



Magnstaða grunnvatns Tillaga um aðferðafræðilega nálgun

Davíð Egilson, Jón Guðmundsson, Tinna Þórarinsdóttir
og Gerður Stefánsdóttir

Magnstaða grunnvatns Tillaga um aðferðafræðilega nálgun

Davíð Egilson, Veðurstofu Íslands
Jón Guðmundsson, Landbúnaðarháskóla Íslands
Tinna Þórarinsdóttir, Veðurstofu Íslands
Gerður Stefánsdóttir, Veðurstofu Íslands

Skýrsla nr. VÍ 2019-012	Dags. Desember 2019	ISSN 1670-8261	Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/> Skilmálar:
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Magnstaða grunnvatns Tillaga um aðferðafræðilega nálgun		Upplag: 10 Fjöldi síðna: 61 Framkvæmdastjóri sviðs: Jórunn Harðardóttir	
Höfundar: Davíð Egilson, Jón Guðmundsson, Tinna Þórarinsdóttir og Gerður Stefánsdóttir		Verkefnisstjóri: Gerður Stefánsdóttir Verknúmer: 4605-414	
Gerð skýrslu/verkstig:		Málsnúmer: 2018-0344	
Unnið fyrir: Umhverfisstofnun			
Samvinnuaðilar: Landbúnaðarháskóli Íslands			
Útdráttur: Hér á landi er grunnvatn langstærsti hluti neysluvatns hvort sem það er til drykkjar eða matvælaframleiðslu. Auk þess er grunnvatn undirstaða mikilvægra vistkerfa og einn af grunnþáttum stöðugleika í orkuframleiðslu vatnsaflsvirkjana. Grunnvatn er því mikilvæg auðlind hér á landi og nauðsynlegt að tryggja gæði þess og aðgengi. Skýrslu þessari er ætlað að meta magnstöðu er varðar kalt grunnvatn, hvernig best er að nálgast mat á ástandi grunnvatns og hvort og þá hvaða svæðum þarf að fylgjast með ítarlegri hætti. Þessi vinna tengist setningu laga um stjórn vatnamála (36/2011) og reglugerðum sem lögunum fylgja. Markmið laganna er að vernda vatn og vistkerfi þess, hindra rýrnum vatnsgæða og tryggja sjálfbæra nýtingu vatnsauðlindarinnar. Laga- og reglugerðarramminn segir til um stjórnábylgju fyrirkomulag, flokkun vatnshlota, álagsgreiningu og vöktun, og dregur fram almennar meginlínur um aðferðafræðilega nálgun. Í skýrslunni er lögð til aðferðafræði sem gefur yfirsýn um þá þætti sem skoða þarf til þess að tryggja til lengri tíma góða magnstöðu kalds grunnvatns á Íslandi. Aðferðafræðin byggir á hugtakalíkönnum þar sem í upphafi er lagt upp með einföld líkön sem byggjast á fyrirliggjandi þekkingu og mati á magnstöðunni. Líkönin verða endurbætt með nýjum gögnum eftir því sem þekking á eðli og álagi á vatnshlotið eykst og uppfærð með nákvæmum grunnvatnslíkönnum þar sem álag er mikið.			
Lykilorð: Lög um stjórn vatnamála, grunnvatn, álagsgreining vatnshlota, magnstaða grunnvatns		Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs: 	
		Undirskrift verkefnisstjóra: 	
		Yfirfarið af: SG	

Efnisyfirlit

Myndaskrá.....	6
Töfluskrá	7
1 Inngangur.....	9
1.1 Tilgangur	9
1.2 Afmörkun verkefna 2019–2020.....	10
1.3 Uppbygging skýrslunnar.....	10
2 Vatnatilskipunin og innleiðing hennar.....	11
2.1 Lagaumhverfið	11
2.2 Skilgreiningar og afmörkun.....	11
2.3 Áhættumat og hugtakalíkön.....	13
3 Vatnsnotkun.....	15
3.1 Vatnstaka og grunnvatnshlot	15
3.2 Mögulegt álag vegna vatnstöku.....	19
4 Forsendur og framboð grunnvatns á Ísland	21
4.1 Úrkoma / ákoma	21
4.1.1 Úrkomudreifing og langtímasveiflur í veðurfari	22
4.1.2 Heildarafrennsli af landinu	24
4.2 Afrennslishættir	25
4.2.1 Megindrættir afrennslis af landinu	25
4.2.2 Vatnsheldni, írennsli og grunnvatn.....	27
4.2.3 Lekt og grop jarðlaga.....	29
4.3 Veitar í grunnvatnshlotum.....	30
4.3.1 Jarðgrunnsveitar	30
4.3.2 Berggrunnsveitar	33
5 Vatnsheldni og lekt grunnvatnshlota	36
5.1 Inngangur.....	36
5.2 Vatnsheldni jarðgrunns í grunnvatnshlotum.....	36
5.3 Lekt berggrunns í grunnvatnshlotum.....	38
5.4 Samverkandi áhrif vatnsheldni og berglektar	39
6 Skilgreining á góðri magnstöðu grunnvatns	41
7 Niðurstöður og tillaga að aðferðarfræði.....	42
7.1 Tillögur að flokkunarferlinu	42
7.1.1 Viðmið við mat á góðri magnstöðu	46
7.1.2 Örstutt fræðileg útlitun.....	47
7.2 Tillögur að verklagsreglum	48
7.3 Ábendingar um framhald.....	51
Pakkir.....	51

Heimildir	52
Viðauki A. Grunnvatnshlot – upptaka í l/s á km ² árið 2015	55
Viðauki B. Hugsanleg nálgun við skilgreiningu jarðhitahlota.....	58

Myndaskrá

Mynd 1. Vatnafarskort UNESCO	12
Mynd 2. Vatnsstjórnunarhringurinn.....	13
Mynd 3. Samverkun milli upphafslegs hugtakalíkans og vöktunar.....	14
Mynd 4. Rannsóknarferli við stýringu grunnvatnsnýtingar	15
Mynd 5. Tilkynnt upptaka úr grunnvatnshlotum árið 2015 í l/s á km ²	17
Mynd 6. Vatnstaka úr grunnvatnshlotum á Reykjanesi	18
Mynd 7. Einfaldað þversnið af grunnvatni við Suðurnes.	19
Mynd 8. Grunnvatnsholur sem eru sívaktaðar á Suðvesturlandi	20
Mynd 9. Þau landsvæði sem vatnafarslíkön með grunnvatni ná yfir	20
Mynd 10. Meðalúrkoma á landinu yfir árabilið 1981–2010	22
Mynd 11. Sterkasti þáttur veðurfars í úrkomumagni októbermánaðar 1958–1977.....	23
Mynd 12. Mánaðarúrkoma á SV og NA landi síðustu 50 ár. Fimm ára keðjumeðaltöl.....	23
Mynd 13. Grunnvatnshæð í borholum á SV landi og norðanlands.....	24
Mynd 14. Árleg ákoma á Ísland árabilið 1980–2016 samkvæmt Harmonie líkaninu	25
Mynd 15. Berggrunnur Íslands.	26
Mynd 16. Yfirborðsafrennsli og meginrættir í vatnajarðfræði landsins.....	26
Mynd 17. Myndræn framsetning af grunnvatnsrennsli í berggrunninum.	27
Mynd 18. Vatnsheldni íslensks jarðvegs.....	28
Mynd 19. Jarðvegshiti við mismunandi dýpi.....	28
Mynd 20. Grop íslenskra jarðefna.....	29
Mynd 21. Lekt íslenskra jarðlaga.....	30
Mynd 22. Einfölduð mynd af ýmsum jökulár- og jökulvatnsmyndunum.....	31
Mynd 23. Vatnstökustaðir fyrir Vopnafjörð eru í skriðu og áreyrum	31
Mynd 24. Jarðgrunnur á Íslandi og helstu staðir þar sem vatn er tekið	32
Mynd 25. Berggrunnur Íslands og helstu staðir þar sem vatn er tekið	33
Mynd 26. Myndun móbergshryggja við gos undir jökli.	35
Mynd 27. Vegið meðaltal vatnsheldni jarðvegs í grunnvatnshlotum.....	37
Mynd 28. Vegin meðalleiðni grunnvatnshlota.....	40
Mynd 29. Grunnvatnshlot þar sem saman fer mikil berglekt og lítil vatnsheldni jarðvegs.	40
Mynd 30. Lega helstu lindasvæða og þáttur grunnrennslis í mörgum stærstu vatnsföllum landsins.....	41
Mynd 31. Greiningarferli til að meta ástand grunnvatnshlota:	44
Mynd 32. Þættir sem hafa áhrif á írennsli.....	47
Mynd 33. Meginþættir er afmarka mat á magnstöðu vatns.	48
Mynd 34. Háhitasvæði á Íslandi	58
Mynd 35. Einfaldað þversnið af háhitasvæði.....	59

Mynd 36. Lághiti og ölkeldur á Íslandi	60
Mynd 37. Jarðhiti og landrek.....	61
Mynd 38. Stúlfært líkan af dæmigerðu lághitakerfi	61

Töfluskrá

Tafla 1. Árleg vatnsnotkun (l/s) skipt á notendur	16
Tafla 2. Árleg vatnsnotkun í fyrirtækjaflokkum (l/s)	16
Tafla 3. Dæmi um mat á flatarmáli ríkjandi jarðvegslókka í fjórum grunnvatnshlotum.	36
Tafla 4. Vatnsheldni jarðvegsgerða	37
Tafla 5. Dæmi um mat á flatarmáli hveurrar berggrunnseiningar í grunnvatnshloti.....	38
Tafla 6. Meðallekt mismunandi berggrunnsgerða	39
Tafla 7. Tillaga Veðurstofu Íslands að greiningarþáttum til að meta ástand magnstöðu grunnvatns.	45
Tafla 8. Stoðupplýsingar varðandi rennsli.....	49

1 Inngangur

1.1 Tilgangur

Markmið laga um stjórn vatnamála (36/2011) er að vernda vatn og vistkerfi þess, hindra rýrnum vatnsgæða og tryggja sjálfbæra nýtingu vatnsauðlindarinnar. Neysluvatn á Íslandi byggir að mestu á grunnvatni m.a. til neyslu og matvælaframleiðslu og er einn af grunnþáttum hvað varðar stöðugleika í orkuframleiðslu hér á landi. Grunnvatn er því mikilvæg auðlind hér á landi og nauðsynlegt að tryggja gæði þess og aðgengi. Í lögum um stjórn vatnamála er grunnvatn skilgreint sem: *vatn, kalt eða heitt, sem er neðan jarðar í samfelldu lagi, kyrrstætt eða rennandi, og fyllir að jafnaði allt samtengt holrúm í viðkomandi jarðlagi.*

Álag á vatn getur verið margþætt og er í lögum um stjórn vatnamála allt sem hefur áhrif á ástand og aðgengi vatnsins. Álag á kalt neysluvatn getur verið vegna ýmislegra efna- og eðlisfræðilegra þátta, nýtingar eða annara mannglegra áhrifa sem hafa áhrif á gæði s.s. álag vegna mengunar, inngripa og breytinga á aðstæðum vegna framkvæmda og vegna vatnstöku. Breytt vatnsstaða getur raskað gæðum vatnsins, t.d. orsakað það að sjór eða mengun fari inn í grunnvatnið, en einnig getur magn vatns verið takmarkandi fyrir þá notkun sem áætluð er.

Á Reykjanesi þar sem grunnvatn flýtur á jarðsjó getur breytt grunnvatnsstaða orsakað verulega röskun á gæðum vatnsins og sjór eða mengun borist í grunnvatnið ef ekki er vel staðið að málum (Davíð Egilson & Gerður Stefánsdóttir, 2014). Á Reykjanesi er einnig dæmi um mengað grunnvatn í kringum Keflavíkurlflugvöll (VERKÍS, 2018). Þá geta breytingar á farvegum vatnsfalla og uppi-stöðulón vegna virkjana einnig haft svæðisbundin áhrif á grunnvatnsstöðu.

Heildstæð og góð yfirsýn yfir eðli grunnvatnsveita, magntöku og mögulegt mengunarálág er nauðsynleg til þess að tryggja gæði og sjálfbærni auðlindarinnar.

Til þess að geta metið hvar vænta má álags á grunnvatn þarf að móta verklag sem afmarkar svæði sem vænta má að álag sé til staðar og þau svæði sem afar litlar líkur eru á að álag sé til staðar. Þetta verklag þarf að byggja á raunhæfri og faglegrri nálgun sem byggir á eiginleikum veitisins og ríkjandi álagi á hverjum stað og þannig mati á vægi vöktunar á þeim stöðum.

Skýrslu þessari er ætlað að meta ástand og aðstæður er varða kalt grunnvatn og hvernig best er að nálgast mat á ástandi grunnvatns og hvort og þá hvaða svæðum þarf að fylgjast með ítarlegri hætti. Ísland er 103.000 km². Íbúapéttleikinn er um 3,6 einstaklingar á km² og stærsti hluti byggðarinnar er við ströndina.

Lögð er til aðferðarfræði sem gefur yfirsýn yfir þá þætti sem skoða þarf til þess að tryggja góða magnstöðu kalds grunnvatns til lengri tíma. Í skýrslunni eru sett fram einföld greiningarverkfæri til að skilja annars vegar á milli þeirra vatnshlota þar sem tiltækar upplýsingar benda til að grunnvatnshlot séu ekki undir neinu álagi vegna vatnstöku og ekki þurfi að skoða sérstaklega, og hins vegar þeirra sem eru hugsanlega eða augljóslega undir álagi og þarfnast frekari skoðunar. Þar sem um er að ræða fyrstu nálgun eru settar fram frumhugmyndir að viðmiðunartölum varðandi slíka flokkun meðan aðrar upplýsingar eru ekki fyrir hendi. Viðmiðunartölurnar eru merktar sérstaklega og verða endurskoðaðar í ljósi reynslunnar, með auknum gögnum og að fengnu álit fagaðila sem eru að vinna í málaflokknum

Skýrslan er afmörkuð við kalt grunnvatn. Það liggur á yfirborði og nær almennt niður á 100–500 m. Raunar er langstærsti hluti þess í efstu 30–50 m en fyrir neðan það fer bergið að þéttast og þar er kalda grunnvatnið mjög við bundið við brot og sprungur í berggrunninum. Jarðhitahlot lág-hitavatns eru yfirleitt undir kalda vatninu og eru víða á um 500 m dýpi. Háhitahlotin eru algeng á yfirborði og ná langt niður í grunnbergið.

Í viðauka B er stuttlega tæpt á heitu grunnvatni og þeim forsendum sem lúta að mati á þeim veitum og bent á hugsanlega nálgun við skilgreiningu á jarðhitahlotum. Tilgangur viðaukans er hugsaður sem upptaktur að frekari umræðu um jarðhitahlotin.

1.2 Afmörkun verkefna 2019–2020

Samkvæmt samningi milli Umhverfisstofnunar og Veðurstofu Íslands, dagsettum hinn 10.10.2018, er viðfangsefni þessarar skýrslu samkvæmt lið 9.1 samningsins:

9.1 Mat á magnstöðu kalds grunnvatns

Samkvæmt reglugerð um stjórn vatnamála skal Veðurstofa Íslands meta magnstöðu grunnvatnshlota. Veðurstofan skal leggja fram tillögu um aðferð til að meta magnstöðu kaldra grunnvatnshlota þar sem vatnstaka fer fram. Tillagan skal send Umhverfisstofnun til samþykktar. Vinna skal samkvæmt þeirri skilgreiningu sem fram kemur í lögum og reglugerðum um stjórn vatnamála. Veðurstofa Íslands skal einkum og sér í lagi horfa til þeirra aðferða sem notaðar hafa verið til að meta magnstöðu vatns í þeim löndum sem hafa yfir að ráða grunnvatni í einhverju magni, eins og Danmörku, Hollandi eða öðrum löndum sem hafa berggrunn með svipaðan eiginleika og á Íslandi. Vinnan er unnin í samstarfi við Orkustofnun eftir því sem þurfa þykir.

Skiladagar eru skilgreindir samkvæmt endurskoðaðri tímaáætlun Umhverfisstofnunar frá 16.11.2018, þar sem vinna fagstofnana var samræmd. Samkvæmt samningum auk viðauka með endurskoðaðri tímaáætlun skal þessum verkþætti lokið eigi síðar en 30.9.2019.

1.3 Uppbygging skýrslunnar

Fyrsti kafli fjallar um afmörkun verkefnisins og uppbyggingu skýrslunnar er lýst.

Annar kafli fjallar um vatnatilskipunina og innleiðingu hennar í lög um stjórn vatnamála (36/2011) og þær reglugerðir sem fylgja henni. Í lok hans er fjallað um áhættumat og notkun hugtakalíkana sem beitt er til að meta orsakasamhengi álags og áhrifa.

Þriðji kafli fjallar um vatnstöku hér á landi og mögulegt álag vegna hennar.

Fjórði kafli gefur yfirsýn yfir aðstæður á Íslandi, forsendur og framboð á grunnvatni. Þrátt fyrir að mikið hafi verið skrifað um grunnvatn er það einkum í tengslum við undirbúning framkvæmda og því fremur staðbundið. Hins vegar er mikilvægt við framkvæmd á þeim skyldum sem fylgja innleiðingu vatnatilskipunarinnar að styrkja yfirsýn almennt um eiginleika grunnvatnshlota, álagspól og viðmið. Kafli lýsir hvaða þættir eru afgerandi varðandi afrennsli og írennsli í grunnvatnshlot og skýrir muninn á berggrunnsveitum og jarðgrunnsveitum. Í skýrslunni *Greining á grunnvatnsmælingum á Þjórsár-Tungnaárvæði 2015* (Davíð Egilson, 2016) er fjallað nokkuð ítarlega um mismunandi veita og er umtalsverður hluti textans um veitanna tekinn lítið breyttur úr þeirri skýrslu. Verkefnið er afmarkað við kalt grunnvatn. Hins vegar nær vatnatilskipunin til alls grunnvatns þ.m.t. jarðhitavatns.

Fimmti kafli leggur til aðferðafræði til að meta meðalvatnsheldni og meðallekt grunnvatnshlota.

Sjötti kafli fjallar um hvernig megi skilgreina góða magnstöðu

Lokakafli sem er hinn sjöundi greinir frá tillögum til að meta hvort ástand magnstöðu í grunnvatnshlot sé viðunandi og byggist hann að verulegu leyti á aðferðafræðinni sem lögð er til í fimmta kafla.

Í viðauka er fjallað stuttlega um jarðhitavatn og m.a. bent á hugsanlega nálgun við skilgreiningu á jarðhitahlotum.

2 Vatnatilskipunin og innleiðing hennar

2.1 Lagaumhverfið

Lög um stjórn vatnamála (36/2011) og reglugerðir þar að lútandi voru samþykkt á alþingi árið 2011. Reglugerð um stjórn vatnamála (935/2011) varðar stjórnsýslulegt fyrirkomulag en reglugerð um flokkun vatnshlota eiginleika þeirra, álagsgreiningu og vöktun (535/2011) með síðari breytingum, leggur grunn að aðferðarfræðilegri nálgun. Lagaramminn er formleg innleiðing á rammatilskipun Evrópusambandsins um vatn (2000/60/EC) og leiðbeiningaskjölum sem byggja á henni. Hvað varðar grunnvatn er einkanlega horft til eftirfarandi leiðbeiningaskjala Evrópusambandsins:

- **Guidance Document No. 2.** Identification of Water Bodies (European Commission Environment, 2003)
- **Guidance Document No. 15.** Guidance for Groundwater Monitoring (European Commission Environment, 2007a)
- **Guidance Document No 17.** Guidance on preventing or limiting direct and indirect inputs in the context of the Groundwater Directive (European Commission Environment, 2007b)
- **Guidance Document No 18.** Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment (European Commission Environment, 2009)
- **Guidance Document No 26.** Guidance on Risk Assessment and the Use of Conceptual Models for Groundwater (European Commission Environment, 2010)

2.2 Skilgreiningar og afmörkun

Lög nr. 36 frá 15. apríl 2011 um stjórn vatnamála skilgreina grunnvatn með eftirfarandi hætti:

Grunnvatn: Vatn, kalt eða heitt, sem er neðan jarðar í samfelldu lagi, kyrrstætt eða rennandi, og fyllir að jafnaði allt samtengt holrúm í viðkomandi jarðlagi.

Textinn er orðrétt þýðing á rammatilskipun um Evrópusambandsins um vatn (2000/60/EC) sem lögunum er ætlað að innleiða. Þessi skilgreining er afar víðfeðm og nær yfir allt grunnvatn m.a. jarðhitavatn og jarðsjó.

Í lögum nr. 57/1998 um rannsóknir og nýtingu á auðlindum í jörðu nær skilgreining grunnvatns ekki til jarðhitavatns eða orkuframleiðslu en þar er eftirfarandi skilgreining á grunnvatni:

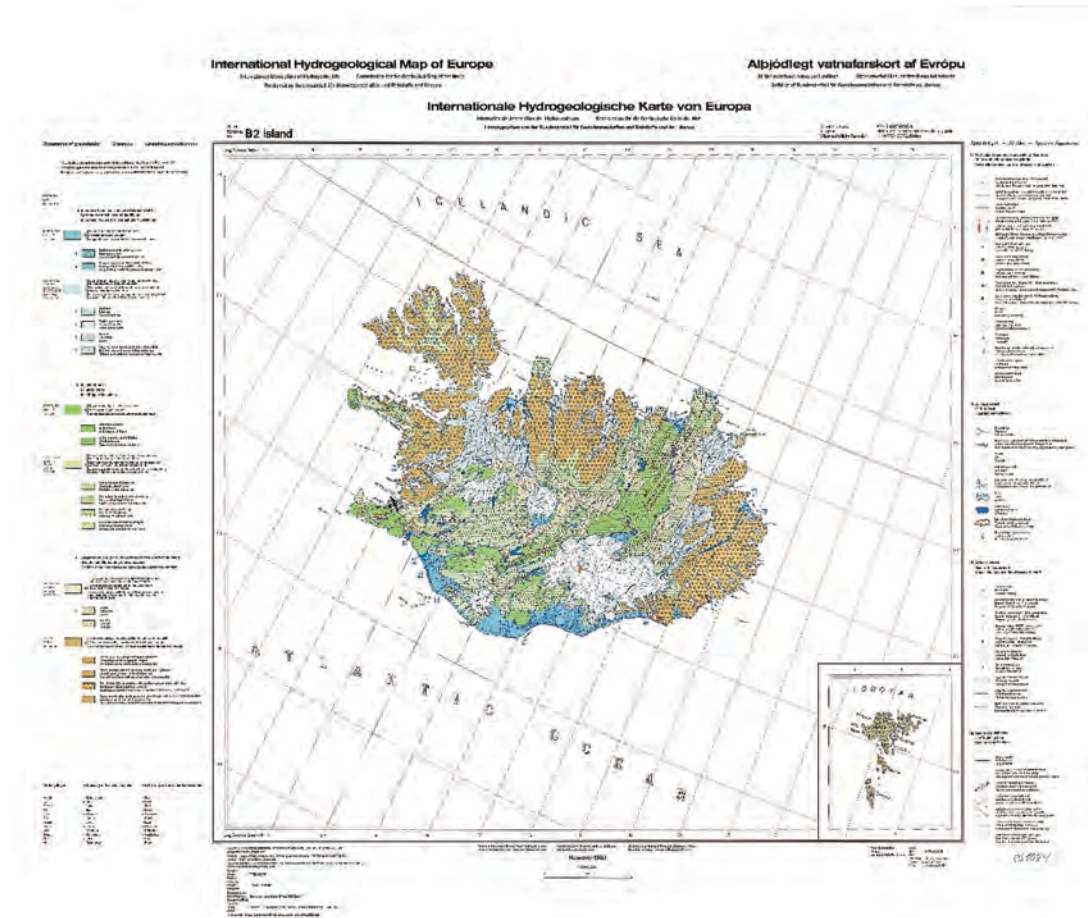
Grunnvatn merkir í lögum þessum vatn sem er neðan jarðar í samfelldu lagi, kyrrstætt eða rennandi, og fyllir að jafnaði allt samtengt holrúm í viðkomandi jarðlagi og sem unnið er í öðrum tilgangi en að flytja varma til yfirborðs jarðar eða nýta staðarorku þess.

Hafa ber í huga að samkvæmt hinni víðu skilgreiningu laganna um stjórn vatnamála hefur grunnvatn fjölbreytt einkenni, jafnt efnafræðilega (þ.m.t. selta) og eðlisfræðilega (þ.m.t. hitastig). Að öllu óbreyttu verður í ljósi þessa að hugleiða gerðaskiptingu grunnvatns við frekari úrvinnslu þessa verkefnis, sbr. mismunandi gerðir yfirborðsvatns m.a. vegna seltu og efnainnihalds. Jafnframt ber að hafa í huga hina þrívíðu mynd grunnvatns þar sem mismunandi „gerðir“ þess liggja í sumum tilvikum ofan á hverri annarri, eins og greint er frá í kafla 1.1. Hér má auk þess til greina að á Reykjanesi er ferskvatnslinsa fljótandi ofan á söltum jarðsjó og undir þeim er víða jarðhitavatn.

Við upphaflega framkvæmd innleiðingar rammatilskipunarinnar t.d. við afmörkun grunnvatnshlotanna sem lög um stjórn vatnamála nr. 36/2011 kveða á um, hefur verið miðað við þann almenna skilning að með hugtakinu grunnvatn sé átt við kalt lindavatn og nytjavatn (Bogi Brynjar Börnsson o.fl., 2013). Miðað er við skilgreiningu sem sett var fram í Nytjavatnsverkefni Veðurstofu Íslands

og Orkustofnunar og nær því til grunnvatns á hitabilinu 0–15°C og á seltubílinu 0–17% (Davíð Egilson, 2019). Vatnshlot heits grunnvatns hafa því enn sem komið er ekki verið skilgreind. Þetta þýðir að ekki er horft til upptöku eða niðurdælingar jarðhitavatns í þessari samantekt enda eru afrennslisættirnir talsvert öðruvísi en hjá köldu grunnvatni. Hins vegar er í viðauka B bent á hugsanlega nálgun varðandi skilgreiningu á jarðhitahlotum.

Grunnvatnshlot er skilgreint í grein 2.12 í Rammatilskipun um vatn (2000/60/EC) sem „*rúmtak grunnvatns sem er að finna innan veitis eða veita*“ (e. *aquifer*). Grein 2.11 skilgreinir veiti sem „*berglag eða -lög undir yfirborði jarðar eða önnur jarðlög sem eru nægilega gropin eða gegndræp til að umtalsvert grunnvatn geti runnið um þau eða að þar geti farið fram grunnvatnstaka í talsverðum mæli.*“ (Þýð. Þýðingarmiðstöð utanríkisráðuneytisins).



Mynd 1. Vatnafarskort UNESCO (Árni Hjartarson o.fl., 1980).

