

Háskóli Íslands
4. árs verkefni

**ÍSLENSKT VATNAFARSKORT
og
VATNAJARÐFRÆÐI**

Árni Hjartarson

1978

HÁSKÓLI ÍSLANDS

ÍSLENSKT VATNAFARSKORT
OG
VATNAJARÐFRÆÐI

ÁRNI HJARTARSON

1978

EFNISYFIRLIT

Samantekt	bls.	5
Inngangur.....		6
Saga vatnafræðinnar.....		9
Vatnafræði - skilgreining greinarinnar.....		14
Vatnið og hringrás þess.....		14
Jarðvatnið og lagskipting þess.....		16
Groppa (porosity).....		18
Lekt (permeability) og leiðni (transmissivity).....		19
Veitir (aquifer) - stemmir (aquiclude).....		25
Veitar í íslenskum jarðlögum.....		26
Lektarflokkar íslenskra jarðlaga.....		30
Dæmi um vatnsrennsli í íslenskum jarðlögum.....		35
Grunnvatnsborðið og sveiflur þess.....		39
Grunnvatnsskil og grunnvatnsrennsli.....		41
Kalt vatn og lindir.....		43
Jarðhitinn.....		48
Ölkeldur.....		50
Jarðsjór.....		53
Saltrík jarðlög.....		54
Gerðir íslensks grunnvatns.....		59
Orðaskrá. Enska - íslenska með skýringum.....		60
References.....		73

TÖFLUR

Lekt og leiðni bergs í nágrenni Reykjavíkur.....	23
2. Afstæð lektarröðun mismunandi jarðlaga.....	23
3. Groppa, lekt og vatnsgæfni.....	24
4. Veitar í berggrunni Íslands (skv IBF).....	26
5. Veitar og stemmar á Íslandi.....	29
6. Lektarflokkun íslenskra jarðlaga.....	30
7. Tíðni veita í borholum í Mosfellssveit.....	35
8. Rennsli úr mismunandi veitum.....	36
9. Seigja vatns við mismunandi hitastig.....	37
10. Seigja vatns við mismunandi þrýsting.....	37
11. Flokkun linda eftir gerð.....	43

12.	Flokkun linda eftir stærð.....	bls.46
13.	Nokkrar ölkeldur.....	52
14.	Jarðsjór.....	55
15.	Gerðir íslensks grunnvatns.....	59

MYNDIR

1. Vatnafarshringurinn
2. Lagskipting jarðvatnsins
3. Vatnssveiflur í Kleifarvatni
4. Sjávarföll í borholu við Vogastapa
5. Sjávarföll í borholu við Vogastapa
6. Grunnvatnshæð á vestanverðu Reykjanesi og loftprýstingur á Keflavíkurflugvelli.
7. Lögun grunnvatnsbeltisins undir Íslandi
8. Myndun ölkeldu

SAMANTEKT

Í einn og hálfan áratug hefur verið unnið að vatnafarslegri kortlagningu Evrópu. Á þeim tíma hefur þróast fram ákveðið kortlagningarkerfi, sem ástæða er til að ætla, að eigi framtíð fyrir sér. Þrátt fyrir afar sérstæðar jarðfræðilegar og vatnafarslegar aðstæður hefur þetta kerfi reynst vel við kortlagningu Íslands.

Með þessari kortlagningu hefur verið dregin saman á einn stað og samræmd dreifið og sundurleit þekkingarbrot samtíðarinnar af vatnafari Íslands. Í ritgerðinni með kortinu er aðdragandi kortagerðarinnar rakinn og þar er notkun kortlagningarkerfisins rökstudd.

Vangaveltur sem upp komu í kjölfar kortavinnunnar leiddu af sér nokkur nýmæli, svò sem flokkun veita (aquifer) og stemma (aquiclude) í íslenskum jarðlögum, flokkun linda og þankabrot um uppruna salts vatns í jörðu og ölkeldna. Einnig er sýnd efnafræðileg flokkun á íslenska grunnvatninu, heitu og köldu, söltu og súru.

Mikið er um orðskýringar og skilgreiningar í ritinu, enda hefur ríkt nokkur óreiða í þeim efnum eins og títt er í ungum fræðigreinum.

Grunnhugsunin í ritinu, er að gefa almenna hugmynd um vatnajarðfræði, þar sem lýst er helstu viðfangsefnum, hugmyndum og hugtökum fræðigreinarinnar. Í því ljósi er síðan reynt að gera vatnajarðfræði Íslands skil. Ritgerðin er þó fyrst og fremst ætluð sem fylgirit með vatnafarskortinu. Kortið sjálft er megin niðurstaða verksins.

INNANGUR

Vatnafarskortíð sem fylgir þessari ritgerð á sér allanga forsögu, sem rétt er að drepa á hér í upphafi. Það er til-
tölulega skammt síðan farið var að gera sérstök kort sem
sýna vatnafar landa og landssvæða. Vatnafarskortin hafa
þróast frá almennum jarðfræðikortum á þann hátt, að á þeim
er jarðfræðin skoðuð og skilgreind með áhrif hennar á vatna-
farið í huga auk þess sem megin áherslan er lögð á að
draga saman sem mestar vatnafræðilegar upplýsingar.

Eitt af því, sem mönnum hætti löngum til að telja óþrjót-
andi 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 víða frammi fyrir augljósum
afleiðingum rányrkjunnar, vatnsbirgðirnar voru á þrotum,
grunnvatnsborðið komið niður úr öllu valdi og yfirborðs-
vatnið mengað og spillt. Viðbrögðin voru bæði snögg og
hörð. Áhugi á vatnafræði óx mjög svo skilningur á nyt-
semi þessarar fræða. Þetta leiddi til örrar þróunar og
alþjóðlegs samstarfs.

Á 13. þingi UNESCO var samþykkt að efna til alþjóðlegs
svatnafræðiáratugs sem standa skyldi frá 1965-1975. Til-
gangurinn var að stuðla að alþjóða samvinnu í vatnafræði-
rannsóknnum og þjálfun sérfræðinga og tækniliðs í vísinda-
legri vatnafræði. Þannig skyldi öllum þjóðum gert fært að
meta vatnsauðæfi sín og nýta þau á sem hagkvæmastan hátt
í samræmi við síaukna vatnspörf vegna fólksfjölgunar og
þróunar í iðnaði, landbúnaði og fiskveiðum.

Um 1960 höfðu verið gerð vatnafarskort í stórum mælikv-
arða af afmörkuðum svæðum hér og hvar um heim, en þau voru
ósamræmd og geróflk innbyrðis. Commission for Hydrologi-
cal Maps var stofnað 1959 og eins og nafnið bendir til
skyldi það fyrst og fremst fást við samræmingu og fram-
þróun vatnafarskorta. Árið eftir var hafinn undirbúningur
að Hinu alþjóðlega vatnafarskortinu Evrópu (Internat-

ional Hydrogeological Map of Europe 1:1.500.000) í samstarfi við IAH og UNESCO. Þetta kort er fyrsta vatnafarskortið í smáum kvarða af stórum lendum sem gert er. Það kostaði vitaskuld geysi mikla undirbúningsvinnu og tilraunir að ná fram kortatáknum og kortlagningaraðferð sem tryggði samfellda túlkun á hinum ýmsu og oft gerólíku svæðum álfunnar.

Fyrsta skref þessa undirbúnings var samning alþjóðlegra skýringa við vatnafarskort. Fyrsta útgáfa þeirra kom út hjá UNESCO 1962. Þjóðverjinn próf. dr. H. Karrenberg (núverandi formaður Committee of Scientific Editors for the International Hydrogeological Map of Europe 1:1.500.000) lagði jafnframt fram tvö uppköst af vatnafarskorti sem byggð voru á þessum skýringum. Eftir miklar umræður og gagnrýni voru skýringarnar endursamdar og Karrenberg birti þriðja uppkastið 1965 og það fjórða 1966 sem að lokum hlaut almenna viðurkenningu. Það var prentað og gefið út 1970 sem fyrsta kortablaðið í Evrópukortinu. Ráðgert er að út komi 30 kortablöð alls. Í árslok 1978 eiga 6 kortablöð að vera komin út. Hverju kortablaði fylgir all nákvæmur skýringatexti, til að fylla upp í þá mynd sem hinn smái skali kortsins fær dregið fram.

Vinna við Íslands hluta þessa korts hófst haustið 1976 en gert er ráð fyrir því að það verði prentað 1979 eða 1980. Upphaflega var ætlunin að Ísland yrði á blaði með Færeyjum og hluta af Noregi. Seinna varð það að ráði að skilja Noreg frá en hafa einungis Ísland og Færeyjar á kortinu.

Kort það sem fylgir þessarri ritgerð er byggt á drögum af íslenska vatnafarskortinu. Af tæknilegum ástæðum varð þó að hafa það talsvert einfaldara að gerð. Öll örnefni voru felld niður svo og tákni fyrir mannvirki og einnig grunnskraferingar þar sem því varð við komið.

Gerð íslensks vatnafarskorts er ýmsum annmörkum háð. Í fyrsta lagi hafa aldrei verið gerðar neinar samfelldar vatnafræðilegar athuganir með tilliti til kortagerðar héraendis. Í öðru lagi verður vatnafarskort að byggja á jarðfræðikortum en slík kort eru af skörnum skammti til

af landinu öllu. Í þriðja lagi eru tákni, skraferingar og litir kortsins miðuð við alþjóðlega kortlagningu, sem oft á tíðum er erfitt að fella að hinum sérstæðu jarðfræðilegu og vatnafræðilegu aðstæðum hérlendis.

Þrátt fyrir þetta geri ég mér vonir um, að vatnafræðikortlöggefi gefið nokkra mynd af vatnafari Íslands, og verði undanfari nákvæmari kortlagningar þegar fram líða stundir.

Winna við Íslenska vatnafarskortlög - grunninn að þessu prófverkefni - var borguð af Orkustofnum. Stend ég því í þakkar-skuld við hana, einkum þó við deildarstjóra Jarðkönnunar-deildar Guttorm Sigbjarnarson fyrir fræðilega tilsögn og auðsýnt trúast, svo og aðra félaga mína á þeirri deild.

Ritgerðin, bæði almennir kaflar hennar og sértækir, er mjög mótuð af umræðum og vangaveltum manna á meðal á þessum vinnustað, svo og ábendingum, mildilegum hirtingum, andlegum og verklegum stuðningi. Ég þakka:

Frey Þórarinssyni heimspekilega og jarðeðlisfræðilega upplýsingu og pólitíska áreitni.

Freysteini Sigurðssyni tilsögn í dialektík náttúrunnar og marga vel meinta hirtingu.

Guðríði Sveinbjörnsdóttur þolgóða tækniástoð og teiknun

Kristjáni Ágústssyni stillilega jarðeðlisfræðilega uppfærðslu.

Laufeyju Hannesdóttur alhliða andlega og móralska styrkingu.

Sigurði G. Tómassyni málfarslegar ofanígjafir, ábendingar um framandi tungur og gagnrýnin pólitískan stuðning.

Snorra P. Snorrasyni efnafræðilega innspítingu.

Þóroddi F. Þóroddsyni vatnafræðilega innspírasjón og félagsstyrk.

Þórólfi H. Hafstað niðurrífandi gagnrýni, uppgræðandi viðræður og andlega og starfslega samstöðu.

Allt það sem missagt er í fræðum þessum er þó á mína ábyrgð og orsakast af eðlislægri tornæmi og framhleyptni, sem mildur strangleiki og fræðandi félagsskapur hefur ei fengið burtu máð.

Arni Hjartarson.

SAGA VATNAFRÆÐINNAR

Þótt vatnafræði sé tiltölulega ný af nálinni sem sjálfstæð fræðigrein, á hún sér rætur aftur í grárri fornaskju. Svo háð sem mannskepnan er vatninu, hefur eðli þess og hegðun alltaf verið henni umhugsunarefni. Fyrstu menningarþjóðir sögunnar Mesapótamíumenn Súmerar Egyptar ofl. 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 jafn oft fyllt skáldin innblæstri og andagift. Það er því ekki að undra þótt snemma vaknaði spurningin um, hvar þetta vatn væri upp runnið. Í ritum grískra og rómverskra heimsspekinga eru víða skýringartilgátur um uppruna lindavatns og grunnvatns. Þar getur að líta allt frá hinum fjarstæðukenndustu hugmyndum til nútímalegustu kenninga. Þrátt fyrir það var allt fram á 18. öld almennt álitíð, að lindavatn gæti ekki verið regn að uppruna. Því var trúað, að rigningarvatnið væri ekki nægjanlega mikið, til að viðhalda stöðugu rennsli fallvatna og þar að auki, að jörðin væri svo þétt, að regnvatnið næði ekki að síga nema mjög grunnt í hana. Hinir eldri heimsspekingar Grikkja s.s. Pales og Plató gerðu ráð fyrir að lindavatn væri ætt að úr sjó sem flæddi um göng djúpt í jörðu, inn undir fjöllin, hreinsaðist þar og stigi upp í uppsprettum. 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 það, að grunnvatnið væri regn og snær að uppruna. Hann hélt því fram, að fjöllin fengju á sig mun meiri úrkomu en láglandið, vatnið sigi í jörðina, rynni langar leiðir neðanjarðar, og kæmi fram í lindum við rætur þeirra.

Í prologus Snorra Eddu er þess getið, að norrænum mönnum heiðnum var ýmis náttúra jarðarinnar umhugsunar- og undrunarefni. -"Þat var eitt eðli, at jörðin var grafin ínhám fjallatindum ok spratt þar vatn 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 þeir 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 öll kvikvendi ok hon eignaðist allt það er dó; fyrir þá sök gáfu þeir henni nafn ok tölðu ætt sína til hennar"-.

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. Í Konungsskuggsjá og Íslandslýsingu þeirri sem kennd er við Odd Einarsson (Qualiscunque descriptio Islandiae) frá seinni hluta 16. aldar er þessari skýringu haldið fram.

Allar miðaldir voru hugmyndir manna mjög á breiki um uppruna grunnvatns og linda, en hin almennt viðtekna skoðun var þó sú, að um einhverskonar hringrás væri að ræða frá sjó, um jörð upp í lindir og á yfirborði í sjó á ný. Á 17. öld tóku menn mjög beita fyrir sig 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 sem rýnni af því með ánni. Þar með vísaði hann á bug hinni gömlu grísku kenningu, að úrkomu dygði ekki til viðhalds vatnsföllum.

Enski stjörnufræðingurinn Edmund Halley birti 1693 niðurstöður rannsókna sinna á uppgufun. Þar sýndi hann m.a. fram á, að uppgufun vatns úr sjó væri næg til að fæða af sér allt straumvatn, ofan jarðar sem neðan.

Á 18. öldinni var lagður grunnurinn að nútíma skilningi manna á jarðfræði og þar með á vatnafræði, hreyfingum grunnvatnsins og eðli. Fer nú að fjölga mjög þeim nöfnum, sem koma við sögu vatnafræðanna. Franskur verkfræðingur Henry Darcy að nafni rannsakaði streymi vatns gegn um sand og fann sambandið milli þrýstimum og vökvastreymis í gropnu efni. Þetta samband er kallað Darcys lögmál. Það var sett fram árið 1865 og þykir mörgum, sem upp úr því hafi vatnafræðin tekið að marka sér sess sem sjálfstæð fræðigrein.

Í ferðabók Eggerts og Bjarna, sem unnið var að á árunum 1750-1760 getur að líta fyrstu flokkunina á íslensku ferskvatni, sem mér er kunnugt um. Hún er í kaflanum um drykkjarvatn í borgarfirði (gr 184).

"Í Borgarfirði og annarsstaðar eru 6 tegundir drykkjarvatns.

a) Jökulvatn. Því er áður lýst (134 gr.). 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.

b) 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.

c) 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 er algerlega bragðlaust og er notað jafnmikið og brunnavatnið.

d) Uppsprettu- og lindarvatn fæst hvarvettnavviðvætur fjalla og hæða. Það er léttara en áður taldar vatnstegundir, og sömu leiðis kaldara og tárara og því mest eftirsótt.

e) Kaldavesl sem eiginlega þýðir kaldur vökvi, er þó enn kaldara og tárara 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 sálmannamál, að í mestu frostum sé það velgt. Sennilega hefur þessi skoðun skapast af því, að það er þá ekki eins kalt og frosna vatnið.

f) 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 víðsvegar á landinu og kenna menn aldrei nokkurs lasleika eða óþæginda af því".

Það skemmtilegasta við þessa rúmlega 200 ára gömlu flokkun Eggerts og Bjarna á vatninu er hversu vel hún hefur staðist umbyltingar seinni tíma. Hún er áugljóslega grundvöllurinn að þeirri flokkun, sem við höldum framfíddag. Ekki hafa þó allar vatnafræðilegar hugmyndir þeirra féлага verið jafn lífseigar. Upphaf jarðborana á Íslandi var þegar vísindafélagið danska sendi þeim Eggert og Bjarna jarðnafarinn. Þann 12 ágúst 1755 hófust þeir handa við borun hjá hvernum í Laugarnesi í Reykjavík. Þarna boruðu þeir 14 feta djúpa holu, en þá varð fyrir þeim grágrýti, sem nafarinn beit ekki á. Sumarið eftir fluttu þeir nafarinn til Krýsuvíkur og boruðu tvær holur, aðra 32 feta djúpa, en lengra náði borinn ekki. Hin holan varð 9 feta djúp, en fór þá að gjósa.

Við boranirnar urðu þeir Eggert þess varir, að hitinn fer ekki jafnt vaxandi með dýpi, heldur voru ákveðin leirlög heitust, en aldara beggja vegna. Af þessu drógu þeir þá ályktun, að hveravatn, jarðhiti og eldvirkni 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 til dæmis, að hitinn á hverasvæðunum stafaði af gerjun í hveraleirnum. Kenningar Plato og hinna eldri heimspekinga Grikkja um flutning sjávar-
sagga um göng í jörðinni virðast hafa haft áhrif á þá, því þeir reyna að skýra efnainnihald og seltu jarðhitavatsins með þeim. Reyndar verður að viðurkenna, að kenningar grísku heimspekinganna eru ekki svo fjarri lagi á jarðhitasvæðunum á Reykjanesskaga.

Sveinn Pálsson var hallur undir kenningarnar um upphitun vatnsins grunnt í jörðu. Þegar hann skoðaði Geysi 1797

setti hann fram nánari útleggingu á þeim. Kallaði hann jarðlögin, sem vatnið hitnar í varmalögin (stratum calorificum)

Á 19. öld urðu þær skoðanir almennt viðurkenndar, að kalda grunnvatnið væri regn að uppruna og hluti af vatnafarshringnum, en hveravatnið væri ættað úr kvikunni í jarðariðrum að stórum hluta til. Ritgerð Trausta Einarssonar *Über das Wesen heissen Quellen Islands* (1942) er líklega merkasta framlag Íslendinga til vatnafræðinnar. Þar er sú skoðun í fyrsta sinn sett fram að hveravatnið sé að megininu til úrkomuvatn að uppruna, sem sigið hafi djúpt í jörðu og hitnað vegna hins almenna jarðhitastiguls. Síðari tíma rannsóknir hafa stutt kenningar Trausta í meginatriðum.

Guðmundur Kjartansson 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.

Hér verður ekki farið nánar út í sögu vatnafræðinnar, þótt hún sé verðugt efni í heila bók og margir menn ættu það skilið að verða að góðu getið í því ritverki.

VATNAFRÆÐI-SKILGREINING GREINARINNAR.

Vatnafræði er skilgreind, sem sú grein vísinda, sem fjallar 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 vatnafræðinnar felst í þekkingu á afrennsli vatnsins af þurrlendinu, ofanjarðar sem neðan, til sjávar og tengsl þessa rennslis við veðurfar og jarðfræði. Í eyrum almennings á Íslandi hefur orðið vatnafræði fyrst og fremst átt við um yfirborðsvatnafræði (surface hydrology). Það mun stafa af því, að jarðvatnsfræði hefur almennt verið kölluð jarðhitufræði og að kalda jarðvatnið hefur hingað til mun minna verið kannað.

