagða svæði er alfarið innan vatnasviðs Þjórsár svo engin aðalvatnaskil eru á kortblaðinu heldur einungis undirvatnaskil. Vatnaskil Sveðju eru hins vegar ekki sýnd þótt hún sé nógu stór til að slíkt væri réttlætanlegt. Sveðja er þriðja stigs þverá og vaninn er að láta staðar numið við annars stigs þverár þegar vatnaskil eru dregin.

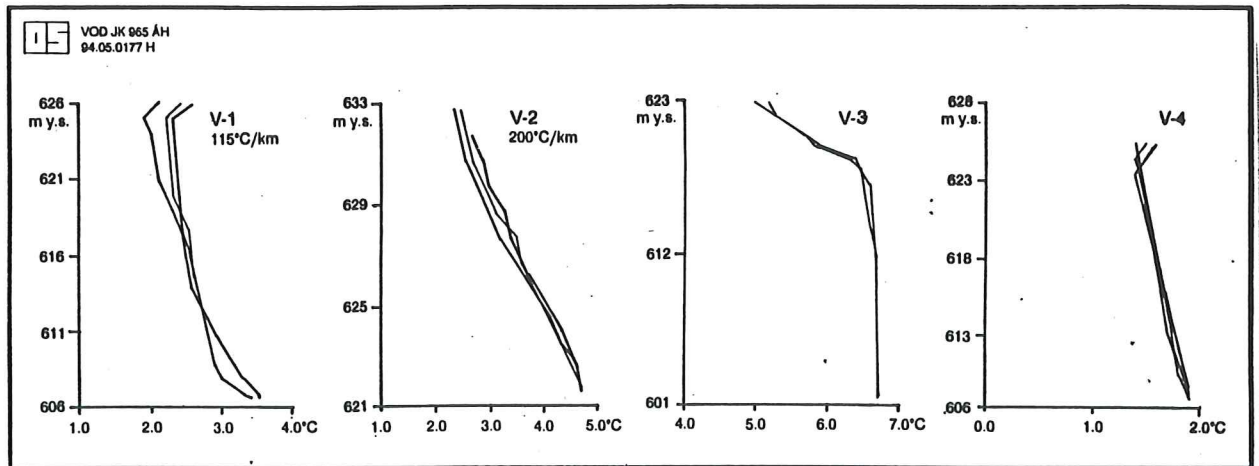
Strangt til tekið er Kvíslaveita þriðja stigs þverá á Köldukvísl og þar af leiðandi ætti ekki að sýna vatnaskil hennar. Ástæðan fyrir því að þau eru dregin á kortið er að veitan hefur sérstöðu sem mannvirki innan raforkukerfisins. Að auki eru kvíslamar sem hún samanstendur af frá náttúrunnar hendi fyrsta stigs þverár á Þjórsá.

Þriðju vatnaskilin sem sýnd eru á kortinu tilheyra Nýjadalsá.

### 15. GRUNNVATNSHITI

Á Hágöngusvæðinu og í nágrenni þess eru til allmikil hitamæligögn bæði úr borholum og lindum. Mynd 12 sýnir hita í nokkrum borholum á svæðinu Hitastigi grunnvatns á svæðinu skiptir mjög í tvö horn. Annars vegar eru það lindir við Köldukvísl og í nágrenni hennar sem liggja á bilinu 2,5-4,5°C og hins vegar lindir á vatnasviðum Þúfuvers- Eyvindar- og Hreysiskvísla, en þær liggja á hitabilinu 5,0-7,0°C. Segja má að fyrrnefndu lindirnar hafi venjulegt hitastig grunnvatns. (Í Rangárbotnum er lindahiti t.d. 3,8-4,8°C, í Haukadal 3,0-4,0°C, í Brúarárlindum 2,0-3,5°C, í Laugardal 3,4-4,5°C). Síðarnefndu lindirnar hafa óvenju háan hita og þær heitustu þeirra jaðra við að vera volgrur.

Hitadreifingin í lindum á síðarnefnda svæðinu er athyglisverð. Þegar valinn er hæsti lindahiti á hverju lindasvæði og jafnhitalínur dregnar þar á milli kemur fram breið tunga sem mældist um 7°C um miðbik en fer kólnandi til jaðranna niður í 5°C. Er helst svo að



Mynd 12. Grunnvatnshiti í borholum austan Kvíslaveitu. Myndin sýnir hitann í borholunum V-1, V-2, V-3 og V-4 samkvæmt nokkrum sumarmælingum 1992. Í V-1 kemur fram þunnt heitara lag efst í grunnvatninu af völdum lofthita. Neðar er allhár hitastigull. Í V-2 er ákveðinn hitastigull, 200 °C/km. Í V-3 koma fram sprunguáhrif og uppstreymi vatns frá botni og langleiðina til yfirborðs. Í V-4 sjást áhrif lofthita efst í grunnvatninu en neðar kemur lágur hitastigull fram. Holurnar eru allar of grunnar til að vera marktækar hitastigulsholur.

sjá sem hitastigsdreifingin endurspeglir streymi tiltölulega hlýs grunnvatns úr norðaustri, frá Tungnafells- og Hágangnasvæðinu, niður í Þúfuver (mynd 13).

Legu jafnhitalínanna á grunnvatnshitakortinu og tengsl þeirra við sprunguskara sem gengur vestsuðvestur frá Tungnafellsjökli hefur leitt til þeirrar niðurstöðu, að grunnvatnið streymi fyrst og fremst eftir sprungum í berggrunni en fylgi mun minna vatnsleiðandi jarðlögum. Athyglisvert er, að hitamælingar í borholum sem boraðar hafa verið víðsvegar á slóðum Kvíslaveitu endurspeglar ekki þessa hitadreifingu. Þar koma fram miklu meiri óreglur (sbr mynd 12). Engu að síður eru þessar mælingar athyglisverðar og saman gefa mælingar úr lindum og holum hinar markverðustu niðurstöður sem skera úr um eðli grunnvatnsrennslisins. Lindamælingarnar og þar með kortið á mynd 13 sýna almennt hitaástand grunnvatnsins á þessum slóðum, borholurnar sýna aftur á móti að innan svæðisins eru umtalsverð frávik frá hinu almenna ástandi. Heita grunnvatnstungan breiðir sig ekki jafnt út um berggrunninn heldur virðist vatnsstreymið fylgja afmörkuðum rásum. Þar á milli er kaldara vatn, 1-4°C. Hér er líklega um að ræða vatn af staðbundnum uppruna, úrkomu sem fallið hefur þarna á svæðinu. Þessa vatns verður lítið vart á yfirborði, birtist helst sem kæling í jaðarlindum á lindasvæðum en er sjaldan óblandað.

Margt bendir til þess, að heitara vatnið streymi fram í sprungum í berggrunninum en það kaldara sé tiltölulega kyrrstætt þar í milli. Þetta er mikilvæg niðurstaða, því hún segir, að vatnsstreymið fylgi lóðréttum rásum með takmarkaða útbreiðslu öfugt við það sem t.d. gerist í Sigöldu þar sem vatnið flæðir fram á lagamótum með mikla lárétta útbreiðslu. Grunnvatnsstraumar sem þessir eru nefndir sprunguskarustraumar. Slíkir straumar eru algengir og mörg af stærstu lindasvæðum landsins eru tengd þeim. Sprunguskaralindir eru oftast að auki tengdar hraunasvæðum s.s. Þingvallavatnslindir og Gvendarbrunnar í



Reykjavík. Sprunguskarar í grágrýti og lindir tengdar þeim eru þekkt fyrirbrigði víðar en á Kvíslaveitusvæði, t.d. Blikalónslindir á Melrakkaslétu.

Vatnshitann í lindunum má skýra þannig, að honum valdi tiltölulega hár jarðhitastigull í tengslum við megineldstöðina Tungnafellsjökul og að sprunguskarinn greiði grunnvatninu leið all djúpt í jörðu.

Meginlindasvæði þessa straums eru fimm. Fyrst skal nefna Þífuverslindirnar en þar koma upp 1,5-2,0 m<sup>3</sup>/s. Næst koma lindir upp með S-Eyvindarkvísl en þar koma upp 0,5-1,0 m<sup>3</sup>/s. Þriðja svæðið er í Skollafit, en það gefur af sér um 0,5-1 m<sup>3</sup>/s. Fjórða svæðið er við neðanverða Hreysiskvísl með á að giska 2,0 m<sup>3</sup>/s lindarrennsli. Fimmta lindasvæðið er upptakasvæði Hreysiskvíslar en þar spretta fram um 1,5-2,0 m<sup>3</sup>/s. Þetta svæði er alveg í jaðri grunnvatnsstraumsins og blandað vatni sem upprunið er norður á Sprengisandi.

Fyrir utan þessi aðal lindasvæði Tungnafellsstraumsins eru smærri lindasvæði s.s. í Eyvindarveri. Ekki er hægt að sjá að neitt umtalsvert vatnsmagn úr þessum straumi haldi áfram neðanjarðar niður með Þjórsá, heldur virðist hann nær allur koma upp á yfirborðið í lindasvæðunum. Heildarvatnsmagn straumsins virðist því vera nálægt 10 m<sup>3</sup>/s.

Fyrir utan hitann er vatnsþrýstingurinn eitt af séreinkennum þessa grunnvatnsstraums. Að vísu eru bullaugu og vellankötlur all algeng fyrirbæri hérlendis en oftast eru þau undantekningar en ekki regla. Ástæðurnar fyrir því hversu algeng þau eru á Kvíslaveitusvæði eru líklega þær, að vatnið hefur allmikla þrýstihæð. Hæðarmunurinn á landinu umhverfis Tungnafellsjökul og meðalhæð lindasvæðanna er 200-300 m. Auk þessa virðast vera óvenju útbreidd setlög efst í berggrunni Kvíslaveitna sem mynda tiltölulega þétt þak yfir hin vatnsleiðandi lög og sprungur sem undir liggja. Þar með eru tvö meginskilyrði til myndunar svokallaðra þrýstivatnsveita (artesian aquifer) uppfyllt.

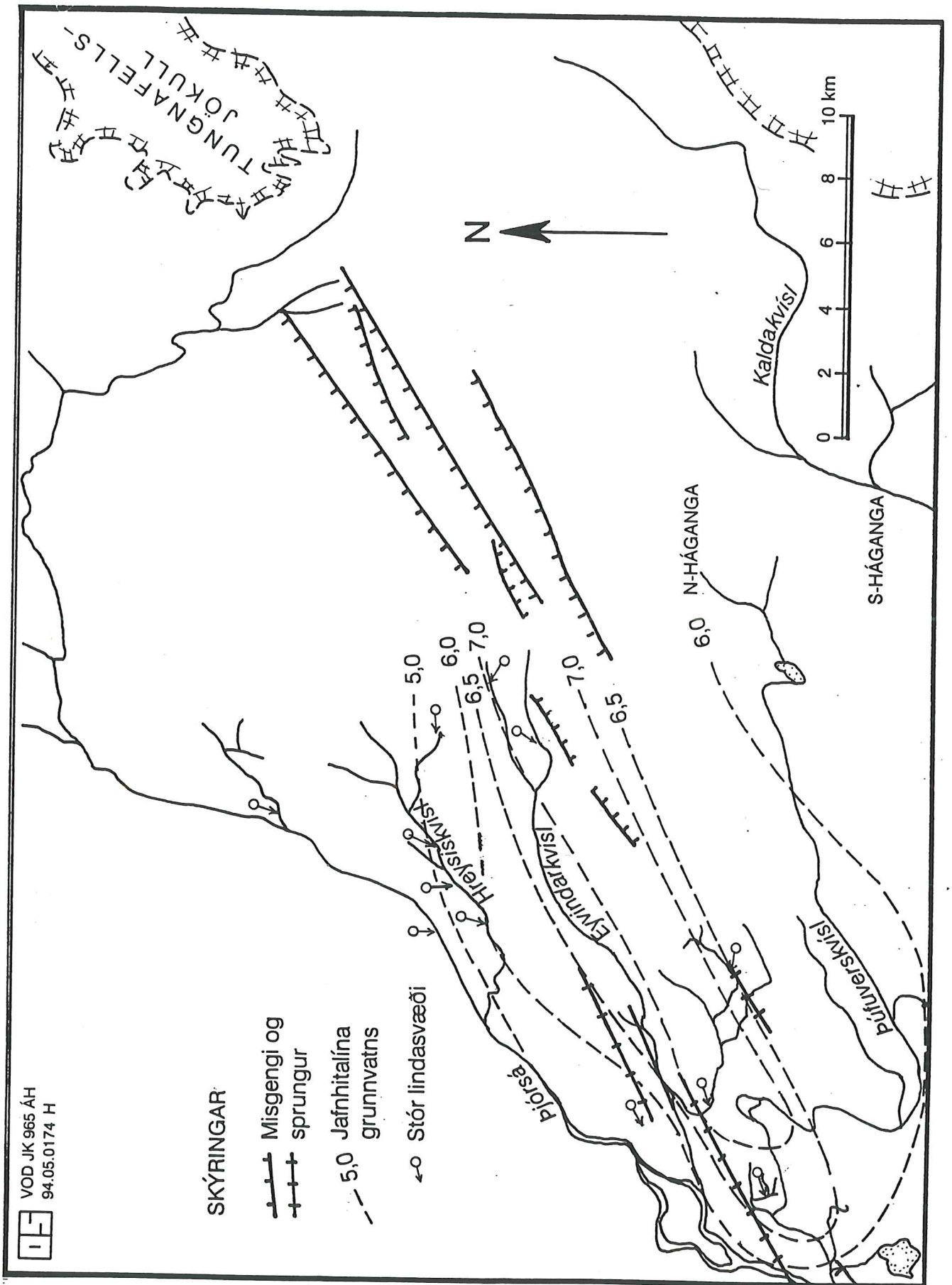
Samtals renna um 10 m<sup>3</sup>/s af hlýju lindavatni af svæðinu. Meðalhiti þess er um 6°C sem er 3°C hærra en það sem eðlilegt mætti teljast. Til gamans má nú reikna út hve mikla hitaorku þarf til að gefa vatninu þessa upphitun t.d. hve miklu af sjóðandi vatni þarf að blanda í það:

$$10 \text{ m}^3/\text{s} \times 3^\circ\text{C} = X \text{ m}^3/\text{s} \times 100^\circ\text{C} \Rightarrow X = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Með öðrum orðum þarf 300 l/s af sjóðandi vatni í blönduna. Þetta samsvarar 1,26 x 10<sup>8</sup> J/s eða 126 MW(T).

Í borholum á Kvíslaveitusvæði kemur víða fram nokkur hitastigull. Holurnar eru að vísu of grunnar til að draga víðtækar ályktanir af honum. Töluvert mikill munur er á hitastiglinum í holum innan og utan hlýja svæðisins. Utan þess er stigullinn oftast innan við 40°C/km. Innan þess er hann víðast yfir 40°C/km og fer upp í 185°C/km í KV-6 (og í 200 í V-2 sem að vísu er aðeins 11 m djúp og því vart marktæk).

Upp með Þjórsá norðan Hreysiskvíslar fer að gæta óumdeilanlegra áhrifa frá jarðhitavatni. Þess sér reyndar mest merki vestan ár. Um ætterni og útbreiðslu þessa vatns er enn sem komið er harla lítið vitað.



Mynd 13. Sprunguskari frá Tungnafellsjökli, lindir og hitadreifing í grunnvatni (Árni Hjartarson 1981).



## 2. LEKTARGREINING

Þegar búið er að gera vatnsföllum og lindum skil er kortlagningin komin á það stig að unnt er að hefja mat á lekt og lektareiginleikum jarðlaganna. Berggrunnur og laus jarðlög á Hágöngusvæði hafa verið rannsökuð allfarlega þótt engin jarðfræðikort hafi verið gefin út. Elsa G. Vilmundardóttir hefur teiknað upp drög að berggrunnskorti og Ingibjörg Kaldal hefur gert handrit af jarðgrunnskorti af svæðinu og báðar hafa þær góðfúslega veitt leyfi til að nota þessi kort til hliðsjónar við vatnafarskortlagninguna.

### 2.1 Laus jarðlög

**2.1.1 Vatnaset.** Laus jarðlög setja mikinn svip á vatnafarið á Hágöngukorti. Fyrst ber að nefna aurasvæði Köldukvíslar og Sveðju austan við Hágöngur. Það er að segja Köldukvíslarbotna sjálfa. Þarna er meðalgróft jökulvatnaset. Árnar, sem koma undan Vatnajökli, bera með sér ógrynni af mól og sandi niður á sléttlendið í Köldukvíslarbotnum þar sem grófasti hluti efnisins fellur út og verður eftir. Hágönguhraun heldur þessum aukum uppi en líklegt er þó að þarna hafi verið aurasvæði áður en það rann. Þá hefur Kaldakvísl liðast um sanda sem lágu nokkrum metrum neðar en þeir gera nú. Hágönguhraun flæddi upp að Syðri-Hágöngu árla á nútíma og stíflaði ána. Um tíma hefur staðið uppi lítið vatn innan við það. Árnar hafa vafalaust verið fljótar að fylla það upp og mynda nýtt aurayfirborð til samræmis við hækkaðan rofflöt þótt svolitlar leifar vatnsins sjáist raunar enn norðan við Syðri-Hágöngu. Samkvæmt þessum jarðsöguskilningi eru áraurarnir allþykkir og vel vatnsleiðandi og því ágætur veitir. Hluti þeirra er hulinn Sveðjuhrauni sem flæddi niður yfir þá síðla á nútíma og hugsanlega teygjast aurarnir einnig eitthvað inn undir Hágönguhraun. Grunnvatnsstraumur í þeim er sennilega til suðvesturs inn undir hraunið. Ekkert af honum skilar sér til yfirborðsins þarna í nágrenninu svo einkenni hans eru óþekkt en vatnið er að miklu leyti vatn sem lekur úr ánum (sjá kafla 10). Hugsanlegt er að hluti þessa vatns komi fram niður undir Kvíslavatni vestan Háganga (sbr. kafla 17.8).

Þjórsárver einkennast af þykkum lausum jarðlögum en einungis austasti jaðar þeirra teygir sig inn á kortið. Þar skiptast á jökulurðarmelar og jökulsáraurar. Þriðja svæðið sem vert er að nefna eru áreyrar við Nýjadal og Nýjadalskvísl. Þótt tölvvert grunnvatn sé vafalítið í þessum veitum hafa þeir einungis staðbundna þýðingu. Allmörg smærri svæði með vatnsmettuðum lausum jarðlögum eru á kortinu.

**2.1.2 Jökulruðningur** er útbreiddur á svæðinu og á norðurhluta þess hylur hann berggrunninn gersamlega á stórum svæðum. Þrátt fyrir það virðist þykkt hans hvergi vera mjög mikil. Grunnvatnsborðið virðist ekki ná upp í ruðningnum nema á tiltölulega afmörkuðum svæðum. Vatnafarsleg þýðing hans er því lítil.