Í 3. grein 10 málslíð laga nr. 36/2011 um stjórn vatnamála er vatnshlot skilgreint sem: *Eining vatns, svo sem allt það vatn sem er að finna í stöðuvatni, á eða strandsjó. Kveðið er á um hvernig skuli flokka vatnshlot í 11. grein sömu laga. Þá segir í grein 3, 4. málslíð „Grunnvatn: Vatn, kalt eða heitt, sem er neðan jarðar í samfelldu lagi, kyrrstætt eða rennandi, og fyllir að jafnaði allt samtengt holrúm í viðkomandi jarðlagi.*

Hins vegar er orðið „grunnvatnshlot“ hvorki skilgreint í lögum nr. 36/2011 né reglugerð 935/2011 um stjórn vatnamála sem er miður þar sem að með því fellur niður skilgreining á veiti en hugtakið *veitir* er undirstöðueining þegar verið er að fjalla um grunnvatn, eins og rakið verður í kafla 3.

Í skýrslunni *Yfirborðs- og grunnvatnshlot. Verklagsreglur fyrir skilgreiningu vatnshlota* er gerð grein fyrir hvernig íslensk grunnvatnshlot eru skilgreind (Bogi Brynjar Björnsson o.fl., 2013) Þar kemur fram að flokkunin byggir að stofni til á vatnafarskortum UNESCO (mynd 1).

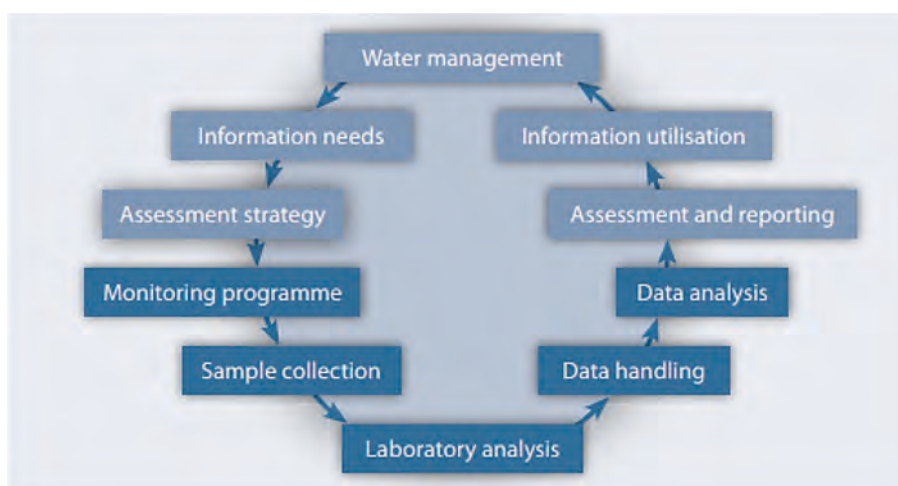
Á höfuðborgarsvæðinu, Reykjanesi og í kringum Þingvallavatn byggir flokkunin í grunnvatnshlot á grunnvatnslíkani Vatnaskila (Bogi Brynjar Björnsson o.fl., 2013). Ofangreind skipting í grunnvatnshlot var hið besta sem tiltækt var á sinni tíð en eins og kemur fram í kafla 2.3 um hugtakalíkon og er slík flokkun ítrekunarferli sem verður endurbætt við aukna þekkingu.

Magnstaða grunnvatns er skilgreind í reglugerð 535/2011 sem mælikvarði á það hversu mikil áhrif, bein eða óbein, vatnstaka hefur haft á grunnvatnshlot.

Magnstaðan er því mælikvarði á ástand grunnvatnshlotsins en ekki mæling á vatnsstöðu sem slíka. Mikilvægt er að hafa þessa notkun hugtaksins í huga.

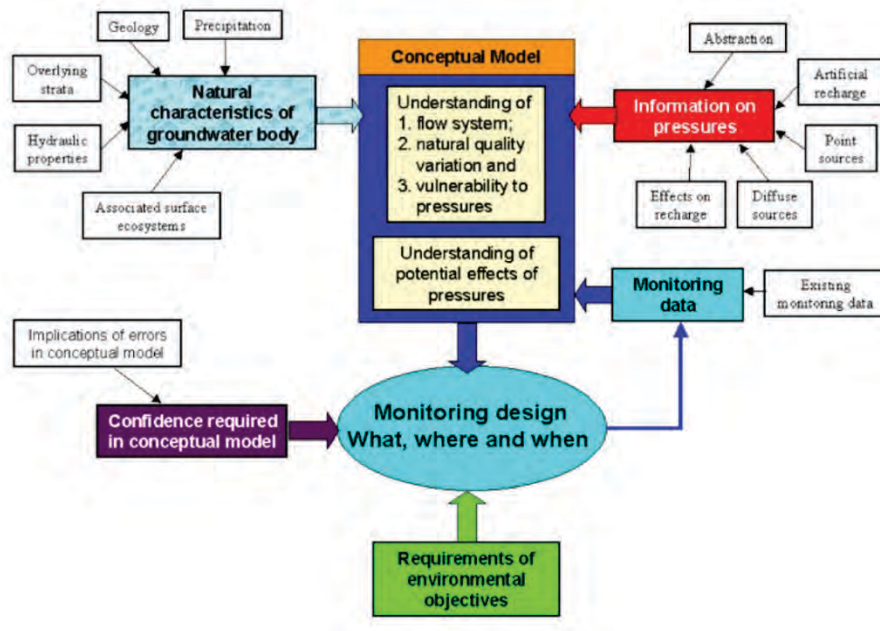
2.3 Áhættumat og hugtakalíkon

Nálgunin varðandi vernd vatns í rammatilskipuninni byggir á áhættumati þar sem reynt er að finna orsakasamhengi milli áhrifa af álagi vegna mannglegra athafna sem getur valdið umhverfisálagi, heilsuskaða eða komið í veg fyrir sjálfbæra nýtingu auðlindarinnar. Inni í hættumatinu er mat á líkum á skaða ásamt því að meta hversu öruggt matið er. Þarna er um að ræða þrepaskipta nálgun og ítrekunarferli þar sem vatnsstjórnunar hringurinn liggur til grundvallar (mynd 2).



Mynd 2. Vatnsstjórnunarhringurinn (European Commission Environment, 2008).

Í leiðbeiningaskjölum sem fylgja rammatilskipuninni um vatn er sagt fyrir um notkun hugtakalíkana við að meta orsakasamhengi álags og áhrifa (European Commission Environment, 2010). Það liggur í augum uppi að aðstæður við grunnvatnshlot, gerð þeirra og stærð geta verið mjög mismunandi og þess vegna þarf nálgunin að taka mið af aðstæðum hverju sinni. Hugtakalíkon í vatnafræði endurspeglar núverandi skilning manna á grunnvatnskerfinu á grunni þekkingar á a) náttúrulegum aðstæðum svo sem gerð veitis, þrívíðri uppbyggingu jarðlaga, rennslisáttum og randskilyrðum og b) ætluðu álagi og þekkingu á áhrifum þess (mynd 3). Þau hafa það að markmiði að lýsa með almennum hætti, í upphafi flokkunar, hvernig orsakasamhengið er milli einstakra þátta og hverjir eru helstu áhættuþættir sem gætu raskað náttúrulegu ástandi. Með aukinni þekkingu á grundvelli vöktunar og nýrra mælinga er metið hvort grunnforsendur halda eða aðlaga þurfi líkanið í ljósi nýrra upplýsinga (mynd 3) (European Commission Environment, 2007a).



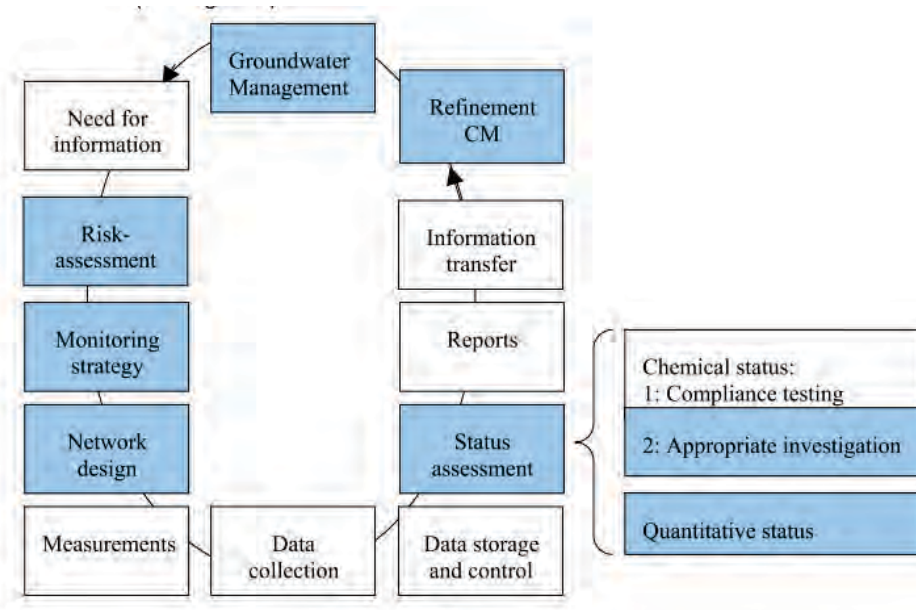
Mynd 3. Samverkun milli upphafslegs hugtakalíkans og vöktunar (European Commission Environment, 2007a).

Fram kemur í leiðbeiningaskjali nr. 15 um framkvæmd rammatilskipunarinnar að vöktunaráætlanir fyrir grunnvatn verða að veita nægjanlegar upplýsingar svo hægt sé að meta hvort viðeigandi ákvæði greinar 4 í rammatilskipuninni um umhverfismarkmið verði náð (European Commission Environment, 2007a). Þar er einkánlega átt við mat á magnstöðu grunnvatnshlotsins, efnafræðilega stöðu þess, áhrif á lífríki og merkjanlega langtíma leitni bæði vegna náttúrulegs breytileika og eins þeirri sem stafar af mannlegum athöfnum. Markmiðið er að geta greint áhrif mannsins frá náttúrulegum breytileika. Til viðbótar þessu getur verið þörf á viðbótarvöktun til að mæta skilyrðum varðandi verndarsvæði t.d. verndarsvæði vegna drykkjarvatns og til að renna frekari stoðum undir hættumat.

Við skilgreiningu á grunnvatnshlotum og mati á ástandi þeirra er byggt á tvenns konar hugtakalíkönunum:

- Svæðisbundin hugtakalíkon: Almenn þekking og skilningur á grunnvatnshlotinu er lagður til grundvallar ákvörðun um vöktun og frekari rannsóknir.
- Staðbundin hugtakalíkon: Almenn þekking og skilningur á staðbundnum atriðum sem hafa áhrif á efnafræðilega og magnbundna þætti á þeim mælistöðum sem eru vaktaðir.

Upphafsgreiningin er mjög oft byggð á litlum gögnum. Hún er þar af leiðandi mjög íhaldssöm og með víð öryggismörk. Komi í ljós við upphafsgreininguna að hætta kunni að vera á ferðum er ráðist í frekari greiningu á álagspáttum, áhrifum og hvar óvissa liggur. Við næstu ítrekun ætti að draga úr óvissu vegna tilkomu vöktunargagna sem afla skal í samræmi við rammatilskipunina. Eftir enn frekari ítrekun ættu að vera komin nægileg gögn til að endurskoða vöktunaráætlanir, aðgerðir og viðmiðunargildi og þannig koll af kalli þar til unnt er að skera úr með þokkalega afgerandi hætti hvort viðkomandi vatnshlot sé undir álagi eða ekki. Mynd 4 sýnir tengsl upphafslegs hugtakalíkans og vöktunar og hvernig aukin gögn úr vöktun sem aflað er með markvissum hætti geta aukið öryggi við mat á áhrifum.



Mynd 4. Rannsóknarferli við stýringu grunnvatnsnýtingar. Bláu kassarnir sýna hvar hugtakalíkönin (CM = Conceptual Model) eru gagnleg eða jafnvel nauðsynleg (European Commission Environment, 2010).

3 Vatnsnotkun

3.1 Vatnstaka og grunnvatnshlot

Veðurstofan og Orkustofnun hafa í sameiningu unnið að uppsetningu gagnagrunns sem heldur utan um notkun ferskvatns á Íslandi svonefndum Nyttjavatnsgrunni (Davíð Egilson, 2019). Þar er haldið utan um upptöku, nýtingu, notendur og veitur miðað við bestu fánlegar upplýsingar hverju sinni. Þar sem ekki liggja fyrir beinar mælingar er upptaka og notkun áætluð. Rétt er að benda á að þegar byrjað er að mæla notkun þar sem hún hefur áður verið áætluð, kemur í ljós að áætluð notkun og upptaka hafa yfirleitt verið talsvert ofmetnar. Það stafar m.a. af því að víða er sjálfrennandi vatn tekið úr lindum og því oft á tíðum talsvert magn vatns umfram beina notkun sem fer í gegnum kerfið. Þá getur leki í kerfum verið umtalsverður þannig að áætluð upptaka getur þá verið langt umfram raunverulega notkun. Þess vegna skiptir miklu máli að notkunin sé mæld.

Tafla 1 sýnir hvernig árleg notkun í lítrum á sekúndu skiptist á notendur eins og hún er skráð í Nyttjavatnsgrunninum. Þar kemur fram að stærstu skilgreindu notendur eru fyrirtæki. Mesta vatnstakan fylgir framleiðsluferlum og samkvæmt þeim mælingum sem eru til staðar tengist það fiskeldi (tafla 7). Það er hins vegar ljóst að talsvert skortir á að töflurnar sýni alla vatnsnotkun. Nefna ber tvö atriði sem þarf að huga að:

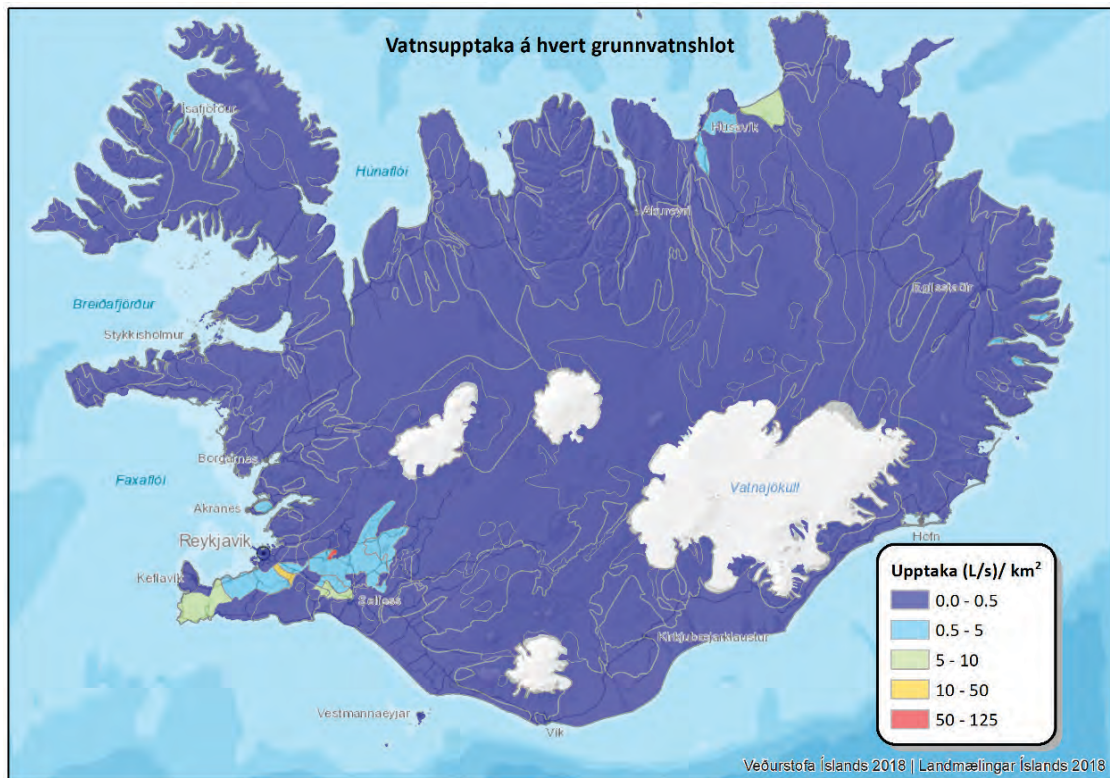
- a) Þegar upplýsingar í Nyttjavatnsgrunni eru bornar saman við upplýsingar um framleiðsluheimildir í landeldi, samkvæmt útgefnum rekstrarleyfum frá Matvælastofnun og grænu bókhaldi, virðist sem tölurnar í grunninum varðandi vatnsnotkun fiskeldis séu verulega vanáætlaðar. Verið er að vinna í því að bæta skilin.
- b) Skráð vatnsnotkun árið 2016 er verulega minni en skráð notkun 2015 og 2017 og stafar það af því að upplýsingar bárust ekki. Búast má við að vatnstakan í fiskeldi árið 2016 sé að fullu sambærileg við árin 2015 og 2016.

Tafla 1. Árleg vatnsnotkun (l/s) skipt á notendur samkvæmt upplýsingum úr Nytjavatnsgrunni.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Fyrirtæki	6070	6540	6420	6580	6580	6600	4680	6430
Samveitur í dreifbýli	100	100	90	50	30	50	30	30
Samveitur í þéttbýli	220	340	330	340	300	290	360	370
Stakar veitur	80	100	100	60	60	70	60	70
Þéttbýli	2430	2470	2500	2320	2070	2420	2090	2150
Heildarnotkun	8900	9550	9450	9360	9040	9440	7220	9040

Tafla 2. Árleg vatnsnotkun í fyrirtækjaflokkum (l/s) samkvæmt upplýsingum úr Nytjavatnsgrunni.

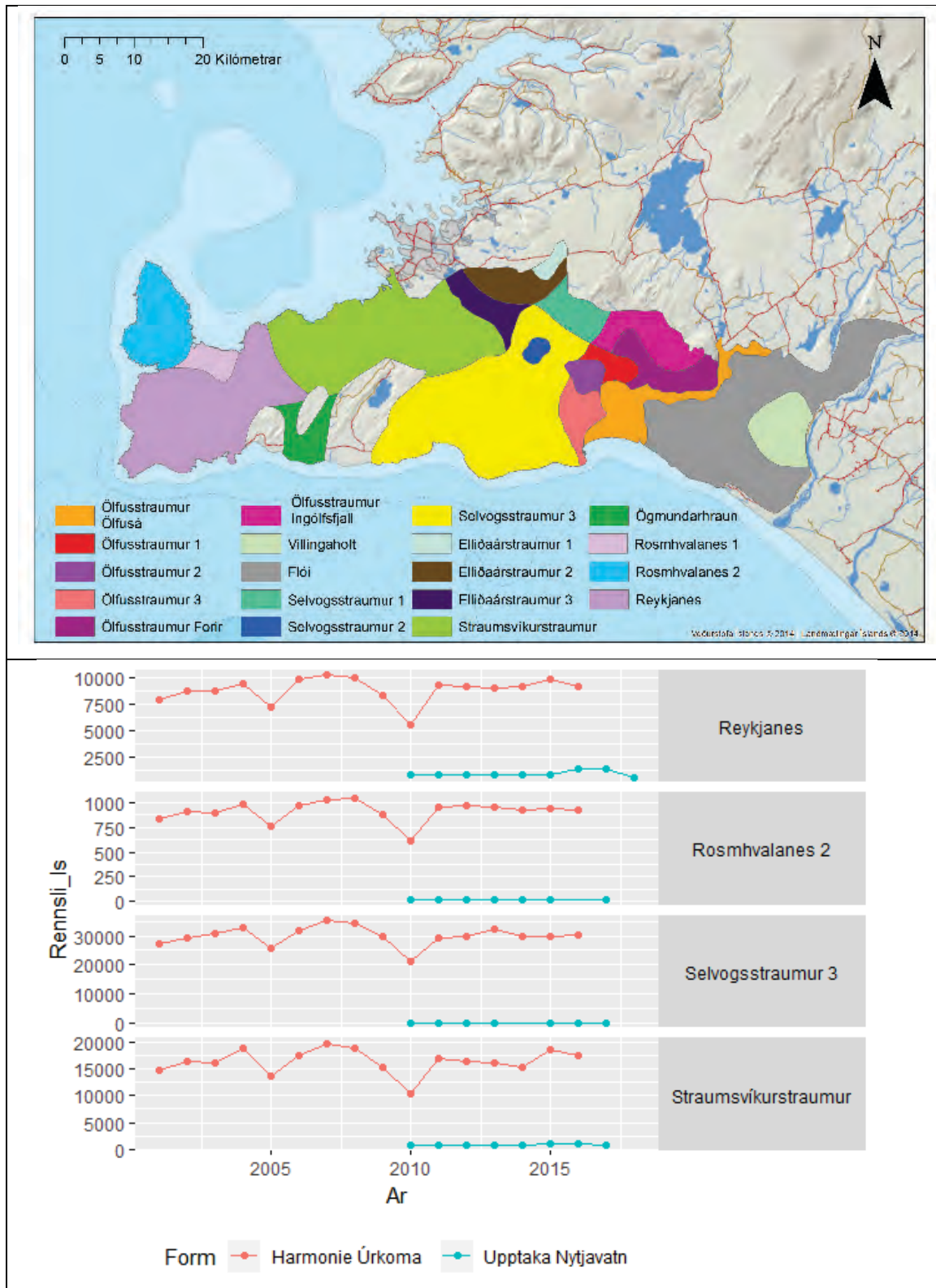
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Fiskvinnsla	230	230	260	250	270	260	170	170
Fiskeldi	2810	3040	2890	2820	2680	2520	890	2050
Stóriðja/ Málmbæðsla	290	330	360	390	350	350	350	350
Orkuvinnsla	2670	2890	2710	3090	3270	3210	3270	3810
Matvælavinnsla	60	50	50	50	30	50	30	20
Heildarnotkun	6070	6530	6270	6600	6600	6400	4700	6400



Mynd 5. Tilkynnt upptaka úr grunnvatnshlotum árið 2015 í l/s á km² samkvæmt upplýsingum úr Nytjavatnsgrunni.

Mynd 5 sýnir tilkynnta upptöku grunnvatns árið 2015 úr hverju grunnvatnshloti í lítrum á sekúndu á hvern ferkílómetur eins og hún kemur fram í Nytjavatnsgrunni Veðurstofunnar og Orkustofnunar (Davíð Egilson, 2019). Upptaka sundurliðuð á grunnvatnshlot er sýnd í viðauka A. Á myndinni kemur ótvírætt fram að mjög mikil upptaka er á SV horni landsins enda eru stærstu notendur grunnvatns á landinu staðsettir þar. Þar sem að berg er gropið og gróður og jarðvegsþekja er ekki mikil á þessum slóðum er lítið um yfirborðsafrennsli og gera má ráð fyrir að stærsti hluti vatnsins hripi niður og leiti niður í grunnvatnshlotin. Sama má segja um fiskeldið í Axarfirði norðaustanlands. Eins sést að vatnstaka á flatareiningu grunnvatnshlota í fiskvinnslustöðvunum á Austurlandi og Vestfjörðum er vel merkjanleg. Þar eru vatnshlotin hins vegar yfirleitt fremur lítil að flatarmáli og flataramálsskilgreining afmarkast við grunnvatnshlotið sjálft en ekki afrennsli af yfirborði til þeirra eins og t.d. þegar leysingavatn streymir af fjalllendi niður í setfyllingu á dalsbotni.

Mynd 6 sýnir samanburð á úrkomu sem fellur á viðkomandi grunnvatnshlot og þeirri upptöku sem er skráð á hvert þeirra. Eins og sjá má er talsvert meiri úrkoma / írennsli en vatnstaka. Hins vegar verður að leggja áherslu á að nálgun sem þessi er afar gróf og gefur ekki raunsanna mynd þegar álag á grunnvatnshlotið er hvað mest t.d. við lægstu stöðu. Mun æskilegra væri að nota nákvæm líkön sem geta hermt tíðar viðbrögðin í vatnshlotinu miðað við mismikla vatnstöku eins og fjallað er um í kafla 3.2.

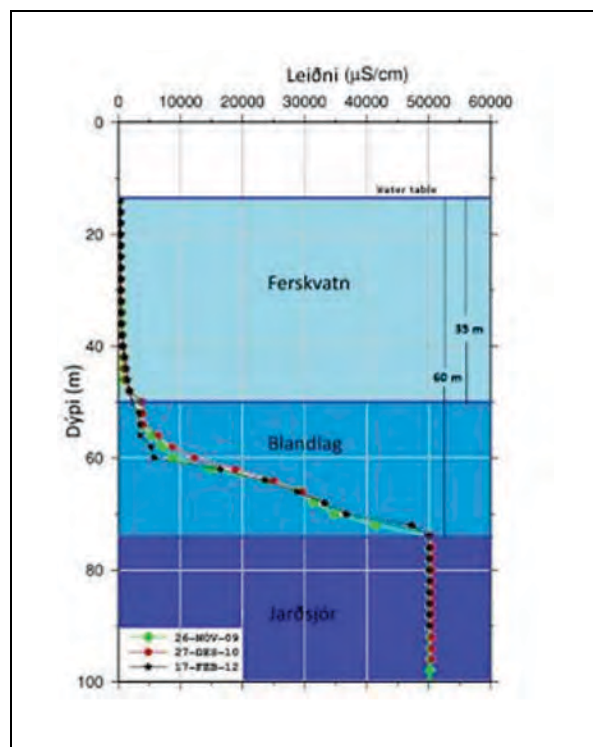


Mynd 6. Vatnstaka úr grunnvatnshlotum á Reykjanesi samkvæmt upplýsingum úr Nyttjavatnsgrunni. Samanburður á úrkomu og upptöku vatns í þeim hlotum sem mest er tekið úr. Vatnstaka úr Selvogsstraumi 3 er að öllum líkindum verulega vanáætluð.

3.2 Mögulegt álag vegna vatnstöku

Veruleg vatnstaka getur í einhverjum tilvikum orsakað það mikinn niðurdrátt að vatn utan geymisins, sem álitid er óhentugt til neyslu, berist inn í hann. Bæði kann að vera að yfirborðsvatn berist niður í geyminn en eins getur verið um mengað grunnvatn að ræða. Einkanlega þarf að huga að slíkum aðstæðum hérlandis þegar til þess að gera kyrrstæð grunnvatnslinsa flýtur á sjó. Þessar aðstæður eru við utanvert Reykjanes, í Vestmannaeyjum og annars staðar þar sem vel leiðandi jarðlög liggja að sjó.