Vatnafræðinni má skipta niður í undirgreinar:

Yfirborðsvatnafræði (surface hydrology). Undir hana falla rannsóknir og mælingar á fallvötnum, stöðuvötnum og afrennslisháttum yfirborðsvatns almennt. Jarðvatnsfræði (groundwater hydrology, geohydrology, subterranean hydrology). Undir hana falla rannsóknir á jarðvatni bæði heitu og köldu, efnafræðilegum og eðlisfræðilegum eiginleikum þess, streymi þess og eðli öllu. Vatnajarðfræði (hydrogeology) er allhliðstæð jarðvatnsfræði en þar er þó megin áherslan lögð á jarðfræðina og hún skoðuð með tilliti til hegðunar vatnsins. Vatnajarðfræðin er millistigið milli vatnafræðinnar og jarðfræðinnar.

Alla þá síbreytilegu þætti sem framantaldar greinar spanna hefur þótt rétt að kalla einu nafni vatnafar. Merking þess er hliðstæð við merkingu orðsins veðurfar.

Vatnið og hringrás þess.

Vatnið fyrirfinnst í ótal myndum á jörðinni allt frá innsta kjarna hennar að útmörkum gufuhvolfsins.

Í jarðariðrum er það uppleyst í kvikumassanum, í jarðskorpunni streymir það um sem grunnvatn eða er bundið í setlögum eða kristöllum bergsins. Á jarðaryfirborði finnst það í formi sjávar, stöðuvatna, fallvatna og íss. Lífverurnar eru öðru fremur byggðar úr vatni og í lofthjúpnunum leikur það mikilvægt hlutverk.

Að frátöldu vatninu í jarðariðrum og því sem bundið er í seti og kristöllum, er vatnið á eilífri hringrás úr einum staðnum og forminu í annað. Hringrás þessi kallast vatnafarshringurinn (The Hydrologic Cycle) Á mynd 1 er þessi hringrás sýnd. Vatnsmagnið sem þarna er á ferðinni hefur verið áætlað um $1,5 \cdot 10^9 \text{ km}^3$. Af þessu magni eru um 94% í sjónum. Afgangurinn 6% skiptist þannig: Stærsti hlutinn, rúm 4%, er í mynd jarðvatns, tæp 2% eru bundin sem ís víðsvegar um jörðu. Aðeins 0,05% teljast til stöðuvatna og fallvatna. Mörgum hefur komið á óvart hversu smár þessi hluti er. Raki gufuhvolfsins er hverfandi lítill miðaður við þessar tölur. Hins vegar er flutningur vatnsins um þann hluta vatnafarshringsins mjög hraður. Nánast allt það vatn sem um þurrlendið fer, hvort heldur í fallvötnum, grunnvatnsstraumum eða jöklum, hefur borist frá hafi í gufuformi.

Afdrif þeirrar úrkomu sem á land fellur er með þrennum hætti. Einn hlutinn gufar beint upp aftur. Annar hlutinn rennur af á yfirborðinu í ár og læki og berst í faðm hafsins að skömmum tíma liðnum og lýkur þannig hringferli sínum 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.

Grunnvatnið sígur hægunum straumi undan þrýstingi 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 rakleiðis til sjávar. Hluti þess kemur upp í neðansjávarlindum eða fjörulindum. Grunnvatnið getur tafist svo öldum og árpúsundum skiptir neðanjarðar. Fer aldur þess að mestu eftir því hversu djúpt í jörðu það kemst.

Vatn sem streymir um laus yfirborðslög og kemur fram í sveiflukenndum lindum, bæði hvað hitastig og magn snertir, er sjaldan nema nokkurra daga eða vikna gamalt.

Kaldavermsl eru auk hins jafna hita síns all stöðug hvað rennslismagn snertir. Vatnið í þeim hefur runnið neðanjarðar svo mánuðum eða jafnvel árum skiptir.

Heitt vatn er venjulega jafnframt mjög gamalt. Það hefur komist djúpt í jörðu og tekið í sig hitann sem þar ríkir. Bergið, sem þetta vatn streymir úr, er oftast all þétt og vatnsstreymið er því hægt. Elsta jarðhitavatn á Íslandi er talið meira en 10 þúsund ára gamalt (Bragi Arnason 1976).

Jöklar geta valdið mikilli seinkun á hringferð vatnsins eins og gefur að skilja.

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, (mynd2)

Jarðvatn (subterranean water) kýs ég að nota sem samheiti um vatn undir jarðaryfirborði, hvort heldur sem það er undir eða yfir grunnvatnsfleti. Jarðvatninu má skipta í fjóra flokka eða lög eftir ástandi vatnsins á hverjum stað. Mörkin milli þessara laga eru ekki skörp. Gleggstu skilin eru þó við grunnvatnsflötinn. Þar er þrýstingur vatnsins jafn loftþrýstingnum, undir honum er hann hærri, en yfir er vatnsþrýstingurinn lægri loftþrýstingnum.

Jarðvegsrakabelti (soil moisture zone) er efsta lag jarðvatnsins. Yfirborð þess fylgir yfirborði jarðar, neðri mörkin liggja á því dýpi sem ratur gróðurþekjunnar ná. Þykkt þessa lags er háð jarðvegi og gróðri, sumsstaðar vantar það alveg svo sem á ógrónu landi og þar sem grunnvatnsflötur er við yfirborð. Vatnið sem þarna situr er nær eingöngu bundið í jarðlögin með sameindakröftum og liggur sem örþunn himna utan á kornum jarðvegsins. Slíkt vatn er stundum kallað hjúpvatn (pellicular water). Það er svo fast í sessi, að það nýtist ekki gróðrinum.

Sigvatnsbelti (percolating zone) kallast næsta lag. Sigvatn (gravitational water) nefnist það vatn sem er á ferð frá jarðaryfirborði til grunnvatnsborðs. Í þessu beltí er bæði um að ræða vatn sem bundið er sameinda- og hárpípukröftum við jarðlögin. Þetta lag er neðan þeirra marka sem gróðurinn nær til. Þykkt þess er mjög misjöfn og sumsstaðar vantar það alveg.

Hárpípubelti (capillary fringe) er næsta lag. Hér er um að ræða þunnt lag yfir grunnvatnsfleti þar sem jarðlögin eru mettuð vatni sem dregist hefur sökum hárpípukrafta upp fyrir grunnvatnsborðið. Þykkt þessa lags er eingöngu háð kornastærð eða glufurými jarðlaganna. Í sandi er það nokkurra cm þykkt en í leir getur það náð nokkrum metrum.

Grunnvatnsbeltið tekur við neðan grunnvatnsborðs. Þar eru öll holrúm og glufur bergsins vatnsfyllt. Þrýstingurinn er hærri en loftþrýstingurinn. Þegar um er að ræða frjálst grunnvatnsborð er vatnsþrýstingurinn á hverjum stað í samræmi við dýpið undir grunnvatnsborði. Stundum valda þétt jarðlög því að þrýstingurinn er mun meiri en dýpið segir til um. Vatn við slíkar aðstaður nefnist þrýstivatn (artesian water). Sú hæð sem vatnið getur þrýst sér upp í t.d. í borholu nefnist þrýstivatnsborð (pizometric surface). Stundum er þrýstivatnsborðið hærra en jarðaryfirborðið og gýs þá borholan. Á sama hátt og þétt jarðlög geta orsakað þrýstivatn geta þau einnig valdið undirþrýstingi þannig að fleira en eitt grunnvatnsborð er til staðar.

Þykkt grunnvatnsbeltisins á Íslandi er óþekkt. Að neðan markast það annaðhvort af þéttum óvatnsgengum jarðlögum eða þeim mörkum sem hiti og þrýstingur setja fljóttandi formi vatns. Því hefur verið fleygt að lag 3 marki botn grunnvatnsbeltisins ((Ingvar Birgir Friðleifsson 1975))

GROPPA (POROSITY)

Holrúm það sem myndast milli korna og kristalla í jarðlögum, blöðrur í bergi, sprungur, glufur og gaphús, nefnist groppa bergsins. Groppan er mæld sem hlutfall holrýmisins af heildarrúmmálinu og er oft gefin upp í prósentum.

$$n = V_h / V_o$$

$$n = \text{groppla}$$

$$V_h = \text{rúmmál holrýmis}$$

$$V_o = \text{heildarrúmmál}$$

Groppla bergs og lausra jarðlaga á jarðaryfirborði getur hlaupið á bilinu frá 0,01 upp í meira en 0,5. Meiri groppa en 0,4 er þó sjaldgæf. Í daglegu tali kallast meiri groppa en 0,2 mikil, groppa milli 0,2 og 0,5 miðlungs, og groppa minni en 0,05 lítil. Í lausum jarðlögum fylgir groppan mest kornastærðinni og kornastærðardreifingunni, en í bergi er það milli-steindarýmið, blöðrur, glufur og gaphús sem ráða groppunni. Upphafleg groppa jarðlaga t.d. groppa nýmyndaðra setlaga er kölluð frumgroppla (primer porosity), en groppa sem myndast síðar, t.d. er setlög harðna og springa upp, nefnist síðgroppla (secunder porosity).

Gerður er greinarmunur á heildargroppu efnis (total porosity) og virkri groppu þess (effective porosity). Virka groppan er það holrúm efnisins, hvar vatn getur streymt um við náttúrulegar aðstæður. Talsverður hluti jarðvatnsins er bundinn í efninu með sameinda- og hárpípukröftum, t.d. í þröngum glufum, og fær ekki streymt þaðan í brottu.

Groppla ýmissa jarðefna er gefin upp í töflu 3.

LEKT, (PERMEABILITY) OG LEIÐNI (TRANSMISSIVITY)

Eins og getið er um í sagnfræðilega inngangnum, er Henry Darcy eitt af stóru nöfnunum í sögu vatnafræðanna. Árið 1856 setti hann fram hið fræga lögmál sitt Darcys lögmál og sagði þá m.a.:

"Mér hefur með nákvæmum tilraunum tekist að finna út lögmál fyrir flæði vatns um gropið efni.... Tilraunirnar sýna ótvírætt fram á það, að það vatnsmagn sem smýgur gegn um sandlag af ákveðinni gerð er í beinu hlutfalli við þrýstinginn og öfugu hlutfalli við þykkt lagsins. Ef s er þverskurðarflatarmál sandsins, k stuðull sem háður er gerð sandsins, e er þykkt lagsins, $P-H_0$ er þrýstingurinn undir sandlaginu og $P+H$ er loftþrýstingurinn sem bætist á vatnsþrýstinginn á sandinum, þá verður flæði um sandinn við þessar aðstæður $Q=(ks/e)(H+e+H_0)$, sem má einfalda í $Q=(ks/e) \cdot (H+e)$ þegar þrýstingurinn neðan sandsins er jafn loftþrýstingnum, eða $H_0=0$ ".

Þessi staðhæfing, að straumhraði um gropið efni sé í réttu hlutfalli við þrýstinginn (the head loss) og í öfugu hlutfalli við lengd streymisbrautarinnar, gengur undir nafninu Darcys lögmál. Lögmál þetta hefur öðrum fremur orðið sá grunnur sem nútíma vatna - jarðfræði er reist á. Algengasta form lögmálsins er:

$$Q=KA \frac{dh}{dl}$$

Q = vökvamagnið, K = lektarstuðull, A = flatarmál flæðisins, $\frac{dh}{dl}$ = vökvaprýstistigull (hydraulic gradient).

Ástæða er til að skoða lektarstuðulinn K nokkru nánar. Innrennsli vatns í jarðlög byggir upp vatnsþrýsting sem síðan veldur grunnvatnsstreymi. Getu jarðmyndunar til að leiða vatn nefnist lekt (permeability). Lektin er skilgreind sem það vatnsmagn, sem streymir um ákveðinn flöt, hornréttan á strauminn, á tímaeiningu (við 1 atm. þrýsting). Lektin er að nokkru komin undir eiginleikum efnisins s.s. virkri groppu, en ekki síður eðli vökvans sem um er að ræða, seigju hans, hitastigi og þrýstingi. Lektin er tjáð með lektarstuðlinum K .

Það er vani að greina að staðallekt (standard permeability) K_s , sem er gildi stuðulsins við $15,6^\circ \text{C}$ (skv. engilsaxneskri venju, 10°C er t.d. notað í Svíþjóð) og staðarlekt (field permeability) K_f , hið raunverulega gildi stuðulsins á hverjum stað.

Sambandið með þessum tveimur stuðlum kemur vel fram þegar Darcys-jafna og jafnan um lagstreymi (laminer flow) í pípu eru leystar saman. Hraði lagstreymis í pípu er :

$$v = \frac{cd^2g}{v} \frac{dh}{dL}$$

c =stuðull háður lögun pípunnar, g =þyngdarhröðunin, d =þvermál pípunnar, v =seigja vökvans (kinematic viscosity).

Af Darcys-jöfnu og þessari má leiða:

$$K = \frac{cd^2g}{v}$$

Jafnan sýnir hið öfuga hlutfall milli K og seigjunnar v , sem er eina hitastigsháða stærðin. Það er því augljóst að :

$$\frac{K_s}{K_f} = \frac{v_f}{v_s}$$

þar sem v_s er seigja stremandi vökva við $15,6^\circ \text{C}$ og v_f seigjan við raunhitann (the field temp.).

Flytjum nú hugsunina úr röri yfir í berg. Þá verður d að þvermáli þess rýmis sem vatnið fer um í berginu. c heldur áfram að vera stuðull sem háður er lögun straumrásarinnar.

Úr þessum stuðlum er gjarnan gerður einn stuðull :

$$cd^2 = k \Rightarrow K = \frac{kg}{v}$$

Stuðullinn k er nefndur raunlekt bergsins (specific eða intrinsic permeability). Hann er eingöngu háður berggerðinni en er óháður vökvagerðinni og þrýstingi.

Jöfnur þær og skilgreiningar, sem nú hafa verið kynntar, má nota til að skýrgreina nokkrar vatnafræðilegar mælieiningar. Lekt hefur sömu mælieiningar og hraði þ.e. m/sek eða cm/sek því hér er venjulega um mjög lítinn hraða að ræða.

Raunlektin er mæld í einingunni darcy. $1 \text{ darcy} = 0,987 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2$

Þegar rætt er um lekt bergs, er talað um mikla lekt ofan við 10^{-3} m/sek , miðlungslekt á bilinu 10^{-3} - 10^{-6} m/sek , en lítil

þykir hún á bilinu 10^{-6} - 10^{-10} m/sek. Þar fyrir neðan er bergið sagt vatnspétt.

Sem mælieining á vatnsmagnið, sem farið getur um ákveðið jarðlag á tímaeiningu við ákveðinn þrýsting, er notaður leiðni-stuðullinn T (the coefficient of transmissivity). Hann er í rauninni ekkert annað en lektarstuðullinn margfaldaður með þykkt jarðlagsins Kp. Hann hefur því eininguna m^2 /sek.

Hugum nú að því, hvernig lektarstuðullinn K hegðar sér við náttúrulegar aðstæður. Öll vatnsleiðandi jarðlög -vatnsleiðarar- hafa mjög stefnuháða lekt þegar um er að ræða nógu lítið svæði eða punkt. Þegar sjónarhornið er hins vegar víkkað fer oft svo, að lektin verður nánast jöfn í allar áttir. Kornastærð vatnsleiðara í náttúrunni er aldrei stöðluð, lítil korn fylla holrúm milli stærri korna, þannig að holrýmið er afar breytilegt frá einum stað til annars. Þannig verður lekt vatnsleiðara ákaflega breytileg frá sjónarhorni smásmugunnar, þótt í víðum skilningi megi tala um jafna lekt stórra jarðmyndana. Dæmi um stað þar sem engin smásmugusemi dugar þegar lektin er skoðuð, eru sprungusvæði með miklu af heillegu bergi á milli. Við slíkar aðstæður verða nálganir einar að gilda. Reynslan hefur þó sýnt, að hægt er að útvíkka hugtakið lekt yfir þessa vatnsleiðara, og nota á sama hátt allar stærðfræðilegar útleiðslur og jöfnur, sem brúkaðar hafa verið með góðum árangri á sand og malarlög, þrátt fyrir ólíkt eðli þessara myndana.

Það er mjög algengt, að jarðmyndanir hafi ólíka lekt lóðrétt og lárétt. Í hraunlagastafla úr lítt hallandi lögum er lárétta lektin nær alltaf mun meiri en sú lóðrétta. Þetta stafar af því hraunlögin eru jafnan lekust á lagamótum. Lekt lárétt lagskiptra setlaga er einnig oftast meiri lárétt en lóðrétt. Á gosbeltunum íslensku er líklegt að einhver misleitni (anisotropy) komi fram í lektinni um sprungusveimana, þannig að lektin eftir þeim sé mun meiri en lektin þvert á þá og einnig meiri en lekt umhverfisins. Þetta sést m.a. á því, að mörg af meiriháttar lindasvæðum landsins virðast í tengslum við þá. Misleitni um sprungusveimana gæti t.d. komið fram í því, að straumstefna grunnvatnsins þar sé ekki sáða hallastefnu grunnvatnsborðsins, þ.e. vatnið streymdi ekki

beint undan halla, heldur veldi sér aðra leið, leið minnstu mótstöðu.

Lekt íslenskra jarðmyndana virðist jafnaðarlega fara minnkandi með hækkandi aldri. Þetta virðist eiga jafnt við um gosberg, djúpberg og setberg. Það er einkum þrennt sem þessu veldur.

1. Holufylling og ummyndun.
2. Ferging og þjöppun.
3. Innskot.

Holufyllingin þéttir bergið á þann hátt, að hún þrengir eða fyllir blöðrur og glufur þess. Óvíst er hvernig heildargroppa bergsins breytist við holufyllinguna, etv. breytist hún sára lítið. Hins vegar er það nokkuð víst, að hin virka groppa minnkar verulega, þ.e. hinar stærri holur og glufur þrengjast. Þannig getur lektin minnkað verulega þótt heildargroppan minni óverulega eða ekkert.

Mönnum hefur nokkuð lengi verið ljóst, að tertíer jarðlög á yfirborði héraendis hafa fyrr á tímum legið grafin undir mörghundruð eða þúsund metra þykkum jarðlagastafla. Þar hafa hafa þau búið við mikinn hita og þrýsting. Að öllum líkindum hefur þetta þjappað þeim saman og gert þau þéttari en þau voru í upphafi. Mest hefur þessi þjöppun orðið á þeim lögum sem úpphaflega voru lausust í sér og lekust, s.s. gjalllög og set.

Þéttingin, holufyllingin og ummyndunin eru samvirk fyrirbrigði, sem skilyrt eru af hita og þrýstingi.

Samtímis því sem jarðlögin grófust í staflann voru þau gegnumskotin af berggöngum og innskotum. Innskotsberg þetta myndar oft þetta vegg og þröskulda í jarðlagastaflanum, og getur hindrað mjög allt grunnvatnsrennsli um hann.

Jafnframt því sem bergið þéttist, breytast einnig vatnsleiðneiginleikar þess. Grunnvatnsstreymi virðist jafnan fylgja mest lagamótum í hraunlagastafla. Þetta virðist eiga við, hvort heldur sem um er að ræða nútímahraun eða tertíeran stafla. Hins vegar eru vatnsleiðneiginleikar þessara tveggja myndana ólíkar að því leyti, að hraunin hegða sér alltaf eins og opinn veitir (aquifer), en tertíeri staflinn hefur oft á tíðum einkenni hálflokaðs leiðara. Þetta stafar af því að þéttasti hluti tertíeru hraunlaganna er þéttur vel.

Afar litlar lektarmælingar hafa verið gerðar á íslensku bergi. Lekt nútímahrauna hefur mönnum þó mælst á bilinu 0,01-0,1 m/sek og reyndar rúmlega það (Páll Theodorsson 1969, Haukur Tómasson 1971). Lekt grágrýtis má áætla á bilinu 10^{-4} - 10^{-5} m/sek. Leirfylling (méla) veldur oft mikilli þéttingu í grágrýti. Svo sundurleitar sem íslenskar móbergsmýndanir eru, verður lekt þeirra afar misjöfn frá einum stað til annars. Fínt ósprungið móbergstúff er eitthvert þéttasta berg landsins, en algengur fylgifiskur þess, bólstrabergið, er aftur á móti afar lekt. Lekt móbergsmýndana er líklega á bilinu 10^{-6} - 10^{-2} m/sek. Lægra gildið er fyrir móberg það hærra fyrir bólstraberg.

Þorsteinn Þorsteinsson (1975) hefur reiknað út eftirfarandi lektar og leiðnigildi fyrir jarðhitasvæði Hitaveitu Reykjavíkur.