### 2.2 Berggrunnur

**2.2.1 Nútímahraun** rík af grunnvatni eru á kortblaðinu. Miklar lindir sem koma undan Sveðjuhrauni í Köldukvíslarbotnum sýna að það er góður veitir. Gera má ráð fyrir að það sama gildi um önnur hraun á svæðinu. Engar lindir koma þó undan frambrún Hágönguhrauns og raunar ekki upp með jöðrum þess heldur. Ástæðan fyrir því er vafalaust sú að hraunið liggur á það lekum jarðmyndunum að grunnvatnsstraumurinn, sem líklegt er að sé í austurhluta þess, hefur allur hripað niður í undirlagið. Vesturhluti hraunsins liggur því

yfir grunnvatnsborði. Á kortinu kemur þetta fram í því að austurhluti Hágönguhrauns hefur dökkgrænan lit vatnsríks hrauns en grái liturinn á vestasta hluta þess gefur til kynna að jarðlögin undir hrauninu séu óþekkt. Litaskilin sem dregin eru inn á kortið og eiga að sýna hvar grunnvatnsborðið hverfur niður úr því, eru afar óviss, og lega þeirra gæti skakkað um einhverja kílómetra.

Háölduhraunið við Þjórsá á upptök sín í óþekktum eldstöðvum undir Hofsjökli. Það hefur runnið í mjóum straumi niður eftir farvegi árinna. Óregluleg smástuðlum í því sýnir að það hefur orðið fyrir hraðri kælingu af völdum árvatnsins. Grunnvatnsflöturinn virðist víðast hvar ná upp í hraunið eins og sést á lindum sem koma undan því á mörgum stöðum. Fyrir vikið er allt hraunið sýnt í dökkgrænum lit.

*16.2.2 Hlýskeiðshraun*, bæði ólivón þóleiit og þóleiit, eru alláberandi á norðanverðu svæðinu. Alstaðar sem til sést eru þessi hraun óholufyllt og fersk og virðast runnin á síðustu hlýskeiðum ísaldar. Mælingar á segulstefnu bergsins sýna alstaðar rétta segulmögnun og eru þau því talin frá núverandi segulskeiði, Brunhes. Vatnsrennsli á yfirborði er ekki mikið nema í vetrarblotum og vorleysingum. Á sumrin eru flestir vatnsfarvegir þurrir og augljóst er að vatn sígur auðveldlega í jörð. Samkvæmt því fá hlýskeiðshraunin ljósgrænan lit góðrar lektar.

*16.2.3 Líparít* setur sterkan svip á umhverfið á þessum slóðum. Mest fer fyrir því í Hágöngum og næsta nágrenni þeirra. Bæði fjöllin virðast vera líparítgúlar, ein goseining hvort. Í samræmi við það er bergið einsleitt (homogen) frá fjallsrótum og upp úr og lagskipting lítil og óregluleg. Samkvæmt óbirtum gögnum Elsu G. Vilmundardóttur eru fjöllin nokkuð gömul, altént eldri en frá síðasta hlýskeiði. Lindir sem koma upp við fjallsræturnar eru allar óverulegar. Hágöngumarnar eru þannig í laginu að þær steypa af sér úrkomu sem á þær fellur. Vatn sígur því í takmörkuðum mæli inn í þær. Grunnvatnsborðið stendur því líklega fremur lágt í þeim þótt það teygi sig eitthvað upp í líparítið. Á kortinu þótti eðlilegast að sýna fjöllin með miðlungs, jafnleitna lekt.

Utan Hágangna finnst líparít einungis í efstu drögum Eyvindarkvíslar nyrðri, í Líparítgili og nágrenni þess. Þar kemur fram súrt hraun undir basísku ísaldarhrauni og móbergi. Þarna er lindasvæði og vatn á hitabilinu 6-9°C vellur upp úr óreglulega sprungnu líparítinu. Hvergi sér undir það og sennilega er það allþykkt. Á kortinu er því gefin gulur litur mikillar jafnleitinnar lektar.

*16.2.4 Móbergsmýndanir*, sem hafa jafnleitna lekt, fara í tvo flokka á kortinu, það er vel lekt móberg og miðlungs lekt móberg. Berg sem flokka mætti undir þétt móberg fyrirfinnst ekki á rannsóknarsvæðinu. Vel leku móbergsmýndanirnar, sem sýndar eru í gulum lit, eru flestar á suðvesturhluta kortsins. Þar er um að ræða jarðmýndanir sem ríkar eru af kubbabergi og bólstrabergi. Miðlungs leku móbergsmýndanirnar eru mun ríkari af móbergstúffi. Það verður að viðurkennast að flokkunin er afar óviss og e.t.v. ætti einhver hluti þeirra myndana sem sýndar eru miðlungs lektar að falla í leka flokkinn.

*16.2.5 Setberg*. Við efri hluta Þjórsár eru útbreidd setlög í berggrunninum. Þau nefnast einu nafni Hvangiljaset. Þau eru sundurleit að gerð og aldri, jökulberg, jökulvatnaset, stöðuvatnaset o.fl. Þau eru alstaðar runnin saman í hart setberg og víðast hvar all sprungin. Lektin virðist fremur lág en þó eru lindir víða í tengslum við sprungur. Nyrsti hluti Hvangiljasetlaganna kemur inn á kortblaðið milli Þjórsár og Hreysiskvíslar. Þau eru sýnd



í mosagrænum lið miðlungs, misleitinnar lektar. Hér verður þó að viðurkenna enn á ný að lektarflokkunin er óviss.

16.2.6 *Þétt berg* sambærilegt við Tertíeru blágrýtismyndunina eða mjög ummyndað berg finnst ekki á kortlagningarvæðinu. Af því leiðir að sá dökkbrúni litur sem einkennir það á vatnafarskortum er ekki til staðar á þessu kortblaði.

## 17. HÖGGUN

Hinn margumræddi sprunguskari frá Tungnafellsjökli, sem ljær vatnafarinu á Kvísla-veitusvæði lit og líf, er all sérkennilegt náttúru fyrirbrigði. Vatnafarslegra áhrifa hans gætir langt út fyrir kortið eða allt niður að ósum Þúfuverskvíslar við Þjórsá en á yfirborði jarðar sér hans lítil merki þar. Á loftmyndum koma fram ógreinilegar brotalínur með austnorðaustlæga stefnu en ferðamaður á sveimi um svæðið verður einskis var, jafnvel þótt glöggur sé. Þegar kemur austur og norður fyrir Kistuöldu fara þessar brotalínur að verða áberandi í landslaginu og mynda mikla misgengisstalla sem fannir sitja undir fram eftir öllum sumrum og undirstrika landslagsformið. Saman mynda misgengi þessi sigdal í fjöllunum vestur af Nýjadal og annan ógreinilegri rétt norðar. Þegar norður undir Nýjadal kemur bregður svo kynlega við, að sprungurnar venda stefnunni um 30 gráður eða svo og ganga til norðnorðausturs uns þær hverfa undir Tunguhraun norðan Tungnafellsjökuls.

Tungnafellsjökull sjálfur liggur utanvert við sprunguskarannnn. Þótt hann sé almennt ekki talinn með virkum eldfjöllum er hæpið að slá því föstu að hann sé kulnaður með öllu. Tungnafellsjökull er eldkeila með jökulfylltri öskju í toppinn. Kristján Sæmundsson (1982) hefur skoðað jarðfræði fjallsins lítillega og lýst henni. Hnjúkum settur öskjuriminn liggur í sveig umhverfis jökulhettuna og heldur að henni nema þar sem jökultungur lafa úr skarðakjöftum niður á fjallsbringuna. Askjan er ívið sporöskjulaga til NA-SV og er talin 100-200 m djúp. Umhverfis Tungnafellsjökul gengur fjallakrans sammiðja öskjunni sem virðist hafa myndast við eldvirkni á hringsprungubelti. Hér er um að ræða fjallið Þvermóð, hina sveigmynduðu fjallsegg Mjóháls vestan og sunnan Nýjadals og áframhald hennar í hnjúkunum Eggju, Laugakúlu og Rauðukúlu og fellin Stakafell, Fannafell og Tungnafell. Ekki er hægt að sjá, að neitt verulegt landssig hafi orðið um þetta belti nema ef vera skyldi um suður og vestur hlíðar Nýjadals. Til að flækja þessa mynd eilítið meir má geta þess að í Vonarskarði er talið að sé önnur askja og að rimar hennar gangi sniðhallt um suðausturhlíðar Tungnafellsjökuls (Kristján Sæmundsson 1982).

Tungnafellsjökull er á mótum tveggja gosbelta, eystra- og vestra gosbeltisins á Suðurlandi, þar sem NA-SV sprungustefna ríkir en N-S sprungustefna Norðurlands er skammt undan. Sérkennileg sprungumunstur og fjölbreytilegar sprungustefnur umhverfis jökulinn stafa e.t.v. af þessari stöðu hans. Við rannsókn á sprunguskarannum var ekki hægt að sjá að hreyfingar hafi orðið á nútíma á þeim hluta hans sem gengur vestsuðvestur frá Tungnafellsjökli. Allar sprungur virðast þaktar lausum yfirborðslögum og öll brot skriðurunnin og veðruð. Samkvæmt upplýsingum frá Ragnari Stefánssyni á Jarðeðlisfræðideild Veðurstofunnar er svæðið kyrrlátt hvað varðar jarðskjálfta. Engir stórvægilgir jarðskjálftar átt sér stað á þessum slóðum síðustu hálfu öldina að minnsta kosti. Stærstu skjálftarnir sem mælast þarna í grennd eru í Bárðarbungu.

Þótt sprunguskarinn suðvestan jökulsins virðist kyrr, er ekki sömu sögu að segja um nyrsta hluta hans á svæðinu norður af Tungnafellsjökli. Þar er hann greinilega virkur. Opnar sprungur, jarðföll og unglægir misgengisstallar sjást þar á stöku stað.

Til að undirstrika hina miklu lekt í sprunguskaranum suðsuðvestur frá Tungnafellsjökli eru meginbrotalínur hans einkenndar með dökkgrænum lit hárrar lektar. Aðrar brotalínur á kortinu, sem ekki hafa jafn skýra vatnafarslega þýðingu (og þær eru raunar sárafáar) eru ekki dregnar fram á þennan hátt, heldur sýndar með svörtum línunum.



## 18. EFNAINNIHALD VATNS

Við gerð venjulegra vatnafarskorta er hæpið að leggja út í miklar efnagreiningar á vatni fyrir kosnaðar sakir. Hins vegar eru víða til mikið af efnagreiningum sem gerðar hafa verið fyrir vatnsveitur, heilbrigðisyfirvöld og einstaklinga t.d. í sambandi við ýmiskonar iðnað, fiskirækt, vatnsútflutning eða annað. Þess vegna hlýtur sú spurning að vakna hvort ekki megi nýta slík gögn til að styrkja grundvöll vatnafarskorts. Á Hágöngusvæði voru sárafáar efnagreiningar til frá fyrri tíð en hins vegar voru fyrirbyggjandi all margar greiningar úr nágrenni svæðisins. Ástæða þótti því til að gera efnafræðiátak og var farin sérstök sýnatökufærð á rannsóknarsvæðið haustið 1993. Eftir að sýnin höfðu verið greind má segja að allálitleg gögn hafi legið fyrir um efnainnihald vatns af þessum slóðum. Eftirfarandi vangaveltur um efnafræðina og not hennar við gerð vatnafarskorta eru byggðar á þessum tveimur sýnahópum sem hér eru nefndir MS-hópur og OS-hópur. MS-hópurinn eru sýnin úr haustferðinni 1993 (tafla 11). OS-hópurinn eru sýni af köldu lindavatni, tekin af starfsmönnum Vatnsorkudeildar Orkustofnunar á árunum 1981-1992 (tafla 12). Samtals eru þetta 74 sýni. Í umræðunni hér á eftir er MS-sýnunum skipt í þrjá flokka: 1) Lindasýni. 2) Sýni úr ám. 3) Sveðjuhraunslindir. Sýnatökustaðirnir sjást á mynd 27.

### 18.1 Uppruni uppleystra efna í vatni

Uppleyst efni í lindavatni geta átt uppruna sinn að rekja úr nokkrum áttum:

1. Efni sem berast með úrkomu.
2. Efni sem leysast upp úr jarðlögum.
3. Efni sem koma úr iðrum jarðar við afgösun.
4. Efni sem koma frá jarðsjó.
5. Efni sem koma frá mengun af mannavöldum.

Á því rannsóknarsvæði sem hér er um að ræða skipta fyrstu þrjú flokkarnir máli. Seinni flokkana tvo þarf vart að hugsa um.

Úrkoma ber jafnan með sér örlítið magn af uppleystum efnum. Hérlendis er megnið af þeim er komið frá hafi, sjávarúði og saltagnir sem vindar þeyta inn yfir landið. Efnagreiningar á úrkomu sýna að hlutföll þessarra uppleystu efna eru lík því sem gerast í sjó. Þegar úrkoma fellur og sígur í jörðu fara ýmis ferli af stað þannig að efnahlutföll í grunnvatni verða ólík því sem þau voru í úrkomunni. Eftir því sem vatnið dvelur lengur í jörð og sérstaklega ef það nær að hitna, verða efni frá berggrunninum æ fyrirferðameiri í upplausninni en úrkomuþátturinn að sama skapi hlutfallslega minni. Á gosbeltunum og í næsta nágrenni þeirra má búast við áhrifum frá kviku í jarðskorpunni einkum vegna afgösunar frá göngum og öðrum innskotum. Í yfirborðsvatni og lindavatni (og einnig í jarðhitavatni) má skipta uppleystum efnum í tvo flokka, hvarfgjörn efni og utangarðsefni. Hvarfgjörnu efnin eru efnafræðilega virk eins og nafnið gefur til kynna og bindast gjarnan í ummyndunarsteindum. Utangarðsefnin er miklu minni flokkur og þau bindast lítið eða ekki í ummyndunarsteindum (Stefán Arnórsson 1994).

Tafla 11: Efnagreiningar á vatni af Sprengisandi MS-sýnahópur

Staður	Sýni nr.	Dags.	Hiti (°C)	pH	SiO <sub>2</sub> (mg/kg)	Na (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Al (mg/kg)	CO <sub>2</sub> (mg/kg)	SO <sub>4</sub> (mg/kg)	Cl (mg/kg)	F (mg/kg)	O <sub>2</sub> (mg/kg)	dO18 ‰	dD ‰
Eyranósagil, lind	93-3271	060993	1.6	7.75/14	16.50	2.85	0.21	4.72	2.275	0.073	0.036	19.4	1.86	3.51	0.066	10.46	-12.14	-88.6
Lipartígil	93-3272	060993	9.3	10.02/10	27.16	25.02	0.53	1.52	0.101	0.024	0.078	27.2	8.10	2.45	0.152	3.53	-12.62	-92.6
Lind v. Hreysiskv.1	93-3273	070993	6.3	9.96/12	24.83	17.58	0.84	1.99	0.241	0.025	0.063	21.5	3.04	2.63	0.123	7.20	-12.50	-91.4
Lind v. Hreysiskv.2	93-3274	070993	5.1	10.01/12	23.51	17.25	0.75	1.99	0.230	0.011	0.051	20.7	2.79	2.70	0.123	6.39	-12.44	-91.9
Lind v. Þjórsá	93-3275	070993	4.7	9.96/12	22.27	15.87	0.80	2.19	0.150	0.005	0.050	19.8	2.38	2.71	0.114	7.27	-12.37	-92.1
Þjórsá	93-3276	070993	6.4	8.98/12	15.40	10.08	0.80	2.92	0.438	0.110	0.103	23.4	2.21	2.25	0.129	9.23	-12.47	-92.6
Völgra v. Þjórsá	93-3277	070993	11.6	10.19/12	33.32	25.02	0.80	1.77	0.309	0.486	0.669	24.2	3.34	2.93	0.177	3.93	-12.43	-91.5
Lind v. Amarf. vað	93-3278	070993	2.9	9.59/12	18.55	9.39	0.63	3.65	0.818	0.129	0.151	19.3	1.91	2.87	0.098	9.24	-12.30	-90.3
Lind v. Amarf. vað	93-3279	070993	15.2	10.14/12	29.62	23.43	0.70	1.36	0.047	0.027	0.095	23.1	3.54	2.98	0.179	4.54	-12.45	-90.6
Lind v. Sprengis. kv.	93-3280	070993	3.2	9.65/12	19.64	11.88	0.63	3.05	0.481	0.022	0.050	20.3	2.18	3.06	0.111	8.58	-12.28	-93.2
Lind v. Þjórsá 2	93-3281	070993	5.5	9.76/12	19.02	13.54	0.71	2.57	0.203	0.030	0.063	19.2	2.23	2.55	0.155	8.03	-12.47	-91.8
Nýjadalsvísl, vað	93-3282	070993	9.7	7.37/12	12.26	4.71	0.38	4.30	0.953	0.218	0.143	16.2	6.24	1.06	0.072	8.42	-13.32	-97.4
Vonará, vað	93-3283	080993	4.2	8.45/9	14.89	9.53	0.47	5.18	2.572	0.026	0.039	31.3	4.78	2.60	0.104	9.49	-12.21	-90.3
Lind í Vonarskarði	93-3284	080993	3.5	9.27/9	15.80	12.15	0.54	5.30	2.959	0.016	0.032	31.5	7.21	2.95	0.123	8.17	-12.51	-91.2
Sveija, næst	93-3285		4.3	7.29/9	7.82	3.47	0.29	5.64	1.000	0.356	0.249	16.3	9.2	1.49	0.053	9.52	-13.15	-93.5
Sveðjuhraunslind 1	93-3286	080993	2.2	8.5/9	13.18	5.53	0.26	3.66	1.928	0.020	0.036	19.4	3.13	3.27	0.132	9.89	-12.90	-93.2
Sveðjuhraunslind 2	93-3287	080993	4.0	7.85/11	16.07	6.52	0.29	4.02	2.082	0.018	0.013	23.5	3.76	3.36	0.137	9.06	-12.96	-91.9
Sveðjuhraunslind 3	93-3288	080993	8.2	7.41/12	21.94	10.01	0.53	6.72	3.190	0.014	0.017	40	4.41	3.51	0.140	7.77	-13.05	-95.1
Sveðjuhraunslind 4	93-3289	080993	5.6	7.81/12	16.47	8.56	0.27	3.54	1.838	0.011	0.022	25	4.68	3.37	0.167	8.40	-12.96	-95.7
Kalðakv. ofan hverasv.	93-3290	080993	6.0	7.92/12	15.38	13.51	7.30	7.67	4.514	0.429	0.499	43	9.09	2.71	0.158	9.38	-13.62	-96.9
Lind v. Vonarsk.veg	93-3291	080993	3.5	9.08/12	15.22	7.42	0.57	4.52	2.349	0.109	0.135	26.3	2.74	2.41	0.087	9.02	-12.12	-89.1
Dragá hjá Nýjadal, vað	93-3292	080993	6.4	7.26/13	13.20	6.33	0.36	3.58	1.091	0.020	0.019	24.8	2.47	1.44	0.083	9.12	-12.34	-87.4
Eftu lindir Hreysiskv.	93-3293	080993	5.0	9.54/21	21.76	15.28	0.69	2.48	0.411	0.059	0.077	21.3	4.61	2.24	0.111	6.62	-12.50	0
Lind v. N-Eyv. kv.2	93-3294	080993	7.3	9.71/21	24.99	21.01	0.68	1.83	0.215	0.055	0.072	27.5	5.86	2.30	0.146	4.61	-12.39	-90.5
Lind v. S-Eyv. kv.	93-3295	080993	5.5	9.60/21	22.05	14.42	0.81	3.03	0.344	0.018	0.022	23.9	3.91	2.55	0.137	7.03	-12.12	-86.8
Lind í Kistuöðugli	93-3296	080993	3.4	8.97/21	18.03	8.23	0.53	3.90	1.054	0.044	0.057	19.7	2.48	2.94	0.121	9.00	-12.08	-86.2
Lind við Þúfuverskv.	93-3297	080993	3.4	8.87/21	18.02	8.24	0.64	4.74	1.291	0.013	0.027	23.8	2.53	2.83	0.121	8.97	-11.89	-88.0
Lind í Svörtubotnum	93-3298	080993	4.5	9.14/21	19.02	11.35	1.22	4.09	0.603	0.011	0.026	22.7	2.84	3.30	0.140	8.39	-11.82	-85.2
Lind í Hnausveri	93-3299	080993	3.3	8.50/21	13.09	4.01	0.34	3.77	1.164	0.477	0.435	13	1.38	4.26	0.075	9.81	-12.71	-91.0