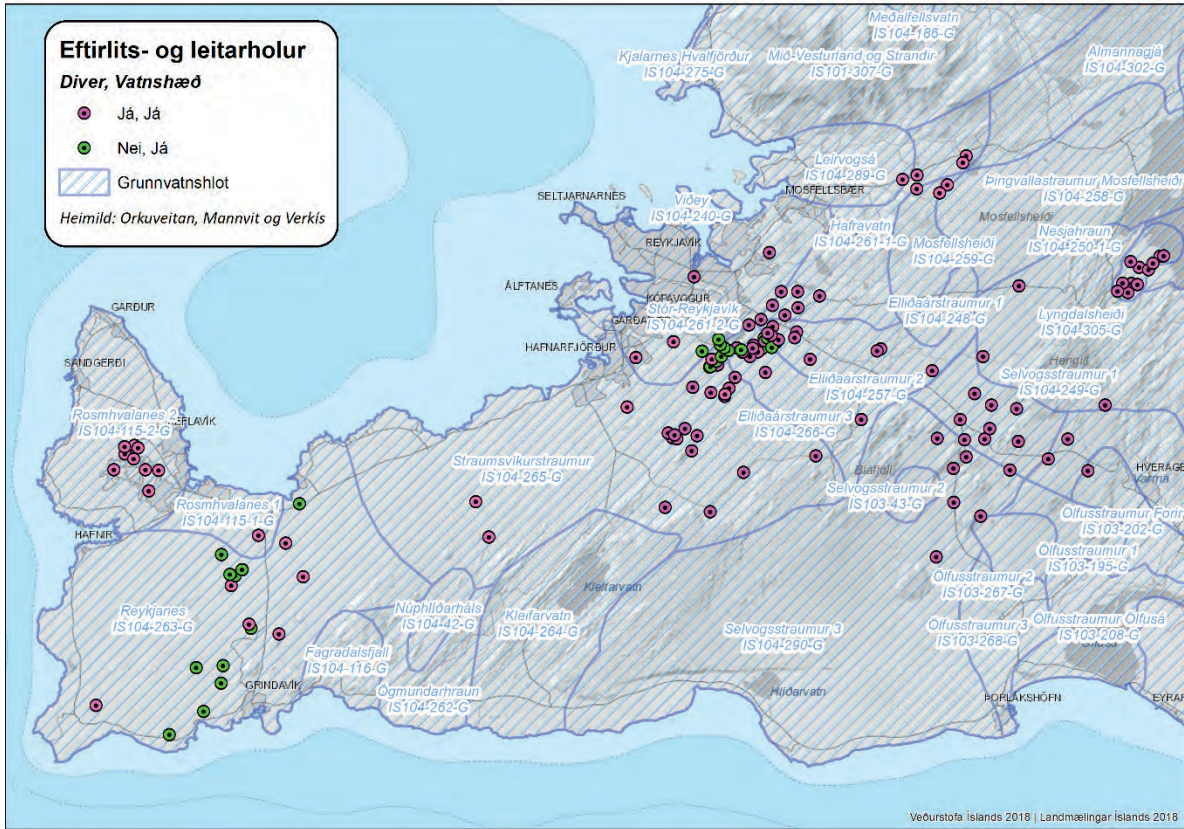
Mynd 7 sýnir einfaldað þversnið við Suðurnes. Ferskt grunnvatn flýtur þar á jarðsjó en á milli er



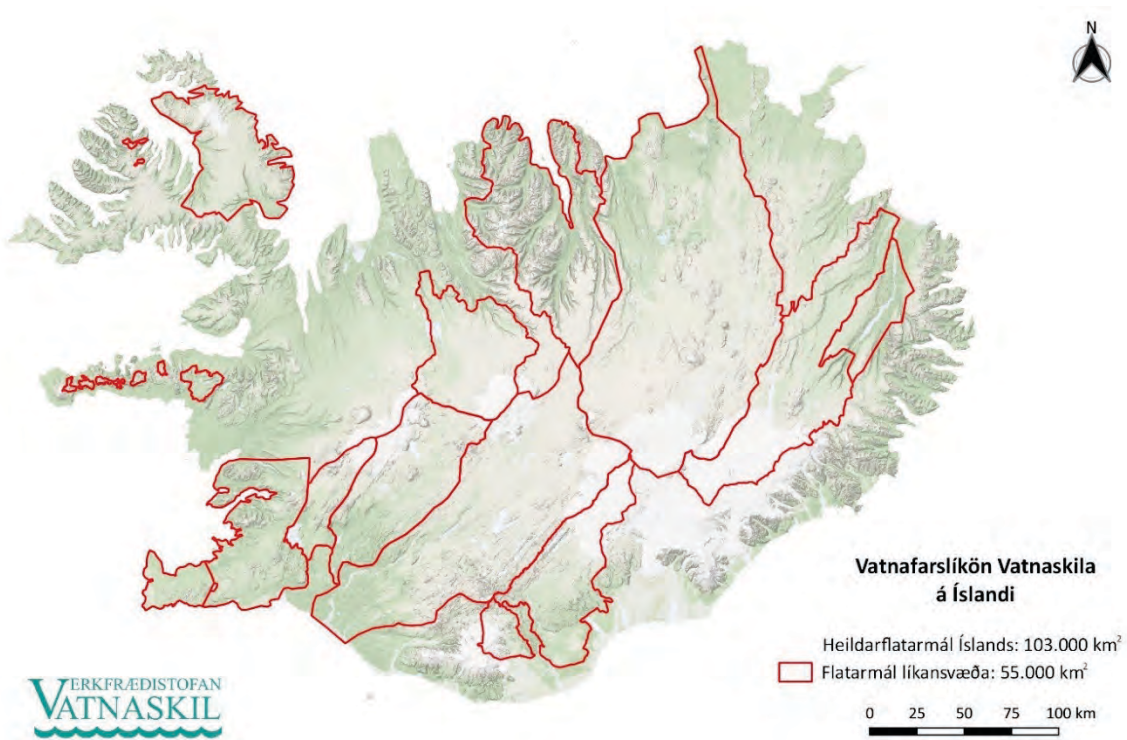
Mynd 7. Einfaldað þversnið af grunnvatni við Suðurnes.

Ferskvatnslinsa sem flýtur á jarðsjó nær niður á 30–40 m. Blandlag með ísöltu vatni sem er um 10–20 m þykkt liggur þar á milli.

blandlag með ísöltu vatni. Ferskvatn er nokkru eðlisléttara en sjór. Auk þess getur afrennsli af jarðhitasvæðum þar í kring, hvort sem það er náttúrulegt eða vegna manlegra athafna, blandast við grunnvatnið. Niðurdráttarkeilan sem myndast við dælingu getur þess vegna orsakað það að sjórinn rísi hratt á móti og hugsanlegt er, ef ekki er að gætt, að hann brjóti sér leið inn í grunnvatnsgeyminn (Davíð Egilson & Gerður Stefánsdóttir, 2014). Við slíkar aðstæður þarf að vakta nýtinguna af mikilli kostgæfni og einfaldur samanburður á írennsli og upptöku dugar ekki. Þau fyrirtæki sem taka vatn af höfuðborgarsvæðinu og Reykjanesi hafa lagt mikið í vöktun og gerð grunnvatnslíkana. Stór þáttur í nýtingu þeirra er raunvöktun á grunnvatnsstöðu og tengsl við ákomu og upptöku. Þegar þannig háttar eru þau gögn og útreikningar almennt séð nægilega nákvæm til að meta magnstöðuna. Hins vegar þarf að tryggja að vöktun meti í öllum tilfellum áhrif af náttúrulegum breytileika. Þá ber að benda á mikil ásókn er í aukna vatnstöku á helstu álagssvæðum og verður það að endurspeglast í líkönum og áætlana gerð (sjá kafla 7.3). Mynd 8 sýnir holur þar sem vatnshæð er sívöktuð á Suðvesturlandi. Unnt er að bera mælingarnar saman við fyrirliggjandi líkanareikninga og meta hvort samræmi er þar á milli.



Mynd 8. Grunnvatnsholur sem eru sívaktaðar á Suðvesturlandi.



Mynd 9. Þau landsvæði sem vatnafarslíkön með grunnvatni ná yfir (Vatnaskil, 2019).

Hinu er ekki að leyna að mjög víða er þekkingin af skornum skammti. Það hlýtur að vera markmið að hafa þokkalega hugmynd af afrennsli af landinu og er grunnvatnsrennslið þar meðtalið. Mynd 9 sýnir þau landsvæði sem grunnvatnslíkön ná yfir. Mikilvægt er að slík líkön ná yfir landið allt svo unnt sé að stýra þessari auðlind af viðunandi þekkingu. Líkönin sem sett eru fram á myndinni eru gerð á mismunandi tíma og af mismunandi nákvæmni. Líkönin á Suðvestur horni landsins eru góð en meta þarf hvort að uppfæra þurfi sum þeirra sem sýnd eru á mynd 9, t.d. vatnasvið Skaftár og á Norðausturlandi þar sem að vatnstaka hefur aukist og orðin umtalsverð.

4 Forsendur og framboð grunnvatns á Ísland

Margir þættir ráða því hvernig hversu mikið vatn rennur fram og þá hvort það rennur á yfirborði eða sígur með írennsli niður í jörðina. Hér að neðan eru nokkur dæmi um slíka þætti en ekki er um tæmandi lista að ræða:

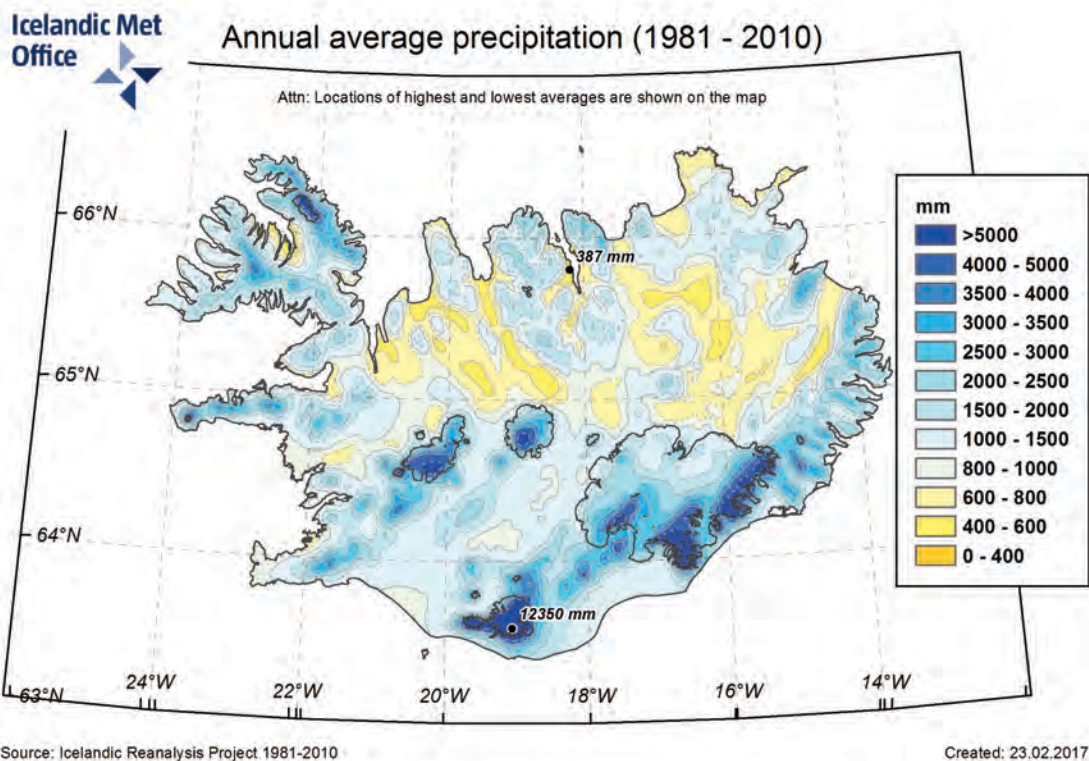
- **Veðurfar**
 - *Úrkomudreifing, úrkomuákefð, leysing,*
- **Jarðfræðilegir þættir**
 - *Gerð jarðvegs*
 - Sandur, leir, skriður
 - *Gerð berggrunns,*
 - Gamalt þétt berg, móberg, ungt grágrýti, hraunamyndanir
 - *Landslag*
 - Afmarkaðir farvegir, ársléttur
 - *Landform,*
 - sprungur og misgengi
 - Langir grafnir móbergshryggir, hraunfylltir dalir eða farvegir
- **Yfirborðsþekja**
 - *Gróður, jöklar, jarðklaki, sífreri*

Fjallað verður nánar hér fyrir neðan um þá þætti sem skipta mestu máli við mat á magnstöðu grunnvatns.

4.1 Úrkoma / ákoma

Úrkoma og leysing eru eðlilega ráðandi þættir um magnstöðu grunnvatns. Loftslag á Íslandi er mun mildara en vænta mætti af hnattstöðu þess. Úrkoma sem regn og snjór er umtalsverð á Íslandi eða um 1.600–1.700 mm (Halldór Björnsson o.fl., 2018).

Tíðni suðlægra háloftavinda er meiri en að meðaltali breiddarstigsins auk þess sem hlýir hafstraumar úr suðri verma landið. Grein úr Norður-Atlantshafsstraumnum (sem oft er kallaður Golfstraumur) kemur upp að landinu við SA land og hlýr sjór streymir til vesturs með suðurströndinni, áfram norður með Vesturlandi og í flestum árum einnig austur með landinu norðanverðu. En stutt er í kaldara loft og sjó undan austurströnd Grænlands. Nábyli hlýrra og kaldra loftstrauma veldur oftlega miklum umhleypingum og miklar úrkomur fylgja einkum suðlægum áttum um allt sunnanvert landið en norðaustlægum áttum norðanlands. Að jafnaði eru suðlægu og austlægu áttirnar rakari og umtalsvert úrkomugæfari heldur en þær norðaustlægu, en þurrastar eru hánorðanátt sem og hluti vestlægu áttanna. Tíðni vindátta og misjafnt rakainnhald þeirra ræður dreifingu úrkomu um landið. Úrkoma fellur langmest á fjöllum og nærri þeim um landið suðaustanvert en einnig er mikil úrkoma nærri fjöllum um landið vestanvert. Mun minni úrkoma er inni í dölum og á heiðum norðanlands en í þeim landshlutum er úrkoma í útsveitum hins vegar töluverð í fjalllendi (mynd 10).



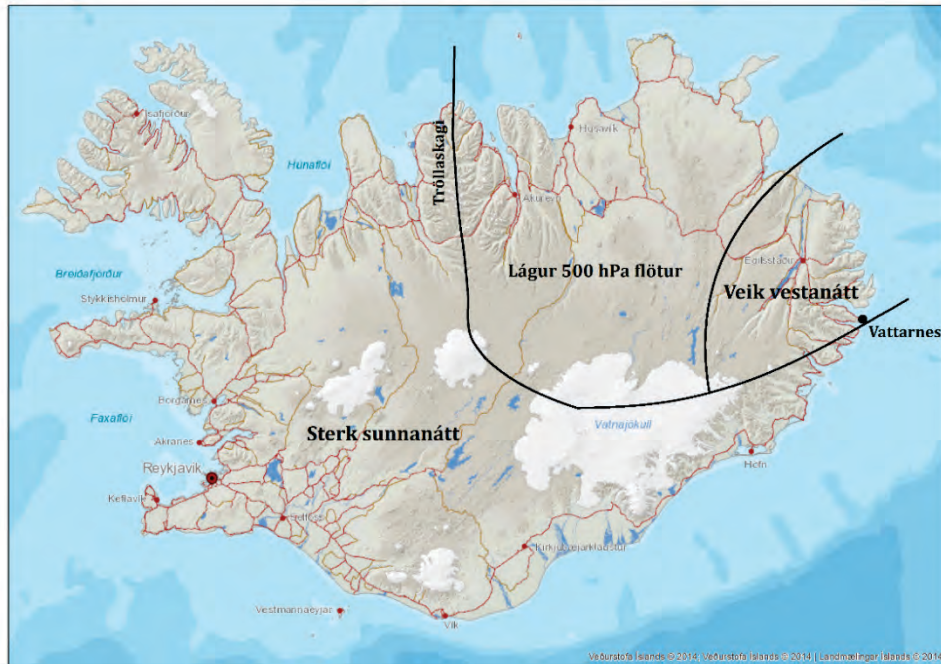
Mynd 10. Meðalúrcoma á landinu yfir árabilið 1981–2010 (Veðurstofa Íslands).

4.1.1 Úrkomudreifing og langtímasveifur í veðurfari

Mat á magnstöðu grunnvatns verður að taka mið af þeirri staðreynd að úrcoma og þar af leiðandi írennsli í grunnvatnsveita er mismikið eftir því hvar vatnshlotið er á landinu. Fram kom í kafla 4.1 að úrcoma er verulega meiri sunnanlands en norðan (mynd 10). Það eitt og sér hefur mikil áhrif á afrennsli og írennsli sem bætir í grunnvatn þar.

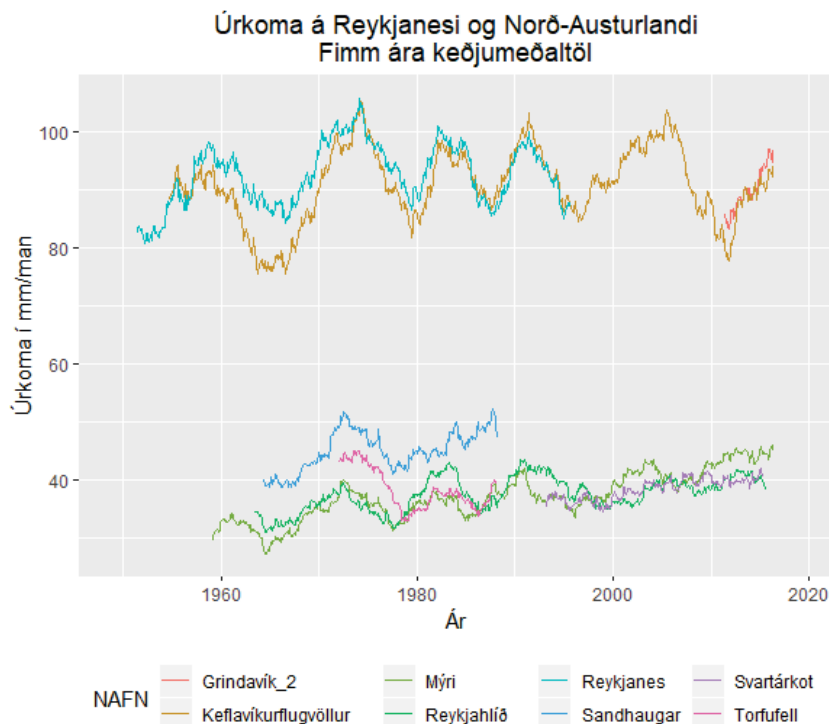
Auk þess er vel þekkt að verulegar sveifur í veðurfari, svo sem í hita og úrkomu hafa orðið í tímans rás. Slíkar breytingar geta verið langvarandi, þ.e. náð yfir árbúsund eða aldir eins og átti sér stað við jökul- og hlýskeið (Halldór Björnsson o.fl., 2018). Aðrar breytingar eru skammvinnari og ná til áratuga eða fárra ára. Afrennsli og grunnvatnsstaða stýrist að hluta til af breytingum í veðurfari. Þess vegna þarf að horfa til slíkra breytinga þegar magnstaða grunnvatns á tilteknum svæðum er metin. Trausti Jónsson hefur sýnt fram á að í stórum dráttum megi skipta landinu upp í tvö veðursvæði hvað varðar úrkomu: Norðausturhluta landsins frá Tröllaskaga til Vattarness annars vegar og landið vestan þessara marka hins vegar (mynd 11). Hann telur að raunar megi greina einhvern mun innan vestara svæðisins frá Vattarnesi að Reykjanesskaga og síðan Reykjanesskaga að Tröllaskaga (Trausti Jónsson, 1990). Styrkur suðlægra háloftavinda ræður miklu um úrkomu um landið sunnanvert en úrcoma er mest um landið norðaustan- og austanvert í norðaustlægum vindáttum, sérstaklega þegar loftþrýstingur er lágur – í slíkum tilvikum á norðanáttin sér austrænan eða jafnvel suðrænan uppruna.

Breytileg úrcoma hefur eðlilega áhrif á hve mikið grunnvatn myndast.

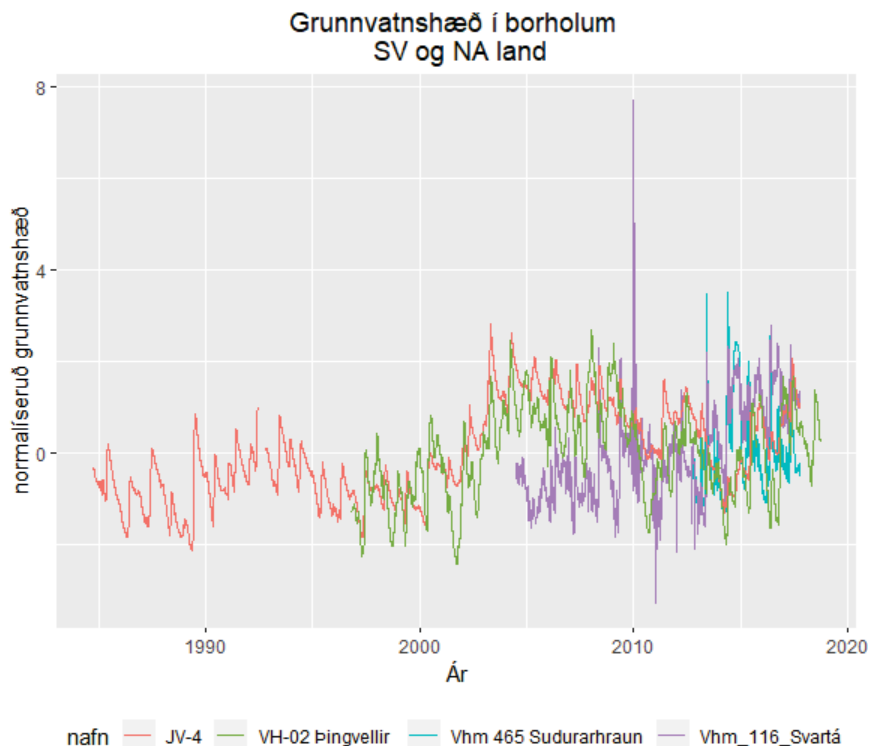


Mynd 11. Sterkasti þáttur veðurfars í úrkomumagni októbermánaðar 1958–1977 eftir landsvæðum (Trausti Jónsson, 1990).

Mynd 12 sýnir annars vegar þann mikla mun sem er í úrkomu sunnan lands og norðan og hins vegar breytilega úrkomu til skemmri og lengri tíma. Auk þess sjást áratugasveiflur í úrkomunni og langtímaaukning. Hin sömu áhrif eru vel merkjanleg á grunnvatnsstöðu í nærliggjandi veitum. Grunnvatnsstaðan eykst við aukna úrkomu.



Mynd 12. Mánaðarúrcoma á SV og NA landi síðustu 50 ár. Fimm ára keðjumeðaltöl (Veðurstofa Íslands, 2019).

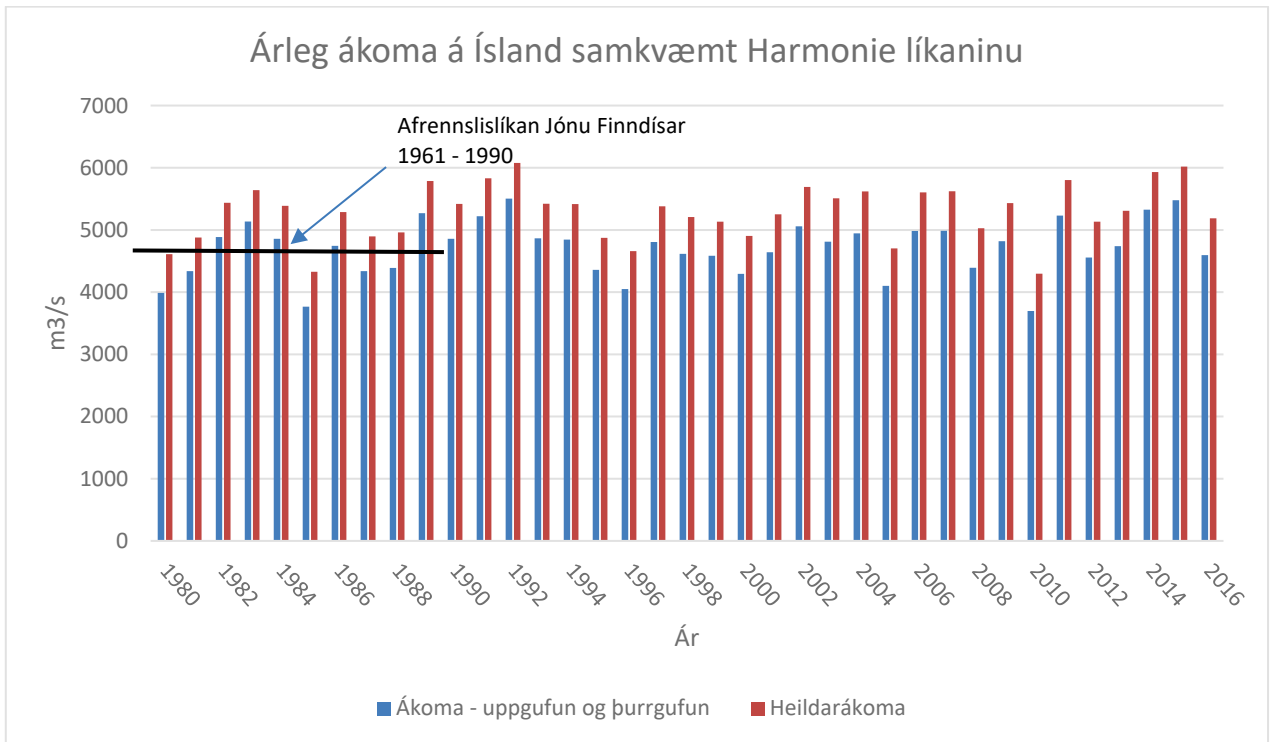


Mynd 13. Grunnvatnshæð í borholum á SV landi og norðanlands (Veðurstofa Íslands, 2019).

4.1.2 Heildarafrennsli af landinu

Unnt er að nota vatna- og veðurfræðilíkön sem byggja á úrkomu og rennslisgögnum til að áætla heildarafrennsli af landinu þ.e. yfirborðs og grunnvatnsrennsli.

Nýjasta mat á heildarafrennsli af landinu er frá árinu 2007 og gefur til kynna að það sé um 4770 m³/s, byggt á gögnum frá tímabilinu 1961–1990 (Jóna Finndís Jónsdóttir, 2008). Því miður er ekki til nýrra mat á heildarafrennslinu. Hins vegar er rétt að benda á að Veðurstofan hefur tekið í notkun nýtt veðurlíkan, Harmonie, sem líkir eftir úrkomu fyrri ára (mynd 14). Þar kemur vel fram að úrkomian er talsvert breytileg milli ára en myndin sýnir annars vegar heildarákomu og hins vegar ákomu að frádreginni uppgufun og þurrugufun.