TAFLA 1

Jarðhitakerfi	°C	Þykkt m	T(m ² /sek)	K(m/sek)	k(m ²)
Laugarnes	135	33	6×10^{-1}	$1,8 \times 10^{-4}$	$4,1 \times 10^{-10}$
Ellidaár	100	17	$3,5 \times 10^{-1}$	$2,1 \times 10^{-4}$	$6,2 \times 10^{-10}$
Reykir	85	60	2,5	$3,8 \times 10^{-4}$	$13,7 \times 10^{-10}$

Freysteinn Sigurðsson (1976) skiptir jarðlögum á eftirfarandi hátt í afstæða röð eftir lekt.

TAFLA 2

1. Hraun. Mjög vel vatnsleiðandi, vatnsrýmd að miklu leyti háð hlutfalli gjalls.
2. Grágrýti. Vegna lágs gjallhlutfalls, meiri veðrunar og þéttingar er grágrýtið verr vatnsleiðandi en hraunin. Vatnsrýmd er líklega eitthvað minni.
3. Bólstraberg og kubbaberg. Svipað og grágrýtið. Vatnsleiðin minnkar ört með vaxandi þursabergs- og "túff"-blöndun.
4. Móberg. Vatnsleiðni lítil og minnkar ört með veðrun og ummyndun. Vatnsrýmd mikil.
5. Jökulberg. Vatnsrýmd svipuð og í móbergi en vatnsleiðni alla jafna enn minni.
6. "Blágrýtismýndun". Þéttari en grágrýtið. Gæti svipað um vatnsleiðni til "gamals" móbergs, en vatnsrýmd fer eftir hlutfalli gjalls og móbergs. (Vatnsleiðni=permeab. vatnsrýmd=por.)

TAFLA 3

GROPPA. LEKT OG VATNSGÆFNI:

BERGGERÐ	GROPPA%	prim. sek.	LEKT m/sek.					VATNSGÆFNI			
			10^0	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}	góðmeðalvond		
Möl	30-40	-	xxxxxxxxxx						x		
Grófsandur	30-40	-		xxxxxxxxxx					x	x	
Fínsandur	30-35	-			xxxxxxxxxx					x	
Méla	40-50	-				xxxxxxx					x
Leir	45-55	-					xxxxxxx				x
Jökulurð		-		xxxxxxxxxxxx						x	x
Berghlaupsurð		-	xxxxxxxxxxxxxxxx						x	x	x
Hraun	5-50	+	xxxxx						x		
Grágrýti		+		xxxxxxxxxx					x	x	
Blágrýti		+			xxxxxxxxxxxxxxxx					x	x
Bólstraberg	5-35	+		xxxxxxxxxxxx					x	x	
Kúbbaberg	10-25	+			xxxxxxx					x	
Móberg		+			xxxxxxxxxxxx						x
Flikruberg		+			xxxxxxxxxxxx						x
Völuberg		+	xxxxx						x	x	
Sandsteinn	20	+		xxxxxxxxxx						x	
Leirsteinn	10	+				xxxxxxx					x
Jökulberg	25-35	+			xxxxxxxxxxxx						x
Gabbró-granít		+				xxxxxxx					x

(Heimildir: R.H.Brown (ed.) 1972, Svanur Þálsson 1972 Þorsteinn Þorsteinsson 1975)

VEITIR (AQUIFER) - STEMMIR (AQUICLUDE)

Jarðlög eða myndanir sem innihalda mikið vatn og leiða það vel nefnast veitar. Orðið grunnvatnsgeymir (groundwater reservoir) er notað í svipaðri en þó víðtækari merkingu. Fjölmargar þýðingar eru til á orðinu aquifer (sjá orðasafn), en ég mun halda mig við orðið veitir, þótt í leiðinda beygingaflokki sé.

Stemmir er nafn á jarðmyndun sem leiðir grunnvatn illa eða ekki og verkar sem stífla, þak eða þröskuldur á grunnvatnsstraum.

Aquifuge nefnast á vísindamáli jarðmyndanir, sem hvorki leiða né innihalda vatn. Hugtakið er sjaldan notað enda vafasamt að fyrirbrigðið sé til í náttúrunni.

Veitir og stemmir eru afstæð hugtök og ekki bundin neinum ákveðnum lektar- eða leiðnistuðlum.

Í vatnsleiðandi jarðmyndunum, sem þaktar eru þéttum jarðlögum, getur grunnvatnið við ákveðnar aðstæður verið undir miklum þrýstingi, þannig að ef borað er niður úr hinum þéttu lögum gýs vatn úr holunni. Slíkir veitar eru nefndir þrýstiveitar (artesian aquifer, confined aquifer). Frægust dæmi um slíkar grunnvatnsaðstæður eru í Parísar- og Lundúnalögðunum. Vatn streymir frá hæðunum umhverfis lögðirnar í lekum kalklögum frá krítartíma, sem þakin eru þéttum ártertíerum leirlögum. Þrýstivatn er fremur sjaldgæft á Íslandi. Algengast er að þess verði vart sem sjálfrennslis úr heitavatns-holum. Venjulega stafar það af mismunandi láréttri og lóðréttri lekt í hraunlagastaflanum.

Jarðklaki getur myndað tímabundnar þrýstivatnsaðstæður.

VEITAR Í ÍSLENSKUM JARÐLÖGUM

Íslenskum veitum má eftir gerð sinni skipta í þrjá aðal flokka:

1. Laus jarðlög úr tiltölulega grófu efni: Berghlaup, áreyrar, aurar, malarásar, malarhjallar.
2. Nútímahraun. Þau eru gjöfulustu veitar landsins.
3. Lekur berggrunnur. Hér er oftast um síðkvartert gosberg að ræða.

Veitum í berggrunni mætti etv. skipta í tvennt eftir því hvort þeir hafa að geyma heitt eða kalt vatn. Það er þó hvergi gert hér. (Sjá nánar töflu 5).

Mikilvægir veitar í efsta hluta berggrunnsins eru sprungu-sveimar. Sem fyrr segir eru margar af stærstu kaldavatnslindum landsins í tengslum við þá. Ekki er vitað hversu djúpt áhrif þeirra ná, en öll helstu háhitasvæði landsins eru í tengslum við þá, svo rennslið í djúplögunum er þeim víst ekki óháð.

Ingvar Birgir Friðleifsson (1975 og 1977) hefur reynt að gera grein fyrir því, í hvaða jarðmyndunum nýtanlegt jarðhitavatn sé helst að finna. Þessum jarðmyndunum skiptir hann í fernt eftir aldri og gerð.

TAFLA 4

Í tertíeru bergi.

Flokkur 1: Tiltölulega þunn lög af mjög gropnu bergi s.s. aska, flikrúberg, setlög svo og dyngjuskildir.

Flokkur 2: Staðbundin upphleðsla af mjög gropnum hraunum í megineldstöðvum, móbergsmýndanir (í öskjuvötnum), aska og brotaberg (agglomerat).

Í kvarteru bregi.

Flokkur 3: Sama og í flokki 1 + móbergsmýndanir og umlagað (reworked) móberg myndað undir jökli. Móbergsmýndanirnar eru þykkastar yfir gosrásinni.

Flokkur 4: Staðbundin móbergsupphleðsla í megineldstöðvum og gosefni eins og í flokki 2.

Mér virðist flokkun þessi byggja um of á mælingum á groppu bergs, en nánast engum lektarmælingum, en eins og kunnugt er þarf ekkert samband að vera á milli groppu og lektar. Lektarmælingar á íslensku bergi eru sárgrætilega fáar og enn sem komið er verða litlar ályktanir af þeim dregnar. Gagnrýni á þessa flokkun verður því byggð á óbeinum merkurathugunum og reynslu sem stangast mjög á við það sem Ingvar Birgir heldur fram.

Lítum fyrst á flokk 1. Reynsla mín af köldu vatni er sú, að það komi fram ofan á öskulögum og flikrubergi í fjallahlíðum. Þar virka þessi lög því sem stemmar en ekki veitar. Það sama tel ég að gildi um heitt vatn í dýpri lögum. Ég get ímyndað mér að Ingvar Birgir hafa dregið sínar ályktanir af því að hann hefur orðið þess var, að heitar æðar í borholum koma fram þegar borinn fer gegn um flikrubergr eða öskulög. Í raun stafar þetta af því, að vatnið flýtur á þessum lögum. Þótt öskulög séu gropið efni eru þau jafnaðarlega það fínkornótt, að þau eru illa lek.

Það er einnig nokkurt umhugsunarefni hversu góðir veitar dyngjuskildirnir eru. Dyngjur eru jafnan úr dyngjubasalti (olivín tholeiit) og það er alþekkt að dyngjubasalt holufyllist mun fyrr og betur en þóleyjarbasalt (tholeiit). Holufylling dregur mjög úr lekt, þótt groppa bergsins breytist etv. ekki svo mjög við hana. Samkvæmt þessu ætti þóleyjarbasaltið að halda upprunalegri lekt sinni mun betur en dyngjubasaltið. Hitt er svo annað mál að hin efnafræðilega gerð bergsins skiptir ekki mestu máli fyrir lektina, heldur það hvernig það storknar (þ.e. apalhraun eða dyngjuhraun, móbergstúff eða bólstraberg osfrv.). Hvað sem því líður, þá er ég ekki sannfærður um að dyngjuskildir í tertíera staflanum séu afgerandi veitar.

Hvað setlögin áhrærir sem minnst er á í þessum flokki, þá má vera að þau geti verið vatnsleiðarar þegar um er að ræða völuberg eða annað gróft set. Gróf setlög eru hins vegar næsta sjaldséð í tertíera staflanum og hafa ekki mikla útbreiðslu. Það er því hæpið að telja þau til hugsanlegra veita í berggrunninum.

Flokkur 2: Megineldstöðvar eru hvað holufylltasti hluti berggrunnins. Háhitaummyndanir eru algengar, gangapéttleiki mikill og innskot mörg. Öll eru þessi atriði heldur talin þetta berggrunninn en hitt. Mér kæmi ekki á óvart, þó kjarnar megineldstöðva ættu eftir að reynast bétustu hlutar tertíerastaflans. Þykkar syrpur af þunnlögóttu þóleyjarbasalti eru oft í tengslum við megineldstöðvar og geta teygt sig langt út frá þeim. Hár gjall og kargahluti í slíkum syrpum ásamt með tregri holufyllingu gerir þær líklegar til að vera góðir vatnsleiðarar.

Flokkur 3: Hér gildir það sama og um öskuna og flikrubergið og í flokki 1. Ég tel þau afar vatnspétt. Holufylling virðist að jafnaði heldur skammt á veg komin í kvartíerum jarðlögum og á því byggist hin góða vatnsleiðni þeirra. Mér finnst ekki ástæða til að ætla, að það sé umtalsverður munur á dyngjuhraunum og hraunum frá sprungugosum í þessum efnum. Grunnvatnsrennsli virðist að jafnaði vera langmest í lagmótakarga hraunastaflans. Kargahlutfallið ræður því að mestu, hversu lekt bergið er. Þar með finnst mér dyngjurnar síst vænlegri veitar en sprunguhraunastafli.

Um móbergið er það að segja, að lekt þess er jafn misjöfn og það er sundurleitt. Hreint móberg er ákaflega þétt og umlagað móberg er það einnig. Bólstraberg er hins vegar með bestu vatnsleiðurum. Bólstrabergshrúgöld geta því gefið af sér mikið vatn. Hins vegar eru þau sjaldan víðáttumiklar eða samfelldar jarðmyndanir. Því hefur verið haldið fram, að bólstrabergskjarnar í móbergshryggjum geti verkað sem heljarmiklar og langar vatnsrásir í staflanum. (Ingvar Birgir Friðleifsson 1975, Jens Tómasson 1975) Það er vísast rétt, að þeir auðveldi vatnsstreymið en hins ber að gæta, að þessir bólstrabergskjarnar hljóta að vera æði slitróttir og einangraðir með þéttri móbergskápu. Móbergshryggir koma mér þannig fyrir sjónir, að ekki muni vera um að ræða samfelldan bólstrabergskjarna í þeim.

Flokkur 4: Hér gildir nánast sama gagnrýnin og á flokk 2. Þunnlögótt þóleyjarbasalt og staðbundið bólstraberg geta verið veitar, önnur lög ekki.

Ástæðan fyrir því hve margorður ég hef orðið um þessa flokkun er, að þetta eru einu hugmyndirnar sem birst hafa um veita í íslenska berggrunninum og um leið ganga þær mjög gegn þeim hugmyndum sem ég geri mér um lekt og vatnsleiðnieiginleika bergs á Íslandi. Í meginatriðum er í þessari flokkun gert ráð fyrir því, að það berg séu veitar sem ég hefði haldið að væru stemmar.*

Nú er niðurrif auðveldara en uppbygging og ég viðurkenni, að hugmyndir mínar um gerð veita og stemma í íslenska jarðlagastaflanum eru heldur óákveðnar. Þó ætla ég að freysta þess að setja saman flokkun yfir þessi fyrirbrigði.

TAFLA 5

<u>Veitar</u>	<u>Stemmar</u>
1. Lek, laus yfirborðslög (urð, mól, sandur)	Þétt, laus yfirborðslög (jökulurð, hvarfleir)
2. Nútímahraun	
3. Sprungusveimar	Gangar og innskot
4. Bólstraberg	Móberg og móbergs útskolanir
5. Óholufyllt hraunlög í stafla	Holufyllt hraunlög í stafla
6. Þunnlögótt þóleyjar- basalt	Kjarnar megineldstöðva
7. Gróft setberg í berg- grunni (völuberg, sand- steinn)	Fínt setberg í berg- grunni (leirsteinn, ösku- lög, flikruber, jökulberg)

LEKTARFLOKKUN ÍSLENSKRA JARÐLAGA

Vatnafarsleg kortlagning byggir afar mikið á skiptingu jarðlaganna upp í ákveðna flokka eftir lekt og vatnsleiðnieiginleikum. Sú flokkun sem notuð er á Alþjóðlegu vatnafarskortunum, og virðist ætla að ná miklum vinsældum meðal vatnafræðinga, gerir ráð fyrir sexdeildri skiptingu. Á kortunum eru þessir lektarflokkar sýndir í mismunandi litum og ráða þeir því áferð þess. Fyrir Ísland virðist þessi skipting hin hagstæðasta. Tafla 6 sýnir flokkunina og hvernig Íslenskar jarðmyndanir falla í hana.

TAFLA 6

<u>Lekt</u>	<u>Litur</u>	<u>Grunnvatnsaðstæður</u>
		<u>I Grunnvatn í gropnum (oftast lausum) jarðlögum.</u>
Oftast mikil	<input type="checkbox"/>	Víðáttumiklir gjöfulir veitar. (Fjörusandur, foksandur, malarkennt ár- og jökulvatnaset)
Breytileg en fremur lítil	<input type="checkbox"/>	Fremur treggæfir veitar; eða sundurslitnir og oft staðbundnir veitar. (Sjávarmöl og fjörusandur, jökulruðningur, dalfyllingar)
		<u>II Grunnvatn í glufóttu bergi</u>
Oftast mikil	<input type="checkbox"/>	Víðáttumiklir gjöfulir veitar. (Nútímahraun)
Misjöfn en oft góð	<input type="checkbox"/>	Staðbundnir eða sundurslitnir gjöfulir veitar (bólstraberg í móbergstúffi), eða víðáttumiklir miðlungsgóðir veitar. (Lekur berggrunnur)
		<u>III Svæði með litlu grunnvatnsrennsli</u>
Lítill-sáralítill	<input type="checkbox"/>	Í efstu lögum en veitar geta verið í djúpri jarðlögum. (Jökulruðningur og dalfyllingar á lekum grunni)
Sáralítill	<input type="checkbox"/>	Ekkert untalsvert kalt grunnvatnsrennsli hvorki grunnt né djúpt. (Holufylltur berggrunnur)

Helstu vandamálin við flokkun og kortlagningu íslenskra jarðmyndana eftir þessu kerfi eru eftirfarandi:

Í sambandi við lausu jarðlögin liggur vandamálið í því, að skilja á milli laga sem hafa verulega þýðingu fyrir grunnvatnsrennslið og laga sem hafa litla þýðingu. Í þessu tilfelli skiptir þykkt laganna meginmáli. Þekking á þykkt lausra jarðlaga á Íslandi er æði gloppótt og útbreiðsla slíkra laga hefur lítið verið kortlögð. Víða liggja lausu jarðlögin mjög ójafnt dreifð á berggrunninum, þannig að hér og þar sér á hvalbök og klettahöft en annarsstaðar er djúpt á fast. Dæmi um slík svæði eru Mýrar og Hérað. Mér virðist meiga gera ráð fyrir því, að talsvert vatn sitji í setlögum og jarðvegi á svona stöðum en það sé mjög kyrrstætt, þ.e. grunnvatnsstreymið sé sára lítið. Setlögin á þessum svæðum eru því ekki talin hafa afgerandi áhrif á vatnafarið. Í samræmi við það eru þau ekki sýnd á vatnafarskortinu.

Við kortlagningu í smáum kvarða virðist heppilegt að flokka lausu jarðlögin niður í eftirfarandi flokka:

1. Fínt árset, fjörusandur, foksandur.
2. Gróft árset
3. Jökulruðningur
4. Dalifyllingar, þ.e. hið sundurleita set sem víða fyllir dalabotna: hvarfleir, fornar og nýjar áreyrar, jökulruðningur, marbakkar, berghlaup ofl.

Flokkar 1 og 2 mynda víða góða og víðáttumikla veita og eru því sýndir í dökkbláum lit á kortinu. Flokkar 3 og 4 eru oftast lélegir veitar en með undantekningum þó en þá eru hin vatnsgæfu jarðlög jafnan fremur staðbundin og smá í sniðum. Dæmi um slíkt eru berghlaup og grófar áreyrar en úr þesskonar jarðlögum er unnið neysluvatn víða um land. Flokkar 3 og 4 eru litaðir hinum fólbláa lit á vatnafarskortum.

Þegar jökulruðningur, dalifyllingar eða annað illa vatnsleiðandi set liggur á lekum berggrunni, þannig að þótt setið sé treggæft má gera ráð fyrir vatni á meira dýpi. Við slíkar aðstæður hefur þótt rétt að sýna setið með sérstökum litljósbrúnum.

Annað kortlagningarvandamál rís í sambandi við lekt berggrunnnsins. Allir þeir sem fengist hafa við vatnafræði og jarðfræði vita hve hún getur verið misjöfn. Sumsstaðar er bergið míglekt svo vatnið bunar um það, annarsstaðar er það þéttara en fjandinn sjálfur.

Það sem mestu ræður um lekt og vatnsleiðnieiginleika hins fasta bergs á Íslandi virðist vera holufylling þess og ummyndun, berggerðin sjálf hefur minni áhrif. Um lektarmun súrs og basíks bergs hérlandis er ekkert vitað. Sama er að segja um innskotsbergið. Þó eru margir sem telja það þéttara en gosberg. Ef lítið er á landið í heild er berggrunnurinn í svo yfirgnæfandi mæli byggður úr basísku efni að áhrif súrs og ísúrs bergs eru hverfandi.

Það virðist því liggja nokkuð beint við, að byggja lektarskiptinguna á holufyllingunni, og tvískipta honum í þétt berg annarsvegar og lekt berg hinsvegar. Engar beinar rannsóknir hafa verið gerðar á sambandi holufyllingar og lektar hérlandis, auk þess sem holufylling bergs er lítið kortlögð. Mörkin sem dregin eru á milli þétts og leks bergs á kortinu eru því af nokkru handahófi sett. Auk gloppóttrar þekkingar á holufyllingunni styðjast þau við einn vatnafarslegan þátt. Á þeim svæðum sem talin eru lek, hafa ár nokkuð glögg lindáreinkenni, þ.e. rennslissveiflurnar eru vægari en gerist í dragám. Það kemur fram í því að þær fara aldrei niður fyrir visst lágmarksrennsli, sem er hærri en í hreinum dragám af sömu starðargráðu (OS-Vatnamælingar1969).