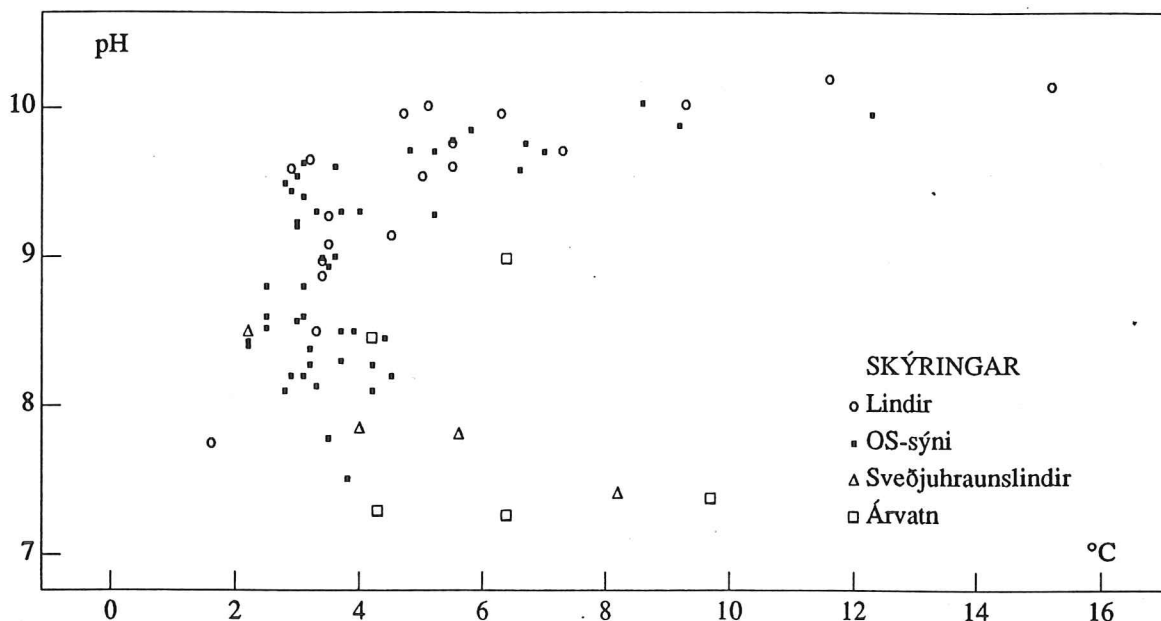
Tafla 12: Efnagreiningar á vatni af Miðhálandinu OS-sýnahópur

Staður	Númer	Dags.	Hiti (°C)	pH	SiO <sub>2</sub> (mg/kg)	Na (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Al (mg/kg)	CO <sub>2</sub> (mg/kg)	SO <sub>4</sub> (mg/kg)	Cl (mg/kg)	F (mg/kg)	O <sub>2</sub> (mg/kg)	Uppl.E (mg/kg)
Svartá, vað	81-9039	81-08-28	3.1	9.4	18.9	15.5	.81	3.27	.53			11.7	3.8	3	.181		55.7
Líparígil	81-9040	81-08-28	7	9.7	26.7	22.8	1.08	1.59	.07			11.6	6.9	2.3	.172		74.6
Volgra v. Þjórsá	84-9035	84-08-29	12.3	9.95	28.57	24.34	.74	1.33	.024			21.53	3.09	2.53	.189		93.25
Lind v. Þjórsá	84-9036	84-08-29	4.8	9.71	20.37	15.88	.74	2.16	.156			16.98	2.31	2.35	.115		71
Hreyskv. HL-8	84-9037	84-08-29	5.8	9.85	22.08	19.81	.65	1.19	.086			20.05	3.97	2.07	.115		80.95
S-Eyvindarkv.	84-9038	84-08-29	6.7	9.76	25.52	22.16	1.01	1.24	.063			25.74	5.92	2.15	.115		92.8
Þúfur	84-9039	84-08-29	6.6	9.58	21.92	19.12	.88	1.64	.224			22.69	5.04	2.2	.144		82.45
Svartá	84-9040	84-08-29	3.3	9.3	17.88	15.22	.79	3.03	.478			25.8	2.25	2.82	.17		69.05
Þjórsárdind	84-9041	84-08-29	3.7	9.3	15.79	13.68	.65	2.69	.221			20.76	2.2	3.97	.136		58.1
Útkvíslarbot.	84-9042	84-08-31	4.2	8.1	18.8	14.22	1.15	5.45	5.563			37.67	12.27	3.44	.189		60.25
Blautkvíslarb.	84-9043	84-08-31	3.3	8.13	16.22	11.41	.98	3.97	3.157			24.5	8.85	3.41	.16		64.15
Vannakvísl	84-9044	84-08-31	3.7	8.5	15.8	11.26	.77	4.32	3.27			24.06	9.9	3.31	.179		62.6
St. Fossvatn	84-9045	84-08-31	3.8	7.51	10.3	7.96	.34	4.85	1.709			19.71	5.41	3.11	.122		35.85
Tjaldvatn	84-9046	84-08-31	4.5	8.2	18.77	14.89	.87	5.69	3.06			35.91	10.46	4.01	.189		85.8
Ónefndavatn	84-9047	84-08-31	3.1	8.6	12.67	9.49	.39	4.91	1.839			19.03	7.62	3.07	.179		43.5
Breiðavatn	84-9048	84-08-31	3	8.57	12.46	10.21	.4	4.81	1.787			19.03	8.24	3.08	.2		60.2
Nýjavatn	84-9049	84-08-31	3.5	7.78	10.09	8.13	.37	3.92	1.654			16.63	5.93	3.21	.272		42.75
Snjóölduvatn	84-9050	84-08-31	2.5	8.8	14.19	10.3	.32	4.42	1.685			19.9	7.16	3.02	.144		55.85
Hraunvötn	84-9051	84-08-31	2.2	8.43	13.69	6.9	.33	3.73	2.065			15.06	5.97	2.55	.097		44.5
Lindakot	84-9074	84-09-29	3.2	8.27	12.7	11.23	.55	7.14	2.765			29.81	6.43	3.75	.148		73.9
Þórstungur	84-9075	84-09-29	3.2	8.38	12.7	10.96	.53	7.87	2.631			30.47	6.43	3.84	.145		72.4
Stóragil	84-9076	84-09-29	2.9	8.2	11.86	9.65	.43	6.66	2.925			26.52	7.3	3.76	.123		66
Stóragil	84-9077	84-09-29	3.1	8.2	12.21	9.59	.43	8.26	2.811			30.03	6.49	3.39	.13		68.8
Tríppagil	84-9078	84-09-29	2.8	8.1	11.18	8.73	.33	5.81	2.715			23.22	5.99	4.16	.114		59
Fossalda	84-9079	84-09-29	3.7	8.3	14.54	10.96	.5	5.95	2.618			25.83	7.37	4.32	.16		69.7
Fossöldubull.	84-9080	84-09-29	4.2	8.27	15.33	14.05	.8	7.37	3.185			33.75	10.24	4.09	.21		84
Dalsárdrög	87-9140	87-09-05	3	9.23	14.48	10.08	.83	2.83	1.08			18	1.82	4.08	.104		38.1
Þjamaakjarb.	87-9141	87-09-06	3	9.54	17.19	15.35	.34	1.8	.14			12.3	1.77	4.03	.101		63.8
Lengri-Norðurtleit	87-9142	87-09-07	2.9	9.44	17.23	14.21	.65	2.24	.19			15.2	3.57	3.7	.128		65.7
Hnífárbotnar	87-9143	87-09-08	3.5	8.93	17.92	11.84	.92	3.84	1.64			24.6	5.08	2.94	.235		53.8

Tafla 12 (Frh.) OS-sýnahópurur.

Staður	Númer	Dags.	Hiti (°C)	pH	SiO <sub>2</sub> (mg/kg)	Na (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Al (mg/kg)	CO <sub>2</sub> (mg/kg)	SO <sub>4</sub> (mg/kg)	Cl (mg/kg)	F (mg/kg)	O <sub>2</sub> (mg/kg)	Uppl E (mg/kg)
Rjúpnafell	89-9056	89-09-16	2.2	8.4	17.2	12.16	1.09	3.09	1.47			23.2	2.11	4.28	.142		33
Hnúksver	89-9057	89-09-16	3.6	9	16.8	17.46	.49	1.78	.19			21.9	2.24	5.92	.136		43.5
Fossárdrög	89-9058	89-09-17	2.5	8.52	11.3	10.05	.34	1.7	.116			12	1.26	4.15	.072		22
Þveröldulindir	91-9077	91-07-30	2.8	9.49	18.2	15.51	0.75	2.78	0.31			19.6	2.08	3.54	0.166	9	58.7
Grjótaskv.	91-9078	91-07-30	5.5	9.78	19.95	16.71	0.57	2.38	0.14			17.9	2.74	4.96	0.178	9	64.4
Grjótaskv.	91-9079	91-07-30	3.1	9.63	15.5	11.84	0.55	2.98	0.19			15.7	1.87	4.41	0.112	11	49.6
Austurbotnar	91-9080	91-07-30	4.4	8.45	17.5	14.11	0.81	8.94	5.04			52.6	8.54	3.49	0.197	9	89.3
Hvanngiljahöll	91-9085	91-08-12	4.0	9.3/24	18.9	12.4	0.4	4.0	0.5			20.5	2.7	5.6	0.16	8	57
Lind v. Kjalvöin	91-9086	91-08-12	2.5	8.6/22	10.7	5.0	0.4	3.3	1.2			14.0	1.6	5.5	0.21	9	36
Svartárbotnar	91-9087	91-08-12	3.6	9.6/22	19.7	18.2	0.8	2.2	0.3			21.8	2.1	3.6	0.18	8	53
Hvanná	91-9088	91-08-12	3.0	9.2/22	16.5	11.5	0.63	4.7	1.8			26.3	4.9	3.7	0.19	10	49
Lind g. Krökaveri	91-9089	91-08-12	3.9	9.28	18.15	16.56	0.94	4.64	1.25			30.2	4.55	4.52	0.205	8	57.4
Ljparfjall	92-9033	92-08-25	9.2	9.88	26.4	27	0.51	1.43	0.07	0.0182		32.7	7.43	2.27	0.164		101.5
Hágöngulestur	92-3094	92-08-25	3.1	8.8	15.4	6.15	0.49	2.96	1.55	0.0045		19.9	2.15	2.49	0.113		46.7
Skrokkölduhali	92-9035	92-08-26	3.4	8.99	18.0	11.1	0.72	3.81	0.77	0.0027		22.9	2.06	2.78	0.21		60.2
Háöldukv.mót	92-9036	92-08-26	5.2	9.7	18.6	16.2	0.63	2.42	0.16	0.0022		28.4	2.3	2.53	0.134		68.3
Dalsá	92-9051	92-09-14	3.9	8.5	15.4	12.4	.62	2.27	.73		.042	29.6	1.78	4.62	.12		52
Helgabotnar	92-9052	92-09-16	5.2	9.28	21.1	13.3	1.05	4.32	2.38		.015	45	5.56	2.75	.33		67
Mikillækur	92-9053	92-09-17	8.6	10.03	23.1	25.8	.26	1.45	.027		.029	26	4.64	5.14	.25		64





Mynd 14: Samband pH og hitastigs í MS- og OS-sýnahópunum.

### 18.2 Efnainnihald og hiti

Myndirnar sem fylgja þessum kafla sýna samband efnainnihalds og hita í sýnunum. Þar kemur í ljós að sum efni fara vaxandi með auknum hita, önnur minnkandi og enn önnur sýna ekki glögga fylgni við hitann. Sem vænta má sker árvatnið sig úr enda endurspeglar hiti þess einkum veðurfarsaðstæður og lofthita á þeim tíma sem sýnin voru tekin. Ársýnunum má skipta í tvennt, sýnin úr Þjórsá og Vonará hafa glögg einkenni lindavats en í hinum ánum er yfirborðsvatn.

*pH.* Efnahvörfum bergs og vatns hefur stundum verið lýst sem títrun þar sem bergið er í hlutverki basans en vatnið sýrunnar (Stefán Arnórsson 1994). pH í regnvatni hérlendis er oftast í kring um 5,5. Eftir að það fellur til jarðar og kemst í snertingu við yfirborðið hækkar pH-ið fljótt upp í um það bil 7 (Sigurður Gíslason og Eugster 1987) en þá er eyðingarhraði  $H^+$  jóna vegna efnahvarfa vatns og bergs jafn og myndunarhraði þeirra vegna uppleysingar og klofnunar kolsýru frá andrúmsloftinu. Þegar yfirborðsvatnið sígur til grunnvatnsins og einangrast frá andrúmsloftinu berst kolsýran ekki lengur að. Þetta veldur því að pH leitar jafnvægis við  $H_2SiO_4$  og hækkar upp í 9-10 eða meir í köldu vatni í basísku bergi. Þegar vatnið sprettur fram í lindum lækkar pH-ið á ný niður undir 7. Við upphitun grunnvatnsins lækka þessi gildi einnig.

Línuritið fyrir hita á móti pH sýnir skiptingu sýnanna sem endurtekur sig allvíða í eftirfarandi gögnum (mynd 14). Lindavatnið sýnir góða fylgni við hitann, rís úr pH 7,5 upp í rúmlega 10. pH vex hraðast fyrst, á hitabilinu frá 1-5°C, en þar fyrir ofan er vöxturinn hægur. pH er ekkert farið að lækka í hlýasta vatninu eins og búast mætti við að það gerði við frekari upphitun. Útskolun á  $CO_2$  úr bergi vex með auknum hita og veldur lækkandi pH-gildi.

Sveðjuhraunslindirnar sýna öfuga tilhneingingu við annað lindavatn en í þeim lækkar pH með hækkandi hita. Það má skýra með því að vatnið hafi fengið upphitun við íblöndun jarðgufu. Þegar árvatnið er skoðað sérstaklega sést að það sker sig nokkuð úr. Þrjú sýnanna hafa áberandi lægst gildi sem liggur niður undir pH 7. Það er samspilið við andrúmsloftið sem heldur pH gildinu milli 7 og 8. Þjórsá hefur pH 9 og Vonará 8,5 sem

bendir til þess að mikið lindavatnsinnrennsli sé til þeirra ofan við sýnatökustað.

*Kísill* er í afar litlu magni í úrkomu og innihald hans í grunnvatni stafar af upplausn úr berginu. Í sýnunum kemur fram línuleg aukning á kísli með hita (mynd 15). Sveðjuhraunslindir skapa sér enga sérstöðu. Árnar skera sig hins vegar úr. Sveðja er lægst en það skýrist af jökulvatninu í henni. Sigurður R. Gíslason (1990) hefur sýnt fram á að við bráðnun á jökulís verði efnaaðskilnaður og sölt skolist hratt út. Síðsumar- og haustvatn í jökulám ætti því að vera afar efnasnautt. Þjórásá hefur hæst pH gildi en þar kemur lindavatnsþátturhennar í ljós.

Í *natríum* er línulegur vöxtur með hita þar til komið upp fyrir 10°C, en þá er eins og ferillinn sveigi af og verði nánast láréttur. Sveðjuhraunslindir og árvatnið skera sig úr og sýna sama einkenni og í pH-inu (mynd 16).

Í *kalíum* er erfitt að sjá nokkra fylgni við hita (mynd 17). Búast mætti við að kalíum sýndi samskonar dreifingu og natríum. Ástæðan fyrir því að svo er ekki gæti ráðist af því að kalíuminnihald í bergi er breytilegra en natríuminnihald þess.

Í *kalsíum* og *magnesíum* virðist styrkurinn fara minnkandi með vaxandi hita og leitar niður fyrir það gildi sem yfirborðsvatnið hefur (myndir 18 og 19). Sveðjuhraunslindir hafa öðruvísi hegðun en önnur sýni þar fer kalsíum- og magnesíumstyrkurinn vaxandi með hita. Þar eru þessi efni að leysast upp í vatninu en annars staðar virðast þau vera að falla út. Tvö sýni skera sig úr með háan styrk í magnesíum en það er vatnið frá Útkvíslarbotnum og Austurbotnum Þórisvatns. Skýringin er líklega sú að bæði þessi sýni eru há í kolsýru en hún auðveldar útlausn Mg úr bergi.

*Klór* sýnir enga fylgni við hitann (mynd 20) enda hefur verið sýnt fram á að í köldu vatni hérlandis er hann utangarðsefni og ræðst mest af styrknum í úrkomuvatninu. Gildin eru lág eins og jafnan er í vatni inn til landsins. Lægstu klórgildin eru athyglisverð en þau lenda á bilinu 1,0-1,5 ppm og orsakast líklega af jökulbráði sem er klórsnautt (Sigurður R. Gíslason 1993). Nýjadalsá er lægst en síðan koma dragáin við Nýjadal og Sveðja.

*Kolsýra* sýnir ekki fylgni við hita, a.m.k. er það ekki auðsætt. Austurbotnalindir skera sig frá öðrum og eru háar í kolsýru (mynd 21).

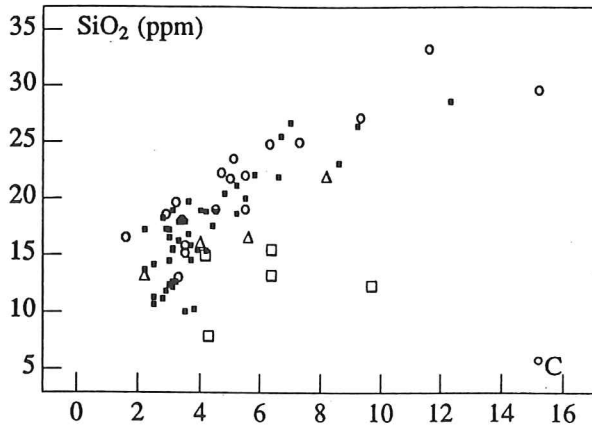
*Súlfat* sýnir ekki fylgni við hita fremur en kolsýran (mynd 22). Útkvíslarbotnar eru háir í súlfati. Hátt súlfatmagn í Sveðju vekur einnig athygli. Hugsanlegt er að þar komi jarðhitaáhrif fram. Myndin sýnir dálítinn aðskilnað MS og OS hópanna sem líklega stafar af landfræðilegri dreifingu. OS-sýnin eru flest tekin sunnar og vestar en MS-sýnin.