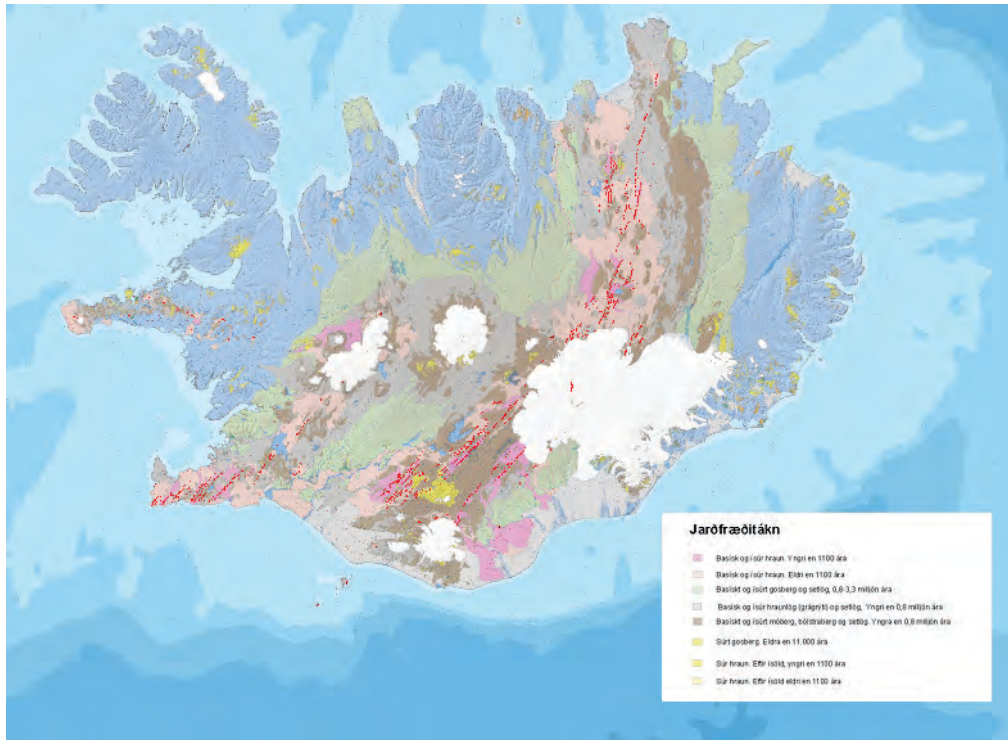


Mynd 14. Árleg ákoma á Ísland árabilið 1980–2016 samkvæmt Harmonie líkaninu (Veðurstofa Íslands, 2019).

4.2 Afrennslisáttir

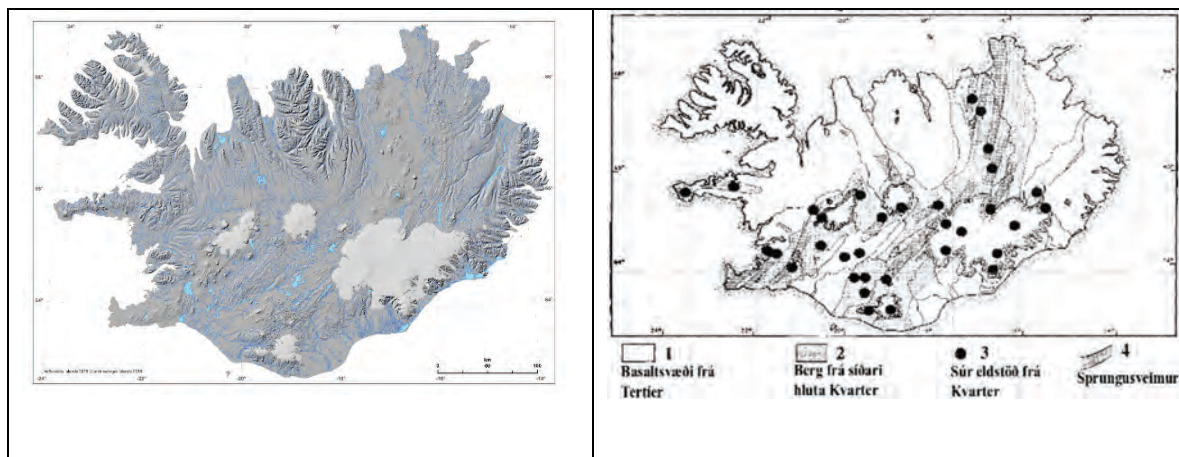
4.2.1 Megindrættir afrennslis af landinu

Viðtekin venja er að flokka vatnsföll hér á landi í þrjár gerðir eftir uppruna; Dragár, lindár og jökulár (Guðmundur Kjartansson, 1945). Dragár renna fram þar sem úrkoma fellur á þetta jörð og vatnið finnur sér leið í farvegum á yfirborði. Snjóalög geyma hluta vetrarúrkomu fram á vor en alla jafna bregðast dragár snögg við úrkomu. Jökulárnar byggja á leysingu jökla og endurspegla að jöklar geyma úrkomu milli ára og áratuga. Afrennslis frá þeim fylgir ekki síður sumar- og hausthitum heldur en úrkomusveiflum. Lindár eiga uppruna sinn í grunnvatni og koma frá svæðum þar sem yfirborðslög eða bergrunnur eru svo lek að vatnið getur auðveldlega hripað niður.



Mynd 15. Berggrunnur Íslands. Dragár eru langalgengastar á gamla berginu austan og vestan lands. Lindár eru algengari í grennd við eldvirknibeltið og það fer mikið til eftir farvegum jökuláa hvort þær teljast vera hreinar jökulár, jökulár með miklu lindavatni og/eða jökulár með dragáreinkennum (Jarðfræðikort: Náttúrufræðistofnun Íslands).

Berggrunnurinn hefur einna mest afgerandi áhrif. Dragár renna undantekningalítið fram á elsta berggrunninum sem er yfirleitt mjög þéttur en lítið er um yfirborðsrennsli á eldvirknibeltinu, mynd 15 og 16.



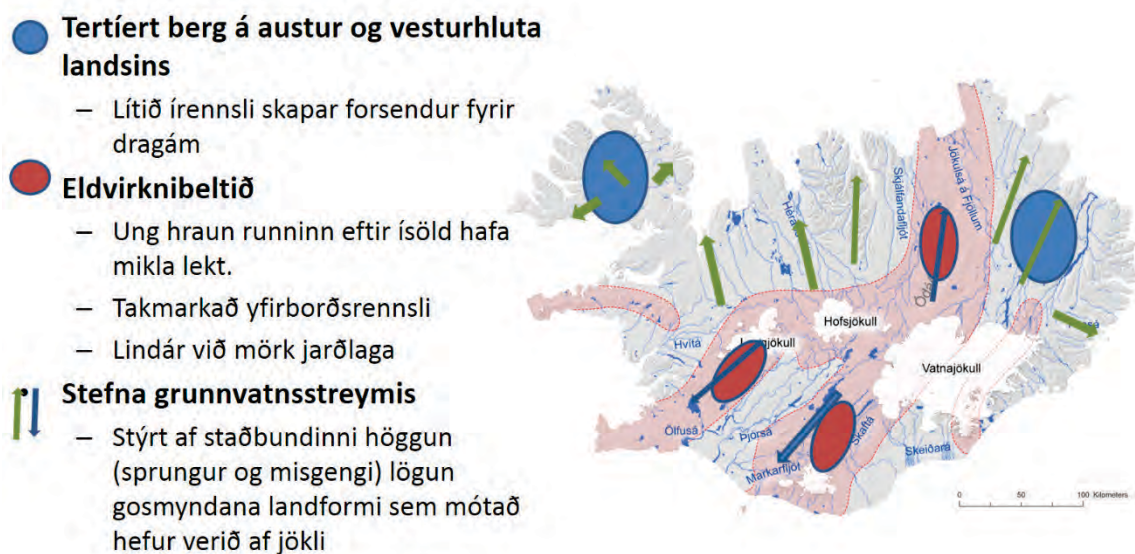
Mynd 16. Yfirborðsafrennsli og megindrættir í vatnajarðfræði landsins

a) Yfirborðsafrennsli. Nánast ekkert yfirborðsafrennsli er á eldvirknibeltinu norðan og suðvestan Vatnajökuls, og frá Langjökli og SV á Reykjanes. Þar liggja mestu grunnvatnsstraumarnir.

b) Megindrættir í vatnajarðfræði landsins Lek berglög og skarar af opnum sprungum valda stríðum grunnvatnsstraumum á síðkvarteru svæðunum. Vart verður jarðhita tengdum megineldstöðvunum í efnainnihaldi grunnvatnsins (Grunnheimild: Freysteinn Sigurðsson og Kristinn Einarsson 1988).

Jarðmyndanir tengdar eldvirkni og gliðnun lands móta mjög rennsli grunnvatnsins, hvernig það berst fram og hve mikið vatn rúmast í grunnvatnsgeymum (Freysteinn Sigurðsson & Kristinn Einarsson, 1988). Megineldstöðvar sem eru í eldvirknibeltinu mynda eins konar kjarna sem liggur á löngum sprungusveimum í NA–SV stefnu frá þeim. Þeir eru mikilvægur hluti af eldstöðvakerfinu. Þessir sprungusveimar eru yfirleitt mjög vel vatnsleiðandi. Það stafar bæði af ríkjandi höggunar-sprungum en samhliða því eru móbergshryggirnir, hinar fornu eldstöðvar frá ísöld úr sama eldstöðvakerfi, sem liggja því í sömu stefnu og höggunarsprungurnar. Til viðbótar er ungt hraun mjög vel leiðandi og samhliða er alla jafna lítill jarðvegur og gróðurþekja að undanskildum mosa á ungun hraunum.

Heildarmyndin sem sýnir rennslishætti í grófum dráttum er sýnd á mynd 17 fjallað verður nánar um einsaka þætti í köflunum hér á eftir.



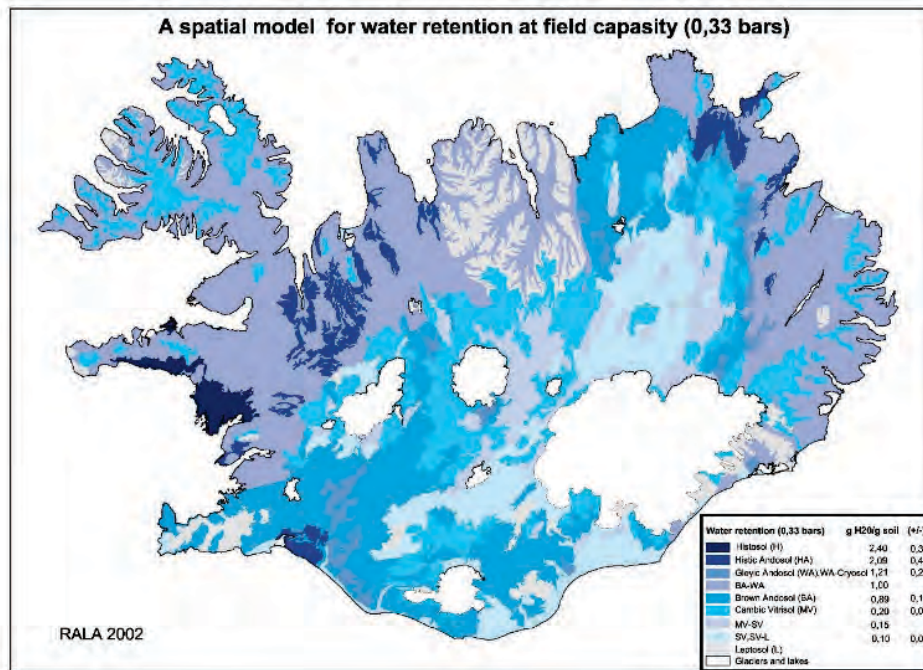
Mynd 17. Myndræn framsetning af grunnvatnsrennsli í berggrunninum.

Ný greining á gerðum yfirborðsvatns er að finna í nýrri tillögu að gerðargreiningu vatnshlota (Eydís S. Eiríksdóttir o.fl., 2019) og er þar tekið tillit til áhrifa grunnvatns og jarðvegs á uppruna og eiginleika yfirborðsvatns

4.2.2 Vatnsheldni, írennsli og grunnvatn

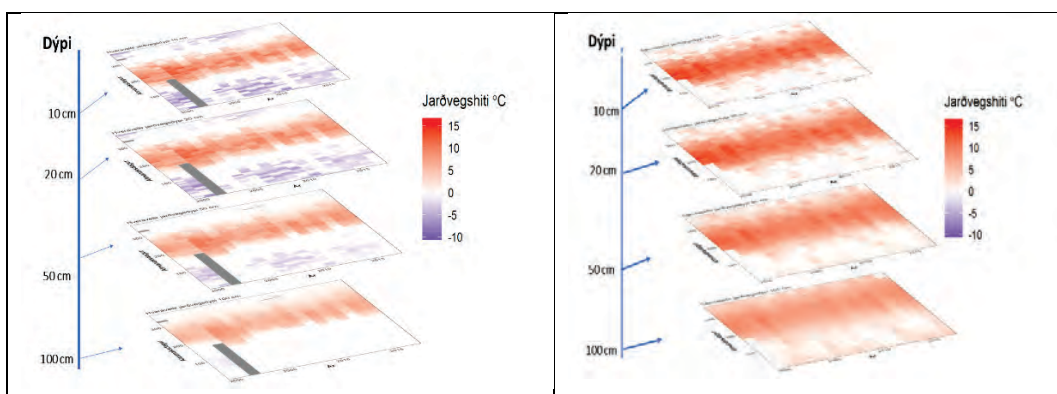
Það kallast írennsli þegar vatnið hripar niður í jörðina og verður að grunnvatni. Talið er að um 20% af afrennsli landsins, eða 1000 m³/s, renni fram sem grunnvatn, en stór hluti af því hefur komið fram á yfirborði á hálendisbrúninni sem er glögg og há víða um land (Freysteinn Sigurðsson, 1992; Freysteinn Sigurðsson, 2012).

Yfirborðspekjan ásamt berggrunninum ræður mestu um það vatn sem hripar niður sem grunnvatn. Jarðvegsgerð, jarðvegshiti, rakainnihald, kornastærð, gróður, snjóþekja og síðast en ekki síst jarðvegsklaci eru allir miklir áhrifavaldar (Guðrún Nína Petersen & Derya Berber, 2018). Hæfileiki jarðvegs til að geyma vatn er háður rýmd hans eða viðstöðu. Það sem jarðvegurinn getur ekki geymt af vatni fer annað hvort niður í berggrunn eða rennur fram á yfirborði. Mynd 18 sýnir niðurstöðu LBHÍ á mælingum á vatnsheldni jarðvegs þar sem hún er gefin sem hlutfall massa vatns á móti massa jarðvegs (g H₂O /g jarðvegs). Þessar niðurstöður eru einnig settar fram á íslensku í töflu 4 (Jón Guðmundsson o.fl., 2006).

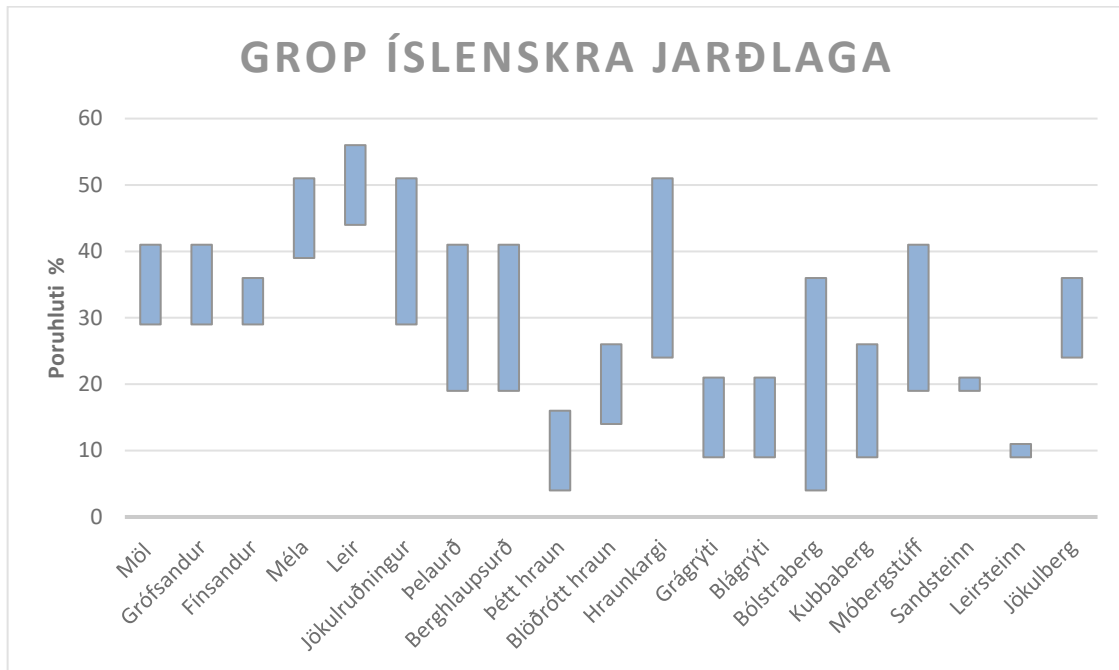


Mynd 18. Vatnsheldni íslensks jarðvegs. Íslensk heiti á jarðvegsgerðum eru í töflu 4 (Jón Guðmundsson o.fl., 2006).

Ofangreindar mælingar LBHÍ miða við ófrosinn jarðveg. Hins vegar er jarðvegur á heiðum alla jafna mikið frosinn stóran hluta ársins, auk þess sem víða er allt á kafi snjó. Af þessum sökum þarf að vera með nokkuð víð öryggismörk. Mynd 19 sýnir mælingar á jarðvegshita annars vegar við Hveravelli og hins vegar við Sámsstaði í Fljótshlíð. Þar sést vel að á hálendinu getur jarðvegur verið gegnfrosinn stóran hluta ársins og sáralítið vatn berst niður heldur rennur fram á yfirborði meðan úrkoma og leysing á auðveldara að síga niður í jörð á láglandi.



Mynd 19. Jarðvegshiti við mismunandi dýpi á Hveravöllum (vinstri) og Sámsstöðum (hægri) Myndirnar sýna hitastig á hverjum almanaksdegi ársins yfir árabilið 2000–2017. Grái liturinn táknar göt í mælingum (Veðurstofa Íslands, 2019).



Mynd 20. Grop íslenskra jarðfna (Árni Hjartarson, 1993).

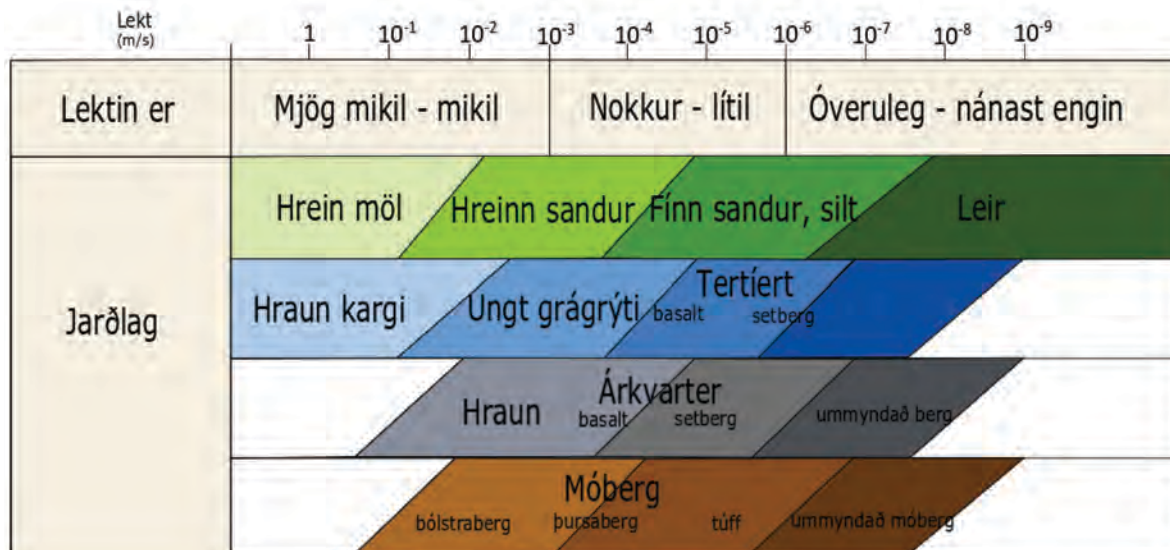
Gróður á yfirborði getur haft veruleg áhrif á írennsli í jarðveg. Hluti úrkomu sem fellur á gróið land situr á yfirborði gróðurs og gufar á endanum þaðan upp. Þessi hluti ræðst m.a. af yfirborðsflatarmáli gróðursins á hverja flatareiningu (m^2 gróðurs/ m^2 lands = LAI (leaf area index)). Hluti úrkomu sem nær niður í jarðveg er síðan tekinn upp af gróðrinum og skilar sér sem útgufun (transpiration) eða gufar beint upp af yfirborði jarðvegsins (evaporation). Þessi útgufun og uppgufun eru metin saman sem raungufun (actual evapotranspiration – ET_a). Gnóttargufun (potential evapotranspiration - ET_p) er sú upp og útgufun sem getur mest orðið ef hvorki framboð á vatni né „hegðun“ gróðurs takmarkar upp/útgufunina. Raungufun (ET_a) er alltaf minni en gnóttargufun (ET_p). Þar af leið

ðir að gnóttargufun er ágæt viðmiðun fyrir hámark úrkomu/leysingarvatns sem ekki nýtist til að hækka vatnsinnihald jarðvegs. Í þeim tilvikum sem ástæða er til að skoða nánar innstreymi í grunnvatn gæti verið þörf á að meta raungufun í stað gnóttargufunar.

4.2.3 Lekt og grop jarðlaga

Þeir eiginleikar sem ráða mestu um gerð, framrás og rúmtak grunnvatns í jarðlögum eru:

- Rúmfang jarðlaganna, þ.e. útbreiðsla þeirra og þykkt.
- Rýmd sem kallast oft poruhluti eða grop (n) og er hlutfall rúmmáls holrýmis jarðlagsins á móti heildarrúmtaki þess. Reyndar eru margar porur ekki samtengdar eða svo litlar að vatn rennur treglega frá þeim. Þetta þýðir að virkur poruhluti, n_e getur verið talsvert lægri en raunverulegu poruhluti. Þegar efnið er gróft eða mjög lekt munar litlu þar á, en munurinn getur orðið talverður þegar efni er fínkorna.
- Lekt jarðlaganna sem hefur eininguna m/s . Lektin eru raunar fall af poruhluta og innri byggingu (strúktúr) efnisins, þ.e. kornastæðar, stefnu, skipan og lögum efnisagnanna.



Mynd 21. Lekt íslenskra jarðlaga. Endurgert eftir: Freysteinn Sigurðsson & Jón Ingimarsson, 1987.

Rúmfang jarðlaga sem grunnvatn liggur í og grop þeirra (virkur poruhluti) er mælikvarði á hve mikið vatn getur rúmast í þeim. Lektin gefur hins vegar til kynna hversu auðveldlega það vatn sem er í veitinum rennur fram.

Með vísun í mynd 20 og 21 sést að mól hefur til dæmis 30% grop og lektina 0,1–1 m/s. Mól getur því rúmað mikið vatn eða sem nemur um þriðjungi rúmmáls hennar og það er auðvelt að ná vatninu úr henni. Leirsteinn hefur á hinn bóginn mjög lítið grop og mjög litla lekt þ.e. 10⁻⁸–10⁻⁹ m/s sem gerir það að verkum hann er nánast vatnsþéttur. Öðru máli gegnir um leir sem hefur afar mikið grop en litla lekt. Ástæðan er sú að leir hefur mikið yfirborðsflatarmál og vatn getur bundist við kristalbyggingu leirsins sem dregur vatnið í sig. Vatnið binst í leirnum sem hindrar samtímis gegnumstreymi.

4.3 Veitar í grunnvatnshlotum

Fram kemur í kafla 2.2 að grunnvatnshlot er skilgreint í tilskipuninni sem „rúmtak grunnvatns sem er að finna innan veitis eða veita“.

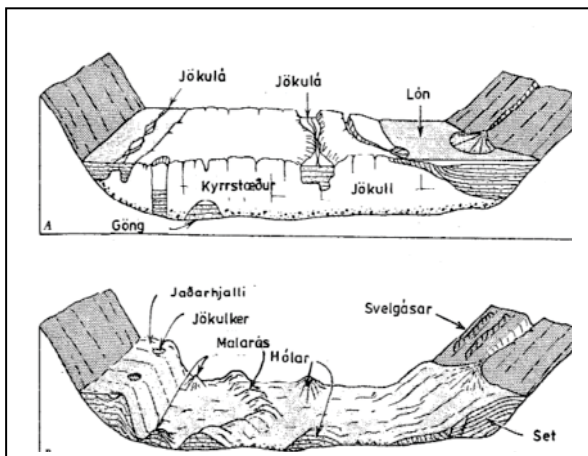
Í grófum dráttum má skipta grunnvatnsveitum í tvo hópa a) jarðgrunnsveita og hins vegar b) berggrunnsveita þar sem eiginleikar veitanna eru talsvert mismunandi. Alla jafna geyma berggrunnsveitar mun meira vatn en jarðgrunnsveitar, enda rúmtak þeirra mjög oft afar mikið og poruhluti þeirra og lekt umtalsvert meiri en jarðgrunnsveitanna, sjá mynd 20 og mynd 21.

4.3.1 Jarðgrunnsveitar

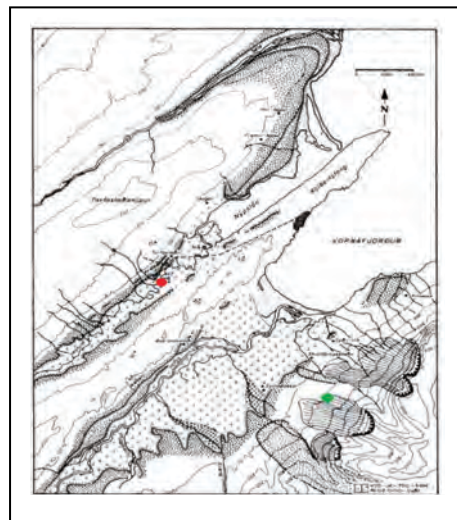
Víða á eldra berginu Austan og Vestan lands er berggrunnurinn meira og minna þéttur, eins og rakið er í kafla 4.2.1. Grunnvatn á landsvæðum með eldra bergi liggur því að meginhluta í lausum eða lítt ummynduðum og ferskum jarðlögum sem liggja á þéttum berggrunni.