Holufylling og ummyndun bergs er mest undir því komin, hversu djúpt það hefur grafist í staflann og hversu miklum hita og þrýstingi það hefur lent í. Almenna reglan er sú að því eldra sem bergið er því þéttara er það (sbr. bls. 22). Af þessum sökum endurspeglar vatnafarskortið sumsstaðar hina klassísku skiptingu í blágrýtismyndun og grágrýtismyndun. Á þessu eru þó veigamiklar undantekningar. Þannig geta jarðlög af svipuðum aldri haft mjög ólíka lekt. Ævagamalt berg ofarlega í fjöllum á Vestfjörðum virðist aldrei hafa lent undir miklu jarðlagafargi en er það lítið holufyllt og ummyndað. Jafngamalt berg á Austfjörðum er allt miklu holufylltara, ummyndaðra og þéttara. Gangapéttleiki á Austurlandi er meiri en vestra og verður það enn til að auka á mun þessara landshluta.

Þessi munur kemur greinilega fram á jarðvatninu. Vestra hafa ár víða nokkur lindáreinkenni og sumsstaðar áberandi lindir upp í berginu, t.d. eru fallegar lindalínur í 400-500 m hæð í fjöllum við Bolungarvík og Ísafjörð (Hjalte Fransson 1972). Eystra eru allar ár dragár eða jökulár. Vestra er jarðhiti algengur. Jarðvatn virðist eiga greiða leið um djúplögin. Eystra eru heitar lindir sárásjaldgæfar, djúplögin virðast nánast vatnspétt.

Ástæðurnar fyrir þessu eru eflaust fleiri en ein. En fyrst og fremst er þarna um mismikið rof að ræða. Aðalúrkomuáttin á Íslandi í dag er suðaustan áttin. Norðaustan áttin er einnig oft votviðrasöm. Á jökulskeiðum þöktu miklir jökulskildir Ísland, Bretlandseyjar og Skandinavíu. Þaulsætnar hæðir yfir Grænlandsjökli og Skandinavíujökli hafa gert brautir lögða um N-Atlantshaf enn þengri en þær eru í dag. Sunnan úr hafi báru lögðirnar úrkomuna yfir Ísland. Þegar norður fyrir landið kom var yfir samfelld hafísþök að fara og norðanáttin var því þurr. Suðaustanáttin hefur því verið enn ein-drægari úrkomuátt á jökulskeiðum en hún er í dag. Ástæður eru því til að ætla, að út alla ísöldina hafi jöklar bæði verið þykkastir og þaulsættnastir á austan og suðaustan-verðu landinu og rofið það sáran. Norðvesturlandið hefur hins vegar setið í úrkomuskugganum frá þessum jöklum, hefur enda látið lítið á sjá.

Sem fyrr segir eru nútímahraunin bestu veitar landsins. Hraun-svæði Íslands líkjast að vissu leyti karstsvæðum útlandanna. Geysilegt vatnsmagn getur sprottið þar fram á afmörkuðum svæðum. Vatnsmagnið getur skipt tugum rúmmetra á sek. Lindirnar við Vaðöldu gefa t.d. af sér um 20 m³/sek, grunnvatns-^{rennsli}inn í Mývatn og Þingvallavatn er enn meira. Stærstu linds-svæði Evrópu er að finna hérlandis. Það kann að koma sumum á óvart. Á sama hátt og í karstinu, hverfur vatn í stórum stíl í hraunin á öðrum stöðum þannig að heilar ár geta þornað upp á tiltölulega stuttum kafla. Að öðru leyti eru aðstæðurnar í hraununum gerólíkar þeim í karstinu. Vatnið í þeim rennur ekki fram í skýrt afmörkuðum rásum og göngum, heldur sígur það fram í míglekum gjalllög-

unum á hraunamótum, og í sprungusveimum úr gjá í gjá. Á leið sinni fær það góða síun og hreinsun, en á það vill oft skorta í karstinu. Ekki hverfur vatnið heldur í bullandi svelgi svo sem títt er á karstsvæðum, heldur tapast með leka á nokkurri vegalengd. Þrátt fyrir þennan mun eru góðar ástæður til að setja hraunin í sama lektarflokk og karstsvæðin eru flokkuð til eftir hinni alþjóðlegu skiptingu, enda mun það gert á Evrópukortunum.

Á íslenskum vatnafarskortum er einnig sérdeilis heppilegt, að hafa sérstakan lektarflokk fyrir hraunin, svo afgerandi best sem þau eru allra íslenskra veita.

TAFLA 8

	Hraun	Rennsli	Rennsli/m	Þykkt
	Hraun	337 l/s	0.35	950 m
Jarðlög	Móberg	237 -	0.28	850 -
	Innskot	34 -	0.34	100 -
	Hraun-mób.	875 -	} 10.40	100 -
Lagamót	Hraun-innsk.	97 -		
	Mób.-innsk.	48 -		

Út úr þessum grófu útreikningum fæst að 63% rennslisins kemur úr lagamótum en 37% úr lögunum sjálfum. Rennslið á meter er hins vegar 30 sinnum meira á lagamótunum en í lögunum. Skv. þessari töflu virðist móbergið vera þéttasta lagið en e.t.v. er munurinn þó ekki marktækur. Þessir reikningar gefa einnig til kynna hinn mikla mun, sem er á láréttri og lóðréttri leiðni í jarðlagastaflanum íslenska.

DÆMI UM VATNSRENNSLI Í ÍSLENSKUM JARÐLÖGUM

Jens Tómasson of 1975 birta töflu yfir vatnsleiðandi jarðlög úr 29 borholum frá Reykjum í Mosfellssveit. Í greininni segir að í 2000 m djúpum holum af þessu svæði séu 1000 m hraun, 900 m móbergsmýndanir og 100 m innskot. (100 m eru lagmótabrexía (kargi) sem e.t.v. skiptist jafnt á hraunin og móbergið).

Tíðni veita í ýmiskonar bergi úr 29 borholu.

TAFLA 7

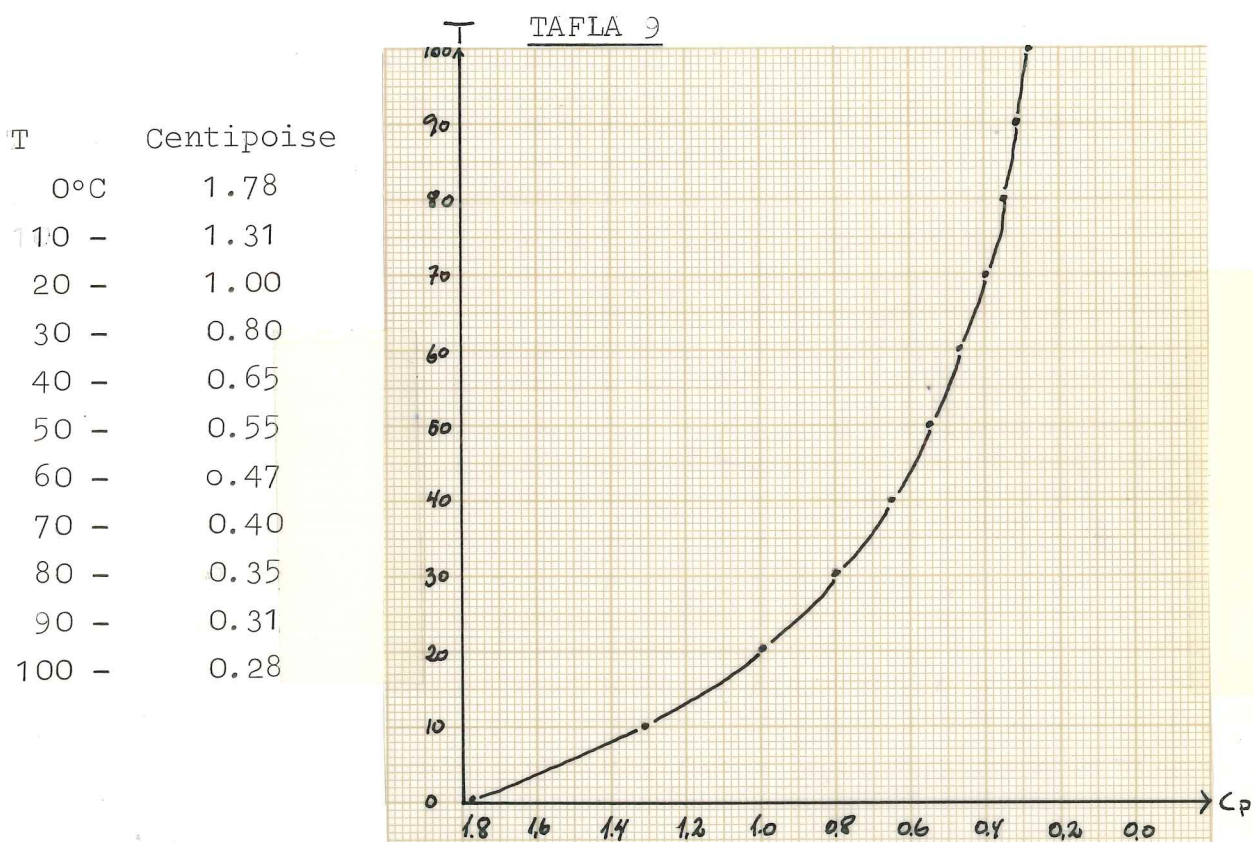
<u>Berggerð</u>	<u>Veitar</u>			Heildar fjöldi
	< 2 l/s	2-20 l/s	>20 l/s	
Hraun	44	27	2	773
Móbergsmýndanir *	29	12	4	45
Innskotsberg		1	1	2
Hraun + móbergsmýndanir	53	38	20	111
Hraun + innskotsberg	13	1	3	17
Móbergsmýndanir + innskotsberg	5	2	1	8

* Orðið móbergsmýndanir er hér notað í víðri merkingu, yfir öll gosefni mynduð við gos í vatni svo sem bólstraberg, bólstrabrotaberg og túff. Þar að auki útskolað og umlagð móberg.

Út frá þessari töflu má reyna að gera sér grein fyrir vatnsstreymi í hinum ýmsu lögum. Vatnsleiðurunum er skipt í þrennt eftir rennsli á sek. Segjum að meðalrennslið í 1 fl. sé 1 l/s í þeim næsta 9 l/s og í þriðja flokknum 25 l/s. Ef við reiknum síðan út heildar vatnsmagnið í hverju lagi fyrir sig og síðan rennslið á hvern þykktarmetra í þessum lögum fáum við:

Lekt og leiðni er ekki einungis undir berggerðinni komin. Gerð vökvans sem um bergið streymir skiptir höfuðmáli. Seigjan er þar veigamest. Í grunnvatnsfræðum skiptir það miklu að þekkja seigju vatnsins. Þeir þættir sem hafa áhrif á hana eru: Hitastig, þrýstingur og efnainnihald.

Hitastig. Hitinn hefur mikil áhrif á seigjuna. Eftirfarandi tala sýnir hvernig hún breytist á bilinu 0°C - 100°C í hreinu vatni við 1 atm. þrýsting.



Á þessu hitabili minnkar seigjan (sem sagt) 6.4 sinnum eða 640%. Þetta er umtalsverð minnkun, sem auðveldar heitu vatni mjög að smjúga um þétt jarðlög.

Þrýstingur. Seigja vatns fer lakkandi með auknum þrýstingi s.k.v. eftirfarandi töflu.

TAFLA 10

Þrýstingur	Kp/cm ²	1	500	1000	2000
Seigja	cp	1.000	0.938	0.951	0.957

Reikna má með um 1000 kp/cm² þrýstingi á grunnvatni á um 10 km dýpi. (Margir álíta að lag 3 tákni neðri mörk grunnvatnsins en það er á 1-4 km dýpi undir landinu). Á því sést, að miðað við hitaáhrifin hefur þrýstingurinn hverfandi áhrif á seigjuna. (NB) þrýstingur í grunnvatni á ákveðnu dýpi er jafn þrýstingi jafnhárrar vatnssúlu. Þrýstingur í berginu sjálfu er vatnsþrýstingnum óviðkomandi.

Efnainnihald. Uppleyst efni í vatni auka yfirleitt seigju þess Selta eykur hana t.d. þannig að hreint vatn hefur seigjuna 1000 cP en hreinn sjór (3.5% NaCl) 1.067 cP og 0.5% (500 ppm) CaCl₂. H₂O 1.013 cP. Miðað við hitann hefur efnainnihaldið hverfandi lítil áhrif á seigjuna.

Nú fer það gjarnan saman, að vatn á miklu dýpi og undir miklum þrýstingi er bæði heitt og efnaríkt. Því má með góðri samvisku segja að seigjubreytingarnar, sem efnainnihald og þrýstingur valda, vegi hverja aðra uppfyrir utan það að vera nánast hverfandi, hvort eð er. Þess vegna er hitinn það eina, sem taka þarf tillit til í þessu samabandi.

*

I.B.F. hefur borið mér það á brýn, að ég snúi út úr hugmyndum hugmyndum hans og flokkun. Hann telur að þegar rangfærslur mínar hafi verið leiðréttar komi í ljós að við séum að mestu sammála. Sé svo hef ég fátt mér til afsökunar. Ég bið menn þó að lesa I.B.F. 1975 og 1977. Þá má vera að einhverjir vilji virða mér þennan misskilning til vorkunnar.

GRUNNVATNSBORÐIÐ OG SVEIFLUR ÞESS

Grunnvatnsflöturinn er ekki kyrrstæður, hann sveiflast upp og niður, svo sem vatnsborði er títt. Fjölmörg atriði valda þessum grunnvatnssveiflum s.s. úrkoma (beint og óbeint), loftþrýstingur, sjávarföll, gnóttargufun, eldsumbrot og jarðskjálftar, dæling o.fl.

Beinar mælingar á þessum sveiflum hérlandis eru þó af mjög skornum skammti. Helst er að nefna mælingar á vatnshæð Kleifarvatns sem til eru samfelldar frá 1954. Vatnamælingar OS reka einnig þrjá síritandi grunnvatnshæðarmæla í Heiðmörk og hafa gert frá haustinu 1972, og einn mæli í gjá í Kelduhverfi frá 1968 og annan í Hallormsstaðaskógi. Stopular mælingar hafa verið gerðar á grunnvatnssveiflum á nokkrum stöðum öðrum, langmest á hrauna-svæðum SV-lands. Þannig hafa áhrif sjávarfalla verið athuguð hér og þar á Reykjanesi (mynd) einnig samband loftþrýstings og grunnvatnsborðs (mynd). Áhrif eldsumbrota á grunnvatnið voru lítillega skoðuð við Heklugosið 1947-'48 (Guðmundur Kjartansson 1951) og nú síðast við Kröflu.

Stærstu sveiflurnar á hinu almenna grunnvatnsborði stafa af úrkomusveiflum og snjóleysingu.

Rennslimælingar sem hafa verið gerðar á íslenskum vatnsföllum síðustu áratugi hafa leitt í ljós ákveðnar reglur í rennslis-sveiflum ána. Þegar línurit rennslismælinganna eru skoðuð koma fram fjórir áberandi árstíðabundnir rennslitoppar. Þeir stafa af:

1. Vetrarflóðum í desember-febrúar
2. Vorflóðum í maí-júní
3. Jöklaleytingu í júlí ágúst
4. Haustrigningum í okt.-nóv.

Þessar sveiflur eru meðalhegðun íslenskra vatnsfalla, sem eins og gefur að skilja koma mjög misvel í ljós hjá hinum einstöku ám. Ræður þar bæði lega, berggrunnur og gerð ána. Í ám á Norður- og Austurlandi eru vorflóð árviss, en í ám sem eiga vatnasvið sitt á láglandi nálægt suðurströndinni gætir vorflóða lítið. Og svo annað dæmi sé nefnt gætir jöklalaysingar ekki í öðrum ám en þeim

sem eiga upptök í jökli.

Grunnvatnsborðið tekur svipuðum sveiflum og yfirborðsvatnið. Líklega eru þó hámarkstopparnir víðast hvar aðeins tveir þ.e. þeir sem stafa af vorleysingum og haustrigningum. Jöklaleyting hefur ekki áhrif á hið almenna grunnvatnsborð. Sökum frosts í jörðu er ólíklegt að vetrarleysing hafi áhrif á grunnvatnið, nema þá helst á hraunasvæðum þar sem djúpt er á grunnvatnsflötinn. Í nánunda við vatnsföll og stöðuvötn hefur vatnsstaða yfirborðsvatnsins mikil áhrif á grunnvatnið. Á slíkum svæðum geta komið fram í grunnvatninu allir fjórir rennsilstoppar yfirborðsvatnsins (mynd). Mælingar á afrennslislausum vötnum eins og Kleifarvatni eru vel til þess fallnar að leiða í ljós langtímasveiflur í grunnvatninu þar sem allar smærri sveiflur deyfast í svo stórum vatnsmassa.

Frá því síritandi mælir var settur í vatnið 1964 hefur vatnsborðið sveiflast úr 137.64 mys (1967) í 141.28 mys (1974) eða um 3.74 m (mynd 3).

Sjávarfallabylgjan lætur ekki staðar numið við ströndina. Alkunna er að sjávarfalla gætir oft langt upp eftir ám og þeirra gætir einnig í grunnvatninu út við strendurnar. Bylgjan deyfist þó fljótt og hverfur vegna hinnar miklu mótstöðu í jarðlögum. Hversu langt bylgjan kemst fer eftir gerð jarðlaga og landslagi. Þar sem jarðlög eru lek og land flatt nær bylgjan langt. Deyfing og seinkun bylgna í grunnvatninu er notuð til að reikna út ýmsa vatnafræðilega stuðla jarðlaga.

Hérlendis hafa áhrif sjávarfalla á grunnvatnssveiflur verið ögn kannaðar á hraunasvæðunum Suð-Vestanlands. Myndir 4-5 gefa hugmynd um seinkun og deyfingu sjávarfallabylgna í hraunum á Reykjanesskaga.

Á mynd 6 eru til gamans sýnd áhrif loftþrýstings á grunnvatnsborð á Reykjanesskaga.

GRUNNVATNSSKIL OG GRUNNVATNSRENNSLI

Yfirborð grunnvatnsins speglar í grófum dráttum landslagið en mýkir þó allar línur. Grunnvatnsstreymi hinna efstu laga ræðst mest af landslaginu. Þegar til dýpri laga dregur hverfa áhrif hinna smærri yfirborðsforma og í djúplögunum ræðst streymið einungis af höfuðdráttum landslags. Þannig streymir vatn sem fyrir árpúsundum féll sem regn og snær á miðhálandið um heit og þétt djúplög strandhéraðanna (Trausti Einarsson 1942, Bragi Arnason 1976).

Grunnvatnsskil sem sýnd eru á öllum almennum vatnafarskortum eiga einungis við efstu lög grunnvatnsins. Við þær aðstæður að djúpt sé niður á grunnvatnsborðið, geta þessi skil vikið nokkuð frá yfirborðsvatnaskilum. Við íslenskar aðstæður mun það þó hvergi vera í þeim mæli, að það komi fram á korti í þeim smáa kvarða sem þessu riti fylgir. Í rauninni hefur þetta afskaplega lítið verið kannað hérlandis. Á hinum eldri og þéttari svæðum landsins má telja víst að grunnvatnsskil fylgi skilum yfirborðsvatns náðið. Á hrauna og móbergssvæðum munu frávikin geta orðið meiri. Ekki er það einungis landslagið sem ræður grunnvatnsskilum. Úrkoma hefur þar umtalsverð áhrif. Þar sem úrkomumunur er mikill milli landssvæða t.d. sitt hvoru megin í hálandi, sem algengt er, hafa grunnvatnsskilin tilhneigingu til að leita frá yfirborðsvatnaskilum mót úrkomuáttinni. Við ákveðnar aðstæður geta úrkomusveiflur haft þau áhrif á legu grunnvatnsskilanna, að þau flökti fram og aftur í takt við úrkomuna. Beltið sem grunnvatnsskilin geta flækst um af þessum sökum hefur verið nefnt hvarfasvið (belt of fluctuation) (Nordic hydrological terms 1973).

Villuvatn (falskt grunnvatn, hilluvatn) phreatic water, nefnist vatn sem af einhverjum sökum safnast fyrir ofan grunnvatnsborðs, annaðhvort sen pollar og tjarnir ofan grunnvatnsborðs eða linsur í jarðlögum. Slíkt vatn situr jafnan á þéttum grunni

eða hyllu, sem varnar því að síga niður til grunnvatnsins. Slíkt vatn hefur oft villt um fyrir mönnum um hina raunverulegu grunnvatnshæð.