*Flúor* sýnir greinilega vaxandi styrk með hita (mynd 23). Áberandi er að OS-hópurinn hefur hærri styrk en MS-hópurinn. Hér kemur líklega fram sami landfræðilegi munurinn og í súlfatinu en hugsanlega kemur einnig til munur í greiningaraðferð hjá rannsóknarstofunum sem greindu sýnin. MS-hópurinn hefur trúverðugri dreifingu. Hann raðar sér fallega kring um feril með bratt vaxandi styrk neðst en sem er orðin nánast lárétt ofan við 10°C. Þjórásá og Vonará hafa einkenni lindavatns en Nýjadalskvísl, dragáin hjá Nýjadal og Sveðja einkenni yfirborðsvatns.

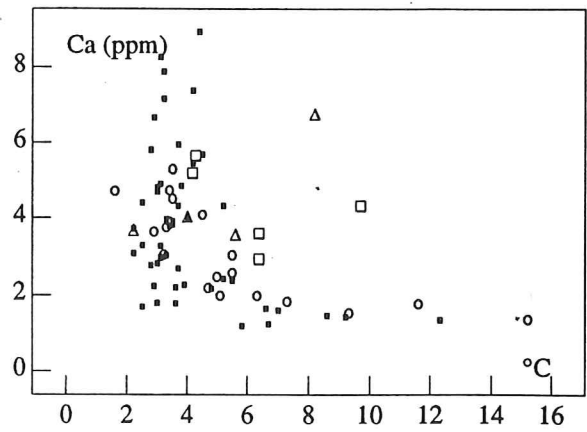
*Járn og ál* voru ekki mæld í OS-sýnahópnum. Í MS-hópnum sýna þau ekki fylgni með hita. Volgra við Þjórásá og lind í Hnausaveri skera sig úr með hærri styrk í þessum efnum en önnur sýni (myndir 24 og 25).

*Súrefni* var ekki mælt í OS-sýnahópnum en í MS-hópnum fer það hratt minnkandi með hita. Árvatnið sýnir herra gildi þótt ekki hafi það náð mettun við andrúmsloft (mynd 26).

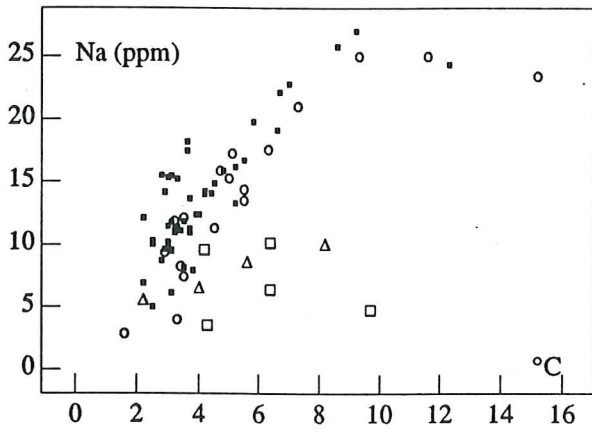




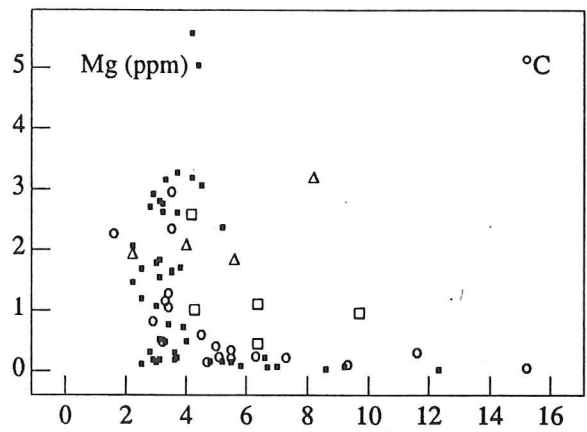
Mynd 15. Kísill á móti hita. Skýringar á mynd 14.



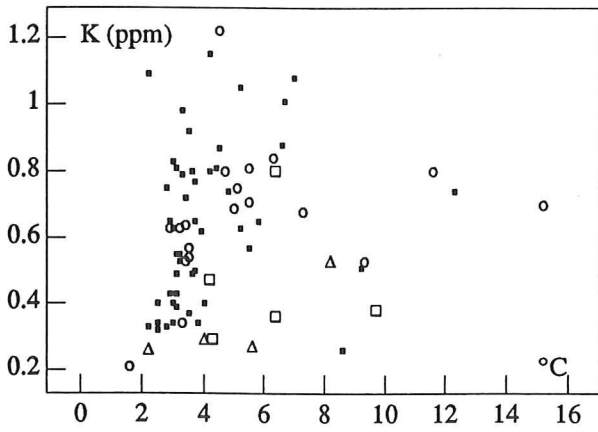
Mynd 18. Kalsíum á móti hita



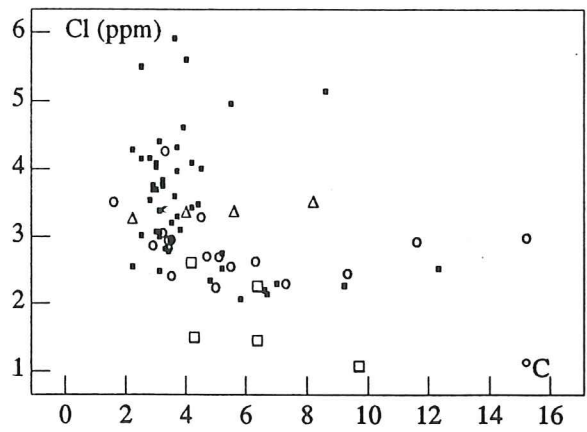
Mynd 16. Natrím á móti hita



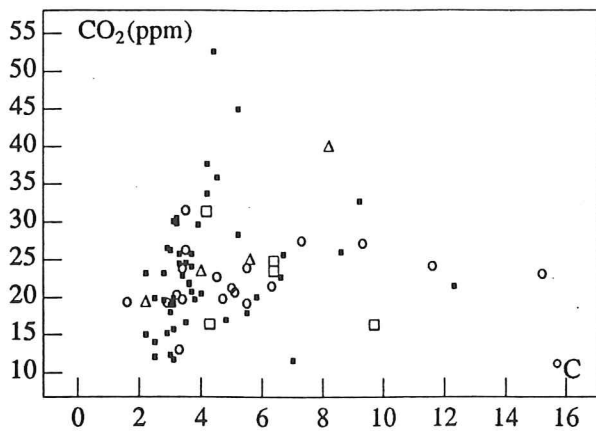
Mynd 19. Magnésíum á móti hita



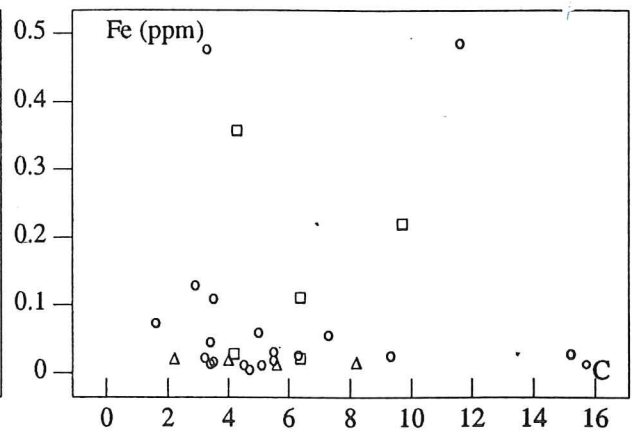
Mynd 17. Kalíum á móti hita



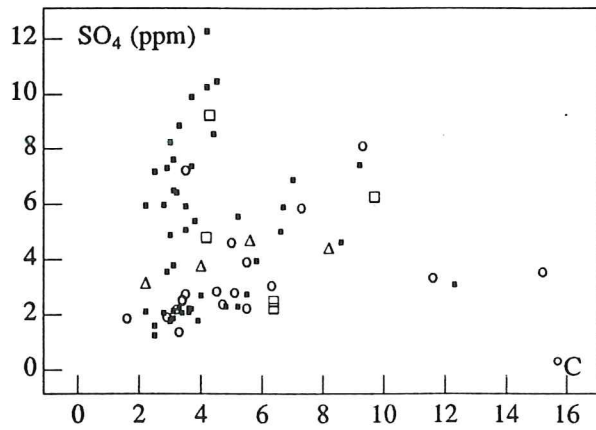
Mynd 20. Klór á móti hita



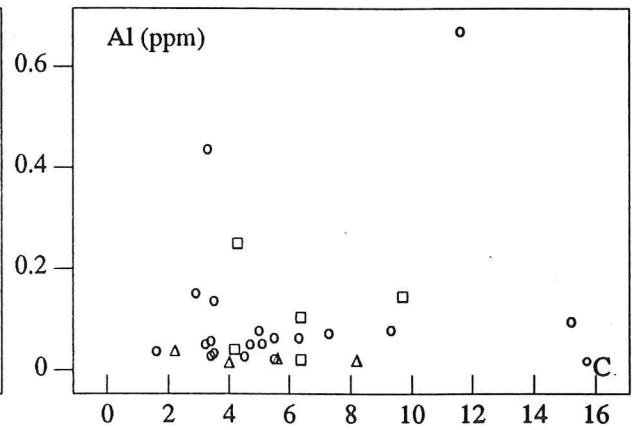
Mynd 21. Kolsýra á móti hita



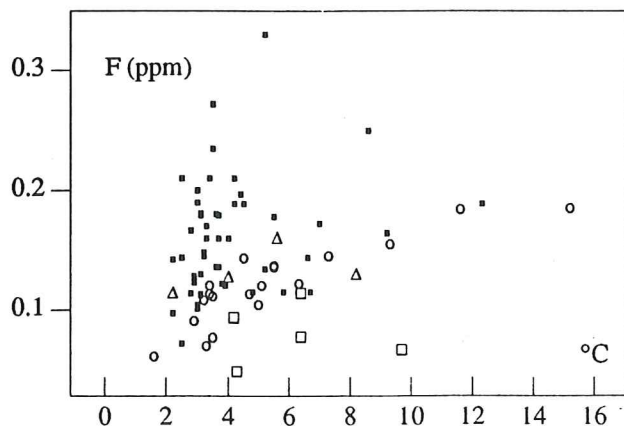
Mynd 24. Járn á móti hita



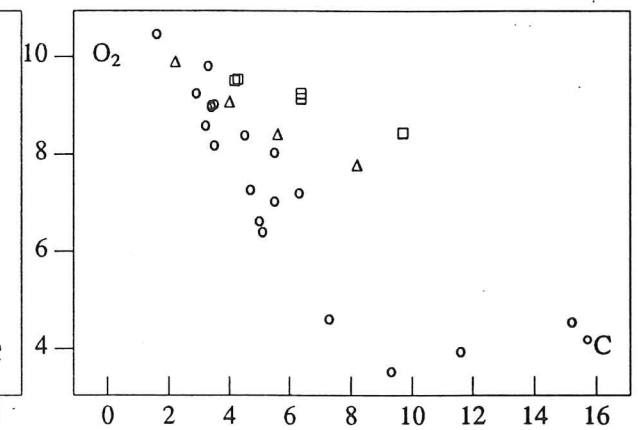
Mynd 22. Súlfat á móti hita



Mynd 25. Ál á móti hita



Mynd 23. Flúor á móti hita



Mynd 26. Súrefni á móti hita



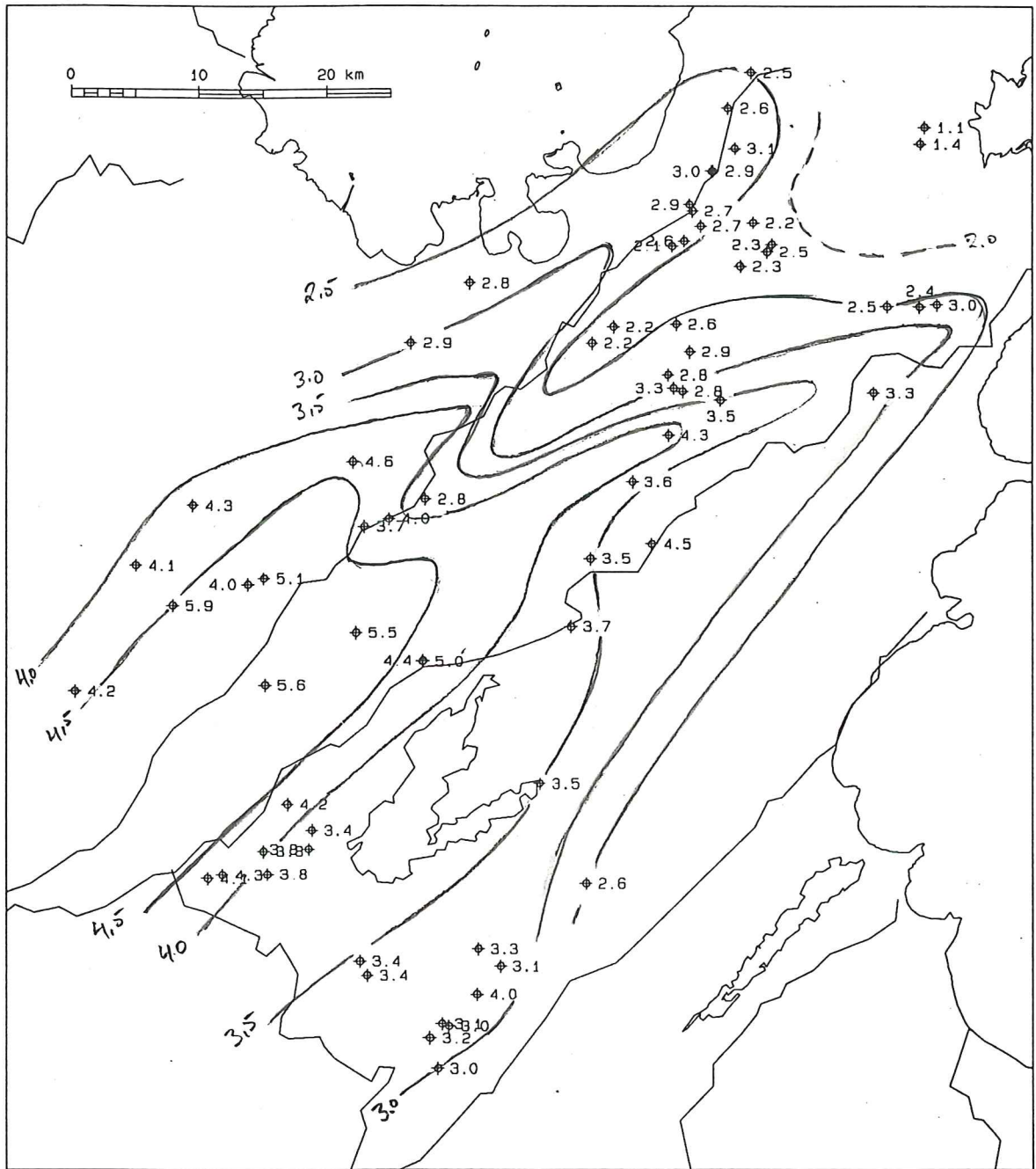
### 18.3 Styrkur klórs

Athuganir á köldu grunnvatni benda til þess að klór sé utangarðsefni sem við lágan hita taki lítinn þátt í efnahvörfum við berg. Lítið sem ekkert fellur út af honum og lítið sem ekkert af nýjum klór leysist úr berginu. Klórstyrkur í yfirborðsvatni, jökulvatni og köldu grunnvatni er því nánast alfarið af hafrænum toga (Freysteinn Sigurðsson og Kristinn Einarsson 1988, Stefán Arnórsson o.fl. 1989, Freysteinn Sigurðsson 1990, Sigurður R. Gíslason 1990 og 1993). Klórstyrkur í úrkomu á einum stað getur verið afar mismunandi frá degi til dags og er háður veðurfari og vindátt. Í grunnvatninu jafnast þessar sveiflur út líkt og aðrir veðurfarsþættir. Í stórum lindum sýnir klórstyrkurinn langtíma meðaltal. Sjávaráhrif í úrkomu eru mest nálægt strönd, eins og gefur að skilja, en dvína eftir því sem lengra dregur inn til landsins. Við suðurströndina er meðalklórstyrkurinn yfir 10 ppm. Efnagreiningarnar sýna að í Vonarskarði er hann kominn niður fyrir 2 ppm.

Vegna þessara eiginleika klórsins getur styrkur hans í lindavatni gefið til kynna hvar hann er upprunninn sem úrkoma og þannig veitt vísbendingu um grunnvatnsstrauma og rennislisleiðir vatnsins í jörðinni.

Mynd 27 sýnir klórstyrkinn á hinum ýmsu sýnatökustöðum og jafngildislínur hans. Þegar myndin er skoðuð kemur margt athyglisvert í ljós. Í fyrsta lagi hversu dreifingin er regluleg. Tiltölulega auðvelt er að draga jafngildislínur, punktarnir sem falla ekki að heildarmyndinni eru örfáir. Í öðru lagi er sem grunnvatnsstraumar beri vatn með lágt klórinnihald til vesturs eða suðvesturs frá Vatnajökli og e.t.v. líka til suðurs frá Hofsjökli en hugsanlegt er einnig að hér sé um að ræða áhrif frá ríkjandi úrkomuátt á svæðinu, suðvestan-áttinni, sem ber sjávarloft inn með Þjórsá og Köldukvísl. Í þriðja lagi er eins og tunga af tiltölulega klórsnauðu grunnvatni teygi sig til vestsuðvesturs frá Tungnafellsjökli niður í Þúfuver við Þjórsá. Þarna leikur lítill vafi á að klórinn sýnir sama grunnvatnsstraum og kemur fram í hitastigsmælingum (mynd 13) og gefur vísbendingu um mikla lekt í sprunguskaranum frá Tungnafellsjökli.

Þegar mynd 27 er borin saman við kort Freysteins Sigurðssonar (1993) af dreifingu klórs í grunnvatni á Íslandi kemur í ljós að 3 ppm og 4 ppm jafngildislínurnar liggja nokkru norðar en þar er sýnt.



Mynd 27: Styrkur og jafngildislínur klórs.



### 1.4 Útskolað natríum

Vegna stöðugleika klórsins í vatninu sýna hlutföll hans og annarra efna ýmsar breytingar sem orðið hafa á efnainnihaldinu frá því að það féll sem úrkoma á svæðið. Hlutfall natríums og klórs á sjó er skv. Handbook of Chemistry and Physics, 65. útg. 1985, bls. F-149.

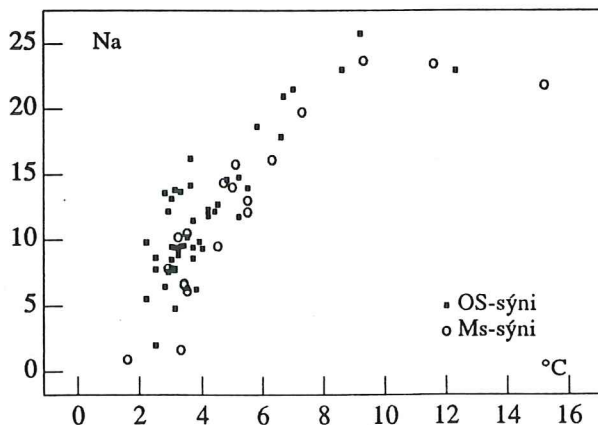
$$\text{Na/Cl} = 10500 \text{ ppm}/19000 \text{ ppm} = 0,55$$

Í grunnvatni er þetta hlutfall yfirleitt alltaf nokkru hærra. Vatnið hefur leyst upp eða skolað natríum úr berginu. Ef sjávarþátturinn er dreginn frá sést hve mikið magn hefur skolað út. Mynd 28 sýnir þetta magn dregið upp á móti hita. Þar kemur fram að því heitara sem grunnvatnið er þeim mun meira hefur skolað út. Ofan við 10°C virðist þó útskolunin hætt og natríum er jafnvel farið að falla út á ný.