Þar sem grunnvatn er að finna í berggrunninum sjálfum fylgir það einkum sprungukerfum á þessum svæðum. Þó má, eins og kemur fram í kafla 4.3.2, finna víðáttumikið ferskt lítt eða óummyndað berg í fjalllendi Vestfjarða, Tröllaskaga og víðar þar sem unnt er að vinna grunnvatn.

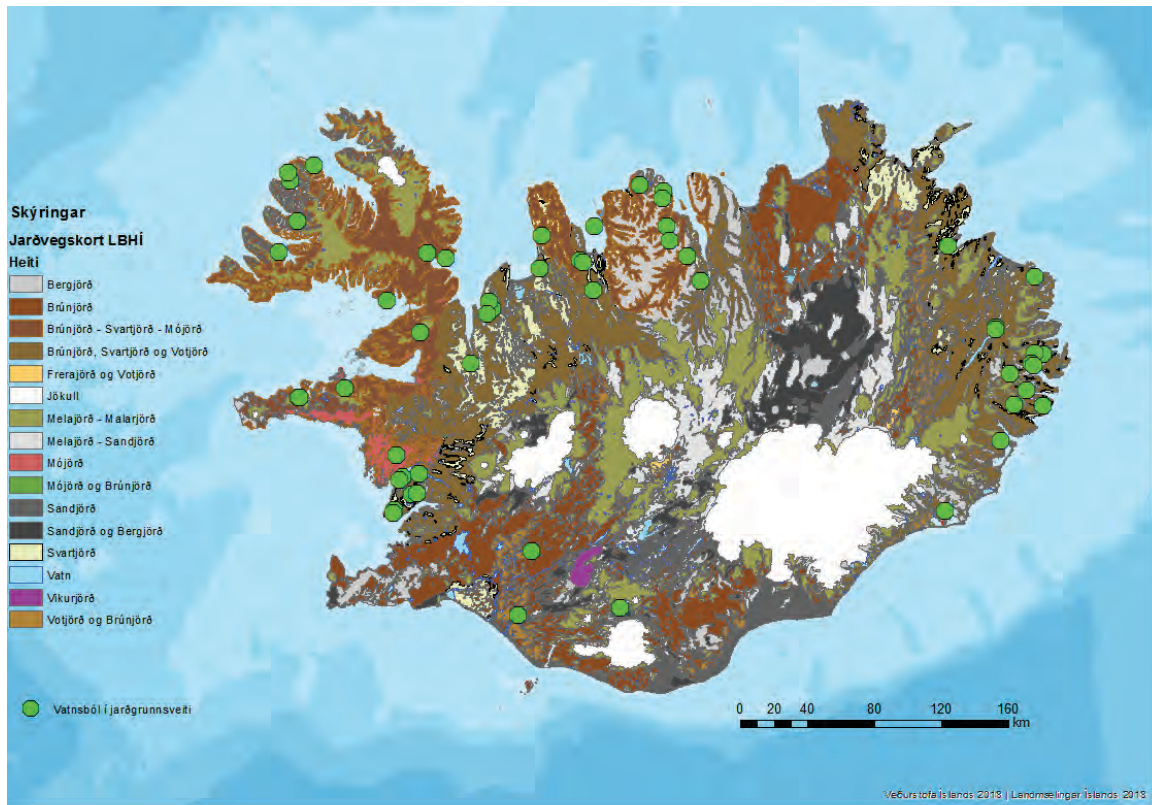
Þar sem berggrunnurinn er alveg þéttur þarf vinna vatn úr lausum jarðlögum. Vatnið í jarðgrunnsveitum er yfirleitt úrkoma, afrennsli og leysing sem hripar niður eftir fjallshlíðum og safnast fyrir í veitinum. Jarðgrunnsveitar geta t.d. verið áreyrar, skriður, berghlaup, malarhjallar og sandar. Mynd 22 sýnir einfaldaða mynd af ýmsum jökulár- og jökulvatnsmyndunum frá jökulskeiði þar sem unnt er að leita eftir vatni. Vatnstökustaðir fyrir Vopnafjörð eru í lausum jarðlögum og við skrið, sjá mynd 23.



Mynd 22. Einfölduð mynd af ýmsum jökulár- og jökulvatnsmyndunum. (Hreinn Haraldsson, 1983)

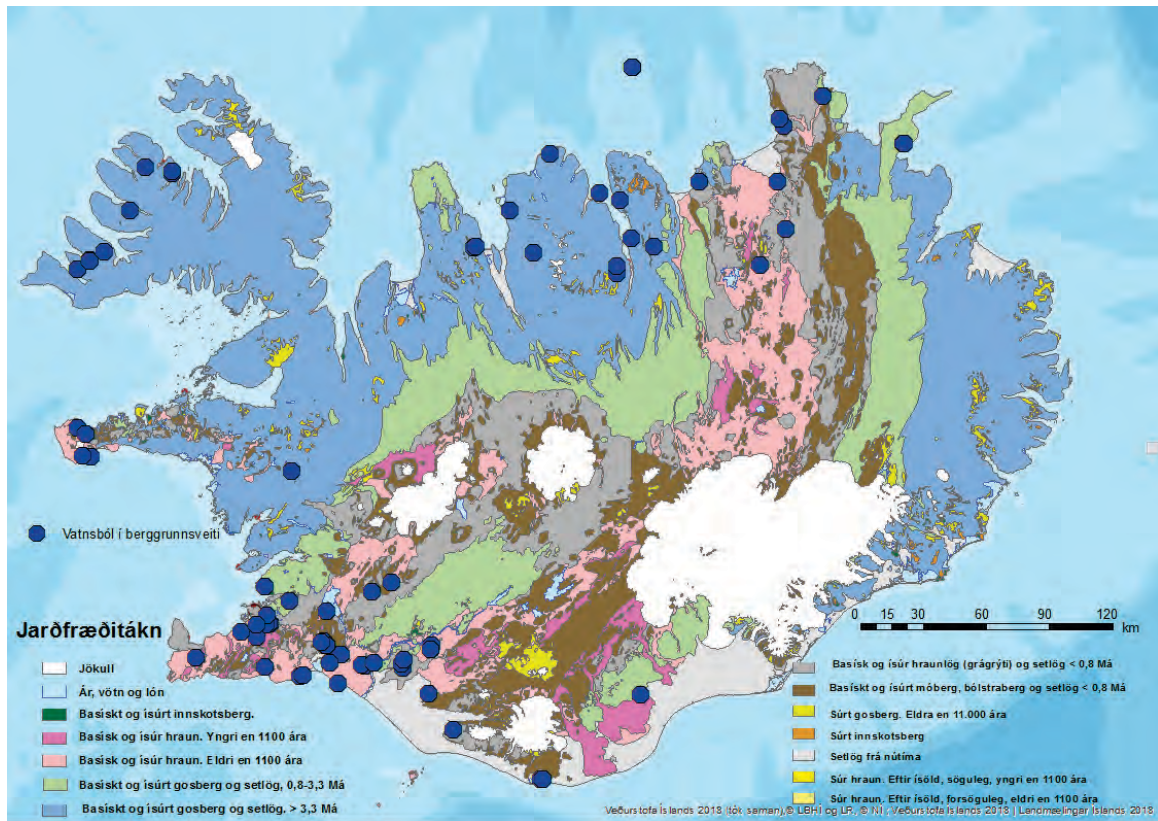


Mynd 23. Vatnstökustaðir fyrir Vopnafjörð eru í skriðu og áreyrum. Rauðir og grænir hringir sýna vatnstökustaði (Árni Hjartarson, Freysteinn Sigurðsson & Þórólfur H. Hafstað, 1979; Nytjavatnsgrunnur, 2018).



Mynd 24. Jarðgrunnur á Íslandi og helstu staðir þar sem vatn er tekið úr jarðgrunnsveitum. Byggt á gögnum frá 2010 (Kort: Landbúnaðarháskóli Íslands; Vatnstökustaðir: Árni Hjartarson & Þórólfur Hafstað, 2010).

Mynd 24 sýnir helstu staði þar sem vatn er tekið upp úr jarðgrunnsveitum. Hins vegar verður að vekja athygli á því að stundum er þessi flokkun í beggrunns- og jarðgrunnsveita ekki fullkomlega einhlít. Það kemur fyrir að grunnvatn renni eftir brotalínnum í eldra bergi og komi fram í jarðvegstorfum eins og t.d. við Halland á Svalbarðsströnd í Eyjafirði (Halldór G. Pétursson, 1998). Þar sem jarðgrunnsveitar hafa alla jafna ekki mikið rúmtak í samanburði við öfluga berggrunnsveita eru þeir oft viðkvæmir fyrir þurrkum og geta þornað upp við langvarandi þurrkatíð.



Mynd 25. Berggrunnur Íslands og helstu staðir þar sem vatn er tekið úr berggrunnsveiti Byggt á gögnum frá 2010 (Jarðfræðikort: Náttúrufræðistofnun Íslands; Vatnstökustaðir: Árni Hjartarson & Þórólfur Hafstað, 2010).

4.3.2 Berggrunnsveitar

Berggrunnsveitar geta t.d. verið nútímahraun, bólstraberg, kubbaberg, grágrýti, lítt ummyndað eða sprungið blágrýti (mynd 25).

Tertíer bergið er elsta bergið á Íslandi, 3,3–16 milljón ára (Björn S. Harðarson, Fitton & Hjartarson, 2008). Það er er að meginhluta byggt upp af lagskiptum hraunlögum sem hafa lagst yfir fjölda megineldstöðva sem voru virkar á sinni tíð. Lögunum hallar víða inn til lands í samræmi við höggunarsöguna. Sjá nánar í viðauka B.

Mörg lögin hafa grafið djúpt niður þegar farg yngri gosefna leggst ofan á þau en koma á yfirborðið eftir því sem þau rekur lengra frá eldvirknibeltinu (Gunnar Böðvarsson & G.P.L Walker, 1964; Guðmundur Pálmason, 1973; Sigurður Steinþórsson, 1986). Eldvirknin fylgdi gosbeltinu sem gekk í gegnum landið á þeim tíma og endurspeglast í aflöngum goskerfum samfara sprungusveimum sem ganga út frá þeim. Bergið og sprungurnar eru að langmestu leyti orðin þétt vegna jarðhitavirkni og ummyndunar. Um bergið hefur runnið jarðhitavatn með uppleystum efnum sem hafa smá saman fallið út og þétt holur og sprungur í berginu. Uppbygging jarðlagastaflans í tertíera berginu er að mörgu leyti reglulegri en þegar kemur fram á ísöld (10.000–2,6 milljón ára) enda roföflin orðin veikari þar sem ekki var jökulrof til staðar. Þykkt basaltlaganna getur verið talsvert breytileg en millilögin innihalda ösku, vindborin sand og jafnvel jarðvegsleifar Þau eru yfirleitt þynnri en basaltlögin. Botnkargi hraunanna getur verið nokkuð gropinn en karginn er alloft frekar þunnur. Alla jafna hefur ummyndun orsakað það að jarðlögin í þessari myndun eru ekki leiðandi þó á því séu undantekningar.

Hluti tertíeru myndananna, einkanlega á vestur og suðvesturhluta Vestfjarða, en einnig á hærri fjöllum annars staðar, hafa ekki grafist djúpt í jarðlagastaflann og hafa því ekki ummyndast og þétt vegna hita í sama mæli og annarstaðar á tertíer svæðum. Þar má því finna víðáttumikið ferskt berg þar sem unnt er að vinna grunnvatn. Raunar er ekki óalgengt að grunnvatn komi lárétt úr fjalls- hlíðum á skilum milli fersks og ummyndaðs bergs (Grímur Björnsson o.fl., 1995). Þá getur verið um að ræða staðbundnar lindir þar sem t.d. höggun frá síðari tímum hefur brotið upp sprungur. Yfirleitt er þar um litlar lindir að ræða þó að þær hafi mikið staðbundið gildi.

Berg frá fyrri og miðhluta síðustu ísaldar sem er yfirleitt orðið nokkuð þétt vegna holu og sprungu- fyllinga, sem væntanlega stafar að mestu af varmaáhrifum megineldstöðvanna. Gosvirkninni hefur fylgt jarðhiti. Um bergið hefur runnið jarðhitavatn með uppleystum efnum sem hafa smám saman fallið út og þétt holur og sprungur í berginu. Hins vegar er veruleg óregla í upphleðslunni sem ekki sést á yfirborði. Til að mynda er erfitt að geta sér til um legu og tilvist eldri höggunarsprungna og móbergsmýndana sem eru grafnar í jarðlagastaflanum. Þess vegna getur verið erfitt að segja til um lekaleiðir almennt. Áhrif brotalína og misgengja geta verið á hvorn veginn sem er. Sé brotasvæðið nægilega opið rennur grunnvatn hratt fram eftir brotalínunum og myndar lægð í grunnvatnsborðið. Hins vegar geta brotalínur einkum í ummynduðu bergi og í grennd við megineldstöðvar virkað sem stemmir á vatnsrennslið og hindrað rennsli þvert á þær (Birgir Jónsson, 1983).

Berg frá síðasta hluta ísaldar og nútíma er það ungt að það hefur lítið þétt vegna útfellinga. Lekt bergsins er því bundin við upphaflegar lekaleiðir, þ.e. eftir bólstraberginu í kjarna móbergshryggja, í karga þar sem lagmót hrauna eru og í stuðlasprungum hrauna eða karga þeirra.

Víða um land eru svæði með þykkum og groppnum jarðlögum frá síðjökul- og nútíma sem geyma mikið grunnvatn. Auk þess liggja höggunarsprungur í gegnum mörg þessara svæða sem stækkar aðrennslissvæðið og þar með rýmd grunnvatnsgeymisins, eykur lekt þeirra og skapar forsendur fyrir miklu grunnvatnsstreymi eða lindastreymi til yfirborðs.

Móbergsmýndanir. Mynd 26 skýrir hvernig móbergsmýndanir verða til. Á henni kemur fram að innan sömu myndunar getur ægt saman bólstrabergi, bólstrabrotabergi, innskotshleifum úr kubba- bergi, örfinni ösku og gjalli. Þar við bætist enn eitt flækjustigið. Þar sem móbergshryggir eru myndaðir undir jökli hafa jökull og vatn víða rofið þessar mýndanir eftir að eldvirkninni lauk. Roföflin hafa sett af sér set sem ósjaldan liggur á móberginu. Setið getur verið í formi t.d. sandsteins, siltsteins, völubergs og jökulbergs. Flestar setmýndanir sem tengjast jökulrofi og setmyndun eru lítið vatnsleiðandi ef frá eru taldar höggunarsprungur og flögun í bergi. Flögun er væntanlega afleiðing samspils álags ísaldarjökulsins og síðan fargléttingar við jökulleysingu. Almennt séð geta móbergshryggir verið vel leiðandi, en eins og áður hefur komið fram er það bundið höggunar- sprungum og bólstra- eða kubbabergi. Vatnið í móbergshryggjum rennur margfalt auðveldar langs eftir gosmynduninni og sprungunni sem myndaði hana, en þvert á þá stefnu. Hins vegar er grunnvatn í móbergshryggjum einangrað frá grunnvatni sem um nútímahraun renna meðal annars vegna veðrunarkápannar sem vísað er til á mynd 26. Þessi munur milli grunnvatns í móbergs- myndunum og nútímahraunum er vel merkjanlegur þegar litið er til vatnsborðsbreytinga, efna- innihalds eða hitastigs. Vel þekkt dæmi eru á Tungnaáröræfum (sjá t.d. P. Jóhannesson o.fl., 1978; Jónasson & Guðmundsson, 1978; Jónasson o.fl., 1978) en þau eru mun víðar, t.d. á Hellsheiði. Þess vegna hníga rök að því, þar sem grunnvatn er nýtt í einhverjum mæli í grennd við móberg, að skilgreina þar sjálfstæð grunnvatnhlot.

Myndun móbergshryggja við gos undir jökli



Við snöggkælingu kviku vegna snertingar við vatn myndast þrýstingur vegna gassins sem er í henni og það leitar út.

- Þegar innri þrýstingur er minni en ytri – myndast bólstraberg sem hleóst upp við gosrásina.
- Eftir því sem fjallið byggist upp minnkar ytri þrýstingur vatnsins. Kvikan sundrast og bólstrabrotaberg myndast ósjaldan í hlíðum bólstrabergshrúgunnar.
- Þegar ytri þrýstingur er sem næst horfinn sundrast kvikan og verður að gjósku eða ösku. Þar sem gosvirknin er breytileg meðan á henni stendur getur öllu þessu ægt saman.

Algengt er að ysta lag móbergsfjalla sem er oftast gjall og aska ummyndist vegna varmans í fjallinu og veðrunar og myndi sem næst vatnshelda kápu.

Móbergshryggir geta verið með góða vatnsleiðni, einkanlega langs eftir þeim og eftir stefnu brotalína.

Mynd 26. Myndun móbergshryggja við gos undir jökli (Davíð Egilson, 2016).

Nútímahraunin hafa runnið eftir að jökla leysti. Þau koma eðli máls samkvæmt upp í eldvirkni-beltinu og hafa runnið í kringum og yfir myndanir þær sem mynduðust á jökultíma. Það er þeim sammerkt að efst er alla jafna yfirborðskargi með hraunbrotum. Hins vegar hafa oft liðið aldir eða þúsundir ára milli hraungosanna svo yfirborðið er mjög víða fyllt af vikri, foksandi eða fokmold. Miðhluti þeirra hrauna sem eru þykkari en 10–15 m er alla jafna nokkuð heilsteyptur og stuðlaður. Lekt hans er því sjaldnast mikil nema í hraunjöðrum og í gegnum stuðlasprungur. Botnkargi hraunanna er hins vegar hríplekur. Það stafar af því að þegar hraunið rennur fram steypast bergHELLUR og hraunbrot undir hraunið. Þar sem ekkert set fyllir í botnkargann eftir að hraunið hefur staðnæmst verður hann yfirleitt mjög opin og vel leiðandi.

Loks er vert að minnast á eitt atriði sem virðist mjög einkennandi fyrir aðstæður sem þessar. Undir lok ísaldar varð mikil leysing meðan ísaldarjökullinn var að hörfa. Leysingarvatn fann sér farveg í átt til sjávar. Við endurtekin gos leituðu hraunin eðlilega eftir auðveldustu rennslisleiðum og fylgdu því ósjaldan farvegum sem fyrir voru. Í farvegnum var mikið af gegnsósa sandi og vikri sem þessi vatnsföll báru fram. Þegar hraun rennur um slík svæði brotnar bergið upp og neðsti hlutinn verður afar gropinn. Þessu til viðbótar hafa sjálfir farvegirnir mikið til þést vegna jökulleirsins. Þetta hvort tveggja skapar forsendur til að grunnvatnið leiti sér leið í botnkarga yngri hrauna fremur en ofan á til þess að gera þéttum botni sem eldri farvegir höfðu myndað. Þarna myndast því aðstæður fyrir því að vatnið renni fram í umtalsverðu magni neðanjarðar í afmörkuðum rásum. Nærtækt dæmi er í Holuhrauni en til eru mýmörg önnur. Við virkjanaframkvæmdir á eldvirknibeltinu hefur vatni verið veitt út á nútímahraun. Við það hefur írennsli í suma veitanna vaxið mjög mikið. Þegar slíkt vatn er jökulskotið getur það til lengri tíma þétt bergið, eins og dæmi eru um víða á eldvirknibeltinu (Guðmundur Kjartansson, 1953; Davíð Egilson, 2016; Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018).

5 Vatnsheldni og lekt grunnvatnshlota

5.1 Inngangur

Til þess að geta metið magnstöðu og hversu vel grunnvatnshlot endurnýjar sig þarf að finna aðferðarfræði sem leggur mat á heildar vatnsheldni grunnvatnshlotsins og hversu vel það leiðir vatn. Byrjað er á að leggja gróft mat sem byggt er á þeirri þekkingu sem til staðar. Með aukinni þekkingu á grundvelli vöktunar og nýrra mælinga er metið hvort grunnforsendur halda eða aðlaga þurfi líkanið í ljósi nýrra upplýsinga, eins og fjallað eru um í kafla 2.3 Áhættumat og hugtakalíkon.

5.2 Vatnsheldni jarðgrunns í grunnvatnshlotum

Unnt er að fá gróft mat á vatnsheldni einstakra grunnvatnshlota með því að samþætta upplýsingar úr landupplýsingakerfi (LUK) stjórnar vatnamála um útbreiðslu mismunandi jarðvegsgerða og þekkingu á vatnsheldni jarðvegsgerðanna samkvæmt gögnum frá LbhÍ (Jón Guðmundsson o.fl., 2006).

Vatnsheldnin er fundin með því að leggja saman margfeldi hlutfallslegrar útbreiðslu sérhverrar jarðvegsgerðar innan hlotsins og vatnsheldni þeirra samkvæmt líkingunni:

$$VVhGh = \sum_1^n (Fjg_n * Vh_n)$$

Þar sem

VVhGh = Vegið meðaltal vatnsheldni grunnvatnshlotsins

Fjg = Hlutfallslegt flatarmál einstakrar jarðvegsgerðar innan grunnvatnshlotsins, sjá dæmi í töflu 3

Vh = Vatnsheldni jarðvegsgerðarinnar, sjá töflu 4

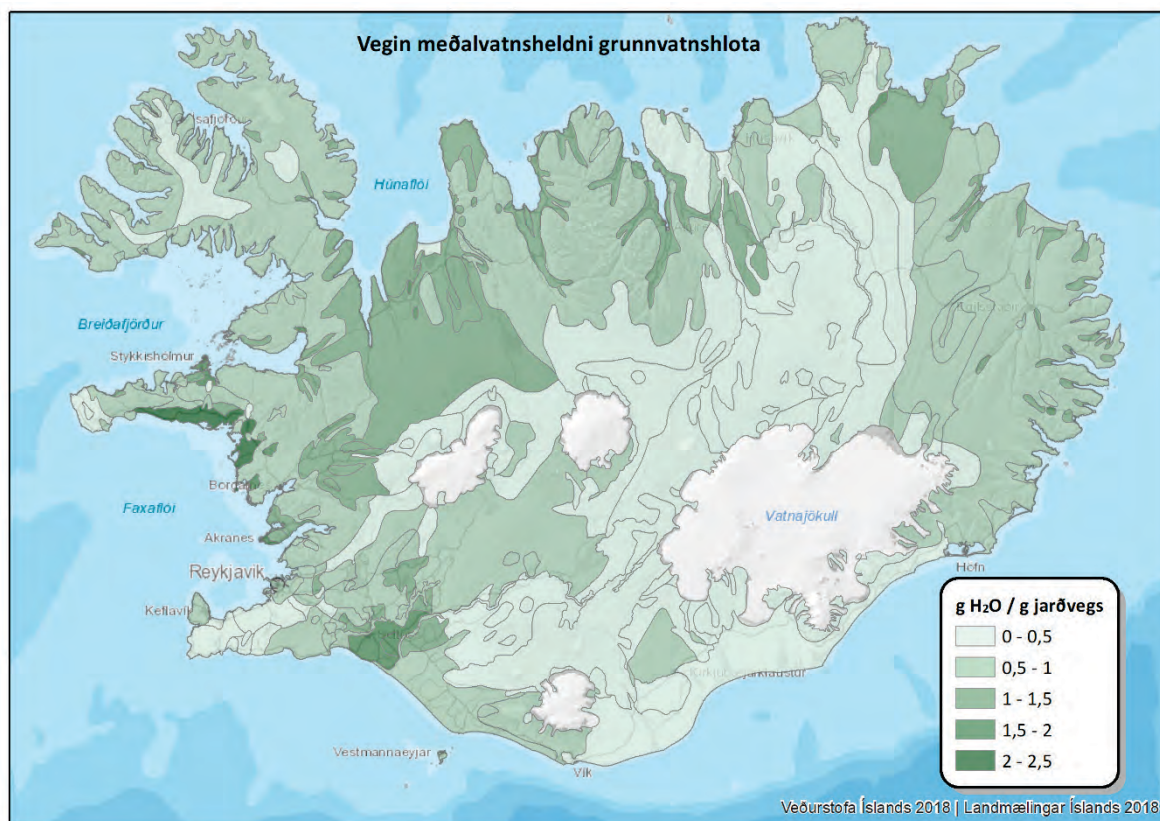
n = fjöldi jarðvegsgerða innan hlotsins

Tafla 3. Dæmi um mat á flatarmáli ríkjandi jarðvegsflokka í fjórum grunnvatnshlotum.

Vatnshlotanúmer	Flokkur	Flatarmál m ²	Prósenta	Skýring *
101-100-G	BA-WA	10,483,298	54,5	Brúnjörð-blautjörð
	H	188,550	1,0	Mójörð
	L	7,478,006	38,9	Bergjörð
	MV	1,037,451	5,4	Melajörð
101-101-G	BA-WA	17,702,717	71,3	Brúnjörð-blautjörð
	L	6,735,334	27,1	Bergjörð
101-102-G	BA-WA	22,427,315	71,6	Brúnjörð-blautjörð
	L	6,426,661	20,5	Bergjörð
	MV	2,343,911	7,5	Melajörð
101-103-G	BA-WA	19,886,120	96,2	Brúnjörð-blautjörð

Tafla 4. Vatnsheldni jarðvegsgerða sem koma fram á mynd 18 (Jón Guðmundsson o.fl., 2006).

FLOKKUR	Heiti jarðvegsgerðar	Vatnsheldni (gH ₂ O/ g jarðvegs)
H	Mójörð	2.4
HA	Svartjörð	2.1
C-WA	Frerajörð	1.2
WA	Blautjörð	1.2
BA-WA	Brúnjörð-blautjörð	1
BA	Brúnjörð	1
MV	Melajörð	0.2
MV-SV	Melajörð-sandjörð	0.2
SV	Sandjörð	0.1
SV-L	Sandjörð-bergjörð	0.1
L	Bergjörð	0
GL	Jöklar	0
WAT	Stöðuvötn og Tjarnir	0



Mynd 27. Vegið meðaltal vatnsheldni jarðvegs í grunnvatnshlotum.

Vegið meðaltal vatnsheldni jarðvegs (g H₂O / g jarðvegs) í hverju grunnvatnshloti er sýnd á mynd 27. Myndin sýnir vel að meðal vatnsheldni jarðvegs í grunnvatnshlotum er langminnst á eldvirkni-beltinu þar sem vatn á yfirleitt til þess að gera greiða leið í lekan berggrunn og berst þaðan fram sem grunnvatn.