Sorglegt dæmi um mannleg glöp af völdum villuvatns var þegar djúpa átti brunninn að Hrauntúni í Þingvallasveit. Þá mokuðu menn sig niður í gegnum leirbotninn í brunninum svo vatnið fossaði sem um svelg niður í hraunið undir. Sást þar aldrei vata síðan og jörðin fór í eyði. (Skv. frásögn Freysteins Sigurðssonar).

Lögun grunnvatnsbeltisins undir Íslandi er mönnum afar óljós. Þó vita menn nóg til að hægt sé að fullyrða, að amk. hinir djúpstæðari veitar berggrunnnsins hegða sér eins og lokaðir eða hálflokaðir veitar með mikla lárétt-lóðrétta misleitni (anisotropy). Vatn ættað innan af fjalllendi landsins, sem kemur upp í eyjum úti fyrir ströndinni s.s. í Vestmannaeyjum, Breiðafjarðareyjum, Hrísey og víðar sýnir, að grunnvatnsstreymi frá landi og út á landgrunnið á sér stað. Grunnvatnsströumur þessi út frá landinu blandast þó sjó, sem leitar inn í landgrunnslögin og inn undir landið, meira og minna.

Það verður að teljast sennilegt, að það sé ekki aðeins á eyjum sem þetta vatn kemur upp, heldur sé víða að finna neðansjávarlindir á landgrunninu. Líklegast er að þær séu að jafnaði volgar eða heitar þar sem vatnið hefur farið langan veg djúpt í jörðu (mynd).

KALT VATN OG LINDIR

Þar sem grunnvatnsflöturinn sker yfirborð jarðar koma fram lindir eða tjarnir. Tafla sýnir við hvaða aðstæður þetta gerist helst á Íslandi.

TAFLA 11

Flokkur	Jarðmyndanir	Vatnsuppkoma
A	Mörk lekra og þéttra jarðlaga.	Lindir, lindalínur.
B	Mörk lekra jarðlaga og sjávar eða saltvatns.	Fjörulækir
C	Landslag dalar niður fyrir grunnvatnsborð.	Mýrar, tjarnir, vötn, lindir
D	Sprungusveimur mætir lægð í landi eða sjávarmáli.	Lindir, fjörulækir
E	Stemmir endar eða brestur er í honum	Þrýstivatn, lindir

Flokkur A er stærsti flokkurinn, þ.e.a.s. þetta eru þær aðstæður sem algengast er að sjá við lindir. Þarna getur verið um margskyns lagamót að ræða dæmi:

1. Grófset-fínset
2. Set-berggrunnur
3. Gjalllag-hraunlag
4. Hraunlög-móberg
5. Óholufylltur stafli-holufylltur stafli
6. Lekur stafli-þéttur gangur
7. Lekur gangur-þéttur stafli

Á tertiæru svæðunum finnast vart umtalsverðar lindir við aðrar aðstæður en þessar. Þar eru þær algengastar á mótum grófsets og fínsets eða grófsets og berggrunns. Lindir á mörkum óholufyllts og holufyllts bergs eru nokkuð algengar sérstaklega á Vestfjörðum, þar sem þær hafa hagnýtt gildi, en einnig hátt til fjalla norðanlands og austan. Þar hafa þær hinsvegar ekkert hagnýtt

gildi, því þær eru jafnan bæði smáar og óstöðugar. Á stöku stað á tertíeru svæðunum koma upp vænar kaldar lindir við bergganga. Volgar laugar og hverir eru svo jafnaðarlega tengd göngum.

Á kvarteru svæðunum er flokkur A einnig mjög mikilvægur, sérstaklega eru lindir á mörkum nútímahrauna og þétts undirlags algengar.

Flokk B er algengast að sjá á kvarteru svæðunum sérstaklega þar sem hraun ganga í sjó fram. Við þær aðstæður situr sjór gjarnan í neðri hluta hraunanna. Sökum eðlisþyngdarmunar sjávar og ferskvatns fleytir jarðsjórinn því grunnvatni sem streymir um hraunið til yfirborðsins við sjávarmál. Þar myndast fjörulækir og lindir sem oft á tíðum sjást ekki nema þegar lágsjávað er. Dæmi um miklar lindir í þessum flokki eru fjörulindirnar í Straumsvík. Þær eru taldar gefa af sér um $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Samskonar aðstæður geta myndast þar sem gróf og þykk setlög ganga í sjó s.s. árset, skriður og berghlaupsurðir.

Flokkur C myndar sjaldnast lindir heldur votlendi og tjarnir án afrennslis, s.s. í sprengigígum, jökulkerjum, sigdældum, jarðföllum, stíflum o.v. Við þessar aðstæður myndast lindir einungis þegar veitirinn er yfirfullur af vatni.

Í flokki D eru stærstu lindasvæði landsins. Hinir virku sprungusveimar landsins eru jafnframt vatnsgæfustu veitarnir. Það stafar bæði af því að þeir eru lekustu hlutar berggrunnsins og liggja þar að auki þannig gagnvart landslagi (þ.e.a.s. í meginatriðum samsíða halla) að þeir þjóna sem risastór lokræsi á víðáttumikil svæði. Sprungusveimana er aðeins að finna á eða í næsta nágrenni gosbeltanna. Dæmi um lindir sem koma fram þar sem sprungusveimur mætir lögð í landslagi er t.d. í Þingvallavatni, Gvendarbrunnar við Rvík. Dæmi um lindir þar sem sprungusveimur liggur í sjó eru Blikalónslindir á Sléttu og lindir í Lóni í Kelduhverfi.

Flokkur E er líklega sjaldgæfasti flokkurinn. Ástæðan fyrir því að þrýstivatn er svo sjaldséð sem raun ber vitni á Íslandi er líklega sú að þétt lög s.s. móberg og jökulurðir, sem oft liggja

á lekum jarðlögum, eru jafnan það smá að útbreiðslu og slitrótt að engin verulegur vatnsþrýstingur næst undir þeim.

Sem fyrr segir eru helstu lindasvæði landsins á gosbeltunum þar eru lindir og lindasvæði sem gefa af sér $1 \text{ m}^3/\text{sek}$ algeng. Lindir af umræddri stærðargráðu virðast aðeins myndast við tvenns konar aðstæður hérlandis. Í fyrsta lagi á hraunasvæðum þar sem vatn safnast að lindum í hraunjaðri, þar sem hann liggur lægst t.d. við dalbotn eða lægð sem hraunið hefur þrætt. Þannig hagar til við Barnafossa, lindir Svartárvið Vaðöldu, sem gefa um $20 \text{ m}^3/\text{sek}$, og víðar. Í öðru lagi eru svo lindirnar við sprungusveimana. Sumstaðar fara þessar aðstæður saman s.s. í Vellankötlu á Þingvöllum og við Mývatn.

Furðu lítið er til á prenti um þessi vatnsmiklu íslensku lindasvæði. Við kortlagningu þeirra hef ég mjög stuðs við munnlegar heimildir og óbeinar upplýsingar. Við gerð vatnafarskortsins í 1:1500.000 var nokkuð úr vöndu að ráða hvernig fara skyldi með kaldavatnslindir. Ljóst var, þó að engin tók voru á að sýna, nema þær allra stærstu á kortinu. Þau mörk sem endanlega voru valin til að hafa til hliðsjónar voru, að lind skyldi merkt á kortið, þar sem $1 \text{ m}^3/\text{sek}$ vatns sprytti fram á 500 m langri línu og lindasvæði, þar sem $5 \text{ m}^3/\text{sek}$ kæmi inn á 1 km^2 stóru svæði. Þannig er vonast til að kortið geti gefið allgóða hugmynd um dreifingu þessara helstu linda. Það skal strax viðurkennt að þetta er ákaflega óvísindaleg flokkun. Sérstaklega er ferkílómeterinn teygjanlegur. En þekking okkar á íslensku lindasvæðunum býður ekki upp á betra. Vísindalegri skilgreining á því, hvað sé ein lind eða eitt lindasvæði er, að það séu afmarkaðar uppsprettur vatns úr ákveðnum veiti (aquifer). Þannig gætu rúmast á svæði sem er kílómetri á hvern kant, lindir vatns úr fjölmörgum veitum.

Menn hafa gert sér það að leik , að flokka lindir eftir stærð þ.e. meðalrennsli. Sá frægi maður Meinzer setti árið 1927 fram stærðarflokkun linda sem talsvert hefur verið notuð meðal þeirra sem aðhyllast amerískar mælieiningar.

TAFLA 12

Flokkun linda eftir vatnsgæfni (Meinzer 1927).

<u>Flokkur</u>	<u>Vatnsgæfni</u>	<u>Rennsli</u>	
Fyrsti	>100 cfs	>2830	l/s
Annar	10-100 cfs	283-2830	-
Þriðji	1-10 cfs	28,3-283	-
Fjórdi	1 cfs-100 gal/min	28,3-6,3	-
Fimmti	10-100 gal ^x /min	6,3-0,6	-
Sjötti	1-10 gal/min	0,6-0,06	-
Sjöundi	1 pt ^{**} /min-1 gal/min	0,06-0,008	-
Attundi	<1 pt/min	<0,008	-

^x US gallon. ^{**} US pint.

Í USA eru þekktar 65 lindir af 1. stærðarflokki, nokkur hundruð af öðrum og þúsundir af þeim þriðja. Af 1. flokks lindum eru 38 í gosbergi, 24 í kalksteini og 3 í sandsteini.

Þegar þetta er athugað þarf engan að undra, þótt Ísland státi af lindum á heimsmælikvarða, etv. eru hvergi í heiminum til meiri lindasvæði en hér.

Á evrópskum vatnafarskortum er lindum þrískipt eftir stærð, þ.e. 1000 l/s, 1000-100 l/s og 100-10 l/s. Minni lindir eru ekki sýndar.

Á íslenska vatnafarskortinu eru sýndar um 75 lindir eða lindakvæði 1000 l/s eða meira. Mælingar á helstu lindasvæðum landsins eiga þó örugglega eftir að breyta þessari mynd mikið, fella sum svæðin út en bæta nýjum inn. Lindir af stærðargráðunni 0,1-1 m³/s eru fjölmargar á landinu- geta skipt þúsundum - og rúmast því ekki á smáum kortum. Lang mestur hluti þeirra mun vera á kvarteru svæðunum og í tengslum við ungar gosmyndanir. Á tertíeru svæðunum eru lindir stærri en 100 l/s sára sjaldgæfar.

Stærstu lindirnar á þessum svæðum eru tengdar berghlaupum.

Rennsli úr lindum getur verið æði sveiflukennt. Hinar stóru lindir gosbeltanna munu þó all stöðugar. Á tertiera svæðunum er hins vegar algengt að 10-100 faldur rennslismunur sé við hámarks og lágmarksrennsli.

Algengast er að tvær áberandi rennslislægðir séu í ársrennslinu. Fyrri lægðin á sér stað seinni part vetrar (mars-apríl) en þá hefur úrkoman safnast saman sem snjór um nokkurra mánaða skeið eða runnið beint af á frosinni jörð en sáralítið best til grunnvatnsins.

Hin lægðin er á haustin áður en haustrigningar hefjast. Úrkoman er að jafnaði hvað minnst yfir sumarmánuðina en uppgufunin mest. Síðsumars er og lokið leysingu á fjöllum og grunnvatn inu hættir að bætast forði á þennan hátt. Þetta tvennt veldur haust lægðinni í lindum.

Efnainnihald Kalda grunnvatnsins á Íslandi er mjög lágt. Sjaldgæft er að uppleyst efni í því fari yfir 100 ppm. Uppleystu steinefnin eru af tvennskonafr uppruna. Annar hlutinn kemur með regnvatninu og er runninn upp í sjónum og sem mengun í andrúmsloftinu. Hinn hlutinn er efni sem losna úr jarðlögunum með efnahvörfum við vatnið.

JARÐHITINN

Ísland er eitt mesta jarðhitaland í heimi. Jarðhitastigullinn spannar frá um 40°C/km á tertíeru svæðunum til um 160°C/km í árkvarteru bergi og getur orðið miklu hærri. Á háhitasvæðunum hefur mælst allt að 1°C/m.

Þar sem gert er ráð fyrir því að hitaleiðni sé aðalform hitaútstreymis úr jörðinni skyldi maður ætla að jarðhitastigullinn færi hækkingu inn að miðju gosbeltanna. Svo er þó ekki vegna þess að jarðvatn í hinum velleiðandi lögum gosbeltanna verkar kælandi á þau niður á mikið dýpi (Guðmundur Pálmason 1973). Jarðhitastigullinn er því tiltölulega lágur þótt hitaútstreymið sé mikið.

Á erlendum vatnafarskortum er heit lind skilgreind sem lind með vatnshita 10°C ofanvið meðalárshita staðarins. Út um heim er vani, að tvískipta heitum lindum í thermal springs og thermo-mineral springs eða heitar lindir og heitar efnaríkar lindir. Þær síðarnefndu eru vanalega skilgreindar efnaríkar, ef uppleyst efni í vatninu fara yfir 1000 ppm.

Þessi skipting fellur all vel saman við íslensku skiptinguna í lághita og háhitasvæði. (Ölkeldur eru þó oft undantekning frá þessari reglu, einnig lághitasvæði, sem orðið hafa fyrir sjávaríblöndun (Seltjarnarnes, Akrenes)).

Fyrir utan hitastigið er efnainnihaldið eitt megin einkenni jarðhitavatns. Kalt grunnvatn hefur oftast undir 100 ppm uppleyst efni. Uppleyst efni í lághitavatni eru oftast á bilinu 200-400 ppm, en háhitavatn með > 1000 ppm.

Hvað varðar magn uppleystra efna í jarðvatni er hitastigið hinn ráðandi þáttur, því heitara sem vatnið er því meira er um uppleyst efni. Magn uppleystra efna í vatni er við jarðhitaleit notað sem mælikvarði á það, hver hafi verið hámarkshiti hins tiltekna vatns er það streymdi um djúplögin.

Hin ýmsu efni eru reyndar misgóðir mælikvarðar á þennan hita. Kísill og alkali málmar hafa gefið besta raun. Önnur efni eru

lítt eða ekki háð hitastiginu, má í því sambandi nefna CO_2 , Cl^- og Na^+ .

Vatn á lághitasvæðum er jafnan basískt. Helstu gastegundir í þessu vatni eru N_2 og CO_2 .

Vatn á háhitasvæðum er einnig basískt þar til það kemst í snertingu við andrúmsloftið ofan grunnvatnsborðs. Vatn þetta inniheldur mikið af brennisteinsvetni (H_2S), vetni (H_2) og kolsýru (CO_2). Ofan grunnvatnsborðs gengur brennisteinsvetnið í samband við súrefni loftsins og myndar brennisteinssýru og sýrustig vatnsins hækkar mjög. Hið súra og heita vatn tærir og leysir upp bergið á hverasvæðunum og veldur því m.a. að leirhverir eru þar algengir, litskrúðugir leirflákar og brennisteinsútfellingar. Þar sem grunnvatnsflötur fellur saman við yfirborð á háhitasvæðum nær vatnið ekki að súrna, því þar rýkur brennisteinsvetnið beint út í andrúmsloftið. Af þeim sökum finnast basískir hverir oft á háhitasvæðum.

Skiptar skoðanir hafa verið um uppruna hitans í háhitavatninu. Menn hafa talið að annaðhvort væri um að ræða heita bergmassa eða kólnandi djúpberg á tiltölulega litlu dýpi, sem hita upp grunnvatnið á svæðinu og ykju því þar með efnainnihald. Hin skoðunin er sú, að undir háhitasvæðunum hagi þannig til, að djúpir og þar með heitir grunnvatnsstraumar komist til yfirborðsins sökum djúpstæðra sprungna.

Senn lega eru báðar þessar skoðanir réttar. Háhitasvæðin eru jafnan í tengslum við sprungusveima. Í þessum sprungusveimum á grunnvatnið greiðari leið um djúplögin en annarsstaðar. Megineldstöðvar eru tíðast tengdar sprungusveimunum. Mikil innskota og eldvirkni, sem þeim er samfara veldur háum jarðhitastigli og þar með heitu vatni á litlu dýpi.

Deuteriummælingar benda ekki til annars uppruna háhitavatnsins en lághitavatns á nálægum svæðum.

ÖLKELDUR (SODA SPRINGS).

Áður en farið yrði að tala um ölkeldur, hefði þurft að skilgreina fyrirbrigðið á einhvern hátt. Að þýða enska orðið mineral spring með ölkelda, sem algengt er, er mjög hæpið. Þetta orð er notað um efnaríkt vatn almennt, oftast vatn með yfir 1000 ppm. uppleyst efni. Skv. því getur vatn gersamlega snautt af CO_2 kallast mineral water, en það er ekki ölkelda að íslenskum skilningi. Í ritinu Islands Ölkelda (Mineralquellen) eftir Höll og Münzer (1975) er þetta þó hiklaust gert og reyndar miklu víðar. Orðið ölkelda verður best þýtt á ensku með soda spring. Ekki hafa farið fram nægar efnagreiningar á íslensku ölkelduvatni til þess að unnt sé, að skilgreina eitthvert ákv. lágmark CO_2 uppleyst í vatninu, sem markgildi fyrir hvað telja skuli ölkeldu og hvað ekki. Hér verður að duga að kalla það vatn ölkelduvatn sem baskar vel í munni sökum CO_2 innihalds.

Íslenskar ölkeldur virðist meiga flokka í þrjá flokka eftir jarðfræðilegum aðstæðum í nágrenni þeirra:

1. Ölkeldur ótengdar nútíma eldvirkni
2. Ölkeldur tengdar háhitasvæðum
3. Skammlífar ölkeldur (og kolsýruaugu) tengdar eldgosum.

Í fyrsta flokknum eru ölkeldurnar á Snæfellsnesi nafntogaðastar, en þær eru fjölmargar. Slíkar ölkeldur eru einnig að Leirá í Leirársveit, við Þveit í Hornafirði, undir Eyjafjöllum(?) og etv. víðar. Ölkeldur tengdar háhitasvæðum eru all algengar td. á Torfajökulssvæði, í Kerlingafjöllum, á Hengilssvæði og víðar. Sem dæmi um þriðja flokkinn má minnst ölkelduvatnsins, sem vart varð í lindum í nágrenni Heklu eftir gosið 1947-8. (Guðmundur Kjartansson 1957). Einnig urðu menn heldur betur varir við gasútstreymi í Vestmannaeyjagösinu 1973.

Deildar meiningar hafa verið um uppruna kolsýrunnar í ölkelduvatninu. Sumir hafa talið það komið úr kalkríkum lögum í staflanum og blandast grunnvatninu á sama hátt og talið er gerast á karstsvæðum. Aðrir telja gasið til komið vegna afgösunar kólnandi kviku í iðrum jarðar

Tengsl ölkeldna við háhitasvæði og eldvirkni bendir eindregið í þá átt, að kolsýran eigi rætur að rekja til kvikunnar, og þar sem ekki er vitað um nein umtalsverð kalklög í jörðu á Íslandi er eðlilegast að gera ráð fyrir því, að allt ölkeldu vatn á landinu fái CO_2 magnið frá nýgasi.

Ölkelduvatn fyrirfinnst bæði heitt og kalt, og á það við um alla flokkana. Heitar ölkeldur hafa verið nefndar kolsýrulaugar og eru kolsýrulaugarnar á Lýsuhóli þeirra frægastar.

Ef gert er ráð fyrir því, að gasið sé komið úr kólnandi kvikmössum verður og að álíta það hafa sjálfsstæða straumstefnu upp í gegn um grunnvatnsbeltið og lítt háða vatnsstraumnum. Ef svo væri ekki og gasið kæmi til yfirborðsins í því vatni, sem það leystist fyrst upp í ætti allt ölkelduvatn að vera heitt (mynd 8).