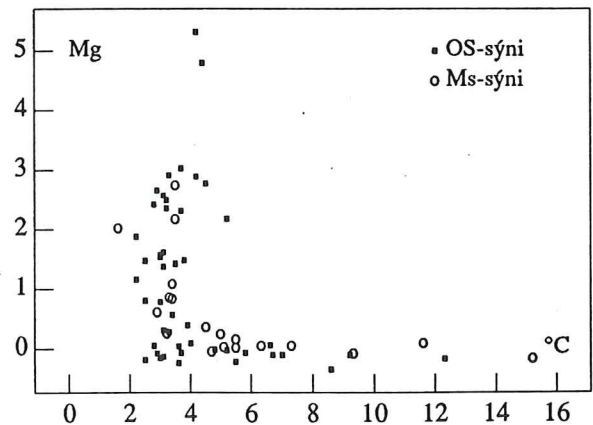
Á mynd 30 er landfræðileg dreifing natríumstyrksins sýnd eftir að búið er að leiðrétta hann fyrir sjávaráhrifum. Þegar þessi mynd er borin saman við kort Freysteins Sigurðssonar (1993) af dreifingu natríums í grunnvatni á landsvísu kemur í ljós að hér er um óvenju há gildi að ræða. Hæsta jafngildislína Freysteins er 8 ppm útskolað Na, því gildi yfir 10 ppm eru bæði fátíð og dreifð um landið. Hér kemur fram stórt svæði þar sem þessi styrkur er yfir 10 ppm og grunnvatn með yfir 20 ppm kemur fram á sprunguskaranum frá Tungnafellsjökli. Þetta bendir til mikilla áhrifa bergsins á natríumið og skýrist líklega af rennsli grunnvatnsins um sprungur.

### 1.5 Útskolað magnesíum

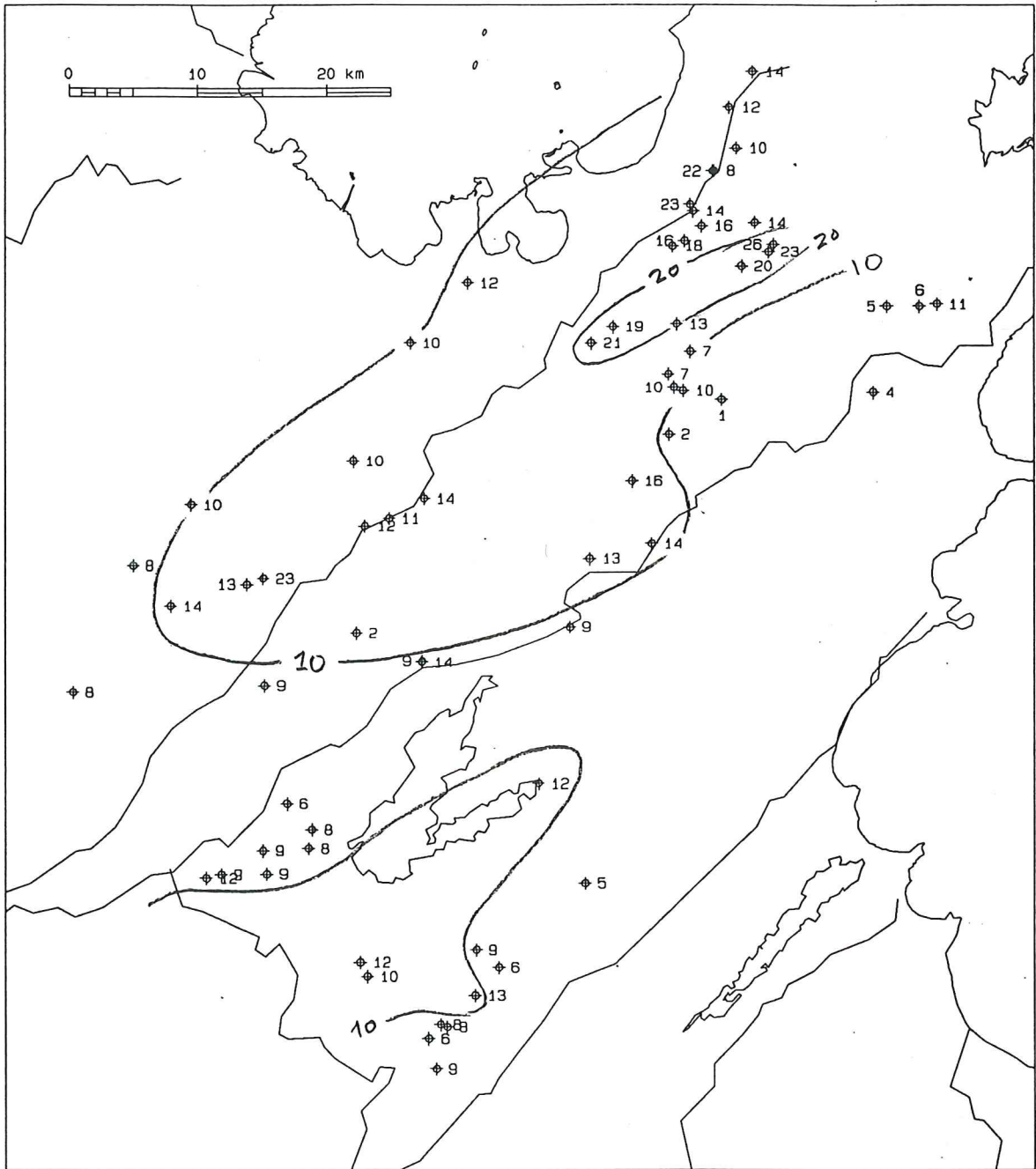
Hlutfall magnesíums og klórs í sjó er:  $\text{Mg/Cl} = 1350 \text{ ppm}/19000 \text{ ppm} = 0,071$  (Handbook of Chemistry and Physics bls. F-149). Ef sjávarþáttur magnesíums er dreginn frá innihaldi þess í grunnvatni, líkt og gert var með natríum í kaflanum hér á undan, og útkoman dregin upp á móti hita, kemur fram dreifing sem sýnd er á mynd 29. Þar sést að magn þess er tiltölulega hátt neðan við 5°C og þar hefur útskolun úr bergi átt sér stað en ofar snarfellur styrkurinn og mörg sýnanna fá neikvætt gildi. Þetta þýðir að magnesíum er farið að mynda steindir og falla út. Sýnin frá Austurbotnum og Útkvíslarbotnum skera sig úr með hátt magnesíum. Mikill styrkur kolsýru í grunnvatni í þessum lindum kann að valda þessu.



Mynd 28: Útskolað natríum ( $\text{Na} - 0,55\text{Cl}$ ) á móti hita. Sýni af árvatni og úr Sveðjuhraunslindum eru ekki með á myndinni.



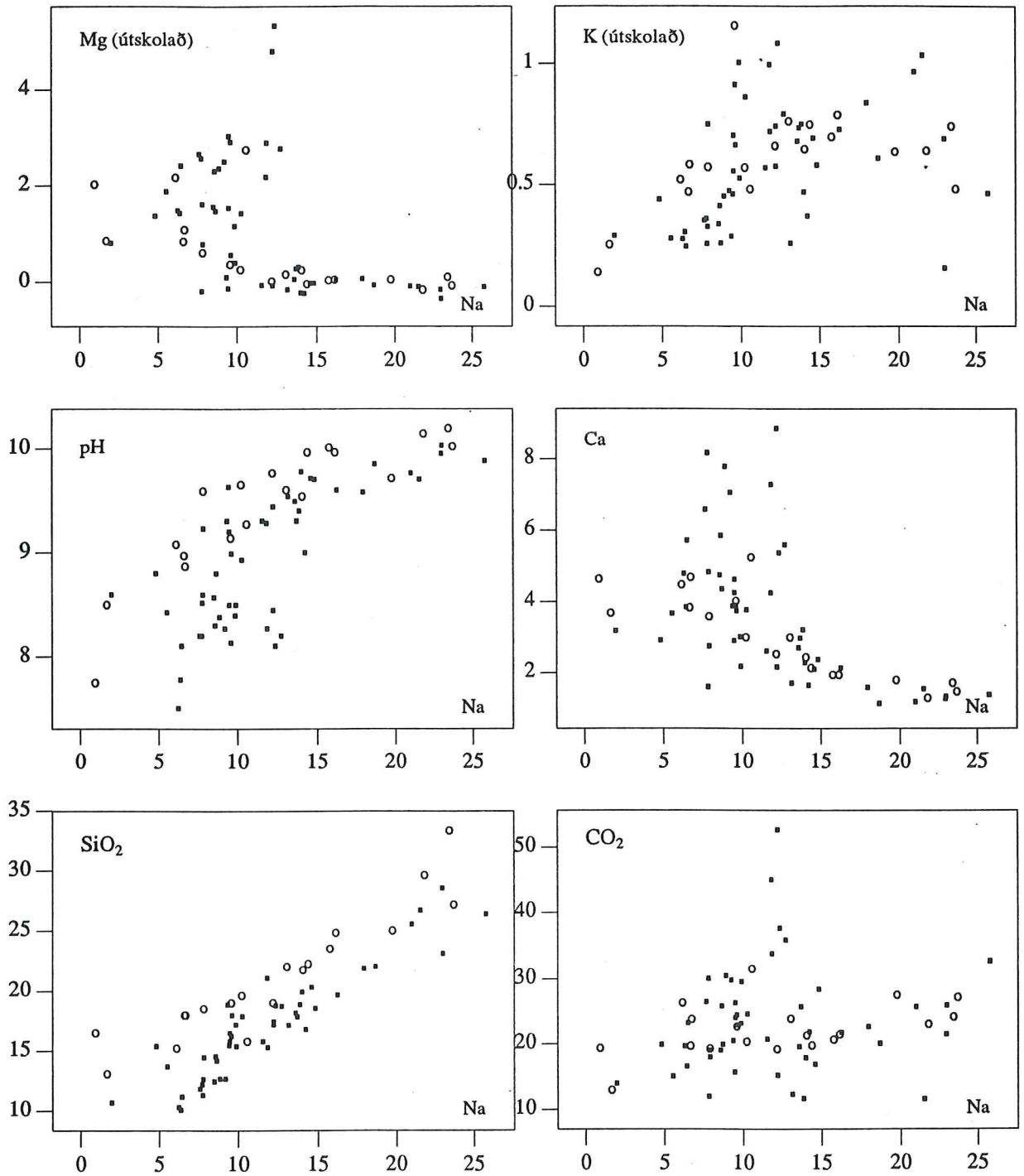
Mynd 29: Útskolað magnesíum ( $\text{Mg} - 0,071\text{Cl}$ ) á móti hita. Sýni af árvatni og úr Sveðjuhraunslindum eru ekki með á myndinni.



Mynd 30: Landfræðileg dreifing natríums (leiðrétt gagnvart sjávaráhrifum).



Mynd 31: Ýmis efni dregin upp á móti útskoluðu natríum (Na-0,55Cl).  
Hringar eru MS-sýnin en kassar OS-sýnin.



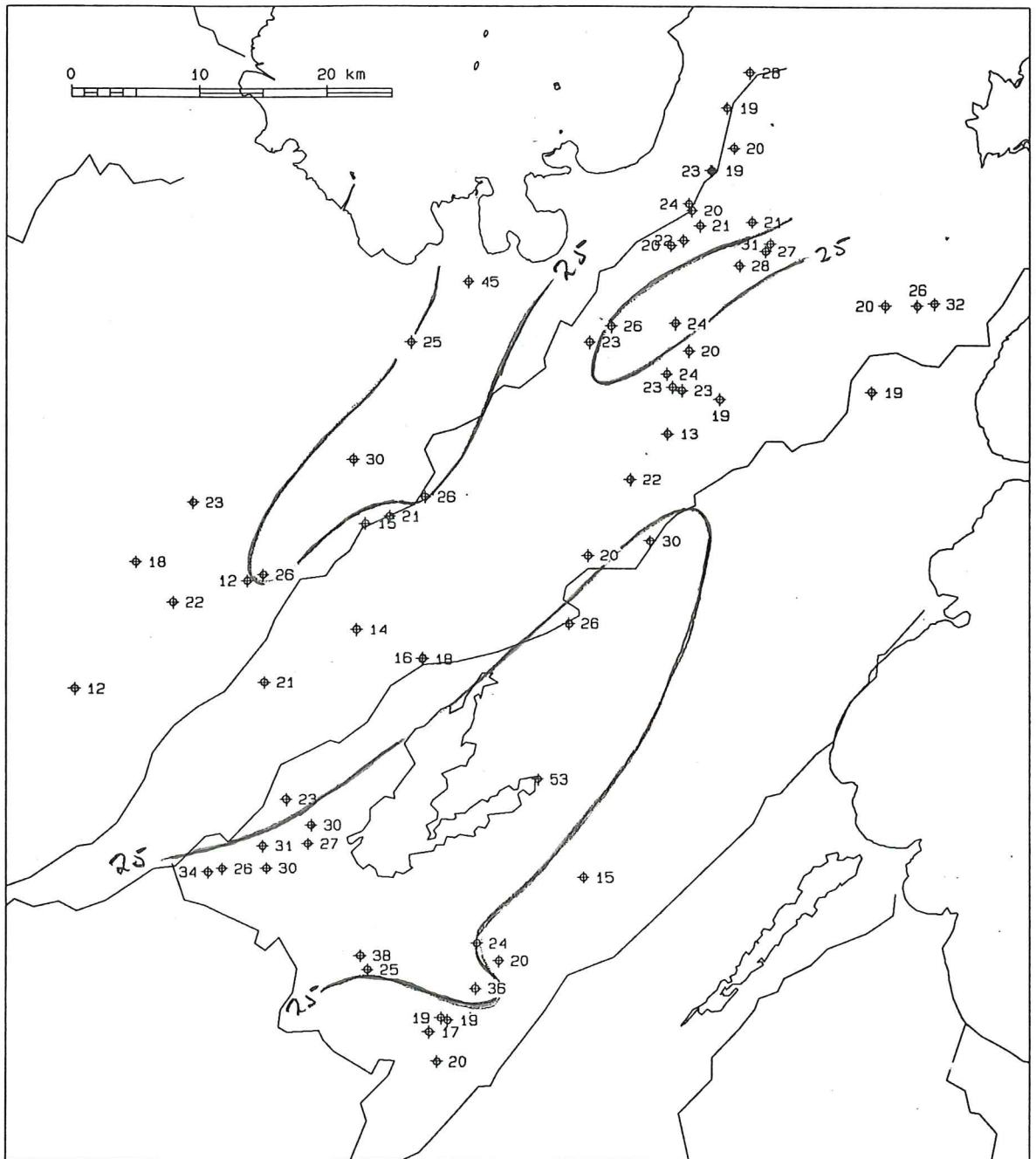
### 1.6 Dreifing kolsýru

Kolsýra í grunnvatni hefur löngum þótt benda til jarðhitaáhrifa eða vatns sem streymt hefur um gróðurlendi og gróna jörð. Á rannsóknarsvæðinu þarf ekki að hafa áhyggjur af gróðri annars staðar en í Þjórsárverum. Þar í grennd virðist raunar tölverð kolsýra í vatni en trúlega er að hún komi frá berggrunni en gróðri. Mynd 32 sýnir dreifingu kolsýru í grunnvatni á rannsóknarsvæðinu. Styrkur hennar er mestur í kring um Þórisvatn með stöku hámarki, rúmum 50 ppm, í Austurbotnum. Þar gætir vafalítið áhrifa frá eldvirkni á Heljargjársvæðinu. Norðan Köldukvíslar er kolsýrustyrkurinn víðast á bilinu 20-30 ppm með hámarki í hinum hlýju lindum á sprunguskaranum frá Tungnafellsjökli. Myndin er mjög í samræmi við kort Freysteins Sigurðssonar 1993.

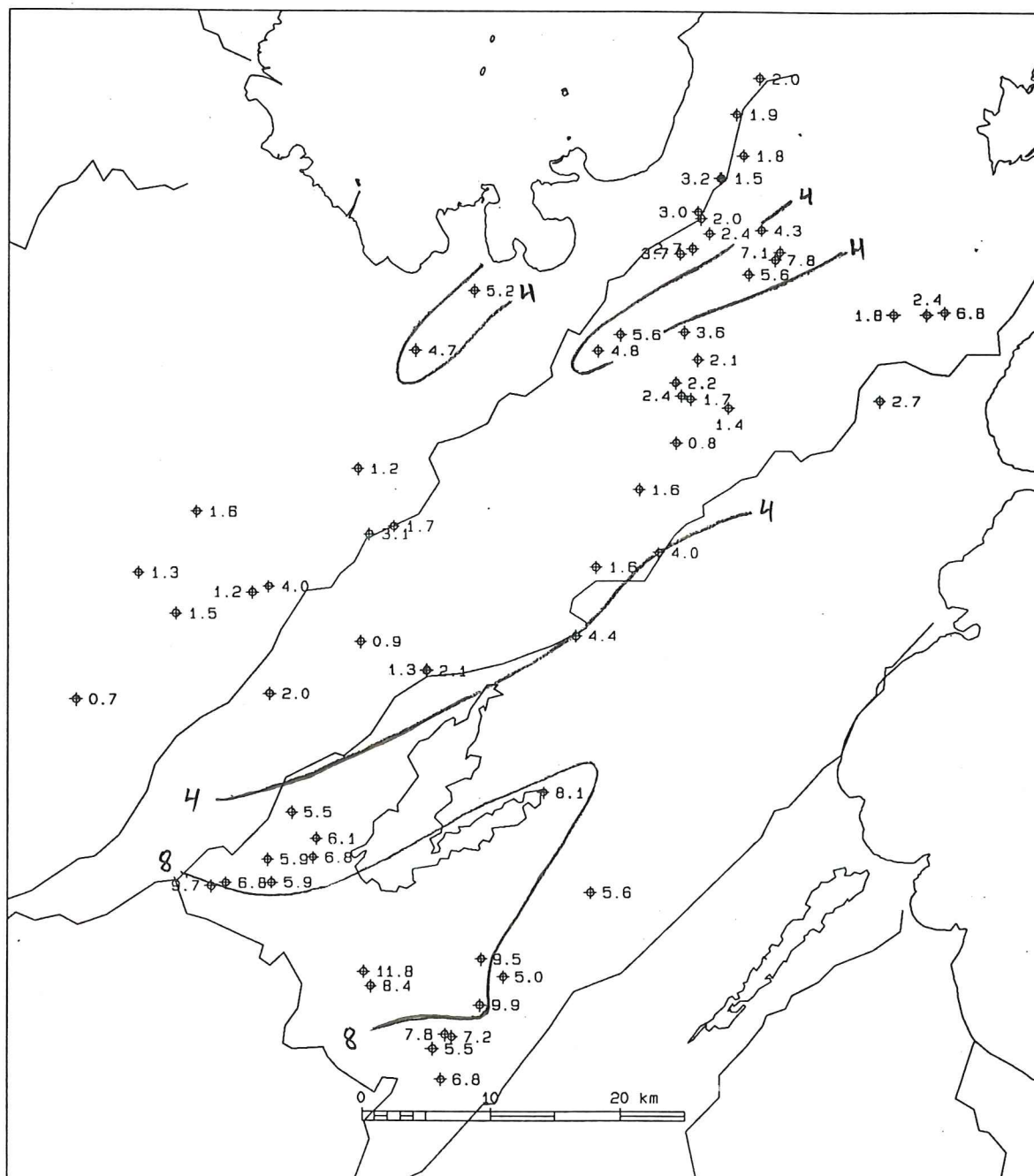
### 1.7 Súlfat

Súlfat í úrkomu hérlendis er af hluta til komið frá hafi en af hluta til er það talið stafa frá loftmengun af manna völdum (Freysteinn Sigurðsson 1993, Sigurður R. Gíslason 1993). Súlfatmagn í köldu grunnvatni er undir 4 ppm víðast um land. Þó er það gjarnan yfir 4 ppm á hraunasvæðum Suðurlandsgosbeltisins og norðan Vatnajökuls. Á örfáum stöðum hefur mælst súlfatmagn yfir 8 ppm (Freysteinn Sigurðsson 1993). Þegar litið er á það svæði sem hér er til rannsóknar kemur fram mjög líkt mynstur og hjá kolsýrunni enda er fylgni milli þessara efna í styrk þótt kolsýran sé yfirleitt 5-10 sinnum hærri. Súlfatið sýnir sömu hámarkssvæðin og kolsýran (mynd 33). Hámarkið er við Þórisvatn og virðist tengjast Heljargjársvæði. Þar er súlfatið yfir 8 ppm. Sunnan Köldukvíslar fer súlfatið raunar hvergi niður fyrir 4 ppm. Sprunguskarinn frá Tungnafellsjökli sker sig úr hér sem víða annarsstaðar og einnig kemur fram hátt súlfatmagn í Þjórsárverum suðvestan við Múla-jökul. Hin áþekka dreifing súlfats og kolsýru sýnir að þau eru af líkum uppruna og hámarkssvæðin virðast tengd djúpstæðum veitum sem fylgja sprungum í brerggrunni.