5.3 Lekt berggrunns í grunnvatnshlotum

Lekt berggrunnsins ræður miklu um það hvernig vatn sem hefur borist í hann rennur fram. Unnt er að fá gróft mat á meðallekt einstakra grunnvatnshlota með því að samþætta upplýsingar úr LUK kerfi stjórnar vatnamála um útbreiðslu mismunandi gerða berggrunns og þekkingu á lekt mismunandi berggrunnsgerða samanber kafla 4.2.3, Lekt og grop jarðlaga. Aðferðin er sambærileg við mat á vatnsheldni jarðvegs í kaflanum hér að framan: Summa af margfeldi hlutfallslegs flatarmáls hverrar berggerðar í grunnvatnshloti og samsvarandi leiðni gefur mat á veginni meðalleiðni í hverju hloti. Niðurstöður eru reiknaðar samkvæmt líkingunni:

$$VLGh = \sum_1^n (Fjg_n * Vh_n)$$

Þar sem

VLGh = Vegið meðaltal lektar grunnvatnshlotsins

Fjg = Hlutfallslegt flatarmál einstakrar berggrunnsgerðar innan grunnvatnshlotsins, sjá dæmi í töflu 5

Vh = Lekt berggrunnsgerðarinnar, sjá töflu 6

n = fjöldi berggrunnsgerða innan hlotsins

Tafla 5. Dæmi um mat á flatarmáli hverrar berggrunnseiningar í grunnvatnshloti.

Vatnshlotanúmer	Flatarmál m ²	Prósenta	Berggrunnseining
101-100-G	19,220,130	99,9	Basískt og ísúrt gosberg og setlög. Síð-tertíer, eldra en 3,3 milljón ára
101-101-G	24,703,054	99,5	Basískt og ísúrt gosberg og setlög. Síð-tertíer, eldra en 3,3 milljón ára
101-102-G	30,329,207	96,9	Basískt og ísúrt gosberg og setlög. Síð-tertíer, eldra en 3,3 milljón ára
	965,307	3,1	Súrt gosberg. Tertíer og frá ísöld. Eldra en 11.000 ára
101-103-G	20,605,517	99,7	Basískt og ísúrt gosberg og setlög. Síð-tertíer, eldra en 3,3 milljón ára
101-104-G	26,550,619	100	Basískt og ísúrt gosberg og setlög. Síð-tertíer, eldra en 3,3 milljón ára
101-105-G	12,305,034	99	Basískt og ísúrt gosberg og setlög. Síð-tertíer, eldra en 3,3 milljón ára
	5,420	0	Súrt gosberg. Tertíer og frá ísöld. Eldra en 11.000 ára

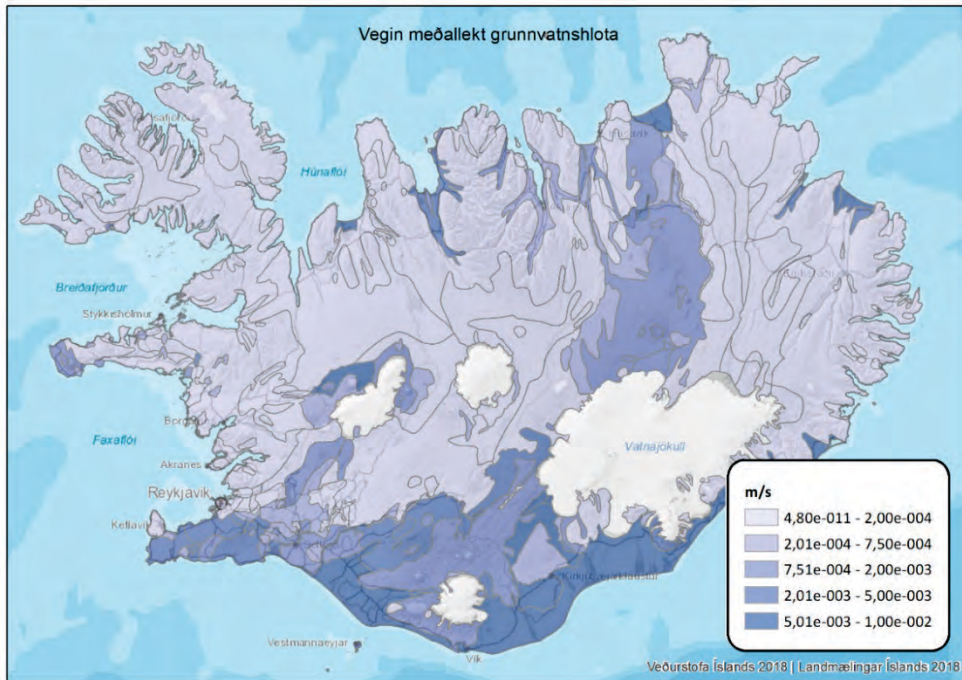
Tafla 6. Meðallekt mismunandi berggrunnsgerða Berggrunnsgerðirnar er að finna á mynd 15 Berggrunnur Íslands, en lektargildin á mynd 21 Lekt íslenskra jarðlaga.

Berggrunnsgerð	Meðallekt í m/s
Basískt og ísúrt gosberg og setlög. Síð-tertier. eldra en 3.3 milljón ára	1,00E-09
Súrt gosberg. Tertier og frá ísöld. Eldra en 11.000 ára	1,00E-09
Súrt innskotsberg. líparít. granófýr og granít	1,00E-09
Stöðuvatn/tjörn	1,00E-10
Basískt og ísúrt gosberg og setlög. Síð-plíósen og frá fyrri hluta ísaldar. 0.8-3.3 milljón ára	1,00E-05
Basísk og ísúr hraunlög (grágrýti) og setlög. Frá síðari hluta ísaldar. yngri en 0.8 milljón ára	1,00E-05
Basísk og ísúr hraun. Eftir ísöld. forsöguleg. eldri en 1100 ára	1,00E-03
Basískt og ísúrt móberg. bólstraberg og setlög. Frá síðari hluta ísaldar. yngri en 0.8 milljón ára	1,00E-04
Basískt og ísúrt innskotsberg. gabbró. dólerít og díorít	1,00E-09
Setlög frá nútíma	1,00E-02
Basísk og ísúr hraun. Eftir ísöld. söguleg. yngri en 1100 ára	1,00E-02
Jökull	1,00E-10
Á/lækur	1,00E-10
Súr hraun. Eftir ísöld. forsöguleg. eldri en 1100 ára	1,00E-10
Stíflulón	1,00E-10
Súr hraun. Eftir ísöld. söguleg. yngri en 1100 ára	1,00E-08

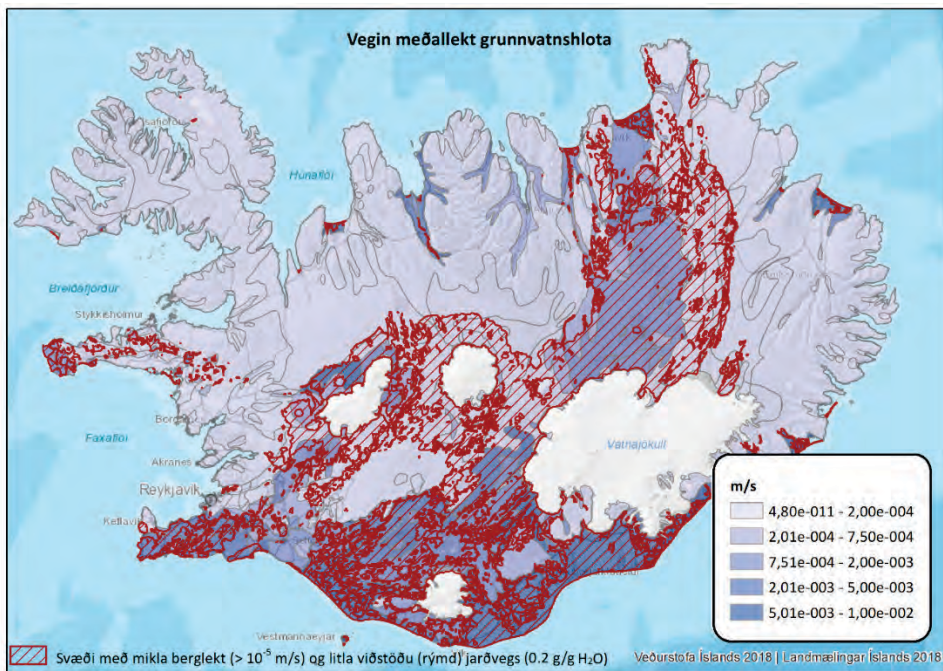
Tafla 6 sýnir þær berggrunnseiningar sem er að finna á mynd 15 og meðallekt þeirra. Samkvæmt mynd 28 er langmesta lektin á eldvirknibeltinu og í setfyllingum frá síðasta jökulskeiði.

5.4 Samverkandi áhrif vatnsheldni og berglektar

Þau svæði þar sem saman fer mikil leiðni og lítil vatnsheldni jarðvegs eru sýnd mynd 29. Þar má vænta að stærri hluti úrkomunnar en annarsstaðar skili sér sem grunnvatn. Auk þess má einnig vænta mikils grunnvatnsrennslis.

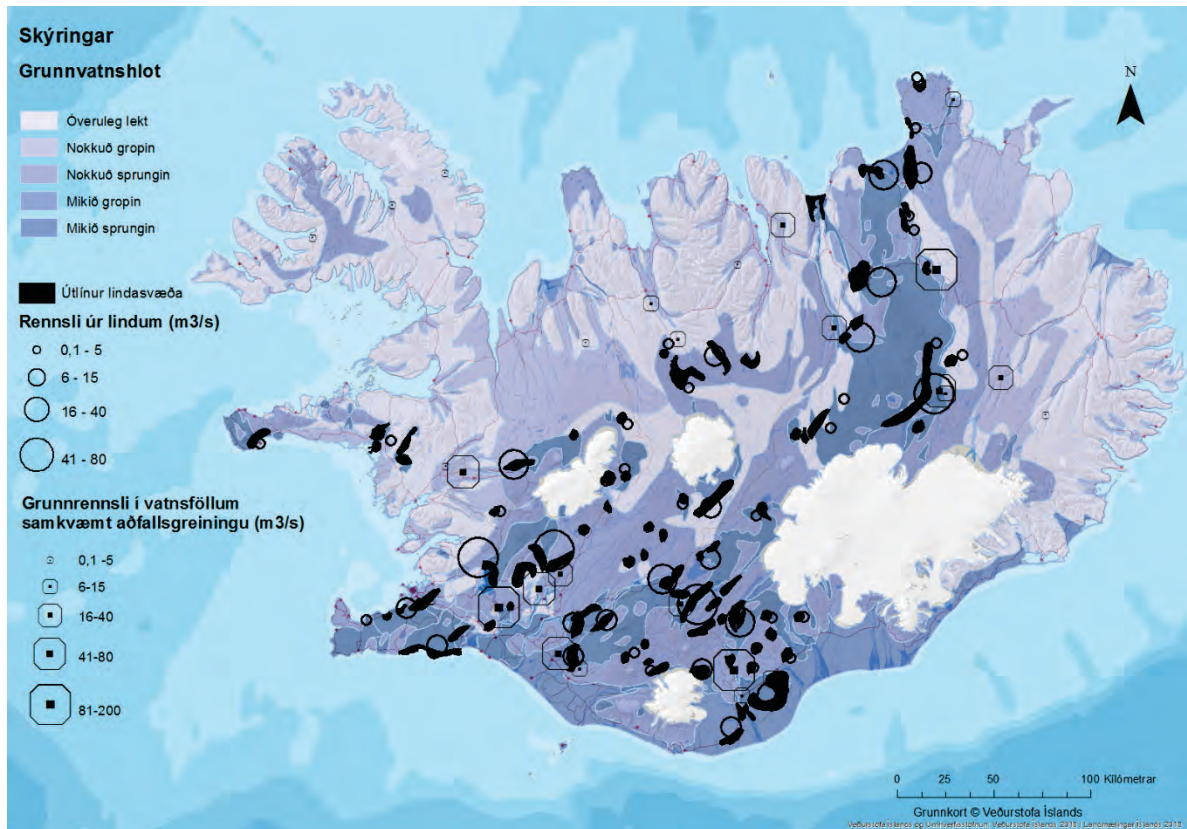


Mynd 28. Vegin meðalleiðni grunnvatnshlota.



Mynd 29. Grunnvatnshlot þar sem saman fer mikil berglekt og lítil vatnsheldni jarðvegs.

Þegar mynd 29 og mynd 30 eru bornar saman sést að það er mjög gott samræmi milli þess hvar saman fer mikil berglekt og lítil vatnsleiðni við helstu lindasvæði landsins.



Mynd 30. Lega helstu lindasvæða og þáttur grunnrennslis í mörgum stærstu vatnsföllum landsins. Myndin byggist á greiningu Freysteins Sigurðssonar varðandi staðsetningu og rennsli úr lindum (1992). Greining á grunnrennsli í vatnsföllum hefur verið unnin á Veðurstofu Íslands. Flokkun í grunnvatnshlot var unnin á Orkustofnun.

6 Skilgreining á góðri magnstöðu grunnvatns

Samkvæmt skilgreiningu sem sett er fram í III málslíð viðauka reglugerðar nr. 535/2011 um flokkun vatnshlota, eiginleika þeirra, álagsgreiningu og vöktun, telst magnaða grunnvatns vera góð þegar:

„Hæð vatnsborðs í grunnvatnshlotinu er þannig að meðalvatnstaka á ári til langs tíma er ekki meiri en grunnvatnsauðlindin sem er tiltæk. Hæð grunnvatnsborðsins verður þar af leiðandi ekki fyrir breytingum af mannavöldum sem gætu haft í för með sér:

- að ekki tekst að ná umhverfismarkmiðunum, sem tilgreind eru í 10 og 11. gr. fyrir yfirborðsvatn sem tengjast grunnvatnshæðinni,
- að ástandi slíks vatns hrakar umtalsvert,
- umtalsvert tjón á landvistkerfum sem eru háð grunnvatnshlotinu beint, og breytingar á straumstefnu, sem stafa af vatnsborðsbreytingum, geta átt sér stað tímabundið, eða stöðugt á afmörkuðu svæði, en slíkar breytingar hafa ekki í för með sér innstreymi salts vatns eða annars og benda ekki til viðvarandi og greinilegrar breytingar á straumstefnu af mannavöldum sem líklegt er að leiði til slíks innstreymis.“

(Reglugerð nr. 535/2011, Viðauki III liður 2.1.2)

Um þætti magnstöðumats segir samkvæmt rammatilskipun um vatn, viðauka V2.1.2:

Til þess að magnstaða grunnvatnshlots sé góð þarf hver viðmiðun (markmið), sem fellur undir skilgreininguna á góðri stöðu (5.1), að vera uppfyllt. Þessi markmið eru:

- *meðalvatnstaka á ári til langs tíma er ekki meiri en grunnvatnsauðlindin sem er tiltæk,*
- *efnafræðilegri samsetningu yfirborðsvatns og/eða vistfræði, sem stafar af breytingu á vatnshæð af mannavöldum eða breytingu á flæðiskilyrðum sem myndi leiða til þess að viðeigandi markmið 4. gr. næðust ekki fyrir einhver tengd yfirborðsvatnshlot, hrakar ekki umtalsvert,*
- *ekkert umtalsvert tjón á landvistikrfum, sem eru háð grunnvatni, sem stafar af breytingu á vatnshæð af mannavöldum,*
- *ekkert innstreymi saltvatns eða breytingar á straumstefnu af mannavöldum sem líklegt er að leiði til slíks innstreymis.“*

Skilgreiningin á magnstöðu grunnvatns er háð margvíslegum samtengdum þáttum. Af þessum sökum er ekki unnt að horfa eingöngu á grunnvatnshæð. Streymi grunnvatns er eðlilega jafn mikilvægt og grunnvatnshæð en mjög erfitt er að mæla það. Við aukna nýtingu er mikilvægt að þekkja jafnaðarrensli, breytileika í grunnvatnshæð, vatnsstöðu við öfgaskilyrði eins og flóð og þurrka. Þessa þætti þarf að meta út frá vatnafræðilegum og veðurfarslegum þáttum og mikilvægt að þeir byggji á þéttum mælingum. Til að fá heildstæða mynd af grunnvatnsstreymi þar sem veruleg upptaka á sér stað væri afar æskilegt að byggja upp grunnvatnslíkön.

7 Niðurstöður og tillaga að aðferðarfræði

7.1 Tillögur að flokkunarferlinu

Hér að neðan er að finna tillögur að því hvernig unnt er að skilgreina ástand magnstöðu grunnvatnshlota í samræmi við lög um stjórn vatnamála nr 36 frá 2011 eins og þau eru sett fram í viðauka V í rammatilskipunin um vatn (WFD 2000/60/EC) og hafa verið innleidd í íslenskan rétt með reglugerð 535/2001. Skilgreining á góðu ástandi grunnvatnshlots er háð mörgum mismunandi þáttum er varða eðlisefnafræðilega og magnlega þætti. Þau skilyrði sem þarf til að ná fram góðu ástandi varðandi magnstöðu grunnvatnshlota koma fram í lögum um stjórn vatnamála sem byggja á rammatilskipuninni (WFD 2000/60/EC). Greiningin byggist á Leiðbeiningaskjali 18 um mat á stöðu og leitni (e. trend) (European Commission Environment, 2009). Við tillögugerðina hefur verið stuðst við greinargerðir WFD UK (Tag) (2012) Working Group C, Groundwater & Sheets (2005), Northern Ireland Environment Agency (2009), auk skýrslu Veðurstofunnar um álagsþætti á grunnvatn (Davíð Egilson & Gerður Stefánsdóttir, 2014).

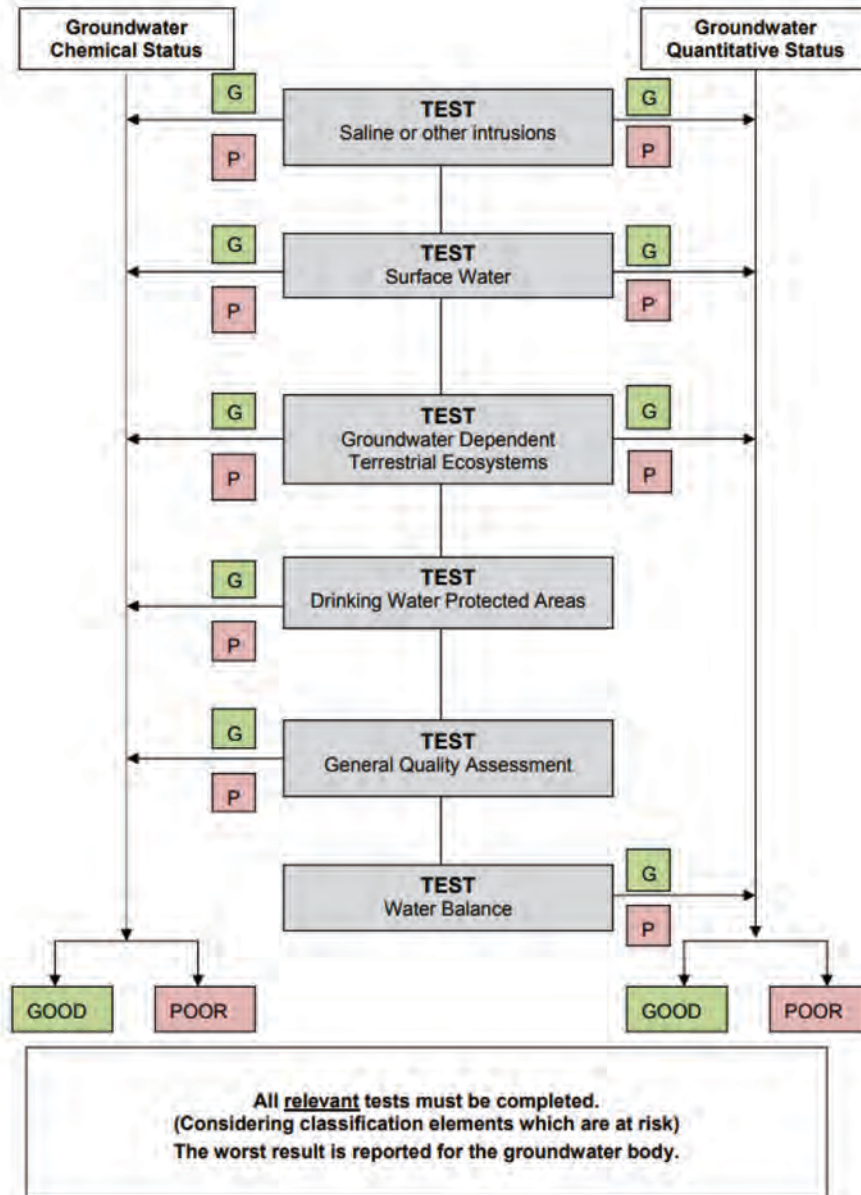
Faghópur Evrópusambandsins leggur til greiningarferli sem byggir á sex mismunandi prófunum, eins og sýnt er á mynd 30. Þar eru sýnd tengsl efnafræðilegra og magnbundinna þátta þar sem hvor þátturinn um sig getur verið ráðandi um hvort endanlegt mat á ástandi grunnvatnshlotsins teljist gott.

Þessi samantekt er einskorðuð við mat á magnstöðu vatns og því einungis horft til matsþátta er varða hægri hluta myndarinnar. Tafla 1 sýnir tillögu Veðurstofunnar að greiningarprófum til að meta hvort grunnvatnshlot mæti þeim skilyrðum að vera með góða magnstöðu. Prófin miða að því að greina hvort vatn sé tekið úr hlotinu í svo miklum mæli að:

- Vatn af öðrum gæðum berist inn. Aukin selta gefur til kynna innstreymi sjávar eða jafnvel áhrif af innstreymi jarðhitavats með háan efnastyrk. Sama á við ef yfirborðsvatn berst inn í hlotið. Sé vatnið ætlað til neyslu verða gæðakröfur neysluvatns að standa.
- Ekki verði vatnsskortur sem getur valdið skaða á landvistkerfum.
- Ekki gangi á vatnsforðann svo það valdi neikvæðum áhrifum síðar meir.

Í tillögunum er horft til eftirfarandi atriða:

- Fram kemur í viðauka III í reglugerð 535/2011 vegna stjórnar vatnamála og viðauka V í rammatilskipuninni (WFD 2000/60/EC) hvaða skilyrði þarf að uppfylla til að grunnvatnshlot teljist í góðu ástandi og gildir sú niðurstaða yfir grunnvatnshlotið í heild.
- Ástand einstakra grunnvatnshlota er alla jafna háð því hvernig staðan er í vatnshlotum og vistkerfum sem tengjast þeim. Því þarf að vera ljóst hver eru markmið um ástand í þessum tengdu vatnshlotum áður en endanleg flokkun á grunnvatnshlotinu liggur fyrir og skilgreina hvaða vatnsstaða tryggir gott ástand þeirra á viðkomandi svæði.
- Leiðbeiningaskjöl 2 og 15 benda á að við vöktun á ástandi er unnt að flokka nokkur vatnshlot saman, að því tilskyldu að vöktunin í einu hlotinu gefi með ótvíræðum hætti til kynna sambærilega stöðu og leitni í hinum. Þar sem búið er að meta að tiltekin grunnvatnshlot séu ekki í hættu má yfirfæra þá greiningu á allan flokkinn að því tilskyldu að þau séu nægjanlega lík hvað varðar einkenni veitisins, næmleika flæðileiðarinnar (e. pathway susceptibility), álag og öryggi í mati á hættu. Sambærileg grunnvatnshlot þurfa ekki að vera aðliggjandi til að þau séu flokkuð saman.(European Commission Environment, 2003; European Commission Environment, 2007).
- Fram kemur í grein 3 og 4 í Viðauka III Grunnvatns tilskipunarinnar (GWD, 2006/118/EC) um vernd gegn mengun og spillingu vatns, að meðan beinar mælingar leiða ekki ótvírætt í ljós að mengun í grunnvatnshloti geti skaðað vistkerfi eða ógnað heilsu fólks, sé unnt er að beita hugtakalíkönunum til að meta hvort svo sé. Þau vatnshlot sem eru ekki í hættu eru sjálfkrafa skilgreind í góðu ástandi.



Mynd 31. Greiningarferli til að meta ástand grunnvatnshlota: Það nær bæði til magnstöðu og efnamengunar (European Commission Environment, 2009).

Tafla 7. Tillaga Veðurstofu Íslands að greiningarþáttum til að meta ástand magnstöðu grunnvatns sbr. mynd 31. Mikilvægt er að benda á að matsþættirnir snúa bæði að magnstöðu og mengun enda afar oft um sameiginlega orsakavalda að ræða Nauðsynlegt er að viðkomandi fagaðilar fari yfir þessi atriði sameiginlega áður en endanleg ákvörðun er tekin, m.a. um áherslur og viðmið.

Greiningarþáttur	Greiningarpróf
<p>Ekkert innstreymi salts vatns eða annars utanaðkomandi vatns sem getur valdið aukningu á seltu eða breytingum á straumstefnu, sem stafa af vatnsborðs- breytingum, geta átt sér stað tímabundið, eða stöðugt á afmörkuðu svæði, en slíkar breytingar hafa ekki í för með sér innstreymi salts vatns eða annars og benda ekki til viðvarandi og greinilegrar breytingar á straumstefnu af mannavöldum sem líklegt er að leiði til slíks innstreymis (WFD Viðauki V 2.1.2). Breytingar á leiðni benda ekki til innstreymis salts vatns eða annars inn í grunnvatnshlotið (WFD Viðauki V 2.3.2)</p>	<p>Innstreymi inn í grunnvatnshlot af annars vegar</p> <p>a) söltu vatni með hærri leiðni/seltu frá setvatni, jarðsjó eða sjó, eða</p> <p>b) vatni úr öðrum grunnvatnshlotum sem hefur aðra samsetningu eða yfirborðsvatni sem líklegt er tengist magnbundnu álagi eða mengun</p>
<p>Tengsl við yfirborðsvatn séu þannig að þau geti hvorki leitt til þess að umhverfis- markmiðin, sem tilgreind eru í 4. gr. fyrir tengt yfirborðsvatn, náist ekki, né þannig að vistfræðilegum eða efnafræðilegum gæðum slíkra vatnshlota hraki umtalsvert, eða að umtalsvert tjón yrði á landvistkerfum sem eru háð grunnvatnshlotinu beint (WFD Viðauki V 2.3.2).</p>	<p>Ekki sé dregið umtalsvert úr efnafræðilegum gæðum eða vistfræðilegum gæðum yfirborðsvatns.</p>
<p>Landvistkerfi sem háð eru grunnvatni Ekkert umtalsvert tjón er á landvistkerfum sem eru háð grunnvatnshlotinu beint (WFD Viðauki V 2.3.2).</p>	<p>Ekki sé umtalsverður skaði á landvistkerfum sem háð eru grunnvatni</p>
<p>Jafnstaða vatns Tiltæk „grunnvatnsauðlind“: Ársmeðaltal heildarendurnýjunar grunnvatnshlots til langs tíma, að frádregnu ársmeðaltali rennslis til langs tíma, sem nauðsynlegt er til að ná megi markmiðum um vistfræðileg gæði fyrir tengt yfirborðsvatn, sem tilgreint er skv. 4. gr., til þess að forðast að vistfræðilegu ástandi slíks vatns hraki umtalsvert og til að forðast hvers kyns verulegt tjón á tengdum landvistkerfum (WFD Grein 2, Skilgreining 27).</p>	<p>Uptaka sé minni en endurnýjun eða þarfir vistkerfis og einnig eru marktæk áhrif á grunnvatnshlotin eða yfirborðsskerfi háð þeim.</p>

Við greiningarprófin er m.a. byggt á vöktun á grunnvatnshæð, hitamælingum, efnamælingum og mati á ástandi vistkerfa. Í kafla 7.2 eru lögð til nánari aðferðarfræði og frumtillögur að viðmiðum. Nauðsynlegt er að viðkomandi fagaðilar fari yfir þessi atriði sameiginlega áður en endanleg ákvörðun er tekin.