Gasið og vatni, sem það er í eru af ólíkum uppruna og troða ólíkar slóðir. Straumstefna vatnsins ræðst af vatnsprýstingnum og stefnir í megindráttum frá hálendi til sjávar. Straumstefna gassins ræðst af gasprýstingnum. Koldíoxíðið stígur upp af kólnandi djúpbergssinnskotum upp í grunnvatnsbeltið, þar sem það leysist a.m.k. að hluta til upp í vatninu. Það stígur þó áfram upp í gegn um það og rýkur út í andrúmsloftið. Svo virðist sem að á leið sinni þræði það all afmarkaðar brautir, og í efstu lögum grunnvatnsbeltisins fylgi það mjög grunnvatnsstraumnum. Ef hins vegar sú ályktun er röng, að kolsýran komi djúpt úr jörðu, heldur leysi kalda grunnvatnið hana úr efri jarðlögum, þarf að úrskýra hví þau kalkríku lög eru ófundin og óþekkt. Það vefst fyrir mér.

Tafla 13 sýnir hitastig og CO_2 innihald nokkurra ölkeldna í flokki 1.

TAFLA 13

STAÐUR	CO ₂ ppm	HCO ₃ ⁻ ppm	HITI C°
Ólafsvík (við orkuver)	300	24,4	8
Brimilsvellir (íframræsluskurði, spillt)	-	-	-
Ölkeldubotnar (Ölkelda Vallnahnúkur)	588,0	1476,2	8
Fossakinnar	-	-	-
Grundarfjörður	100	9,15	8
Eiði við Kolgrafarfjörð	-	-	-
Hraunhafnardalur (Aumar lindir)	-	-	-
Bjarnarfosskot Staðarsveit	600	2520,0	8
Ósakot staðarsveit	360	131,2	8
Steinahlíð (Tveir staðir)	-	-	-
Lýsuhóll, borhola	500	1452,3	57,0
Lýsuhóll, við sundlaug	500	1905,5	41
Glaumbær Staðarsveit	1000	2255,0	25
Ölkelda Staðarsveit	600	2520,0	10
Bergsholt Staðarsveit	-	-	heit
Ytri-Rauðimelur (Rauðamelsölkelda)	250	48,8	8
Syðri-Rauðimelur	-	-	heit
Ölviskross við Oddastaðavatn	-	-	-
Kálfhóll við Hlíðarvatn	-	-	-
Leirá Leirársveit (hola 1)	247	-	75
Rauðafell undir Eyjafjöllum	50,0	210,5	62
Þveit í Hornafirði	-	-	-

(Heimildir: Höll og Münzer 1975, Jón Benjamíns-
son 1977, Ingvar B. Friðleifsson ofl. 1977)

JARÐSJÓR

Selta í jarðvatni getur verið af tvennskönar meginuppruna, þ.e.a.s. komin úr sjó beint eða óbeint, eða úr berginu með efna-
hvörfum og útskolun. Hvorttveggja er til hérlandis. Þegar um sjávarseltu er að ræða mun annaðhvort eiga sér stað beint inn-
streymi sjávar í jarðlögin eins og velþekkt er á Reykjanesskaga, en einnig er til setbundinn sjór í leirlögum frá ísaldarlokum (t.d. undir Þjórsárhraununum við Ólafsvelli) og e.t.v. í leirlögum frá hlýskeyðum ísaldarinnar, þó ekki sé mér kunnugt um það.

Heitt vatn leysir sölt úr berginu og gerir það því meira, sem það er heitara. Vatn frá háhitasvæðum er því oft allríkt af Na^+ og Cl^- . Samfara eldgosum fellur tíðla út talsvert af söltum kring um eldstöðvarnar, sem regn og grunnvatn skola fljótlega burt. Þannig getur orðið vart við seltu í lindum í nágrenni eldstöðva um skamman tíma eftir gos.

Stærsta saltvatnsinnskotið hérlandis er undir Reykjanesskaganum og er þar um að ræða innstreymi sjávar í lek berglögin. Á skaganum er aðstæðum þannig háttað, að undir kaldri ferskvatnslinsu liggur kaldur og nær ómengaður sjór. Hitastig hans eykst eftir því sem neðar dregur, en jafnframt fer að bera á íblöndun aðkomins grunnvatns. Svo virðist sem djúpstæður grunnvatnsstraumur flæði vestur skagann. (B. Arnason 1976, J. Elíasson 1977). Allmikið saltvatnsinnskot mun einnig vera undir Melrakkaslétu sem einnig stafar af innstreymi sjávar í lek berglög. Í borholum á Suðurlandi allt frá Ölfusi og austur undir Eyjafjöll verður víða vart við seltu í jarðhitavatni (sjá síðar). Vafalítið eru einhver saltvatnsinnskot undir söndunum sunnanlands. Þótt þeirra hafi ekki orðið vart enn.

Ýmislegt bendir einnig til þess, að setbundinn sjór sé að finna í fornum sjávarleir í dalfyllingum síða um land.

SALTRÍK JARÐLÖG

Bragi Arnason (1976) heldur því fram að heitt saltvatn í borholum víða um land, svo sem á Akranési, Reykjanesi, Vestmannaeyjum og víðar fái talsvert af salthlutá sínum úr saltríkum jarðlögum, líklega fornu sjávarseti.

Hann byggir þessa skoðun sína á því, að hlutföll deuteríums annars vegar og Na^+ og Cl^- hins vegar, verði ekki skýrð á viðunandi hátt með innblöndun sjávar eingöngu. Vatn, sem að því er virðist er úr sama grunnvatnskerfinu og með sama deuteriummagn, getur haft all mismunandi seltuinnihald.

Hefði vatnið fengið seltuna úr sjó hefði deuteriumhlutfallið raskast á sama hátt og seltan.

Frá efnafræðilegur og vatnafræðilegu sjónarmiði er ekkert að þessari hugmynd. En hvernig lítur hún út frá jarðfræðilegu sjónarmiði? Geta jarðfræðingar lagt blessun sína yfir hana út frá þeim hugmyndum, sem þeir gera sér um uppbyggingu berggruns og gerð jarðlaga?

Persónulega líst mér illa á hugmyndina um saltrík jarðlög djúpt í jörðu. Hvernig á t.d. sjávarset mettað sjó að losna við vatnshlutann og komast með seltuna niður í jarðlagastaflan. Slíkt getur að mínu viti ekki gerst nema að sjórinn gufi á einhvern hátt burt úr setinu. Það getur varla átt sér stað nema á þurru landi ofan grunnvatnsborðs. Síðan þarf það að grafast í jarðlagastaflan og halda seltunni meðan kalda grunnvatnið leikur um það, en gefa hana frá sér er heitt vatn kemur til sögunnar á miklu dýpi. Þetta þykir mér ótrúleg atburðarás en jafnvel þótt svo ótrúlega hafi viljað til, að hún hafi gerst, virðist mér að saltmagnið í slíkum lögum geti aldrei orðið svo mikið að það geti saltað jarðhitavatn sem um þau streymir nema í tiltölulega stuttan tíma.

Vatn sem fengið hefur seltu sína úr sjó einkennist af $\text{mg Na}^+/\text{mg Cl}^-$ hlutfallinu $\cong 0.5$. Vatn sem fengið hefur seltuna úr berginu hefur mjög breytilegt $\text{mg Na}^+/\text{mg Cl}^-$ hlutfall eða frá 9.3-1.9 og fer það eftir hita vatnsins og gerð bergsins (Bragi Arnason 1976).

Þarna virðist því auðvelt að greina á milli. Allt það vatn sem Bragi telur að hafi fengið salt úr saltríkum jarðlögum hefur $\text{mg Na}^+/\text{mg Cl}^- \cong 0.5$.

Þegar tilvist saltra jarðlaga er neitað verður að reyna að skýra saltmagnið í jarðhitavatninu á einhvern annan hátt.

Það er allvíða á landinu sem heitt vatn hefur umtalsvert klór og natríuminnihald.

TAFLA 14

Helstu staðir eru:

<u>Staður</u>	<u>ppmCl⁻</u>	<u>ppmNa⁺</u>	<u>Na⁺/Cl⁻</u>	<u>0/00 Deutr.</u>
Reykjanes	18827	9584	0.5	÷ 22.5
Svartsengi	12635	6322	0.5	÷ 24.0
Trölladyngja	1098	514	0.5	÷ 47.0
Krísuvík	658	485	0.7	÷ 51.5
Vestmannaeyjar	9500		0.5	÷ 62.0
Akranes	3000			÷ 71.0
Húsavík (H1)	1750			÷ 130.2
Selfoss (Sölvahóll)	954	450	0.5	÷ 69.0
Sólheimar	207	155	0.7	÷ 80.4
Brautarholt	191	149	0.8	÷ 78.1
Hella	1175	639.5	0.5	÷ 78.
Stórólfshvoll	2161	1082	0.5	

Saltið í Vestmannaeyjavatninu er talið af sjávaruppruna (Jens Tómasson 1967). Ef það stafar af beinni íblöndun sjávar, eins og ég vil halda fram, væri deuteriummagn hins ferska hluta þess hvorki meira né minna en ÷120 - ÷130% deuterium eða af sömu gráðu og Húsavíkurvatnið en það myndi þýða skv. röksemdum Braga að hér væri um að ræða meira en 10.000 ára gamalt vatn, ættað innan frá miðju landsins. Það finnst mér í sjálfu sér ekkert ótrúlegt. Hins vegar er þess að gæta að sá sjór, sem blandast þessu vatni, er e.t.v. ævaforð setbundinn sjór í sjávarseti og gosbergi undir Suðurlandi og Vestmannaeyjum. Deuterium magn hans er því óþekkt.

Hvernig skyldi nú standa á þessu salta jarðhitavatni á Suðurlandi?

Na^+/Cl^- hlutfallið bendir til sjávaruppruna seltunnar. Nokkrar leiðir eru hugsanlegar fyrir sjóin inn í staflann.

1. Innskotíð frá ströndinni líkt og á Reykjanesi.
2. Að sjór hafi náð að metta eða menga mjög berggrunn Suðurlandsundirlendisins á þeim skeiðum sem hann hefur legið yfir því þ.e. í lok jökulskeiða. Þá ætti að fara fram hægfara útskolun sjávarins á þessu svæði og selta að minnka með tímanum.
3. Að grunnvatnið leysi upp salt úr saltríkum setlögum í staflanum, (sbr BA '76).

Fyrsta hugmyndin þykir mér trúlegust. Þar sem staðir þessir eru aðeins í 20 - 30 mys þurfa ekki að vera nema 800 - 1600 m niður á sjó skv. Ghyben-Herzberg-lögmáli þegar um kaldavatn og kaldan sjó er að ræða, en ef sjórin hitnar upp í jörðinni getur hann stigið upp fyrir þessi mörk.

Hugmynd 2 er ekki fráleit heldur. Í því tilfelli er spurningin aðeins um það hversu mikil sjávarmettun hefur orðið í berginu í ísaldarlokin og hversu langan tíma tekur það grunnvatnið að skola hana burt.

Hugmynd 3 hefi ég þegar tjáð mig um.

Efnainnihald háhitavatnsins ú Trölladyngju gefur til kynna 5.5% blöndun sjávar.

Sé gert ráð fyrir að þetta vatn sé fallið sem regn á Bláfjalla-svæði (sbr Braga Arnason 1976 og Jónas Elíasson o.fl. 1977) ætti deuteríummagnið að vera $\pm 54 - \pm 58$ o/oo.

5.5% sjávarblöndun lækkar deuteríummagnið um 3 o/oo. Hins vegar mælist deuteríummagnið í Trölladyngjuvatninu ± 47 o/oo.

Erfitt er að skýra þetta misræmi með ördú en þ að deuteríumkortið sé ónákvæmt af Reykjanesskaganum og að Trölladyngju há-

hitavatnið sé af staðbundnum uppruna fallið á Kleifarvatns-
svæðinu með um $\div 50$ 0/00.

Efnainnihald háhitavatnsins í Svartsengi gefur til kynna 66%
sjó blöndun en deuteriummagnið aðeins 50% sjóblöndu sé miðað
við $\div 50$ 0/00 innrennslisvatn.

Á Reykjanesi er misræmið enn meira, seltan er meiri en í
hreinum sjó en deuteriummagnið samsvarar rúmlega 50% sjávarblöndu.

Bragi kemst að þeirri niðurstöðu að deuterium magnið geti ekki
stafað af öðru en íblöndun ferskvatns í sjó og að aukaseltan
stafi frá saltríkum setlögum undir Reykjanesskaga.

Jónas Elíasson o.fl. 1977 drepa á þá hugmynd að seltumagnið
stafi af eimingu jarðhitavökvans á háhitasvæðunum "og víst er
að slík áhrif hljóta að vera til staðar á jarðhitasvæðum þar sem
gufum ndun er stöðug".

Skv. hugmyndum Jónasar einkennast háhitasvæði á Reykjanesi
(a.m.k. Svartsengi og Reykjanes) af eftirtöldum þremur þáttum.
Innrennsli - upphitun - mishitahringrás - eiming - frárennsli.

Þessi hugmynd virðist mjög aðgengileg og leysir af hólmi
hugmyndina um saltrík jarðlög.

Þá stendur Akrenesvatnið eitt eftir sem óráðin gáta. Sé það
blandað sjó hefur upprunalega ferskvatnið haft eitthvað um
 $\div 87$ 0/00 deuterium og þar með annan uppruna en jarðhitavatnið
á Leirá og annarsstaðar í Borgarfirði. Í sjálfu sér er það
ekkert ótrúlegt t.d. ef maður hefur það í huga, að út frá deu-
teríum mælingum hafa menn skilgreint þrjú ólík jarðhitakerfi í
Reykjavík einni.

S.k.v. deuteríumkerfinu er úrkoma á norðanverðum Langjökli
 $\div 85$ - $\div 94$ 0/00 þar má e.t.v. leita uppruna Akranessvatnsins.

Þrátt fyrir fráhrarf frá kenningunni um sölt jarðlög breytist kort Braga Arnasona (1976 mynd 41) af heitavatsrennslinu undir landinu sáralítið. Helsta breytingin er sú að ör þarf að sýna vatnsstreymi frá miðhálandum til Vestmannaeyja og önnur ör að sýna streymi úr norðanverðum Langjökli út á Akranes.

GERÐIR ÍSLENSKS GRUNNVATNS

Íslensku grunnvatni má skipta eftir innihaldi uppleystra efna í sex megingerðir. Þær eru: Kalt lindavatn, lághitavatn, háhitavatn, kalt ölkelduvatn, heitt ölkelduvatn og jarðsjór í mismunandi hita og blöndun við ferskvatn, allt frá nánast hreinu köldum sjó upp í sjóðandi brimsaltan þakil.

Tafla 15 sýnir efnagreiningar vatns af þessum mismunandi gerðum.

TAFLA 15

	1	2	3	4	5	6
Hiti	270	84	98	57	2	3,8
pH/C°	6,27/270	8,7/84	8,8/98	6,72/19	6,21/22	7,22/20
SiO ₂	592	509	127	219	77	12,8
Na ⁺	9854	209,0	78,8	451,2	660,0	7,1
K ⁺	1391	22,4	2,1	34,2	26,8	0,4
Ca ⁺⁺	1531	0,8	4,1	86,8	256,1	4,7
Mg ⁺⁺	1,15	0,03	0,01	20,7	60,5	1,4
CO ₂ tot*	1437	136,6	13,5	1500	4100	12,7
SO ₄ ⁻	28,7	114,5	62,1	41,2	125,4	3,1
H ₂ S tot**	31,5	0,7	0,7	0,1	0,1	0,0
Cl	18827	122,0	56,3	80,0	239,0	12,2
F ⁻	0,1	11,5	2,1	5,0	0,61	0,1
Alls	33653	1133	372	1649	2584	54,5
* H ₂ CO ₃ + HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻⁻			** H ₂ S + HS ⁻ + S ⁻⁻			

1. Saltpækili af Reykjanesi
2. Geysir
3. Laugarás í Reykjavík
4. Lýsuhóll (kolsýrulaug, hola 6)
5. Ölkelda, Snæfellsnes
6. Lækjarbotnar, Mosfellshreppur

- Heimildir:
- 1, 2, 3 Stefán Arnórsson 1974
 - 4, 5 Jón Benjamínsson pers. uppl.
 - 6 Þóroddur Þóroddsson pers. uppl.

ENSKA-ÍSLENSKA MEÐ SKÝRINGUM.

- ABLATION - afnám, leysing, jökulleysing, affok (t.d. jarðvegsrof).
- ABLATION AREA - afnámssvæði, leysingarsvæði.
- ABSORPTION - ísog, binding. Sá eiginleiki efnis að sjúga í sig vökva og binda hann í sig með sogpípu- og sameindakröftum.
- ACCUMULATION - ákoma, söfnun. Það magn snævar sem bætist á ákomusvæði jökuls á ákveðinni tímaeiningu.
- ACCUMULATING AREA - ákomusvæði, safnsvæði. Það svæði á jökli þar sem árleg snjókoma er meiri en árleg leysing.
- ADHESION - viðloðun. Samloðun vatnssameinda og sameinda þess efnis sem þær streyma um.
- ADVECTION - aðstreymi.
- ALLUVIUM, ALLUVIAL SEDIMENTS - fallvatnaset, árset, lækjarset.
- ALLUVIAL FAN - aurkeila, árkeila, lækjarkeila, skriðuvangur. Framburðarkeila úr fallvatnaseti.
- ANCHOR ICE - grunnstingull. Ís sem myndast á árbotni.
- AQUATIC (AQUEOUS) - vatns-, vatna-.
- AQUICLUDE - stemmir. Þétt jarðlög eða jarðmyndun, óvatnsgeng. (Latína: AQUA = vatn. CLAUDERE = að loka)
- AQUIFER - grunnvatnsveitir, veitir, vatnsberi, grunnvatnsberi, vatnsleiðari, vökvaberi, ákafar (sbr. aquavitae = ákavíti). Orðið er komið úr latínu AQUA = vatn og FERRE = að bera. Jarðmyndun sem inniheldur mikið vatn og leiðir vel.
- AQUIFUGE - grunnvatnstemplar (latína FUGERE = að reka burt). Jarðmyndun sem hvorki inniheldur né getur leitt vatn (þétt granít).
- AREATION ZONE - jarðrakasvæði. Efsti hluti jarðskorpunnar hvar vatnið er ekki undir vökvaprýstingi. Holrúm bergsins er að mestu loftfyllt. Vatn á þessu svæði er bundið með sameindakröftum í jarðlögum. Sjá: SUBSURFACE WATER.
- ARID - þurr, vatnslaus.
- ARID ZONE - þurrrakasvæði.
- ARTESIAN WATER - þrýstivatn. Vatn undir þrýstingi í lokuðum veiti (CONFINED AQUIFER).

- BED LOAD TRANSPORT - botnskrið. Sá hluti árframburðar sem skriður og veltur með botni.
Sjá: SEDIMENT LOAD, LOAD.
- BELT OF FLUCTUATION - hvarfásvið (grunnvatns). Það landssvæði sem ákveðin grunnvatnsskil geta leikið um eftir árstíðum.
Sjá: GROUNDWATER DIVIDE.
- BOG (MIRE) - mýrlendi. MARSH = flói, SLOPING MIRE = hallamýri, ALLUVIAL MIRE = flæðimýri, MOSS FLUSH, DY = dý, SALT MARSH = sjávarfitjar, Palsa MIRE = flá, TUNDRA = freðmýri,
- BOTTOM TEMPERATURE - botnhiti. Hitastig á botni jarðhitasvæðis eða jarðhitakerfis.
- BRACKISH - ísaltur, hálf saltur.
- BRACKISH WATER - ísalt, (hálf salt) vatn, flæðivatn. Blanda ferksvatns og sjávar.
- BRAIDED STREAM - aurvatn. Á sem rennur í ótal breytilegum kvíslum um aura og sanda. Hún hleður meira undir sig en hún rífur brott.
- BRINE (PICKLE) - þekill, salt vatn. HIGH TEMPERATURE BRINE - háhitasvæði með söltu vatni.
- CAPILLARY FRINGE - hárpípubelti, hárpípusvið. Þunnt belt ofan grunnvatnsborðs þar sem allar holur eru fylltar vatni vegna hárpípusogs.
Sjá: GROUNDWATER, SUB SURFACE WATER.
- CASCADES - sjá RAPIDS
- CATCHMENT AREA (DRAINAGE BASIN) - vatnasvið, aðrennslisvæði, afrennslisvæði. Landsvæði sem á í vatn eða vatnakerfi dregur vatn sitt af.
- CONE OF DEPRESSION - niðurdráttarkeila. Svelgur sem myndast í grunnvatnsborð umhverfis borholu eða brunn sem dælt er úr.
- CONFINED WATER - þrýstivatn. Sjá ARTESIAN WATER.
- CONFLUENCE - ármót.
- CONNATE WATER - setvatn. Vatn sem bundist hefur í jarðlögum (setlögum) við myndun þeirra en getur losnað af ýmsum ástæðum og tekið þá á ný þátt í hinni almennu hringrás vatnsins. Sjá: METORIC W. JUVENILE W.
- CRYOLOGY - ísafræði. Fræði um ís. Jökulís, snjó og hafís.
- DARCY [L^2] - eining fyrir raunlekt. Sjá: RAUNLEKT .