Mynd 32: Landfræðileg dreifing kolsýru.



Mynd 33: Landfræðileg dreifing á súlfati  $\text{SO}_4$ , leiðrétt gagnvart sjó."

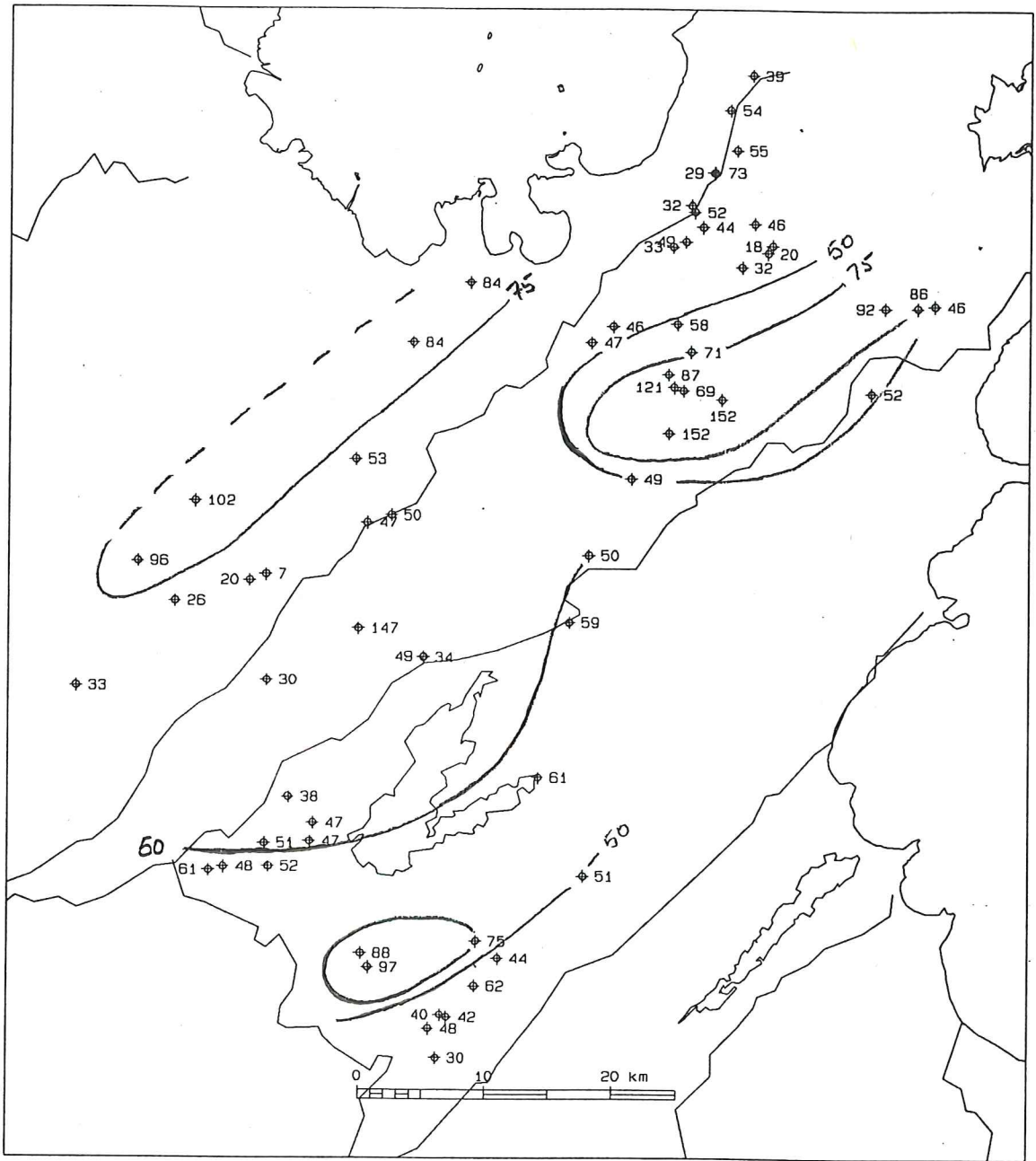


### 2.3 Hlutfall kalíums og natríums

Í Líparítgili sprettur upp lindir úr Líparíti og í Hágöngum streymir grunnvatn um víðáttumikið súrt svæði. Sú spurning hlýtur því að vakna hvort grunnvatn sem streymir um súrt berg beri þess ekki einhver efnafræðileg ummerki. Það er vel þekkt að flúorinnihald jarðhitavatns í súrum bergi er í hærra lagi (Hjalti Franzson 1994). Þetta kemur ekki fram í MS- og OS-sýnunum. Kalíum og natríum er hærra í súru bergi en basísku. Það gæti því verið fróðlegt að skoða landfræðilega dreifingu þeirra en þó er e.t.v. betra að skoða hlutfallið K/Na því þá hverfa ákveðnir truflandi þættir út svo sem hitastigsáhrif o.fl. Mynd 34 sýnir útkomuna. Þar hafa bæði efnin verið leiðrétt gagnvart hafræna þættinum í úrkomunni. Myndin er tölvert frábrugðið öðrum myndum sem dregnar hafa verið upp hér að framan. K/Na hlutfallið verður langhæst í lindum vestur af Hágöngum. Raunar er eins og grunnvatnsstraumur með hátt K/Na hlutfall teygi sig frá Vonarskarði, um Hágöngur og til suðvesturs niður að Kvíslavatni. Áður hefur verið vikið að því að veðurfræðileg gögn og vatnamælingar bendi til þess að eitthvað vatn tapist með grunnvatnsstraumum út af vatnasviði Köldukvíslar. Hér gæti hluti af því verið komið í leitirnar.

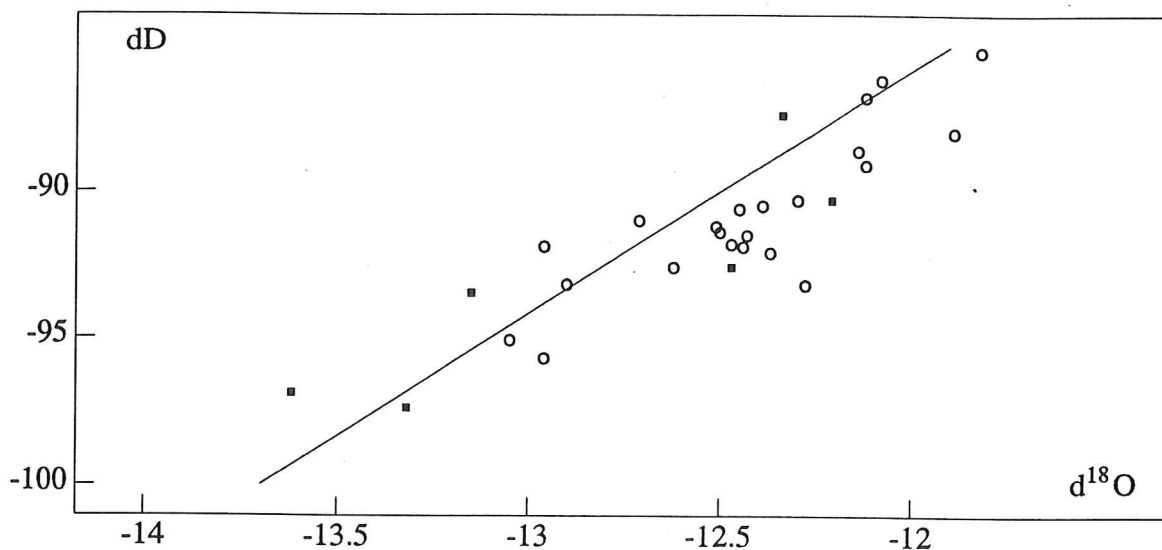
Líparítgil hefur hins vegar lágt K/Na hlutfall. Af því má draga þá ályktun að þótt vatnið streymi úr Líparíti þá hafi það ekki verið í sneringu við súrt berg nema um skamman tíma og að Líparítið hafi litla útbreiðslu í staflanum.

Á mynd 34 koma tvö, önnur hámrörk fram, það er sunnan við Þórisvatn og á svæði suðvestur frá Múlajökli, en þessir blettir hafa komið fram á morgum myndanna hér fyrir framan.



Mynd 34: Hlutfallið K/Na x 1000. Bæði efnin eru leiðrétt gagnvart sjó.

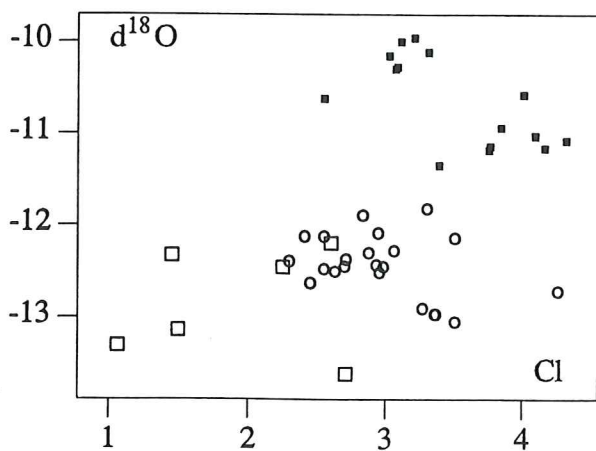




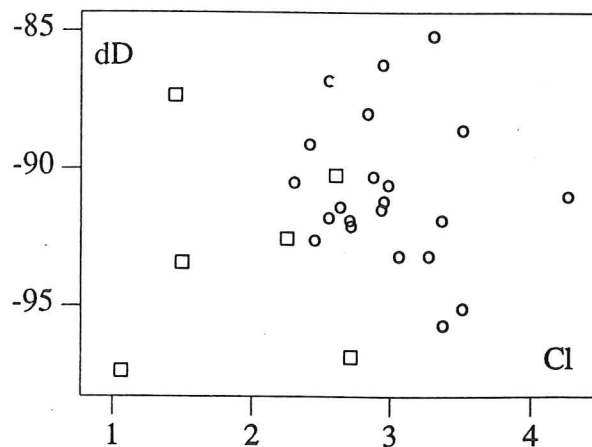
Mynd 35. Hlutföll tvívetnis  $\delta D$  og súrefnis  $\delta^{18}O$ . Strikið sýnir veðurfarslínuna  $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$

### 18.9 Samsætumælingar

Súrefni-18 og tvívetniD, voru mæld í öllum MS-sýnunum. Mælinguna gerði Árný E. Sveinbjörnsdóttir á Raunvísindastofnun Háskólans. Einnig voru til allnokkrar tvívetnis-mælingar á sýnum úr OS-hópnum. Styrkur þessara efna er gefinn upp sem hlutfall af styrk þeirra í sjó. Tvívetninu ber vel saman við tvívetniskort Braga Árnasonar (1974). Á norðanverðu svæðinu hafa helstu lindir sama tvívetnisstyrk og Bragi telur að sé í úrkomu sem fellur á Tungnafellsjökul og nágrenni hans. Í úrkomu og yfirborðsvatni, sem ekki hefur komist í snertingu við grunnvatn eða berg, ríkir línulegt samband milli  $\delta^{18}O$  og  $\delta D$ . Þetta samband, veðurfarslínun svokallaða (meteoric line), er breytilegt frá einum stað til annars á jörðinni en við norðanvert Atlantshaf er það talið vera  $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$  (Bragi Árnason 1974). Mynd 35 hér að ofan sýnir  $\delta^{18}O/\delta D$  hlutföllin í OS-hópnum og þar kemur greinileg fylgni í ljós. Heildregna línun er veðurfarslínun.



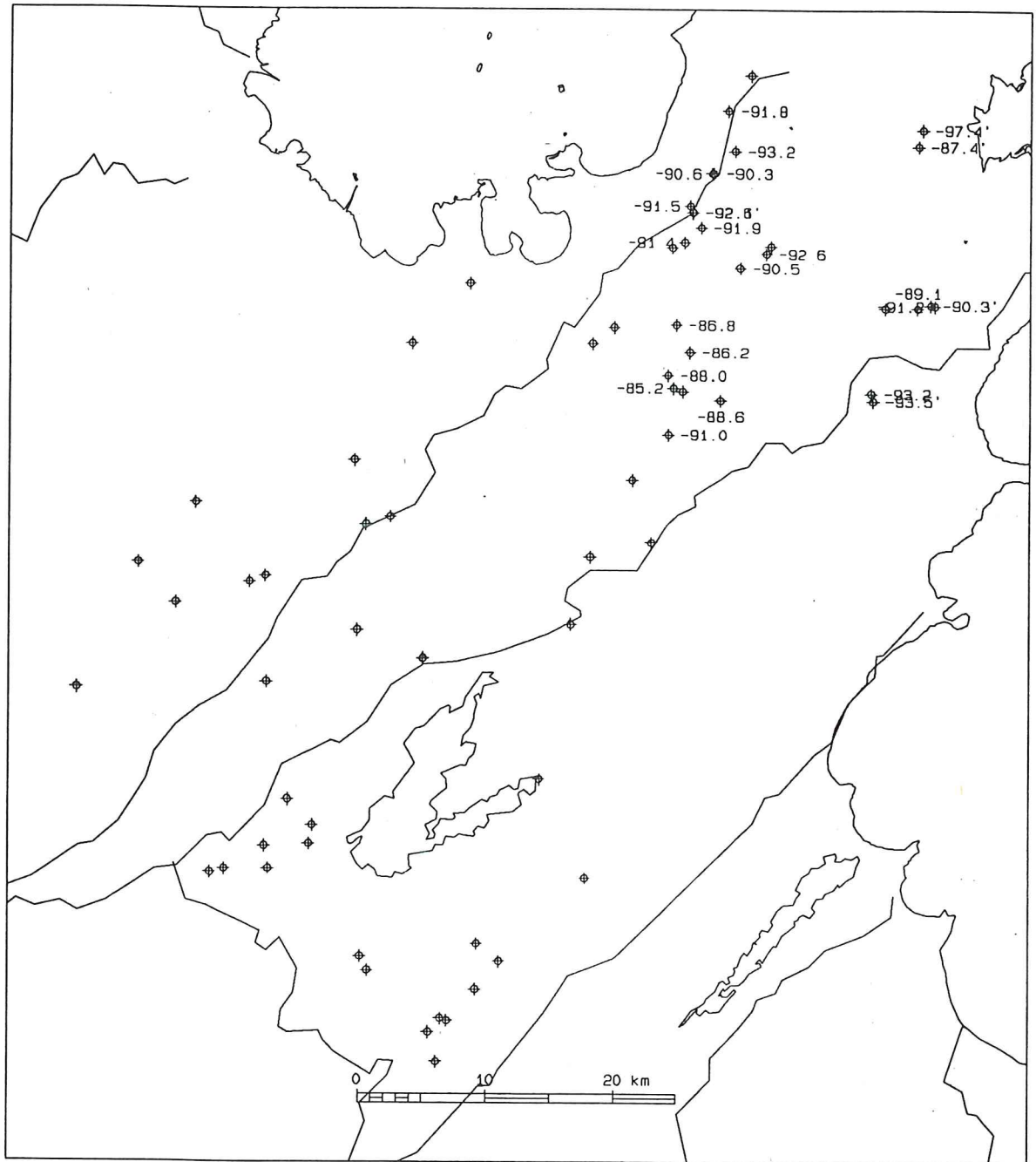
Mynd 36. Súrefni  $\delta^{18}O$  á móti klór (ppm).