7.1.1 Viðmið við mat á góðri magnstöðu

MIKILVÆGT:

LÍKT OG KOMIÐ HEFUR FRAM Í HÉR AÐ FRAMAN BYGGIR FYRSTA NÁLGUN VIÐ FLOKKUN Á ÁLAGI Á GRUNNVATNSHLOT AÐ MIKLU LEYTI Á EINFÖLDUM HUGTAKALÍKÖNUM. HÉR AÐ NEDAN ERU SETTAR FRAM FRUMHUGMYNDIR AÐ VIÐMIÐUNARTÖLUM VARÐANDI SLÍKA FLOKKUN. ÞESSAR TÖLUR VERÐA ENDURSKOÐAÐAR Í LJÓSI REYNSLUNNAR, MEÐ AUKNUM GÖGNUM OG AÐ FENGNU ÁLITI FAGAÐILA SEM ERU AÐ VINNA Í MÁLAFLOKKNUM. VIÐMIÐUNARTÖLURNAR ERU MERKTAR MEÐ LITLUM HÁSTÖFUM.

Hér verður miðað við tvenns konar flokkun til að meta hvort viðkomandi vatnshlot fellur undir skilgreiningu um góða magnstöðu

1. Könnun á jafnvægi innstreymis og vatnstöku
 - a. Kannað verður hvort árleg upptaka er meiri en írennsli og innstreymi í grunnvatnshlotið.
 - b. Matsatriði
 - i. Veldur upptakan langvarandi lökkun á grunnvatni. Kannað með greiningu á sambandi írennslis og grunnvatnshæðar yfir tiltekin tímabil.
 - ii. Er merkjanleg breyting á eiginleikum vatnsins t.d. aukin leiðni eða meira af uppleystum efnum. Kannað með sýnatöku og leiðnimælingum
 - iii. Er upptakan meiri en svo að það hafi áhrif á vistkerfi. Kannað með vettvangsrannsókn.
 - c. Matstæki
 - i. Samanburður á írennsli og upptöku. Nákvæmt mat með grunnvatnslíkönum þar sem þau eru til staðar. Þar sem þau skortir eru notaðar nálganir á úrkomu annars vegar og hins vegar mati á írennsli út frá bergrunni og jarðvegsgerð sem settar voru fram í kafla 5.3.
 - ii. Vöktun á grunnvatnshæð þar sem vatnstaka með dælingu er yfir **70 L/S¹** á sér stað í viðkomandi hloti. Vatnshæð þarf að vera sírituð ef ekki er unnt að sýna fram á með ótvíræðum hætti að ekki sé þörf á slíku
 - iii. Grunnvatnslíkön þar sem vatnstaka fer fram með dælingu úr hlotinu og er yfir **100 L/S²**. Ath: Ef um er að ræða sjálfrennsli, s.s. lindir virkjaðar án dælingar, þarf ekki slík líkön meðan nýting hefur ekki áhrif á nálæg vistkerfi.
 - iv. Sýnataka og greining á eðlisþáttum þar sem slíkt er talið eiga við
 - v. Vistkerfisrannsókn
2. Tengsl við vistkerfi
 - a. Kannað hvort vatnstaka er úr grunnvatnshloti og hafi áhrif á lindarennisli í aðliggjandi yfirborðsvatnshlotum.
 - b. Matsatriði
 - i. Veldur upptakan merkjanlegum áhrifum á vistfræði yfirborðshlotsins. Kannað með vistfræðilegri úttekt.
 - a. Matstæki
 - ii. Greining á vistkerfi

¹ 70 l/s eru sett vegna ákvæðis í Auðlindalögum en nánari skilgreining magns þarfnast skoðunar og umræðu.

² Viðmiðunartala þarfnast skoðunar og umræðu.

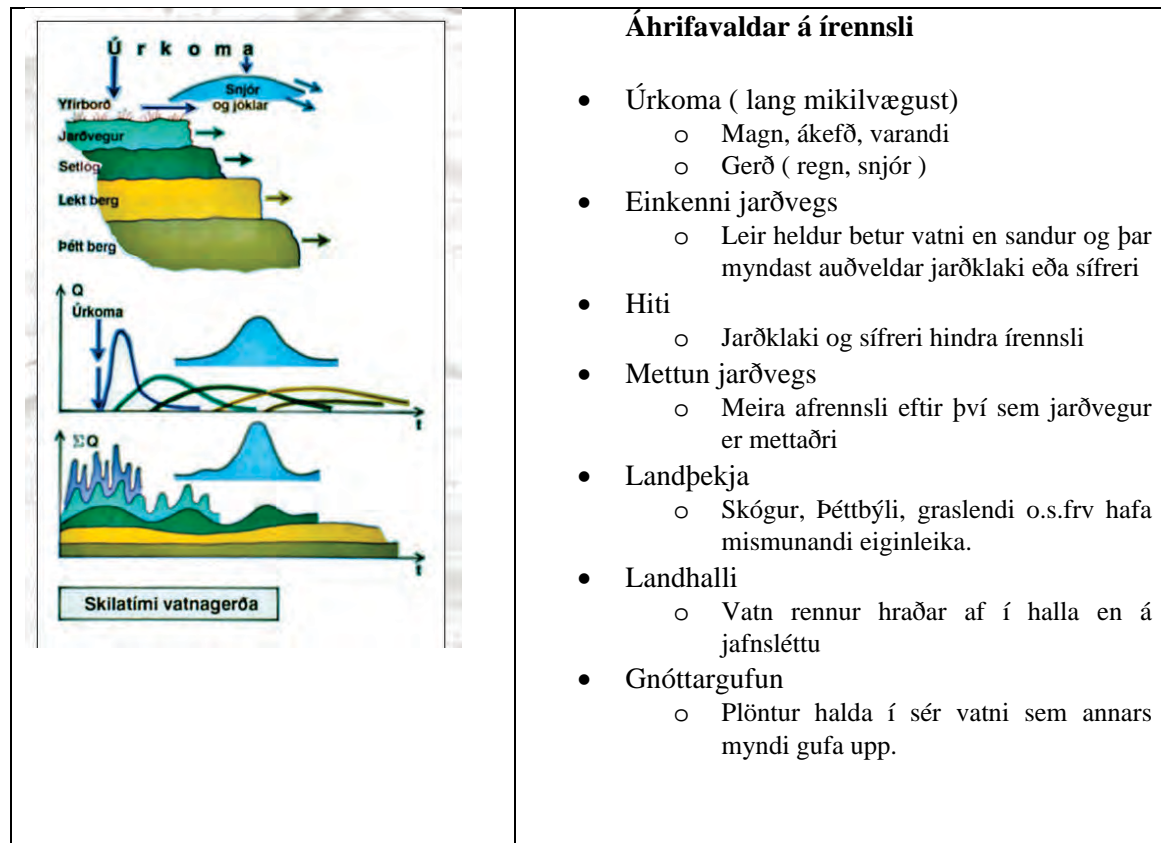
- iii. Vöktun á grunnvatnshæð þar sem umfangsmikil vatnstaka á sér stað. Umfangsmikil vatnstaka er mismunandi eftir því hvar á landinu um er að ræða og þyrfti að skilgreinast í ljósi þess. Lagt er til að vöktun fari fram þar sem grunnvatntaka úr grunnvatnshlotinu er **50 L/S** eða meiri.
- iv. Grunnvatnslíkön þar sem vatnstaka úr grunnvatnshlotinu nær yfir **100 L/S²**.

7.1.2 Örstutt fræðileg útlitun.

Staða vatns í grunnvatnshlotum stafar annars vegar af írennsli í þau og hins vegar af afrennsli frá þeim. Þar sem afrennsli yfirborðsvatns og grunnvatns hefur ekki verið hermt með líkönum þarf að nota miklar einfaldanir.

Sá þáttur í vatnafari sem einna erfiðast er að meta er írennslið. Það er háð fjölmörgum breytum, bæði hvað varðar jarðveg og berggrunn auk gerðar vatns og landslags, Mynd 32:

Helstu þættir eru:

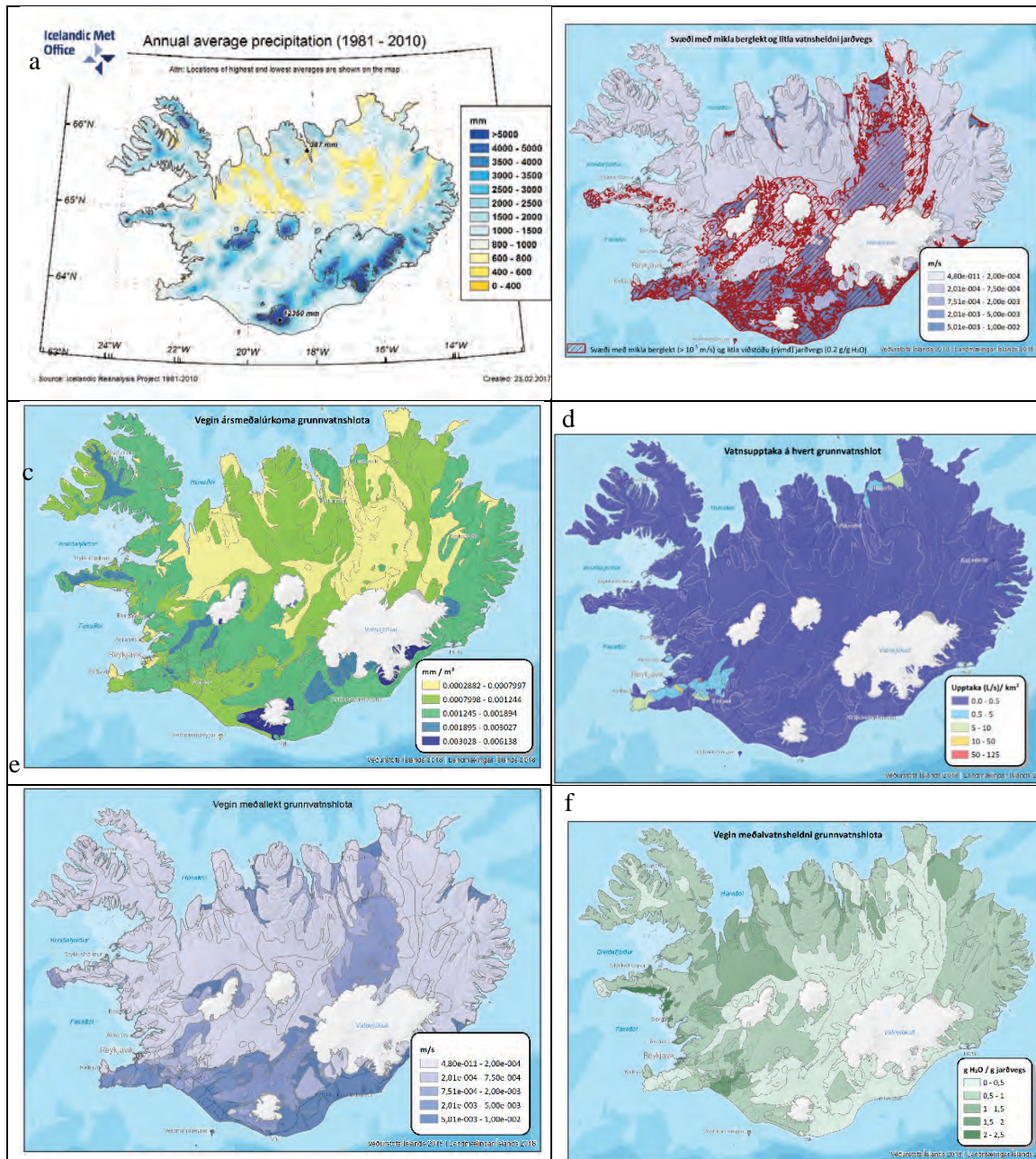


Mynd 32. Þættir sem hafa áhrif á írennsli.

Við mat á írennsli í grunnvatnshlot þarf því að horfa til fjölmargra þátta og í ljósi flækjustigsins þarf verulegar einfaldanir. Horfa þarf á jarðvegs- og jarðfræðikort saman til að geta lagt mat á hugsanlegt írennsli. Jarðvegskortid gefur vísbandingu um hve auðveldlega vatnið hripar niður í berg eða jarðgrunninn meðan jarðfræðikortin (jarð- og berggrunnur) gefa vísbandingu um rým d vatnshlotsins og lekt þess.

7.2 Tillögur að verklagsreglum

Mynd 33 dregur fram í grófum dráttum meginatriðin sem huga þarf að varðandi mat á magnstöðu vatns. Fyrir það fyrsta ræður úrkoma hve mikið fellur á vatnasvið grunnvatnshlotsins, en mynd 32 a sýnir meðalársúrkomu í mm yfir árabilið 1981–2010. Þar sést vel hve úrkoman er misdreifð. Mikil úrkomusvæði eru við austurströndina, SV lands og norður með vesturströndinni. Hins vegar eru miklir regnskuggar norðan jökla. Mynd 32 b sýnir svæði þar sem saman fer mikil berglekt og lítil vatnsheldni í jarðgrunni. Almennt má búast við á þessum svæðum sem fylgja mikið til eldvirkni-beltinu að grunnvatn sé þar til staðar í miklum mæli og það renni auðveldlega fram.



Mynd 33. Meginþættir er afmarka mat á magnstöðu vatns. a) Meðalársúrkomu yfir árabilið 1981–2010; b) grunnvatnshlot þar sem saman fer mikil berglekt og lítil vatnsheldni jarðvegs; c) meðalúrkomu á grunnvatnshlot; d) upptaka í l/s á flatarmál grunnvatnshlots; e) vegin meðal vatnsheldni yfirborðsлага í grunnvatnshloti; f) vegin meðallekt i grunnvatnshloti.

Tafla 8. Stoðupplýsingar varðandi rennsli.

Einfaldar þumalfingursreglur		
<ul style="list-style-type: none"> • Miðað við 1000 mm ársrigningu á landinu má búast við 32 l/s afrennsli af hverjum km² yfir landið allt • Afrennsli af landinu þ.e. úrkoma að fráðreginni uppgufun og þurrufun er samkvæmt Harmonie líkaninu um 5000 m³/s eða sem nemur um 50 l/s af hverjum km². <p>Meðalafrennsli ætti að liggja einhvers staðar þar á milli en það er raunar mjög mismunandi eftir landshluta því úrkoma fyrir norðan er veruleg minni en úrkoma fyrir sunnan. Yfirleitt rennur stærsti hlutinn af yfirborði en hluti berst niður og verður að grunnvatni.</p>		
Samanburður á einingum varðandi rennsli	Magn	Eining
1 l/s samsvarar	0,001	m ³ /s
	3,6	m ³ /klst
	31.557	tonn/ári
	31.557	m ³ /ári

Það er ráðlegt að skoða myndir 32 c og d saman. Mynd 32 c, sem byggist á mynd 32 a, sýnir hvernig úrkoman dreifist á grunnvatnshlot. Úrkoman mun renna fram á yfirborði eða berast niður í grunnvatn eftir því hvort yfirborðslögin hafa litla eða mikla vatnsleiðin. Vatnsupptakan úr hlotunum sem hefur eininguna l/s á km² er sýnd á mynd 32 d. Helstu álagssvæðin sjást þar mjög vel. Myndir 32 e og 32 f sýna hvernig meðal bergleiðni og vatnsheldni í jarðvegi er í grunnvatnshlotum landsins.

Tafla 8 gefur ýmsar stoðupplýsingar sem vert er að hafa í huga þegar fjallað er um verklagsreglurnar.

MIKILVÆGT:

HÉR AÐ NEDAN ERU SETTAR FRAM FRUMHUGMYNDIR AÐ VIÐMIÐUNARTÖLUM VARÐANDI SLÍKA FLOKKUN. ÞESSAR TÖLUR VERÐA ENDURSKOÐADAR Í LJÓSI REYNSLUNNAR, MEÐ AUKNUM GÖGNUM OG AÐ FENGNU ÁLITI FAGADILA SEM ERU AÐ VINNA Í MÁLAFLOKKNUM. VIÐMIÐUNARTÖLURNAR ERU MERKTAR MEÐ LITLUM HÁSTÖFUM.

I. Þegar er fyrir hendi lítil vatnsheldni og mikil berglekt (sjá mynd 32 b).

- **Tilgáta:** Magnstaða grunnvatnshlota með leiðnitölu yfir $8 \cdot 10^{-3}$ m/s ætti að vera í lagi meðan vatnstakan fer ekki yfir **50–100 L/S³** eða beinar mælingar staðfesta að ekki er um varanlegan niðurdrátt að ræða. Við slíkar aðstæður má gera ráð fyrir að unnt sé að nýta stærri hundraðshluta úrkomu sem fellur á viðkomandi grunnvatnshlot en í öðrum grunnvatnshlotum.

II. Þegar fyrir er hendi góð þekking á ástandi vatnshlots og vatnstaka er til þess að gera lítil

- **Verklagsregla 1.** Sýni líkön, sem Umhverfisstofnun viðurkennir í samráði við fagaðila, að vatnstakan hafi ekki áhrif á langtímahneigð og það er stutt með sívöktun grunnvatnshæðar telst magnstaðan í hlotinu góð. Skilyrði er að líkanið lýsi réttri vatnssstöðu og ekki hafi mælst nein langtímalækkun.

III. Þar sem ekki eru til grunnvatnslíkön (sjá mynd 9)

- **Verklagsregla 2.** Grunnvatnshlot telst í góðu ástandi varðandi magnstöðu þegar vatnstaka úr því er innan við 1 L/S/KM^2 sbr. mynd 33 d^{3,4}, nema beinar mælingar sýni annað.

Eftir því sem jarðvegurinn heldur meira vatni í sér þeim mun minna hripar niður í grunnvatnsspegilinn. Sé jarðvegurinn þéttur, sbr mynd 33 f, binst vatnið gróðri eða rennur fram á yfirborði. Eftir að vatnið hefur borist niður og orðið að grunnvatni ræður lekt bergsins og rýmd þess hve mikið af vatni er á ferðinni og unnt er að ná upp. Sjá mynd 33 e.

- **Verklagsregla 3.** Ef engar vísbendingar eru um hið gagnstæða telst magnstaða grunnvatns í tilteknu hloti vera góð þegar:
 - a) Upptaka úr grunnvatnshlotum þar sem saman fer mikil berglekt og lítil vatnsheldni jarðvegs, sbr. Mynd 33 b, er ekki meiri en **0.2*ÚRKOMA Á GRUNNVATNSHLOTID**. Þetta samsvarar í stórum dráttum grunnvatnshlotum þar sem Melajörð, Sandjörð og Bergjörð eru ráðandi á yfirborði, sjá myndir 24 og 32 f.
 - b) Upptaka á svæðum þar sem brúnjörð, blautjörð og ferarjörð eru á yfirborði, sjá myndir 24 og 32 f, er ekki meiri en u.þ.b 10% úrkomu á grunnvatnshlotið (**0.1*ÚRKOMA Á GRUNNVATNSHLOTID⁵**). Þetta samsvarar í grófum dráttum þar sem vegin vatnsheldni í hlotum er u.þ.b. 0.5 -1.5 (g H₂O /g jarðvegs).
 - c) Upptaka á svæðum c, Svartjörð og Mójörð er ekki meiri en **0.05*ÚRKOMA Á GRUNNVATNSHLOTID**, sjá myndir 24 og 32 f.
- **Verklagsregla 4.** Þar sem grunnvatnshlot uppfylla ekki verklagsreglu 1–3 þarf að framkvæma frekari rannsóknir.

³ Viðmiðunartala til skoðunar og umræðu.

⁴ Til skýringar – miðað við 2% af meðalafrennsli á km² samkvæmt Harmonie líkaninu.

⁵ Hugsanlega er þetta of há tala en ætluð til umræðu og ígrundunar.

7.3 Ábendingar um framhald

Þeim verklagsreglum sem hér eru lagðar fram er ætlað að leysa tiltekinn bráðavanda í ljósi þess hve þekkingin er að skornum skammti. Það hlýtur að vera æskilegt að byggja upp grunnvatnslíkan sem nær yfir landið allt svo yfirsýn fái yfir grunnvatnsauðlindina. Sú yfirsýn getur skipt verulegu máli til að greina langtímabreytingar sem stafa af náttúrulegum breytingum og manngerðum breytingum á veðurfari frá því álagi sem stafar af beinni vatnstöku.

Í köflum 1.1 og 2.2 og í viðauka B er fjallað um jarðhitahlot. Í ljósi þess hve margs konar tegundir af grunnvatni eru hér á landi kann að vera ráðlegt að hugleiða gerðaskiptingu grunnvatns við frekari úrvinnslu þessa verkefnis, líkt og gert er við yfirborðsvatn. Þar er flokkað eftir seltu og efna-innihaldi.

Þá kemur fram í kafla 3.2 að álag á Suðvesturhorninu er að vaxa og væntingar um vatnsnotkun eru þar mjög miklar. Svipaða sögu er að segja annars staðar þar sem grunnvatn er tiltækt í talsverðu magni. Þar þarf að gæta vel að svo ekki verði of langt gengið. Við aukna ásókn í auðlindina er mikilsvert er að skapa samráð milli sveitarfélaga, núverandi notenda og væntanlegra notenda um forsendur nýtingarinnar. Eftir því sem nær auðlindinni er gengið þarf nákvæmari mælingar, þéttara mælinet og nákvæmari líkön, ef hún á að nýtast á sjálfbæran hátt.

Þakkir

Myndir og gagnavinnsla: Bogi Brynjar Björnsson, Sif Pétursdóttir, Morgane Priet-Mahéo, Trausti Jónsson og Þórunna Pálsdóttir.

Gögn: ÍSOR, Landsvirkjun, Mannvit f.h. Hitaveitu Suðurnesja, Orkustofnun, Orkuveita Reykjavíkur og Vatnaskil.

Yfirlestur: Kristján Geirsson hjá Orkustofnun las handritið yfir og bætti. Trausti Jónsson las yfir kaflana um loftslag á Íslandi og Langtímasveiflur í veðurfari og færði til betri vegar. Þeim eru færðar bestu þakkir.

Heimildir

- Axel Björnsson (ritstj) (1989). Yfirlit um eðli jarðhitasvæða, jarðhitaleit og vinnslu jarðvarma. Reykjavík: Orkustofnun.
- Árni Hjartarson, Freysteinn Sigurðsson & Þórólfur H. Hafstað (1979). Vatnsbúskapur Austurlands II Rannsóknir 1978. Áfangaskýrsla. Reykjavík: Orkustofnun.
- Árni Hjartarson (1993). Vatnsveitur og vatnsból. Sótt frá www.os.is/gogn/Skyrslur/OS-1993/OS-93061.pdf
- Árni Hjartarson, Sigbjarnarson, G. & H. Karrenberg, K. (1980). Explanatory Notes for the International Hydrogeological Map of Europe, scale 1:1,500,00. SHEET B 2 ISLAND. Hannover & Paris: BGRDUNESCO.
- Árni Hjartarson & Þórólfur Hafstað (2010). Vatnsbólaskrá, Íslensk vatnsból og vatnsbólakort. ÍSOR-10079 Unnið fyrir Orkustofnun. Reykjavík: ÍSOR.
- Björn S. Harðarson, Fitton, G. & Hjartarson, Á. (2008). Tertiary volcanism in Iceland. *Jökull*, 58, 161–178.
- Bogi Brynjar Björnsson, Kristinn Einarsson & Linda Georgsdóttir (2013). Yfirborðs- og grunnvatnshlot. Verklagsreglur fyrir skilgreiningu vatnshlota. Greinargerð. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Davíð Egilson (2016). Greining á grunnvatnsmælingum á Þjórsár- og Tungnaárvæði 2015. Reykjavík. Sótt frá http://www.vedur.is/media/vedurstofan-utgafa-2016/VI_2016-002.pdf
- Davíð Egilson (2019). Nytjavatnsgrunnur. Mat á vatnstöku þar sem upplýsingar skortir. Greinargerð. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Davíð Egilson & Gerður Stefánsdóttir (2014). Álagspættir á grunnvatn. Greinargerð. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Erla Björk Þorsteinsdóttir, Kristinn Einarsson, Skúli Thoroddsen, Linda Georgsdóttir & María Guðmundsdóttir (2015). Jarðvarmavirkjanir Viðauki 02 af 92 við skýrslu Orkustofnunar OS-2015/04 Virkjunarkostir til umfjöllunar í 3. áfanga rammaáætlunar. Reykjavík: Orkustofnun.
- Esther Hlíðar Jensen, Davíð Egilson, Ingibjörg Jónsdóttir, Svava Björk Þorlákssdóttir, & Snorri Zóphóníasson (2018). Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá: Set í hlaupi haustið 2015. Skýrsla 2018-006. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- European Commission Environment (2003). Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000 / 60 / EC). Guidance document No 2, Identification of water bodies.
- European Commission Environment (2007a). Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/2006). Technical Report. Guidance Document 15. Guidance on Groundwater Monitoring. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European Commission Environment (2007b). Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/2006). Technical Report. Guidance Document 17. Guidance on preventing or limiting direct and indirect inputs in the context of the 29 Groundwater. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European Commission Environment (2009). Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/2006). Guidance Document No 18. Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