- DELTA - óseyri, árósar, óshólmar. Þrýhryningslaga hólmar úr árseti við árósa í sjó eða vötnum.
- DEUTRIUM - tvívetni. Vetrissamsæta sem hefur eina róteind og eina nifteind í kjarna. Tvívetnismælingar hafa komið að góðum notum við könnum á jarðvatnskerfum og grunnvatnsstreymi.
- DIRECT RUN - OFF RIVER - dragá. Á sem mestmegnis nærast af yfirborðsafrennsli. Rennslið er mjög sveiflukennt eftir árstíðum og úrkomu-sveiflum. Sjá: STREAM.
- DISCHARGE - rennsli í rúmmáli á tímaeiningu ($m^3/sek.$).
- DRAINAGE BASIN - vatnasvið. Landsvæði sem á eða vatnakerfi dregur vatn sitt af.
- DRAINAGE NET - vatnakerfi. Vötn, lækir og ár sem falla til sameiginlegrar aðalár eða um sameiginlegann ós til sjávar.
- DRAWDOWN - niðurdráttur, lökkun. Lökkun grunnvatnsborðs (eða vatnsflatar) vegna dælingar.
- DRAWDOWN TEST - niðurdráttarprófun, dæluprófun. Vatnafræðileg rannsókn framkvæmd með dælingum.
- EPHEMERAL STREAM - stopul á. Óstöðugt vatnsfall myndast við stórrigningar og leysingar. Finnst einungis á mjög þéttum grunni eða þurrum svæðum og hefur engin tengsl við grunnvatnið. Sjá: STREAM.
- EQUILIBRIUM LINE, (FIRN LINE) - hjarnmörk, jafnvægislína. Mörk safnsvæðis og leysingasvæðis á jökli.
- EVAPORATION - uppgufun. Bein uppgufun vatns (vökva) af yfirborði jarðar. Sjá: TRANSPIRATION, EVAPOTRANSPIRATION.
- EVAPOTRANSPIRATION - gnóttargufun. Mesta mögulega gufun úr jörð og gróðri (þ.e. upp af samfelldri gróðurþekju og raka mettuðum jarðvegi).
ACTUAL EVAPOTRANSPIRATION - raungufun. Raunveruleg gufun úr jörð og gróðri. Sjá: EVAPORATION, TRANSPIRATION.
- FALLSMAKER (?) - fossvaldur. Það landmótunarafl útrænt eða innrænt sem veldur því að fossar myndast. Sjá: WATERFALL.
- FANNING FRICTION FACTOR - Fanning núningsstuðullinn, (einingarlaus).

$$f = \frac{d\Delta p}{2pLv^2}$$

Δp þrýstifall

d þvermál pípu

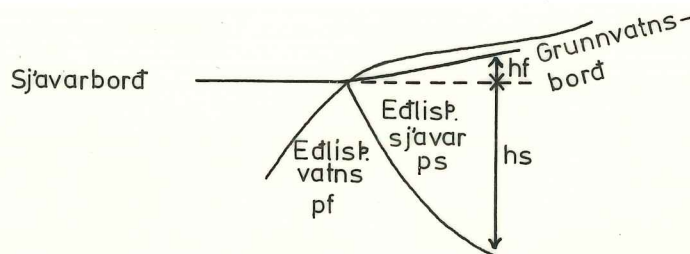
p eðlisþungi vökva

L lengd

v hraði

- FLOOD - flóð, hlaup, vatnavextir.
- FLOOD CREST - flóðtoppur.
- FLOOD DEPOSITS - flóðaset.
- FLOOD PLAIN - flóðvöllur, flóðvangur. Sléttlendi kringum á.
Landsvæði sem á leikur um og getur flætt yfir.
- FLOOD WAVE - flóðbylgja.
- FLOW - streymi, rennsli.
- FLOW LINE - straumlína. Lína sem sýnir straumstefnu.
- FLOW NET - (rennslisnet) straumnet.
- FLOW PATTERN - straumlag.
- FLOW VELOCITY - straumhraði.
- FLUID MECHANICS - straumfræði. Sú grein vísinda sem fæst við hreyfingu í vökvum, streymi og öldugang.
- FLUVIAL - myndaður af fallvatni, vatna-, straumvatns-, fleyti-.
- GLACIOFLUVIAL (FLUVIOGLACIAL) -myndaður af jökulvatni, jökulvatna-.
- FLUX - flæði. Rennsli um ákveðið þversnið.
- FORD - brot í á. Grynningar í á sem valda hraðstreymi. Oft heppileg sem vöð. Brot - ford er hæpin þýðing.
- FUMAROLE - gufuhver, gufuauga. Hver sem mestmegnis gýs gufu. Op sem gufa stígur úr.
- GAUGING STATION - vatnshæðarmælistöð.
- GEOHYDROLOGY (SUBTERRANIAN HYDROLOGY) - jarðvatnsfræði, (grunnvatnsfræði). Vatnafar jarðvatns.
- GEOHERMAL - jarðhita-, jarðvarma-.
- GEOHERMAL AREA - jarðhitasvæði. Svæði þar sem heitt vatn kemur upp á yfirborðið.
- LOW TEMPERATURE AREA - lághitasvæði. Botnhiti jarðhita-kerfisins <150°C.
- HIGH TEMPERATURE AREA - háhitasvæði. Botnhiti jarðhita-kerfisins >150°C.
- GEOHERMAL FLUID - jarðhitavökvi. Heitt grunnvatn eða jarðsjór með miklu af uppleystum efnun.
- GEOHERMAL GRADIENT - jarðhitastigull.
- GEYSER - goshver. Hver sem gýs vatnsstrók í loft upp.
- GHYBEN -HERZBERG LAW - formúla um þykkt ferskrar jarðvatns-linsu fljótandi á sjó.

$$hs = \frac{pf}{ps - pf} hf$$



GHYBEN - HERZBERG LENS - ferskvatnslinsa á jarðsjó.

GLACIAL RIVER (GLACIER STREAM) - jökulá, jökulsá. Á með upptök í og undir jökli. Sjá: STREAM.

GLACIER - jökull.

ALP GLACIER - alpajökull, daljökull.

CIRQUE GLACIER - skálar- (botn) jökull.

COLD GLACIER - gaddjökull.

ROCK GLACIER - þelaurð.

TEMPERATE GLACIER - tempraður jökull, þíðjökull.

ICE FALL - falljökull.

GLACIER BURST (GLACIER FLOOD) - jökulhlaup. Skyndilegt vatns-
hlaup úr jökulstífluðu lóni eða vatnsgeymi undir
jökli.

GRAVITATIONAL WATER - sigvatn. Vatn á leið frá yfirborði til
grunnvatnsborðs.

GROUNDWATER - jarðvatn. Vatn og raki undir yfirborði þurrlendis
jarðar. Sjá: SUB-SURFACE WATER.

Grunnvatn. Jarðvatn undir grunnvatnsborði. Vatn
undir vatnþrýstingi í holum og glufum jarðlaganna.

GROUNDWATER DIVIDE - grunnvatnsskil. Skil í jörðu hvar grunn-
vatn greinist til tveggja átta. Grunn-
vatnsskil geta verið breytileg eftir
árstíðum. Sjá: BELT OF FLUCTION.

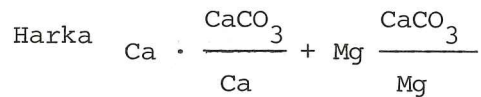
GROUNDWATER HYDROLOGY - jarðvatnsfræði. Vatnafar jarðvatns.
Sjá: GEOHYDROLOGY.

GROUNDWATER RESERVOIR - grunnvatnsgeymir. Jarðlög sem inni-
halda mikið grunnvatn. Orðið er víð-
tækara en veitir (aquifer). Grunn-
vatnsgeymir getur verið samsettur úr
einum eða fleiri veitum.

GROUNDWATER STORAGE - grunnvatnsforði. Nýtanlegur vatns-
forði í ákveðnum jarðlögum (veiti).
Sjá: COEFFICIENT OF STORAGE.

GROUNDWATER SURFACE, GROUNDWATER LEVEL, GROUNDWATER TABLE-
grunnvatnsborð, grunnvatnsflötur. yfirborð grunnvatnsins.
Sjá: SUB-SURFACE WATER.

HARDNESS (OF WATER) - harka (vatns). Magn uppleysts kalks
ákveður hörku vatnsins. Ein hörkugráða er
110 ppm CaO. MgO gefur einnig hörku.



HEAVY WATER - þungt vatn (D_2O). Vatn þar sem tvívetni situr í stað vetnis í vatnssameindinni.

HIGHTEMPERATURE AREA - háhitasvæði. Sjá GEOTHERMAL AREA.

HYDRAULICS - straumfræði (tæknileg straumfræði). Sú grein vatnafræði eða verkfræði sem fæst við streymi í vatni eða vökvum hvort heldur sem er í ám, skurðum, pípum eða neðanjarðar, Sjá FLUID MECHANICS.

HYDROBIOLOGY - vatnalíffræði.

HYDROGEOLOGY - vatnajarðfræði. Jarðfræði sem lýtur að hegðun vatna.

HYDROGRAPH - vatnsrit, vatnslínurit. Línurit sem sýnir vatns-hæð á móti tíma.

THE HYDROLOGIC CYCLE - vatnafarshringurinn, vatnshringrásin. Sjá kápumynd.

HYDROLOGICAL CONDITIONS - vatnafar. Almennir eiginleikar og hegðun vatns (ekki sjávar), bæði yfirborðs og jarðvatns.

HYDROLOGY - vatnafræði. Hérlandis er orðið mest notað um yfirborðsvatnafræði.

HYDROLOGIST - vatnafræðingur.

HYDROMETRY - vatnamælingar. Straum og rennslismælingar á fallvötnum. Kortlagning stöðuvatna og fallvatna. Mælingar á yfirborðsveiflum vatna og grunnvatns.

ICE DAMMED LAKE - jökullón. Lón sem stíflast hefur uppi af jökli en hverfur eða minnkar mjög þegar jökullinn bráðnar burt.

IMPERMEABLE (IMPREVIOUS) - þéttur (vatnsþéttur).

INTERCRYSTALLINE - millisteindarými.

INTERCRYSTALLINE WATER - millisteindavatn.

INTERMITTENT STREAM - árstíðabundið fallvatn (þornar upp á þurrum árstíma). Sjá: STREAM.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROLOGISTS-IAH - alþjóða-samband vatnafræðinga.

INTERNATIONAL HYDROLOGICAL DECADE, IHD - alþjóða vatnafræði-áratugurinn. Árin 1965 - 1975 var gert alþjóða átak í vatnafræðirannsóknnum að tilhlutan UNESCO.

INTRINSIC PERMEABILITY. Sjá: SPECIFIC PERMEABILITY.

JACOBS EQUATION - Jacobs jafnan. Jafnan er leidd út frá Theis jöfnu og bætt í hana leiðréttingarlið fyrir iðustreymi sem myndast í nágrenni t.d. borholu og veldur truflunum á vatnsrennsli til hennar.

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25 Tt}{T^2 S} \quad (\text{Sjá Theis jöfnu}).$$

JET FLOW - strengur. Hraðstreymi í á.

JUVENILE - ungur, nýr. Í jarð- og vatnafræðum er orðið mest notað um vatn og gastegundir sem koma til yfirborðs í fyrsta sinn úriðrum jarðar.

JUVENILE WATER - nývatn, iðravatn. Vatn komið úr iðrum jarðar og tekur í fyrsta sinn þátt í vatnafarshringnum.

JUVENILE GAS - nýgas, iðragas. Gas og loftteg. nýkomnar úr iðrum jarðar.

LACUSTRINE - stöðuvatna-.

LACUSTRINE SEDIMENT - stöðuvatnaset.

LAKE - stöðuvatn

GLACIER ERODED LAKE - jökulrofsvatn.

KETTEL LAKE - jökulker.

GLACIER FORMED LAKES - GLACIER MARGINAL L. (PROGLACIAL L.) -
Jökulmynduð vötn jökultunguvatn, sporðalón.

GLACIER MARGINAL L. (LATERAL L.) - jökul-
lón, jaðarlón.

GLACIER SURFACE L. - lón á jökulyfirborði.

CRATER L. (MAAR) - sprengigígsvatn.

ERUPTIVE LAKES - DAM OF ERUPTIVES - gosefna stíflað vatn (hraun-
Jarðeldavötn stíflur, móbergsstíflur).

CALDERA L. - öskjuvatn.

FAULT L. - misgengisvatn.

TECTONIC LAKES - OROGENE L. - fellingavatn.

Höggunarvötn ISOSTATIC L. - flotvægisvatn.

LANDSLIDE DAM - skriðvatn.

MISCELLANEONS LAKES - ALLUVIAL L. - framburðarstífla.

Ýmis vötn COSTAL LAGOON - sjávarlón.

OX - BOW L. - bjúgvatn.

ASTROBLEME L. - loftsteina-, víghnattarvatn.

LAMINAR FLOW - lagstreymi. Vökvastreymi án iðukasta.

LIMNOLOGY - ferskvatnsfræði. Sú grein vísinda, sem fæst við rannsóknir á fersku vatni, sérstaklega stöðuvötnum og tjörnum.

LOAD - aurburður. Aurburður vatnsfalls, bæði grugg og botnskrið. Sjá: SEDIMENT LOAD.

- LOW TEMPERATURE AREA - lághitasvæði. Sjá: GEOTHERMAL AREA.
- MAIN STREAM - aðalvatnsfall. Aðalvatnsfall fellur til sjávar.
Sjá: TRIBUTARY STREAM.
- MASS FLUX - straumpungi. $\frac{\text{kg}}{\text{km}^2 \text{ sek}}$ Það efnismagn sem streymir um ákveðið þversmið á tímaeiningu.
- MEANDER - árbugða. (kennt við ána Maiandros (nú Meanderes) í Tyrklandi).
- MEANDERING-STREAM - bugða, svigða. Bugðótt á, á sléttlendi
- METEORIC WATER - regnvatn. Sjá: CONNATE WATER, JUNENILE W..
- MINERAL SPRING - lind með efnaríku vatni (>1000 ppm uppleyst efni).
- MINERAL WATER - efnaríkt vatn (>1000 ppm uppleyst efni).
- SODA SPRING - ölkeiða, lind með það koltvísýringssríku vatni að það finnst á bragði.
- OX-BOW LAKE (MORTLAKE, BILLABONG, BAYOU) - bjúgvatn.
Sveigmyndað vatn í gamalli árbugðu sem áin hefur yfirgefið. Sjá: MEANDERING STREAM.
- PELLICULAR WATER, FILM WATER - hjúpvatn. Það vatn sem loðir við korn eða vegg þess efnis sem það streymir um.
- PERCHED WATER - villuvatn, falskt grunnvatn. Vatn sem einhverra hluta vegna safnast fyrir í jörðu ofan raunverulegs grunnvatnsborðs.
- PERCHED WATER TABLE - falskt grunnvatnsborð. P. Spring, P. Pond.
- PERCOLATION - sig. Hreyfing vatns undan þrýstingi um jarðlög.
Mest notað um heyfingu vatns gegnum jarðrakasvæðið.
- PERENNIAL - sírennandi. Vatnsfall sem aldrei þornar.
- PERMAFROST - sífreri. Ís sem helst í jörðu árið um kring.
- PERMEABILITY - lekt, m/sek. (gegndræpi vatnsgengd, gagnfærni).
Hæfni gropins efnis til að leiða vökva.
- COEFFICIENT OF PERMEABILITY - lektarstuðull = K. $K = \frac{Q}{A} \frac{L}{H}$
Stuðull er háður eiginleikum leiðarans (bergsins) og vökvans (þ.e. segju hans).
- PERMEABILITY TEST - lektarprófun.
- PERMEABLE - lekur (vatnsgengur, gagnfær, gegndræpur).
- PERMEABLE FORMATION - lekur myndun.
- PERVIOUS - glufóttur, lekur. Berg er glufótt þegar gropa þess stafar af glufum svo sem sprungum, gropnum laga-mótum, gjám.
- PHREATIC DIVIDE - grunnvatnsskil. Sjá: GROUNDWATER DIVIDE.

PHREATIC WATER - grunnvatn. Vatn neðan grunnvatnsborðs.
Sjá: GROUNDWATER.

PIEZOMETRIC SURFACE - þrýstivatnsborð. Ímyndað grunnvatnsborð
lokaðs veitinn (aquifers). Þetta yfir-
borð kemur fram þegar borað er í veitinn
og vatnið í honum stígur upp í borholuna.

PORE - póra, hola-blaðra, glufa. Allt holrými í bergi.

PORE-VOLUME- pórurúmmál, rúmmál holrýmisins. Póruhluti
(porosity)

$$P = \frac{v_1 - v_2}{v_1}$$

P = póruhluti

v_1 = heildarrúmmál

v_2 = bergrúmmál

póruhlutfall (void ratio)

$$e = \frac{v_1 - v_2}{v_2}$$

pórutala = fjöldi póra í rúmmáls- eða flatar-
einingu bergs.

POROUS - gropinn (gleypur, gljúpur, poróttur).

POROSITY - groppa (gleypni, póruhluti). $n = \frac{V}{V_0}$

n = groppa

V = rúmmál holrýmis

V_0 = heildarrúmmál

PRIMARY POROSITY - blöðru og millisteindarými.

SECONDARY POROSITY - sprungurými, glufurými.

EFFECTIVE (PRACTICAL) POROSITY - virk (nýtanleg)
groppla. Sú groppa sem ræður vatnsgæfninni

Sjá: SPECIFIC YIELD.

POTAMIC - fljótandi.

POTAMOLGY - fallvatnafræði.

POTHOLE - skessuketill. Katlar sem sorfist hafa í berg vegna
iðustreymis í nánd við fossa og flúðir.

PUMPING TEST - dæluprófun.

RAPIDS (CASCADES) - flúðir. Hvítfyssandi hraðstreymi í á
eða óreglulegir smáfossar.

REGRESSION - afflæði. Brotthvarf grunnsævis af landi vegna
landriss eða sjávarborðshækkunar. Sjá: TRANSGRESSION.

REYNOLDS NUMBER - Reynolds tala, N_r (einingarlaua stuðull).

$$N_r = \frac{pvd}{M}$$

P = eðlisþungi vökva

v = hraði

d = þvermál pípu

M = seigja vökva

Reynolds tala er notuð til að finna mörkin milli yðustreymis og lagstreymis í vökva.

RUNOFF - afrennsli. Afrennsli mælist í vökvamagni á tímaeiningu t.d. $l \cdot \text{sek}^{-1}$

TOTAL RUNOFF = surface runoff + groundwater runoff (base runoff). Heildarafrennsli = yfirborðs-afrennsli + grunnvatnsafrennsli.

SALT WATER INTRUSTION - saltvatnsinnskot. Salt vatn í jarðlögum annað hvort ættað beint úr sjó eða grunnvatn sem hefur farið um og leyst upp saltlög í jörðu.

SEDIMENT LOAD - aurburður. Framburðarmagn fallvatns, grugg+botnskrið.

SUSPENDED LOAD (TURBIDITY) - grugg (svifaur).

BED LOAD - botnskrið.

SINK HOLE, "PONOR" - svelgur, niðurfall. Staður, þar sem vatnsfall eða hluti þess hverfur undir yfirborð jarðar.

SNOW LINE (DRY SNOW LINE) - snjólína. Ofan línunnar á engin bráðnun sér stað árið um kring. Sjá: EQUILIBRIUM LINE.

SODA SPRING - ölkelda.

SOIL-WATER (SOIL MOISTURE) - jarðraki, jarðvegsraki. Jarðvatn yfir grunnvatnsborði. Sjá: SUB-SURFACE WATER.

SOLFATARA (MUD SPRING) - leirhver.