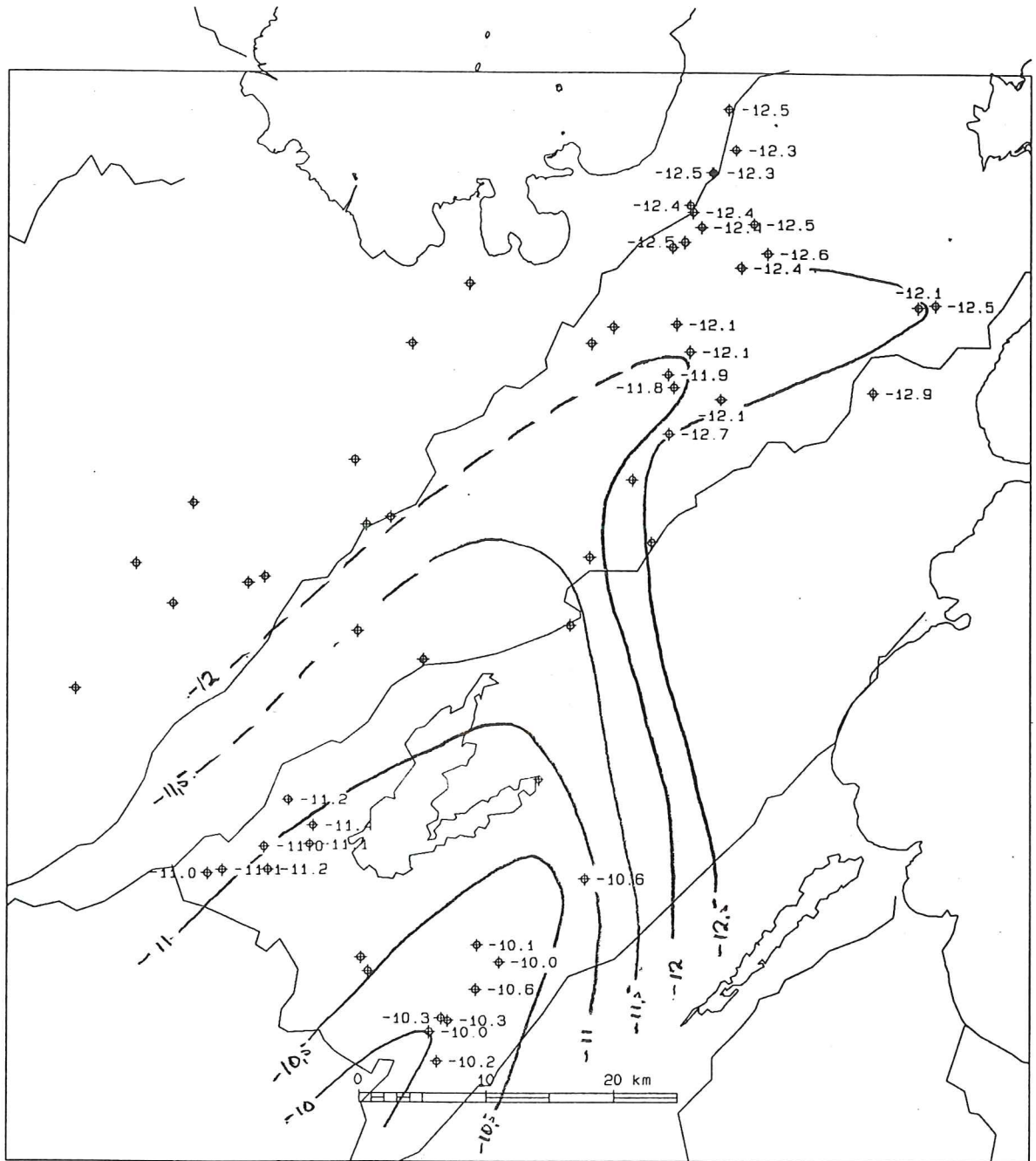
Mynd 37. Tvívetni  $\delta D$  á móti klór (ppm).

Gildi á súrefni-18 og tvívetni í úrkomu ráðast mjög af veðurfarslegum þáttum og lækka inn til lands. Þau eru því hliðstæð við klórinn. Þó eru allt önnur ferli í gangi. Klórinn hreinlega þvæst úr andrúmsloftinu með úrkomunni. Þétting vatnsgufunnar og aðstæður við hana ráða hins vegar mestu um  $\delta D$  og  $\delta^{18}O$  í úrkomu. Einnig verður að hafa í huga að klór í úrkomu getur verið kominn úr öðrum loftmössum en D og O samsæturnar. Þær koma úr skýinu sem þéttist en klórinn úr neðri loftlögum sem regndroparnir falla í gegn um. Þess vegna er fróðlegt að bera saman hlutföllin klór/ $\delta D$  og klór/ $\delta^{18}O$ . Á myndum 36 og 37 hér að framan er þetta sýnt og þar kemur í ljós að afar lítið samband er þarna á milli. Það þýðir að landfræðileg dreifing samsætanna verður ólík og á kortunum sést að hún er óreglulegri en hjá klór og erfiðara að draga jafngildislínur þar á milli. Þetta er óvænt niðurstaða því hingað til hafa menn treyst tvívetni betur en öðrum efnum til að segja til um uppkomustað úrkomunnar sem lindavatnið nærast á. Þess ber þó að geta að tvívetnismælingarnar sem byggt er á eru miklu færri en klórmælingarnar og e.t.v. liggur hluti skýringarinnar í því hversu vel klórinn reynist þar.





Mynd 38: Landfræðileg dreifing á tvívetni,  $\delta D$ .



Mynd 39: Landfræðileg dreifing á  $\delta^{18}\text{O}$ .

### 3. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Niðurstöðum þessarar ritgerðar má skipta í tvennt. Annarsvegar eru það almennar niðurstöður um vatnafarskort, kortlagningu, kortastaðla og vinnubrögð kortleggjenda. Hins vegar eru það sértækar niðurstöður um vatnafar á kortlagningarsvæðinu. Heildarútkoman er svo vatnafarskortíð sjálft.

#### 3.1 Niðurstöður um þróun aðferða við vatnafarslega kortlagningu.

Vatnafarsleg kortlagning á Íslandi á sér um tveggja áratuga langa sögu. Helstu staðlar og tákni hafa þróast út frá alþjóðlegum kortum og kortlagningaraðferðum. Aðal fyrirmyndin var Alþjóðlegt vatnafarskort af Evrópu (International Hydrogeological Map of Europe 1: 1.500.000) en Íslandshluti þess kom út 1980. Staðlarnir hafa tekið all miklum breytingum í árunna rás og aðlagast íslenskum kringumstæðum. Lektarflokkum hefur fjölgað og einnig hafa mörg ný kortatákni verið innleidd sem helgast af sérstöðu Íslands, einkum hvað varðar jarðhita og jökulvötn, eld og ísa. Sú nýjung sem augljósust er þegar vatnafarskort eru skoðuð er tvískipting yfirborðsvatnsins í jökulvötn og bergvötn. Þessari þróun er þó langt því frá lokið. Tiltölulega lítil reynsla er t.d. enn komin á kortlagningu jarðhitans eftir þessum stöðlum.

Skipting jarðmyndana í lektarflokka er víða mikið vandamál og oft verður kortleggjari að beita grófum ágiskunum. Vandamálið er tvíþætt. Í fyrsta lagi er þekking á lekt og lektar-eiginleikum jarðmyndana skammt komin og gögn um lekt á hinum ýmsu svæðum landsins bæði strjál og sundurleit. Í öðru lagi þarf oft að meta lekt í jarðlögum sem liggja á nokkru dýpi og eru hulin yfirborðslögum t.d. jökulruðningi eða hrauni. Þar sem opnur eru strjálur og borholur fáar eða engar stendur kortleggjari á veikum ís. Lektarflokkarnir eru e.t.v. fullmargir, fræðilega séð mynda þeir ágætt róf og skörun þeirra veitir gott svigrúm en á foldinni valda þeir endalausum efasemdum.

#### 3.2 Niðurstöður um vatnafar á Háöngusvæði

3.2.1 *Afrennsli og trennsli* Kortlagningarsvæðið er 620 km<sup>2</sup> og liggur á hæðarbilinu 600-1400 m nálægt landfræðilegri miðju Íslands. Meðalársúrcoma er um 1200 mm. Meirihluti hennar fellur sem snjór að vetri og rennur burt af svæðinu á yfirborði í vetrarblotum og vorleysingum. Sumarúrkoman sígur hins vegar að miklum hluta til í jörðu og viðheldur grunnvatnsforðanum. Jarðmyndanir eru ungar, allar orðnar til á núverandi segulskeiði, Brunhes. Yngst eru hraunin á suður og austurhluta svæðisins en elst eru svo nefnd Hvangiljaset á norðvestanverðu svæðinu. Lektin er mest í yngstu jarðmyndunum en minnst í þeim elstu.

3.2.2 *Lindarennisli og grunnvatnshiti* Allt miðbik rannsóknarsvæðisins hefur einungis stoppult afrennsli á yfirborði. Lindir og lindasvæði eru víða. Rennisli frá lindum er 14-15 m<sup>3</sup>/s. Lindahiti um allt sunnan og austanvert svæðið er 2-4°C, sem kalla má eðlilegan lindahita. Á norðvestanverðu svæðinu er lindahiti víða á bilinu 5-10°C sem er óvenju mikið og þarfnast sérstakra skýringa. Vatnsmagn þessara "hlýju" linda er 10 m<sup>3</sup>/s til að hita þetta vatn úr 3 °C sem telja mætti eðlilegan grunnvatnshita þarf 126 MW en það jafngildir 300 l/s af 100°C vatni. Hitastigsmælingar á lindum og í borholum leiða í ljós



að hlýja vatnið myndar tungu með stefnu frá Tungnafellsjökli niður í Þjórsárver austan Þjórsár. Sprunguskari frá Tungnafellsjökli liggur um þetta sama svæði og er hann vafalaust veitir fyrir vatnið.

*3.2.3 Niðurstöður efnagreininga* Efnafræði vatnsins á rannsóknarsvæðinu var skoðuð sérstaklega. Þar var leitað svara við spurningum um hvernig efnagreiningar gætu nýst sem best við gerð vatnafarskorta. Niðurstaðan er sú að klórinnihald vatnsins sýni reglulegasta dreifingu allra efna og geti gefið bestar vísbendingar um upprunastað lindavatns, grunnvatnsstrauma og rennslisleiðir vatns. Tvívetni og súrefni-18, sem hafa verið notuð mun meira í þessu skyni hérlendis, sýna óreglulegri dreifingu. Þess ber þó að geta að í gagnasafninu eru mun færri greiningar á þessum samsætum en af klórinnihaldinu.

pH mælingar á árvatni og öðru yfirborðsvatni geta gefið vísbendingar um lindainnrennsli. Stór lindasvæði geta leynst í ám án þess að þeirra verði vart í yfirborði eða í árbökkum. Þetta hafa menn getað sannreynt með rennslismælingum sem gerðar eru með stuttum millibilum við árnar. Slíkar mælingar eru tímafrekar og erfiðar. Einfaldar pH mælingar, t.d. með litlum vasamælum, virðast geta á nokkuð fljótlegan hátt leitt þetta lindarennslí í ljós bæði hvað varðar staðsetningu og fyrsta mat á magni þess.

Þegar landfræðileg dreifing hinna ýmsu þátta er skoðuð sker sprunguskarinn frá Tungnafellsjökli sig úr í mörgum efnum (hiti, Cl, Na, CO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>). Tungnafellseldstöðin er talin hafa verið óvirk á nútíma en vatnajarðfræðin gæti bent til að hún sé ekki dauð úr öllum æðum. Athyglisvert er að öll efni í grunnvatninu sem skoðuð voru sérstaklega eru yfir meðallagi í sprunguskaranum, og fylgja þannig grunnvatnshitanum á svæðinu, nema klórinn sem er í lágmarki. Efnafræðin sýnir að sprunguskarinn er djúpstæður vel afmarkaður veitir sem ljær grunnvatninu sérstök einkenni.

Hlutfallið K/Na dregur fram vísbendingar um grunnvatnsstraum sem nær úr Vonarskarði, um Hágöngur og niður að Kvíslavatni. Ástæðan fyrir tiltölulega háu K/Na hlutfalli á þessum slóðum gæti verið sú að grunnvatnið streymir um all viddáttumikið líparít svæði en líparít hefur hærra K/Na hlutfall en basískt gosberg.

Í efnafræðiathugunum var ekki kannað sérstaklega hvað lesa mætti úr gögnum um heildarmagn uppleystra efna þótt ástæða hefði e.t.v. verið til þess. Einfaldar leiðnimælingar á vatni, sem hægt er að gera á foldinni líkt og hitamælingar eða pH mælingar, gefa strax nokkra vísbendingu um heildarmagn uppleystra efna. Reynslan sýnir að gott er að hafa leiðnimæli í farteskinu þegar kortlagning fer fram. Með því að dífa honum í á eða læk og sjá leiðnina fæst strax ábending um hvort um leysingavatn, yfirborðsvatn eða lindavatn er að ræða. Þannig geta leiðnimælingar sparað kortlagningarmanni mörg spor við leit að lindum.

Tafla 13: Helstu grunnvatnsstraumar

<i>Nafn</i>	<i>Magn m<sup>3</sup>/s</i>	<i>Hiti °C</i>	<i>Einkenni</i>
<i>Tungnafellsstraumur</i>	<i>10</i>	<i>5-10</i>	<i>Lokaður veitir, þrýstingur á vatni. Hátt CO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub> Na o.fl. Kalkútfellingar í lindum.</i>
<i>Hágöngustraumur</i>	<i>1-2</i>	<i>2-4</i>	<i>Hátt hlutfall K/Na.</i>
<i>Sveðjuhraunsstraumur</i>	<i>1,5</i>	<i>2-4</i>	<i>Opinn veitir. Lágt efnainnihald</i>

3.2.4 *Helstu grunnvatnsstraumar* Rannsóknirnar hér að framan leiða í ljós þrjá vel afmarkaða grunnvatnsstrauma á kortlagningarsvæðinu. Þetta eru Tungnafellsstraumur sem fylgir sprunguskaranum frá Tungnafellsjökli, Hágöngustraumur sem flæðir um súrar jarðmyndanir Hágöngusvæðis og teygir sig frá Köldukvíslarbotnum niður undir Kvíslavatn og Sveðjuhraunsstraumur sem kemur undan vesturjaðri Sveðjuhrauns.

## 20. ÞAKKIR

Ýmsir aðilar sem gerðu mér kleift að vinna þetta verkefni eiga miklar þakkir skildar.

Fyrst ber að nefna Orkustofnun en ritgerðin er sett saman innan veggja hennar. Þar að auki er mikið af þeim grundvallargögnum sem verkið byggist á aflað fyrir tilstuðlan stofnunarinnar. Teiknistofa OS hressti einnig upp á teikningar og kort í ritinu.

Freysteinn Sigurðsson, jarðfræðingur, hefur löngum verið mér hollráður um vatnajarðfræðileg efni. Hann yfirfór ritgerðina, benti á margt sem mætti betrumbæta og skerpa og gaf mér snjallar hugmyndir til úrvinnslu. Auk þess leyfði hann mér góðfúslega að nota og vitna í ýmis gögn í sínum fórum.

Jón Örn Bjarnason var mér innan handar varðandi margskonar tölvumeðhöndlun á efnafræðilegum gögnum.

Auður Andrésdóttir og Kristján Geirsson efnagreindu 30 vatnssýni sem tekin voru vegna verksins.

Stefán Arnórsson, prófessor, var umsjónarmaður minn í þessari vinnu. Hann fór með mér í sýnatökufærð um Sprengisand og Köldukvíslarbotna. Hann leiðbeindi mér skrif ritgerðarinnar og stillti upp nýjum sjónarhornum á kortlagningarvinnuna. Hann las ritið yfir og færði allt til betri vegar.

Sveinbjörn Björnsson, háskólarektor, las ritgerðina á lokastigi og veitti mér hollráð og til sögn góða.

Öllum ofangreindum þakka ég kærlega óeigingjarnan stuðning og aðstoð.



HEIMILDIR

- Ágúst Guðmundsson 1986: *Gljúfurleitavirkjun. Jarðfræðirannsóknir í Gljúfurleit*. OS-86040/VOD-15/B, 8 bls. + kort.
- Ágúst Guðmundsson og Birgir Jónsson 1979: *Blönduvirkjun. Jarðfræðirannsóknir 1974-1978. Framvinduskýrsla*. OS-79024/ROD-07, 171 bls.
- Ágúst Guðmundsson, Birgir Jónsson og Björn Harðarson 1982: *Blönduvirkjun. Jarðfræðirannsóknir I. Almenn jarðfræði og mannvirkjajarðfræði*. OS-82090/VOD14, 249 bls.
- Árni Hjartarson 1981: *Kvísloveita 5, vatnafarsathuganir*. ÁH-81/03, Orkustofnun, 40 bls.
- Árni Hjartarson 1986: *Búrfell-Langalda, vatnafarskort 3540 V*. Orkustofnun-Landsvirkjun, Reykjavík.
- Árni Hjartarson 1990a: *Nýtt kort af Svarfaðardal*. Norðurslóð, okt. 1990.
- Árni Hjartarson 1990b: *Örnefni í nágrenni Þórisvatns*. Greinargerð ÁH-90/05,
- Árni Hjartarson 1993: *Vatnsveitur og vatnsból. Samantekt um vatnsveitumál*. OS-93061/VOD-04, Orkustofnun, 50 bls.
- Árni Hjartarson, Birgir Jónsson, Davíð Egilson, Jón Ingimarsson, Hörður Cvavarsson, Snorri Zóphóníason og Þórólfur H. Hafstað 1983: *Kver með fróðleiksmolum um vatnajarðfræði dæluþrófanir og lektun*. OS-83022/VOD-12B, Orkustofnun, 96 bls.
- Árni Hjartarson, Einar Gunnlaugsson, Freysteinn Sigurðsson, Jón Jónsson og Kristján Sæmundsson 1992. *Vatnafarskort, Elliðavatn 1613 III SV 1:25.000*. Orkustofnun, Reykjavík.
- Árni Hjartarson, Freysteinn Sigurðsson og Þórólfur H. Hafstað 1981: *Vatnsbúskapur Austurlands III*. OS81006/VOD04, Orkustofnun, 197 bls.
- Árni Hjartarson og Freysteinn Sigurðsson 1984: *Tillögur um staðal fyrir vatnafarskort OS-VOD í mælikvarða 1:50.000*. OS-84101/VOD-24 B.
- Árni Hjartarson og Freysteinn Sigurðsson 1991. *Vatnafarskort, Kóngsás 1813 I, 1:50000*. Landmælingar Íslands, Orkustofnun og Landsvirkjun, Reykjavík.
- Árni Hjartarson, Lars Jørgen Andersen, Niels Kelstrup, Jóhannes Rasmussen and Wilhelm Struckmeier 1980: *Explanatory notes for the International Hydrogeological Map of Europe. Sheet B2 Island.. Hannover, Paris 1980*, 55 bls.
- Árni Hjartarson og Þórólfur H. Hafstað 1982: *Kvísloveita 6, borholumælingar, grunnvatn og sprungur*. OS82108/VOD50, Orkustofnun, 34 bls.. Orkustofnun, Reykjavík.
- Birgir Jónsson 1970: *Þórisvatn, geological report. Supplement to vol. II. Orkustofnun. The Vatnsfell diversion. Notes on geology*.
- Birgir Jónsson 1988: *Nýbygging Alþingis. Jarðfræðiskýrsla*. OS-88002/VOD-01 B, 18 bls.
- Bjarni Bjarnason 1983: *Búrfell II. Aðrennslisskurður, stöðvarinntak og stöðvarhúsgrunnur. Kjarnaborun 1983*. OS-83059/VOD-29 B, 21 bls.
- Bjarni Kristinsson og Þórólfur H. Hafstað 1984: *Stækkun Þórisvatnsmiðlunar. Jarðfræðirannsóknir 1983*. OS-84013/VOD-08, 96 bls.
- Björn Jónasson o.fl 1981: *Sultartangavirkjun, stíflustæði. Jarðfræðirannsóknir 1981*. BJB-PP-MG-HIB-BB-81/02. 69 bls.
- Björn Jónasson, Jón Ingimarsson, Pétur Pétursson 1983: *Sultartangavirkjun. Jarðfræði og grunnvatnsrannsóknir á svæði jarðgangna og Stöðvarhúss í Sandafelli 1982*. OS-83014/VOD-08 B. 84 bls.
- Björn Jónasson, Pétur Pétursson, Ingibjörg Kaldal, Snorri P. Snorrason og Jón Ingimarsson 1986: *Vatnsfellsvirkjun. Jarðlaga- og grunnvatnsrannsóknir 1984*. OS-86076/VOD-22 B, 112 bls.
- Bragi Árnason 1976: *Groundwater systems in Iceland traced by deuterium*. Vísindafélag Íslendinga XLII, 236 bls.