SPECIFIC (INTRINSIC) PERMEABILITY - raunlekt, raunlektin er eingöngu háð gerð leiðarans. Gerð vökvans er henni óviðkomandi.

$$k = Cd^2$$

C = einingarlaus stuðull háður lögun rennslisbrautar.

d = meðalþvermál rennslisbrautar.

SPECIFIC TRANSMISSIVITY - raunleiðni, "vatnsleiðnigetþykkt"

= kb. k = raunlekt

b = þykkt veitis.

SPECIFIC YIELD - vatnsgæfni. Sjá: SPECIFIC RETENTION.

SPECIFIC RETENTION - vatnsheldni. GROPPA = vatnsgæfni + vatnsheldni (einingar oftast rúmmálshlutföll eða prósentur).

Þessi hugtök eru notuð um það vatn sem þyngdaraflið eitt nær og nær ekki úr vatnsmettuðu efni.

SPRING - lind (uppspretta). Staður þar sem vatn sprettur sjálfkrafa úr jörðu.

SPRING GROUP - lindasvæði, lindaklassi. Lindaklassi úr ákveðnum veiti (aquifer).

SPRING THAW - vorleysing.

SPRINGFED RIVER - lindá. Á sem mestmegnis nærast á lindavatni.

Slíkar ár hafa jafnt rennsli árið um kring. (Íslensk nafngift).
Sjá: STREAM.

STEP-DRAW DOWN TEST - þrepaðaling. Dæluþrófun þar sem könnuð eru áhrif sívaxandi dælingar á grunnvatnsborð.

STOKES FORMULAE - Stokes lögmál. Jafna um sökkhraða kúlu í vökva.

$$x = \left(\frac{n \cdot h}{(8k-8v)t} \right)^{1/2}$$

x = kornastærðin (mm), t = settími (mín).

n = seigja vökvans (poise).

h = fallhæð í setflösku (cm).

k = eðlisþungi korna.

v = eðlisþungi vökva.

STORAGE COEFFICIENT (S) - forðastuðull, geymslustuðull (einingarlaus stuðull). Það vatnsmagn sem veitir getur gefið afsér(eða drukkið í sig) á rúmmáls-einingu. Í opnum veitum er þessi stuðull nánast jafn vatnsgæfninni. Í lokuðum veitum er S háður tveimur fjaðurstuðlum fyrir þjöppun bergs og þjöppun vatns.

STREAM - fallvatn, vatnsfall. Classification of streams:
Internationa:

1. Ephemeral str. = Stopul á, affall úrkomu eða leysinga.
2. Intermittent str. = Árstíðabundin á.
3. Perennial str. = Sírennandi á.

Icelandic:

1. Direct runoff stream = Dragá.
2. Spring fed stream = Lindá.
3. Glacial stream = Jökulá.

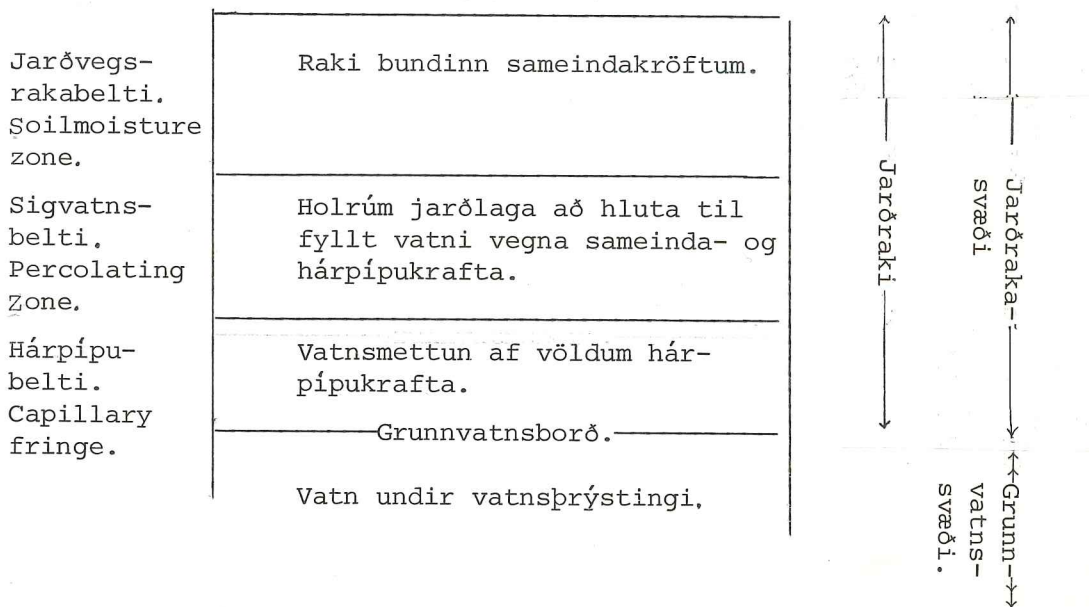
STREAM LINE - straumlína.

STRUCTURAL WATER - krystalvatn, efnabundið vatn. Vatn sem bundið er í kristalla bergs, t.d. í zeolita.

SUBMERGENCE - kaffæring.

SUB-SURFACE WATER (GROUNDWATER, SUBTERRANIAN WATER) - jarðvatn.
Vatn og raki undir yfirborði þurrlendis jarðar.

Lagskipting jarðvatnsins.



SURFACE WATER - vatn, yfirborðsvatn. Fallvötn og stöðuvötn.

SUSPENDED LOAD (TURBIDITY) - grugg (svifaur).
Sjá: SEDIMENT LOAD, LOAD.

SUSPENDED WATER, WADOSE WATER - jarðraki.

TERRACE - hjalli (setlaga hjalli).

RIVER TERRACE, RIVER BENCH - árhjalli.

RAISED BEACH - sjávarhjalli, marbakki.

CHAME TERRACE - jökulhjalli.

THEIS EQUATION - Theis jafnan.

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

h_0 = vatnsborð (þrýstingshæð) fyrir dælingu.

h = vatnsb. (þr.hæð) við tímann t eftir að dæling hófst

Q = rennsli úr borholu.

$T = kb^2$ leiðnistuðull, b = þykkt .

$U = \frac{r^2 S}{4Tt}$ v = fjarlægð frá borholu.
 S = geymslustuðull.

Jafnan sýndi sambandið milli niðurdráttar í borholu annars vegar og rennslis, lektar og geymslu hins vegar.

THERMAL SPRING - volgra, laug, hver (vatnshver). Lind með volgu eða heitu vatni.

THERMOMINERAL SPRING - heit efnarík lind: (>1000.ppm uppleyst efni).

TRANSGRESSION - áflæði. Innstreymi sjávar yfir landsvæði vegna landsigs eða sjávarborðshækkunar.
sjá: REGRESSION.

TRANSMISSIVITY, TRANSMISSIBILITY - leiðni, eining m^2 / sek.

COEFFICIENT OF TRANSMISSIVITY - leiðnistuðull,

$T = bk$

b = þykkt veitis.

k = lektarstuðull.

TRANSPIRATION - útgufun. Uppgufun vatns úr gróðri.

Sjá: EVAPORATION, EVAPOTRANSPIRATION.

TRAVERTIN - lindakalk. Kalk sem fellur út í kringum lindir með kalkríku vatni. Hérlandis myndast það aðeins við hverir og laugar.

TRIBUTARY STREAM - Þverá. Á sem fellur í aðalvatnsfall eða æðri þverá. Sjá: MAIN STREAM.

TRIBUTARY STREAM OF FIRST ORDER - 1. þverá; fellur í aðalvatnsfall
2. þverá fellur í 1. þverá o.s.frv.

TSUNAMI - flóðbylgja af völdum jarðskjálfta og/eða eldsumbrota

TURBIDITY-grugg, svifaur.

TURBULENCE (SPIRALFLOW) - iða. Hringstreymi, iðuköst og hvirflar
í vökvum eða lofttegundum.

TURBULENT FLOW - iðustraumur, iðustreymi. Vökvastreymi með iðu-
köstum. Sjá: LAMINAR FLOW.

VADOSE WATER - jarðraki. Sjá: SOIL WATER

VORTEX - hringiða. Sjá: TURBULENCE.

WARM SPRING - laug. Heit lind með góðum baðvatnshita ($\approx 20-50^\circ\text{C}$).

Volgra - volg lind undir baðvatnshita ($\approx 10-20^\circ\text{C}$).

WATER BALANCE - vatnsjöfnuður. Vatnsjöfnuður = úrkoma + raungufun.

WATER DISCHARGE - rennsli. Notað um fánlegt vatnsmagn úr lindum
og borholum.

WATER DIVIDE, WATERSHED - vatnaskil. Frá vatnaskilum rennur vatn
til beggja átta. Sjá: GROUND-WATER DIVIDE.
og SURFACE-WATER DIVIDE.

WATERFALL - foss. Flokkun Íslenskra fossa.

Höggunarf. sprungufoss
misgengisfoss

Rofsf. árrofsfoss
brimrofsfoss
jökulrofsfoss

Stífluf. hraunfoss
skirðufoss
urðarfoss

WATERFALLS CREST - fossberi. Hart berglag (eða jarðlag) sem
ber uppi foss.

WATERSHED LEAKAGE - grunnvatnsstreymi undir vatnaskil.

WINTER THAW - vetrarhláka.

REFERENCES

- Annels, Richard Newton 1968: A geological investigation of a Tertiary intrusive centre in the Víðidalur-Vatnsdalur area, North Iceland. Univ. of StAndrews 1968.
- Árnason, Bragi 1976: Groundwater Systems in Iceland. Soc. Sci. Ísl. XLII. Reykjavík 1976.
- Arnórsson, Stefán 1973: Uppleyst efni í heitu vatni. OS-JHD 7317 NEA Reykjavík 1973.
- 1974: The composition of thermal fluids in Iceland and geological features related to the thermal activity. Geodynamics in Iceland and the North Atlantic area. Ed. L. Kristjánsson, D. Reidel publishing Company, Dordrecht-Holland.
- Bauer, A. 1955: Contribution a la connaissance du Vatnajökull Islande. Jökull 5, 11-22.
- Benjamínsson, Jón 1977: Communications.
- Björnsson, Axel, Kristján Sæmundsson 1975: Jarðhiti í nágrenni Akureyrar. OS-JHD 7557. NEA Reykjavík 1975.
- Einarsson, Markús Á. 1972: Evaporation and Potential Evapotranspiration in Iceland. The Icelandic Meteorological Office. Reykjavík 1972.
- Einarsson, Markús Á. 1976: Veðurfar á Íslandi. Iðunn, Reykjavík 1976.
- Einarsson, Trausti 1942: Über das Wesen heißen Quellen Islands. Mit einer übersicht über die Tektonik des mittleren Nordislands. Soc. Si. Isl. No. 26.
- 1956: On the nature of thermal activity. Tímarit VFÍ 1966 Vol 51 p. 23-32.
- 1972: Eðlisþættir jarðarinnar og jarðsaga Íslands. 267 p. Almenna bókafélagið Reykjavík 1972.

Einarsson, Þorleifur 1968: Jarðfræði. Saga bergs og lands. Mál og Menning. Reykjavík 1968.

Eliasson, Jónas, Sigurður St. Arnals, Snorri P. Kjaran 1977: Svartsengi. Straumfræðileg rannsókn á jarðhitasvæði. OS-ROD 7718 NEA Reykjavík 1977.

Everts, Peter 1975: Die Geologi von Skagi und der Ost-Küste des Skagafjörð (Nord-Island). Wilhelm Stollfuss Verlag, Bonn 1975.

Fournier, F. 1972: Aspect of soil conservation in different climatic and pedologic regions of Europe. Council of Europe. Nature and Environment Series 5. 1972.

Friðleifsson, Ingvar Birgir 1975: Applied volcanology in geothermal exploration in Iceland. OS-JHD 7732. NEA. Reykjavík 1977.

Friðleifsson, Ingvar Birgir 1975: Lithology and structure of geothermal reservoir in Iceland. Second UN geothermal symposium proceedings, Lawrence Berkley Lab. Univ. of California, p. 371-376 NEA Reykjavík 1975.

Geodætisk Institut : Uppdráttur Íslands 1:250.000 Maps 1-9. Iceland Geodetic Survey 1969.

Gíslason, Gestur 1974: Neysluvatnsrannsókn fyrir Grundarfjörð OS-JKD 7408, NEA, Reykjavík 1974.

Gibson, I.L., DJJ. Kinsman: GPL. Walker 1966: Geology of the Fáskrúðsfjörður Area, Eastern Iceland. Soc. Sci. Isl. IV 1966.

Hjartarson, Árni, Þórólfur Hafstað 1977: Mosfellshreppur. Lindarmælingar og jarðfræði. OS-JKD-7702. NEA Reykjavík 1977.

Hannesdóttir, Laufey 1972: Héraðsvötn, Eystri- og Vestari Jökulsá. NEA Reykjavík 1972.

--- 1976: Vestfjarðavirkjanir. Glámusvæði, jarðfræði stíflustæða og vatnafræði. OS-ROD 7636 NEA Reykjavík 1976.

Jakobsson, Sveinn 1977: Geological Map of Iceland. Sheet 6 revised (Unpublished).

Jóhannesson, Björn 1960: The Soils of Iceland. Univ. Res. Inst. Reykjavík 1960.

Jóhannesson, Haukur 1977: Communication.

Jóhannsson, Bergþór, Hörður Kristinsson, Jóhann Pálsson 1972. Skýrsla um grasfræðirannsóknir í Þjórsárverum. Reykjavík 1972.

Jónasson, Björn 1974: Skaftárvæði, jarðfræðiskýrsla. B.sc. essay University of Iceland.

Jónsson, Jón 1961: Jarðhiti. In Náttúra Íslands. Almenna bókafélagið. Reykjavík 1961.

--- 1974: Sléttafellshverir P.53-55. Tyli 4. 1974 Akureyri.

Kaldal, Ingibjörg 1976: Kvartærgeologiske undersøkelser i området nord og nordøst for Hofsjökull Nord-Island. Hovedfagsoppgave i kvartærgeologi og geomorfologi ved Universitetet i Bergen 1-92.

Karrenberg, H: Hydrogeologische Karte von Europe. Bundesanstalt für Bodenforschung - Unesco Hannover 1974.

Kjartansson, Guðmundur 1943: Árnesingasaga p.1-250 Árnesingafélagið í Reykjavík 1943.

--- 1945: Vatnsfallstegundir, Náttúrufræðingurinn 15. árg. Reykjavík p 113-126.

--- 1960-1969: Geological map of Iceland sheet 1, 2, 3, 5, 6, Menningarsjóður. Reykjavík 1960-1969.

Kristánsson, Leó 1976: A marine magnetic survey off southern Iceland. Marine Geophysical Researches 2 (1976) 315-326.

Líndal, Jakob H. 1964: Með huga og hamri. Bókaútgáfa Menningarsjóðs Reykjavík 1965.

Morgan, W.J. 1968: Rises, Trenches, Great Faults, and Crustal Blocks. Journ. of Geoph. Research v. 73, p.1959-1982, 1968.

National Energy Authority - Hydrological Survey 1969. Vatnasvið Íslands (Iceland's Drainage Net). Reykjavík 1969.

Orkustofnun, Orkumál 1976 NEA Reykjavík 1976.

" " 1977 NEA Reykjavík 1977.

Pálmason, Guðmundur 1973: Kinematics and heat flow in a volcanic rift zone with application to Iceland. Geoph. Jour. of the Royal Astron. Soc. v 33, p 451.

Le Pichon, X. Sea-floor Spreading and Continental Drift. Journ. of Geoph. Research v. 73, p. 3661-3697, 1968.

Rist, Sigurjón 1956: Íslensk vötn (Icelandic fresh waters). Raforkumálástjóri, Vatnamælingar, Reykjavík 1956.

--- 1964: Overflathydrology. Den 4. Nord. Hydrol. Konf. Bind 1 Reykjavík.

--- et. al. 1968: Rennslimælingar 1947-1966. NEA Reykjavík 1968.

Schunke, E. 1973: Palsen und Kryokarst in Zentral-Island. Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen. II Mat. Phy. Klasse, Heft 4.

Sigbjarnarson, Guttormur 1967: The Changing Level of Hagavatn and Glacial Recession in this Century. Jökull 17, 263-279, 1967.

--- Jónas Eliásson, Guðmundur Vigfússon 1970: Athuganir á aðrennsli Þórisvatns NEA Reykjavík 1970.

--- 1970: On the Recession of Vatnajökull. Jökull 20, 50-61, 1970.

--- : Hydrogeological Map of Þórisvatn Area.

---, Laufey Hannesdóttir, Björn Erlendsson 1971: Mælingar á aðrennsli Jökulsár á Brú og Jökulsár á Fjöllum í ágúst 1971. NEA Reykjavík 1971.

---, Björn Erlendsson 1972: Mælingar á aðrennsli Tungnaár og Skaftár 1972. NEA Reykjavík 1972.

---, Kristinn Albertsson, Kristinn Einarsson: Krepputunga og Brúardalir. (In print).

Sigfúsdóttir, Adda Bára 1965: Nedbør og Temperatur i Island. Den 4. Nord. Hydrol. Konf. Bind 1. Reykjavík 1965.

Sigurðsson, Freysteinn 1976: Straumsvíkursvæði. OS-JKD 7603. NEA Reykjavík 1976.

--- Snorri P. Snorrason 1977: Hitaveita Suðurnesja, ferskvatnsrannsóknir. Affallsrannsóknir, sept. 1976-sept. 1977. OS-JKD 7715. NEA Reykjavík 1977.

--- 1977: Hitaveita Suðurnesja, ferskvatnsrannsóknir. Hita og seltumælingar 1975-1977 OS-JKD 7716 NEA Reykjavík 1977.

Sigurðsson, Haraldur 1966: Geology of the Setberg Area, Snæfellsnes, Western Iceland. Soc. Sci. Isl. 1966.

Stefánsson, V. Lúðvík S. Georgsson, Rúnar Sigfússon 1976: Rafleiðni-
mælingar í Eldvörðum og Svartsengi OS JHD 7639 NEA, report.

Sæmundsson, Kristján 1969: Interglacial Lava Flows in the Lowlands of Southern Iceland and the Problem of Two-Tiered Columnar jointing. Jökull 20, 62-77 1969.

---, 1972: Jarðfræði- og jarðhitaathuganir í Vopnafirði sumarið 1972. NEA Reykjavík 1972.

---, 1972: Jarðfræðiglefsur um Torfajökulssvæði. Náttúrufraeðingurinn 45, 81-99, 1972.

---, 1974: Evolution of the Axial Rifting zone in Northern Iceland and the Tjörnes Fracture Zone. Geol. Soc. Am. Bull. 85, 495-504. April 1972.

---, 1977: International Geol. Map of Europe and the Mediterranean Regions 1:1.500.000. Sheets A1 and B1. Bundelsanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe and UNESCO. Hannover 1977.

Tómasson, Haukur, Elsa G. Vilmundardóttir, Birgir Jónsson 1970: Þórisvatn geological report. NEA Reykjavík 1970.

Tómasson, Haukur 1974: Grímsvatnahlaup 1972, Mechanism and Sediment discharge. Jökull 24, 27-39, 1974.

UNESCO 1970: International legend for hydrogeological map. Icelandic translation by Kristinn Einarsson. NEA Reykjavík 1970.

Víkingsson, Skúli 1976: Kvartærgeologiske undersøkelser i sørligere deler av Skagafjörd-distriktet, Nord-Island. Hovedfagsoppgave i kvartær geologi og geomorfologi ved Universitetet i Bergen 1-111.

Þórarinnsson, Freyr, Freysteinn Sigurðsson, Guttormur Sigbjarnarson 1976. Hitaveita Suðurnesja. Ferskvatnsrannsóknir. Framvinduskýrsla OS-JKD 7609 NEA Reykjavík 1976.

Þórarinnsson, Sigurður 1974: Vötnin Stríð, saga Skeiðarárhlaupa og Grímsvatnagosa 254 p. Bókaútgáfa Menningarsjóðs Reykjavík 1974.

--- 1952. Notes patterned ground in Iceland with particular reference to the Icelandic flás. Geografiska Annaler 1952 p 144-156.

Þorsteinsson, Þorsteinsson 1975: The redevelopment of the Reykir hydrothermal system in S.W. Iceland. OS-JHD 7535 NEA Reykjavík 1975.