- Elsa G Vilmundardóttir 1977: *Tungnárhraun. Jarðfræðiskýrsla*. OS-ROD 7702, 156 bls.
- Elsa G. Vilmundardóttir: *Berggrunnskort, Nyrðri-Háganga, 1:50.000*. Handrit.
- Elsa G. Vilmundardóttir, Freysteinn Sigurðsson 1983: *Tillögur um staðal fyrir berggrunnskort OS-VOD í mælikvarða 1:50.000*. Orkustofnun, OS-84004/VOD-04.
- Freysteinn Sigurðsson 1976: *Straumsvíkursvæði, skýrsla um vatnafræðilega frumkönnun*. OS JKD 7603, Orkustofnun, 59 bls.
- Freysteinn Sigurðsson 1985a: *Jarðvatn og vatnajarðfræði á utanverðum Reykjanesskaga. I. hluti: Yfirlitskýrsla*. OS-85075/VOD-06, Orkustofnun, 101 bls.
- Freysteinn Sigurðsson 1985b: *Jarðvatn og vatnajarðfræði á utanverðum Reykjanesskaga. IV. hluti: Viðaukar um grunnvatn*. OS-85075/VOD-06, Orkustofnun.
- Freysteinn Sigurðsson 1990: *Groundwater from glacial areas in Iceland*. Jökull 40, 119-146.
- Freysteinn Sigurðsson 1993: *Groundwater Chemistry and Aquifer Classification in Iceland*. Í: Hydrology of Hard Rocks. I.A.H Memories Vol. XXIV, Part 1. Ed. Sheila and David Banks. Bls. 507-518.
- Freysteinn Sigurðsson og Jón Ingimarsson 1990: *Lekt Íslenskra jarðefna*. Í: Vatnið og landið, Reykjavík, bls. 121-128.
- Freysteinn Sigurðsson og Kristinn Einarsson 1988: *Groundwater resources of Iceland. Availability and demand*. Jökull 38, 35-54.
- Guðmundur Kjartarsson 1945: *Vatnsfallstegundir*. Náttúrufræðingurinn 15, 113-126.
- Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur I. Haraldsson og Gísli Karel Halldórsson 1985: *Mat á jarðvarma Íslands*. OS-85076/JHD-10, Orkustofnun, 134 bls.
- Gunnar Böðvarsson 1962: *The Use of Isotopes of Hydrogen and Oxygen for Hydrological Purposes in Iceland*. Jökull 12, 49-54.
- Gunnar Böðvarsson 1982: *Glaciation and geothermal processes in Iceland*. Jökull 32, 21-28.
- Gunnar Böðvarsson 1983: *Temperature/flow statistics and thermo-mechanisms of low-temperature geothermal systems in Iceland*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 19, 255-280.
- Gustafsson, Ove 1992: *Grundvattenkartor, SGU serie Ag. nr. 15. Skala 1:50.000. Beskrivning till hydrogeologiska kartan Höganäs NO/Helsingborg NV*. SGU, Sveriges Geologiska Undersökning, Uppsala. 58 bls. + kort.
- Guttormur Sigbjarnarson 1972: *Vatnafræði Þórisvatnssvæðis*. Orkustofnun Vatnsorkudeild.
- Haraldur Matthíasson 1963: *Bárðargata*. Árbók Ferðafélags Íslands.
- Haukur Tómasson 1961: *Virkjun Hvítár við Hestvatn I. Jarðfræði*. Raforkumálastjóri, Orkudeild.
- Haukur Tómasson 1964: *Í; Laxá í Suður-Þingeyjarsýslu. Áætlun um heildarvirkjun Laxár við Brúar II bindi. Vatnafræði, jarðfræði, byggingarefni, bergfræðileg greining*. VST og Raforkumálastjóri.
- Haukur Tómasson, Elsa G. Vilmundardóttir og Birgir Jónsson 1970: *Þórisvatn, geological report, vol. II*. Orkustofnun.
- Ingibjörg Kaldal: *Jarðgrunnskort, Nyrðri-Háganga, 1914 II, 1:50.000*. Handrit.
- Ingibjörg Kaldal, Skúli Víkingsson og Freysteinn Sigurðsson 1984: *Tillögur um staðal fyrir jarðgrunnskort OS-VOD í mælikvarða 1:1.50.000*. Orkustofnun, OS-84047/VOD-17.
- Kristinn Einarsson 1971: *Alþjóðaskýringar við jarðvatnaskort (þýðing)*. OS-ROD í samráði við Landsnefnd IHD.
- Kristján Sæmundsson 1982: *Öskjur á virkum eldfjallasvæðum á Íslandi*. Í Eldur er í norðri. Sögufélagið, Reykjavík bls 221-240.
- Landsvirkjun. Vatnamæligar. Ársskýrslur í möppum frá vatnamælingamönnum Landsvirkjunar.

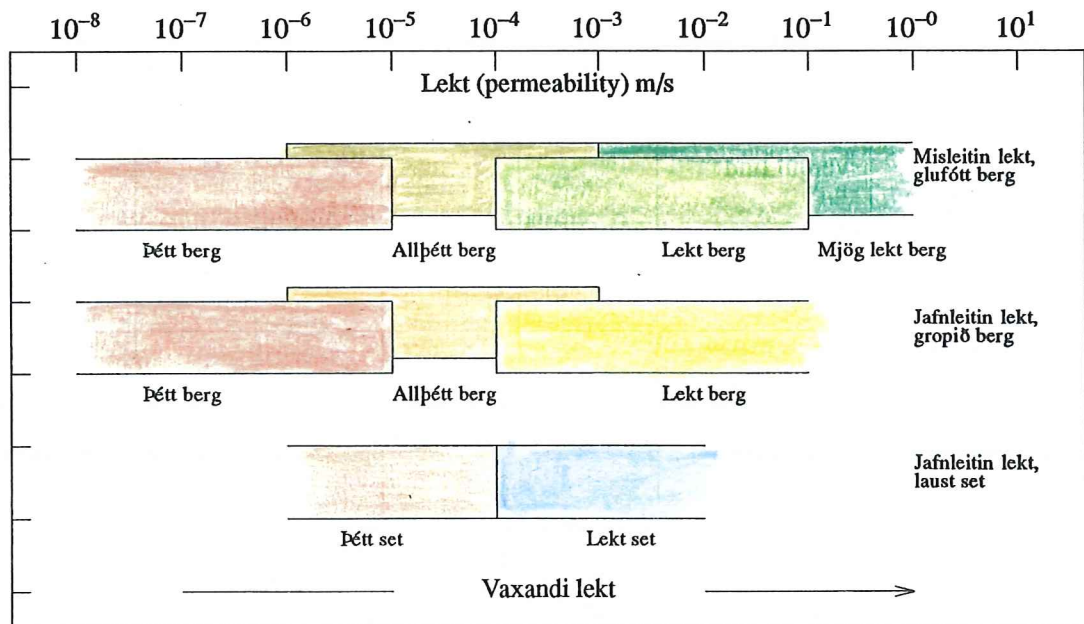


- National Committees for the International Hydrological Decade in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden: *Hydrological symbols. A Nordic IHD standard, Nordic IHD Report no 4, 1972.*
- Oddur Sigurðsson 1992: *Jökulhlaupaannáll 1984-1988.* Jökull 42, 73-80.
- Orkustofnun 1971: *Alþjóða skýringar við jarðvatnskort.* Þýðandi; Kristinn Einarsson, 55 bls.
- Orkustofnun 1980: *Búðaháls. Jarðfræði og grunnvatnsrannsóknir 1979.* OS80019/ROD-09, 170 bls.
- Sigurður Reynir Gíslason 1993: *Efnafræði úrkomu, jökla, árvatns, stöðuvatna og grunnvatns á Íslandi.* Náttúrufræðingurinn 63, 219-236.
- Sigurður R. Gíslason og Hans P. Eugster 1987: *Meteoric water-basalt interactions. II: A field study in N.E. Iceland.* Geochimica et Cosmochimica Acta 51, 2841-2855.
- Sigurjón Rist 1990: *Vatns er þörf,* 248 bls.
- Snorri Páll Snorrason 1981: *Jarðfræði Sámstaðaklifs.* SPS-81/01, Orkustofnun, 29 bls.
- Snorri Sturluson: *Snorra Edda.* Útg. Iðunn (Árni Björnsson sá um útgáfuna), Reykjavík 1975.
- Stefán Arnórsson 1982: *Ölkeldur á Íslandi.* Eldur er í Norðri. Sögufélagið, Reykjavík, bls. 401-407.
- Stefán Arnórsson 1991: *Mat á náttúrulegu streymi CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>S frá háhitavæðum Íslands.* Ráðstefna um jarðfr. og umhverfismál, ágrip. Jarðfræðafélag Íslands.
- Stefán Arnórsson 1993: *Jarðhiti.* Náttúrufræðingurinn 63, 39-55.
- Stefán Arnórsson 1994: *Ferli sem ráða efnainnihaldi kalds og heits vatns.* Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands. Ágrip erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 35-38. Stefán Arnórsson og Sigurður R. Gíslason 1990: *Um uppruna lághitasvæða á Íslandi.* Náttúrufræðingurinn 60, 39-56.
- Stuðull 1989: *Urðunarstaður í Álfsnesi. Skýrsla um Jarðfræðirannsóknir.* 23 bls.
- Svanur Pálsson 1972: *Mælingar á eðlisþyngd og poruhluta bergs.* Orkustofnun, Raforkudeild. 33 bls.
- Sveinbjörn Björnsson 1980: *Jarðhiti, grunnvatn og varmi.* Náttúrufræðingurinn 50, 271-293.
- Sveinbjörn Björnsson 1987: *Vatnsból Reykjavíkur og vatnasvið Elliðaánna.* Vatnið og landið. Ágrip erinda. Vatnafræðiráðstefna haldin í tilefni 40 ára afmælis Vatnamælinga og 20 ára afmælis Orkustofnunar. Tileinkuð Sigurjóni Rist vatnamælingamanni sjötugum. Reykjavík, bls. 100-102.
- Söderholm, Hans, Birger Fogdestam, Per Enqvist 1987: *Beskrivning til kartan över grundvatten i Kronbergs Län. Sveriges Geologiska Undersökning, serie Ah, hydrogeologiska översigtskartor, nr. 10.* Uppsala. 88 bls. + kort.
- Todd, David Keith 1970: *The Water Encyclopedia.* The Water Information Center, U.S.A. 535 bls.
- Todd, David Keith 1980: *Groundwater Hydrology,* 535 bls.
- Trausti Einarsson 1942: *Über das Wesen der Heissen Quellen Islands.* Vísindafélag Íslendinga. Rit 26, 91 bls.
- Trausti Jónsson 1986: *Úrkomukort af Þjórsársvæðinu.* TJ-86/01, Orkustofnun, 3 bls.
- UNESCO 1983: *International Legend for Hydrogeological Maps.* (Revised edition). Paris.
- Valgarður Stefánsson, Gestur Gíslason, Helgi Torfason, Lúðvík S. Georgsson, Stefán S. Sigurmundsson og Sverrir Þórhallsson 1982: *Áætlun um skipulegar rannsóknir á háhitavæðum landsins.* OS-82093/JHD-13, Orkustofnun, 176 bls.
- Vatnaskil 1988: *Þórisvatn. Rennsli og grunnvatnshæð á vatnasviði Köldukvíslar og Tungnaár.* 26 bls. + kort.
- Vatnaskil 1991: *Rennsli og grunnvatnshæð á höfuðborgarsvæðinu.* Verkfræðistofan Vatnaskil, 32 bls. + kort.
- Þórólfur H. Hafstað og Bjarni Kristinsson 1981: *Kvíslaveita 1. Kjarnagreining og lýsing stíflustæða.* ÞHH-BK-81/04, 30 bls.



# VIÐAUKI - SKÝRINGAR VIÐ VATNAFARSKORT

## Litir og lektarflokkar í jarðlögum

















Litirnir á vatnafarskortinu sýna lekt jarðlaganna en gefa minni upplýsingar um gerð þeirra eða uppruna. Ef um laus jarðlög er að ræða táknar ljósblár litur lek lög en ljósbrúnn þétt eins og sýnt er í neðstu litaröðinni á myndinni. Í berggrunni eru tvær litaráðir. Neðri röðin er fyrir berg þar sem lektin er tiltölulega jöfn bæði í lárétta og lóðrétta stefnu eins og víða gerist í móbergi, bólstrabergi og kubbabergi. Efsta litaröðin er notuð í berggrunni þar sem lárétt leiðni er mun meiri en sú lóðrétta eins og gerist í hraunastafla og í reglulega lagskiptum jarðlögum. Báðar litaráðirnar enda í sama dökkbrúna litnum sem táknar þétt eða lítt vatnsleiðandi berg.

## HÖGGUN OG ELDVIRKNI

- |        |   |  |                                 |
|--------|---|--|---------------------------------|
|        | Brotalína; a) Mikil vatnafarsleg áhrif<br>b) lítil vatnafarsleg áhrif |  | Hraunjaðar a) viss b) óviss     |
|        | Misgengi; a) Mikil vatnafarsleg áhrif<br>b) lítil vatnafarsleg áhrif  |  | Laghalli                        |
|        | Gjá   |  | Gangur                          |
|        | Gígar og gosop  |  | Keilugangur                     |
|        | Gerfigígar  |  | Gígtappi                        |
|        | Gerfigígasvæði  |  | Öskjurimi                       |
|        | Nútímahraun;  |  | Mislægi                         |
| a. >>> | a) Basalthraun  |  | Ummyndun í berggrunni, soðgrýti |
| b. >>> | b) Andesíthraun   |  |                                 |
| c. >>> | c) Líparíthraun   |  |                                 |

## GRUNNVATN, LINDIR OG JARÐHITI

### Kaldar lindir

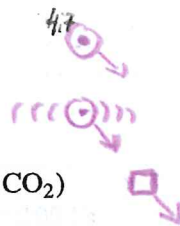
	Óskilgr. stærð	< 10 l/s	10-100 l/s	> 100 l/s	>1000 l/s
Venjúl.lind					
Lindasvæði					
Þrýstivatnslind					
Fjörulind					

(Táknin fyrir þrýstivatn og fjörulindir hafa sjaldan verið notuð).

### Köld lind og lindahiti

#### Lindalína

#### Köld ölkelda (> 300 ppm CO<sub>2</sub>)




### Jarðhiti


Nafn	Hiti °C	Laugar, hverir	Öl-keldur	Gufa
Volgra	10-30			
Laug	30-60			
Vatnshver	60-90			
Suðuhver	100			

## Efnafræði hveravatns

Efnafræðilegar merkingar	Tákn
Súr hver	▲
Basískur hver	●
Brennisteinshver	▼
Kísilhver	☼
Kolsýrulaug	☼
Kalklaug	☼

(Lítið notuð tákn)

 Hverir, laugar a) <1 l/s b) 1-10 l/s  
c) >10 l/s d) óskilgreint rennsli

 Ölkeldur a) <1 l/s b) 1-10 l/s  
c) >10 l/s d) óskilgreint rennsli


 Goshver


 Gufuhver, gufuauga


 Hitur (svæði með mörgum gufuaugum)

 Brennisteinshver

 Leirhver

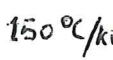
 Heit ölkelda (> 300 ppm CO<sub>2</sub>)

 Jarðhitaummyndun, hveraskánir, sambökunarhella

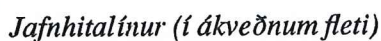
 Hverahrúður

 Kísilhrúður

 Kalkhrúður

 150 °C/km Hitastigulshola og hitastigull °C/km

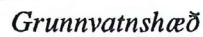
 Jafnhitastigulslínur

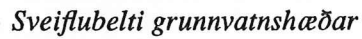
 Jafnhitalínur (í ákveðnum fleti)

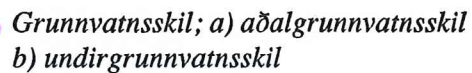
 Lindarennslí l/s

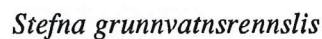
 45° Lindahiti °C

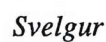
### Grunnvatn

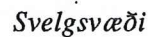
 Grunnvatnshæð

 Sveiflubelti grunnvatnshæðar

 Grunnvatnsskil; a) aðalgrunnvatnsskil  
b) undirgrunnvatnsskil

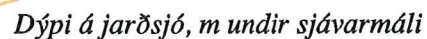
 Stefna grunnvatnsrennslis

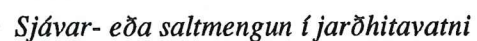
 Svelgur

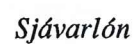
 Svelgsvæði

### JARÐSJÓR

 Salt grunnvatn, jarðsjór

 Dýpi á jarðsjó, m undir sjávarmáli

 Sjávar- eða saltmengun í jarðhitavatni

 Sjávarlón

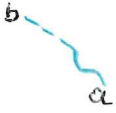
 Sjór (hvítur litur)



## YFIRBORÐSVATN



Vatnsföll; a) Bergvatn  
b) Jökulvatn



Lækur eða á, a) stöðugt rennsli  
b) stopult rennsli



Stöðuvatn og vatnshæð.  
Hæð vatnsborðs m y.s.



Stöðuvatn, hástaða,  
lágstaða



Vatn sem getur þornað



Hverfult vatn (þornar árlega)



Jökulvatn Hæð m y.s.



Ísalt vatn, sjávarlón



Foss



Flúð



Strengur



Jökull  
(hvítur með grænum hæðarlínum)



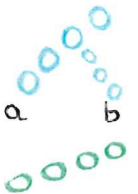
Hætt við jökulhlaupi úr  
jökulstífluðu lóni



Hætt við jökulhlaupi úr  
jökulhólfi



Bræðsluvatnshólf í jökli



Vatnaskil, alaðalvatnaskil  
blundirvatnaskil

Ísaskil



Meðalrennsli  $m^3/s$  - vatnasvið  $km^2$

Rennslismælingar og rennsli  
a) einstök eða fáar, b) margar



Straumstefna í vatnsfalli



Gil, gljúfur



Rofströnd



Setströnd



Flóðfar fallvatna,  
hæð yfir meðalvatnsborði



Flóðasvæði



Vatnsfarvegur, stundum þurr



Leysingavatns- eða flóðfarvegur



Þurr vatnsrás grafín í set



Þurr vatnsrás grafín í berg

## VOTLENDI



Mýrar



Rústir



Gljár



Jökuláraurar (jökulflæður)



Stífreri



Frerafylltur jökulgarður

## MANNVIRKI

### Sértákn fyrir borholur

Holugerð	Tákn
Höggborshola	
Kjarnahola	
Loftborshola	
Horfin eða ónýt hola	
Virkjuð hola	

Borhola, almennt tákn

Stíflur, stærð lóns í Gl

Garðar

Göng

Skurðir

Virkjun

Virkjuð lind

Neysluvatnsgeymir

Heitavatnsgeymar

Rennslismælistaðir

Vatnshæðarsíriti

Aflagður síriti

Strengjabraut

Mannbær strengjabraut

Dælustöð

Vatnsveita

Hitaveita

Háspennulína

Spennistöð

Vatnsborðsstöð

Aðhald

Grunnvatnsmælistaður

Grunnvatnshæðarsíriti

Veðurathugunarstöð

Úrkomusafnmælir

Snjósmælistöð

Þéttbýli

Sorphaugar

Mengunarsvæði

Hús

Sæluhús, fjallaskáli

Eyðibýli, fornar rústir

Efnisnáma; a) í notkun  
b) aflögð

Sundlaug

Fiskeldi

Laxastigi

Akvegur

Jeppavegur

Akværtvað

Gamalt vað, reiðvað