- European Commission Environment (2010). Common implementation strategy for the Water Framework Directive). Technical Report. Guidance Document 26. Guidance on risk assessment and the use of conceptual models for groundwater (p. 67). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European Commission Environment (2008). Groundwater Protection in Europe The New Groundwater Directive – Consolidating The Eu Regulatory Framework. Sótt frá <http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/groundwater/pdf/brochure/en.pdf>
- Eydís S. Eiríksdóttir, Gerður Stefánsdóttir & Sunna Björk Ragnarsdóttir (2019). Endurskoðun á gerðargreiningu vatnshlota. VÍ 2019-002 /NÍ 19003/ HV 2019-28.
- Freysteinn Sigurðsson (1992). Hlutur grunnvatns í vatnsaflí. Erindi flutt á ársfundi Orkustofnunar 26. mars 1992. Reykjavík: Orkustofnun.
- Freysteinn Sigurðsson (2012). Við hvaða hæð eru mörk hálandis og láglandis miðuð og hvað er hálandið stór hluti Íslands? Vísindavefur Háskóla Ísland. Sótt 2012.08.28 frá <https://www.visindavefur.is/svar.php?id=59622>
- Freysteinn Sigurðsson, & Jón Ingimarsson (1987). Lekt íslenskra jarðefna. Vatnið og landið, vatnafræðiráðstefna, október 1987 (pp. 121–126). Reykjavík: Orkustofnun.
- Freysteinn Sigurðsson & Kristinn Einarsson (1988). Groundwater Resources of Iceland – Availability and Demand. Jökull, 38, 38–53.
- Water Framework Directive (WFD) River Basin District Management Systems. Guidance document no. GW1).Sótt 2019.09.12 frá: <http://www.wfdireland.ie/Documents/Characterisation%20Report/Background%20Information/Analaysis%20of%20Characters/Groundwater/GW1%20Technical%20Requirements.pdf>
- Grímur Björnsson, Kristján Sæmundsson & Þórólfur Hafstað (1995). Vinnsla á köldu vatni úr bergi, Erindi flutt á 15. aðalfundi Sambands íslenskra hitaveitna, 24 og 25 apríl 1995. Reykjavík: Samband íslenskra hitaveitna.
- Working Group C, Groundwater, A. & Sheets, R. (2005). Technical Requirements for Groundwater. Sótt 6/11/2019 á <http://www.wfdireland.ie/Documents/Characterisation%20Report/Background%20Information/Analaysis%20of%20Characters/Groundwater/GW1%20Technical%20Requirements.pdf>
- Guðmundur Kjartansson (1945). Íslenzkar vatnsfallategundir. Náttúrufræðingurinn 15, 113–128.
- Guðmundur Kjartansson (1953). Úr sögu Helliskvíslar. Náttúrufræðingurinn 23(1), 1–13.
- Guðmundur Pálmason (1973). Kinematics and heat flow in a volcanic rift zone with application to Iceland. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 26, 515–535.
- Guðmundur Pálmason (2005). Jarðhitabók Eðli og nýting auðlindar. Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
- Guðrún Nína Petersen & Derya Berber (2018). Jarðvegshitamælingar á Íslandi. Staða núverandi kerfis og framtíðarsýn. Skýrsla 2018-009. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Gunnar Böðvarsson (1961). Physical characteristics of Natural Resources In: Iceland. Jökull, 11, 29–38.
- Gunnar Böðvarsson & G.P.L. Walker (1964). Crustal drift in Iceland. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 8, 285–300.
- Halldór Björnsson, Bjarni D. Sigurðsson, Brynhildur Davíðsdóttir, Jón Ólafsson, Ólafur S. Ástþórsson, Snjólaug Ólafsdóttir, Trausti Baldursson & Trausti Jónsson (2018). Loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi. Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar 2018. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

- Halldór G. Pétursson (1998). Vatnsból við Hallland á Svalbarðsströnd – verndarsvæði. Akureyri. Unnið fyrir Svalbarðsstrandahrepp. Náttúrufræðisstofnun Íslands, NÍ-98025. Akureyri. Sótt 2019.10.11 frá: <http://utgafa.ni.is/skyrslur/1998/NI-98025.pdf>
- Hreinn Haraldsson (1983). Laus jarðlög og efnisöflun. Í: Birgir Jónsson (ritstj.), Jarðefni til vega og gatnagerðar. Ráðsefna haldin í Reykjavík 27 apríl 1983: Mannvirkjafræðifélag Íslands.
- Jón Guðmundsson, Hlynur Óskarsson & Ólafur Arnalds (2006). Er vatn takmarkandi þáttur í landgræðslu? Reykjavík: LbhÍ.
- Jóna Finndís Jónsdóttir (2008). A runoff map based on numerically simulated precipitation and projection of future runoff in Iceland. *Hydrological Sciences Journal*, 53(1), 100–111.
- Northern Ireland Environment Agency (2009). Groundwater Body Classification.
- Sigurður Steinþórsson (1986). Hraði landmyndunar og landeyðingar. *Náttúrufræðingurinn*, 57, 81–95.
- Stefán Arnórsson (2011). Jarðhiti á Íslandi. Eðli auðlindar og ending. Verklag við undirbúning að vinnslu. Umhverfisáhrif af nýtingu. Verkefnisstjórn rammaáætlunar um vernd og nýtingu náttúrusvæða með áherslu á vatnsafl og jarðhita. Viðauki við skýrslu verkefnisstjórnar um 2. áfanga. Sótt 2019.09.20 frá <http://www.atvinnuvegaraduneyti.is/media/Acrobat/Vidaukaskýrsla.pdf>
- Stefán Arnórsson (2017). Jarðhiti og jarðhitaauðlindir (Umhverfissráðuneytið). Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
- Trausti Jónsson (1990). Úrkoma og veðurlagsflokkun. Í: Guttormur Sigbjarnarson (ritstj.), Vatnið og Landið (bls. 269–276). Reykjavík: Orkustofnun.
- Vatnaskil (2019). Tölvupóstur dags. 4 mars 2019.
- Veðurstofa Íslands (2019). Gögn úr gagnagrunni.
- VERKÍS (2018). Keflavíkurflugvöllur. Grunnvatnsrannsóknir. Samantekt á sýnatökum framkvæmdum 10. apríl 2017, 12. september 2017 og 18. mars 2018. Greinargerð.
- WFD UK (Tag) (2012). UK Technical Advisory Group on the Water Framework Directive for the purposes of the Water Framework Directive (Vol. 2007).

Viðauki A. Grunnvatnshlot – upptaka í l/s á km² árið 2015

Grunnvatnshlot – Heiti	Kenninúmer	Upptaka 2015 l/s	Upptaka á flatarmál l/s á km ²
Bakkahlaup	IS102-135-G	1280	5,9
Blanda	IS101-170-G	0	0,0
Héraðsflói	IS102-282-G	0	0,0
Jökulsá á Fjöllum	IS102-256-G	0	0,0
Landeyjar	IS103-252-G	42	0,0
Meðalfellsvatn	IS104-186-G	0	0,0
Suðursandar	IS103-296-G	3	0,0
Ölfusstraumur Ölfusá	IS103-208-G	30	0,3
Þingeyrasandur	IS101-172-G	0	0,0
Aðaldalshraun-Trölladyngja	IS102-278-2-G	141	0,0
Eldhraun	IS103-284-G	0	0,0
Elliðaárstraumur 3	IS104-266-G	463	10,4
Grímsnes	IS103-207-G	0	0,0
Hraundalur	IS104-11-G	0	0,0
Landbrot	IS103-80-G	0	0,0
Nesjahraun	IS104-250-1-G	1669	120,9
Núpahraun	IS103-18-G	0	0,0
Rauðhólahraun	IS102-137-G	4	0,0
Reykjanes	IS104-263-G	1842	6,1
Seljalandsheiði	IS103-23-G	0	0,0
Selvogsstraumur 3	IS104-290-G	43	0,1
Smjörhólsá	IS102-46-G	0	0,0
Snæfellsjökull	IS104-300-G	0	0,0
Straumsvíkurstraumur	IS104-265-G	968	2,9
Tungnaárhraun	IS103-308-G	0	0,0
Ölfusstraumur 1	IS103-195-G	125	5,3
Ölfusstraumur 3	IS103-268-G	0	0,0
Akranes	IS104-269-G	0	0,0
Blautamýri	IS102-148-G	0	0,0
Bolungarvík	IS101-100-G	22	1,1
Breiðdalur	IS102-165-G	0	0,0
Eskifjörður	IS102-159-G	2	0,2
Eyjafjörður	IS102-277-G	47	0,1
Eyvindardalur	IS102-77-G	8	0,3
Fannardalur	IS102-156-G	50	1,9
Fljót	IS101-128-G	1	0,0

Fljótsdalsheiði- Jökuldalsheiði	IS102-152-G	0	0,0
Fáskrúðsfjörður	IS102-161-G	22	0,9
Galtardalur	IS101-118-G	0	0,0
Helgafellssveit	IS101-124-G	0	0,0
Hofsárdalur	IS102-147-G	0	0,0
Hrísey	IS102-218-G	2	0,3
Hvítá í Borgarfirði	IS104-270-G	0	0,0
Hítará	IS104-190-G	0	0,0
Kjalarnes Hvalfjörður	IS104-275-G	1	0,0
Korpudalur	IS101-99-G	0	0,0
Loðmundarfjörður	IS102-151-G	0	0,0
Lágheiði	IS102-79-G	0	0,0
Melabakkar-Leirá	IS104-193-G	1	0,0
Miklholtshreppur	IS104-273-G	0	0,0
Miðdalir	IS101-121-G	0	0,0
Núpur	IS101-98-G	0	0,0
Rauðasandur	IS101-91-G	0	0,0
Reyðarfjörður	IS102-160-G	20	0,8
Selfjót	IS102-149-G	0	0,0
Seljalandshlíð	IS101-102-G	40	1,3
Skagafjörður	IS101-295-G	47	0,1
Staðarhóll	IS101-117-G	0	0,0
Stórisandur	IS101-173-G	10	0,0
Svarfaðardalur	IS102-130-G	18	0,1
Trékyllisvík	IS101-110-G	0	0,0
Vallanes	IS102-78-G	0	0,0
Valþjófsstaður	IS102-167-G	0	0,0
Vatnaskógur	IS104-74-G	0	0,0
Vaðlavík	IS102-158-G	0	0,0
Vesturárdalur	IS102-146-G	7	0,1
Árskógssandur	IS102-131-G	5	0,1
Bjarnarsker	IS103-178-G	0	0,0
Dalsfjall	IS103-179-G	0	0,0
Dynufjall	IS101-35-G	0	0,0
Elliðaárstraumur 2	IS104-257-G	43	0,8
Eyjafjallajökull	IS103-301-G	6	0,0
Eyrarsveit	IS101-272-G	63	0,2
Geitlandshraun	IS104-299-G	0	0,0
Gláma	IS101-82-G	200	0,2
Grimsey	IS102-220-G	2	0,5
Gíslholtsvötn	IS103-44-G	14	0,1
Hafravatn	IS104-261-1-G	0	0,0
Hofs- og Nýjabæjarafrétt	IS102-286-G	0	0,0
Hraun	IS103-28-G	0	0,0
Kaldbakur	IS103-180-G	0	0,0

Kerlingarfjöll-Hreppar	IS103-287-G	92	0,0
Krepputunga-Slétta	IS102-279-G	55	0,0
Lyngdalsheiði	IS104-305-G	310	0,5
Melrakkaslétta	IS102-136-G		0,0
Mývatnsheiði	IS102-63-G	0	0,0
Rosmhvalanes 2	IS104-115-2-G	17	0,2
Skagi	IS101-111-G	0	0,0
Snæfell	IS102-29-G	0	0,0
Staðarfjall	IS102-67-G	0	0,0
Tindfjallajökull-Torfajökull	IS103-285-G	23	0,0
Tjörnes (S102-134-G	0	0,0
Villingaholt	IS103-251-G	19	0,3
Ölfusstraumur Ingólfssjall	IS103-260-G	39	0,5
Öræfi	IS103-58-G	0	0,0
Þorgerðarfjall	IS102-64-G	1	0,0
Akrafjall	IS104-191-G	52	1,3
Austfirðir	IS102-292-G	112	0,0
Bakkabunga	IS101-85-G	0	0,0
Brennistaðaháls	IS104-174-G	0	0,0
Eyrarfjall	IS101-271-G	28	0,2
Fljótsheiði	IS102-65-G	0	0,0
Grísatungufjöll	IS102-185-G	300	2,0
Gunnólfsvíkurfjall	IS102-281-G	24	0,3
Hegranes	IS101-169-G	0	0,0
Hellnahraun	IS104-127-G	0	0,0
Hestvatn	IS103-253-G	0	0,0
Iða	IS103-81-G	0	0,0
Kinnarfell	IS102-68-G	0	0,0
Kjölur	IS101-205-G	0	0,0
Laugardalur	IS103-254-G	445	2,2
Leirhafnarfjöll	IS102-142-G	0	0,0
Leirvogsa	IS104-289-G	0	0,0
Lundarháls	IS104-175-G	0	0,0
Mið-Norðurland	IS101-276-G	207	0,0
Mið-Vesturland og Strandir	IS101-307-G	182	0,0
Miðfellstindur	IS103-201-G	0	0,0
Reykjahverfi	IS102-200-G	105	1,2
Stykkishólmur	IS101-194-G	16	0,3
Síðufjall	IS104-192-G	0	0,0
Vatnsdalsfjall	IS101-86-G	0	0,0
Vatnsnes	IS101-171-G	16	0,0
Vestfirðir	IS101-274-G	140	0,1
Víðidalsfjall	IS101-84-G	0	0,0
Ölfusstraumur Forir	IS103-202-G	412	6,6
Þingvallastraumur Mosfellsheiði	IS104-258-G	0	0,0

Viðauki B. Hugsanleg nálgun við skilgreiningu jarðhitahlota

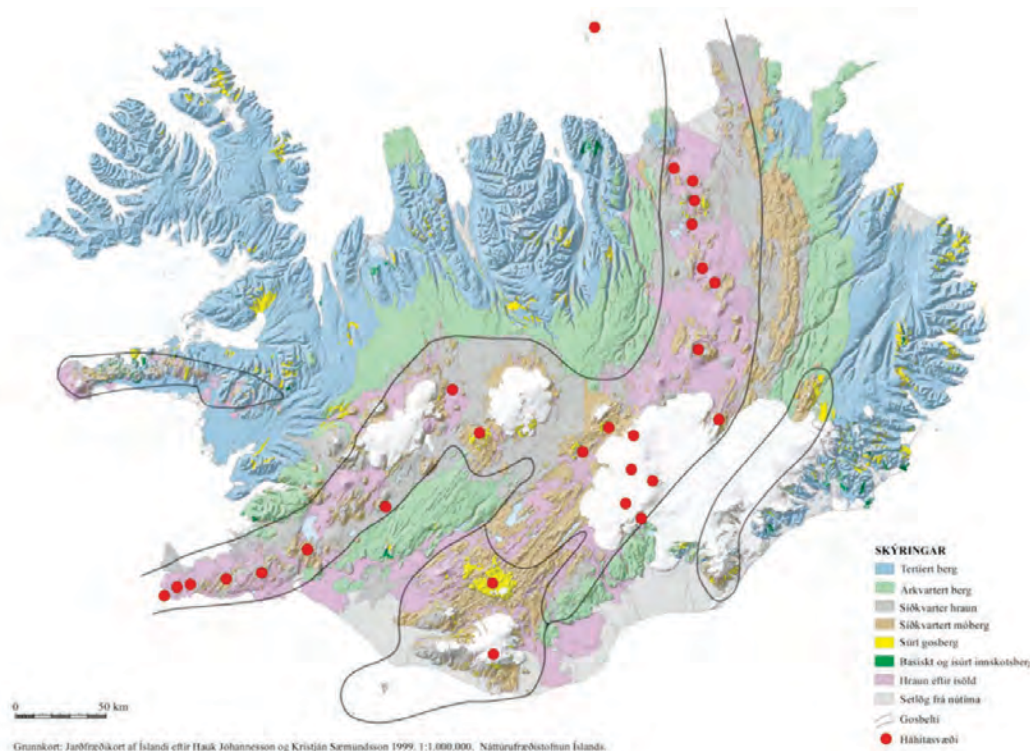
Eitt af því sem gerir Ísland sérstakt í mörgu tilliti er eldvirknin, tilvist jarðhita og nýting hans. Jarðhitavatn er m.a. nýtt til upphitunar, til orkunotkunar og matvælaframleiðslu. Eins og fram kemur í kafla 2.1er lítið á svo á í rammatilskipun um vatn að jarðhitavatn teljist til grunnvatns. Þar segir meðal annars í grein 4.3 Vatnatilskipunarinnar

Member States may, after prior investigation, authorize discharges due to re-injection into the same aquifer of water used for geothermal purposes, water pumped out of mines and quarries or water pumped out for civil engineering works (opinber þýðing frá Þýðingarmiðstöð er ókomin).

Hins vegar eru rennsliseiginleikar jarðhitavatns og umhverfisáhrif af notkun þess talsvert ólík því sem er með kalt grunnvatn. Við mótun þessa verkefnis var ákveðið einblína á kalt grunnvatn, en í raun er notkun jarðhita órofatengd notkun grunnvatns. Hér að neðan er þess vegna gefið almennt yfirlit um jarðhitann (sjá t.d. Guðmundur Pálmason, 2005) og bent á hugsanlega nálgun við skilgreiningu jarðhitahlota.

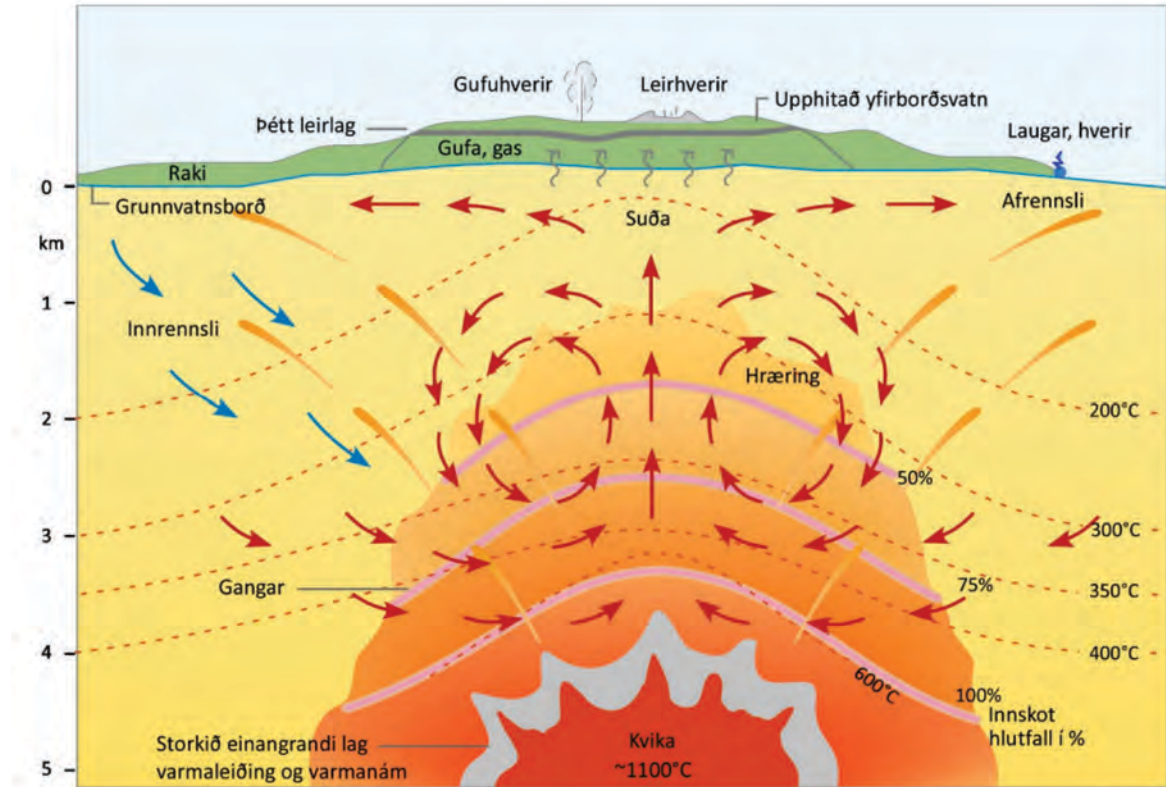
Jarðhitasvæðum á Íslandi er almennt skipt upp í tvo meginflokka – a) háhitasvæði og b) lághitasvæði (Gunnar Böðvarsson, 1961). Við upphaflegu skiptinguna var miðað við að á lághitasvæðum væri hiti undir 150°C en á háhitasvæðum væri hann yfir 200°C á tiltölulega litlu dýpi. Þrátt fyrir mikla gagnasöfnun síðustu 50 árin hefur umrædd tvískipting ekki þurft endurskoðunar við sem neinu nemur, heldur aðeins lagfæringa sem teljast verða minniháttar (Stefán Arnórsson, 2011).

Háhitasvæðin eru um 20 afmörkuð svæði á virkum gosbeltum landsins og langflest á flekaskilum eða í grennd við þau, mynd 34. Mikið ummyndað berg á yfirborði er einkennandi fyrir flest háhitasvæðin. Vatn háhitasvæðanna virðist vera skammt að komið og er oftast úrkoma sem fallið hefur í nágrenni svæðisins eins og sýnt er skematískt á mynd 35.



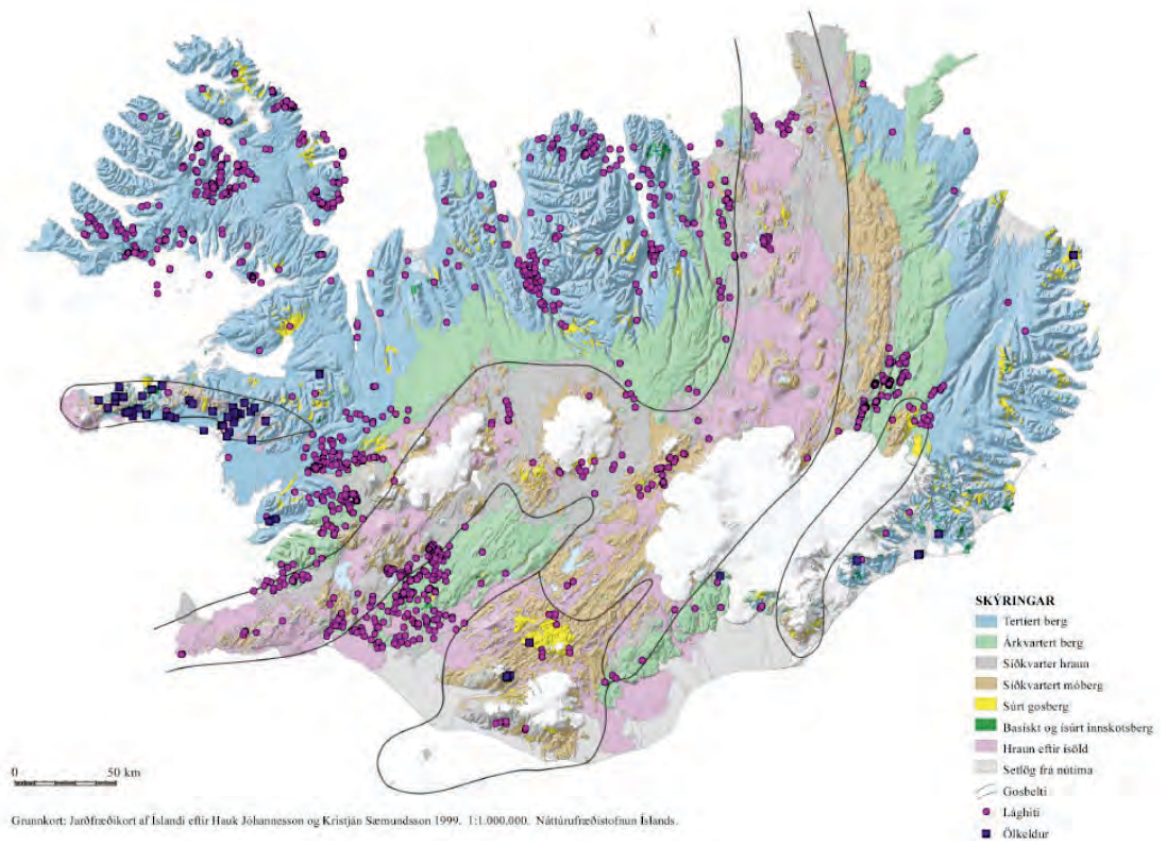
Mynd 34. Háhitasvæði á Íslandi (Stefán Arnórsson, 2011).

Mikil ummyndun er í kringum háhitasvæðin. Þar hefur jarðvegur og berg ummyndast í þéttan leir svo háhitasvæðin eru almennt algjörlega aðskilin frá grunnvatnsstreymi utan þeirra. Þess vegna er líklegt að hvert og eitt þeirra verði afmarkað sem sérstakt grunnvatnshlot. Væntanlega verða útlínur miðaðar við upplýsingar sem lagðar voru fram við gerð rammaáætlunar (Erla Björk Þorsteinsdóttir o.fl. 2015).



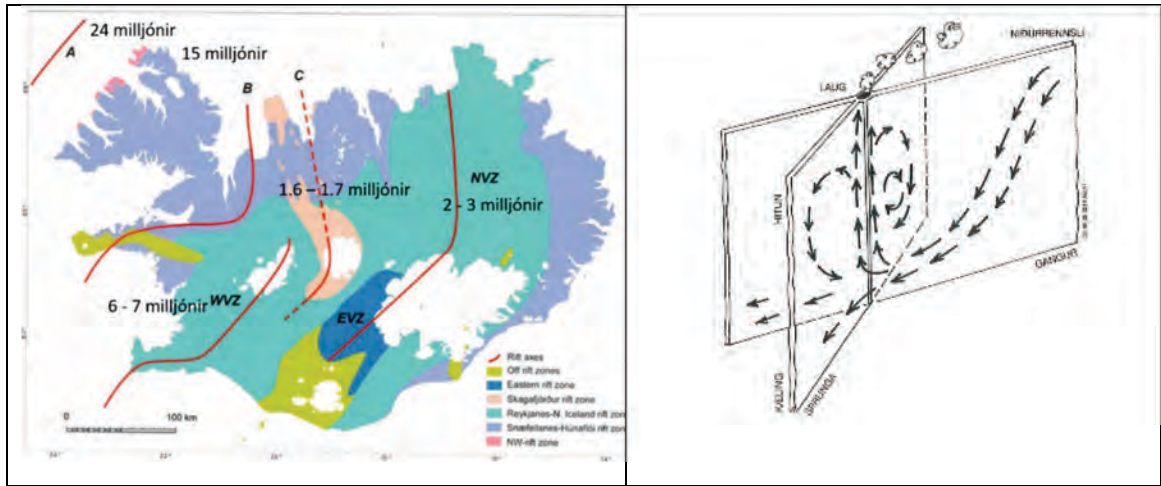
Mynd 35. Einfaldað þversnið af háhitasvæði. Háhitasvæði myndast við staðbundna hringrás vatns í sprungnu bergi yfir kvikuhólfi eða kólnandi innskoti sem er á fátíðum kílómetra dýpi í jarðskorpunni (Stefán Arnórsson, 2011).

Lághitasvæðin eru á hinn bóginn að langmestu leyti á eldri berggrunni, tertíerum og kvarterum þrátt fyrir að þau finnast einnig innan gosbeltana. Flest lághitasvæði og öll þau stærstu tengjast lekum sprungum frá nútíma (<10.000 ár) sem hafa brotið upp mun eldri og þéttari berggrunn frá kvarter (~0.8- 3 milljóna ára gamlan) og tertíer (eldri en ~ 3 milljóna ára) (mynd 36).

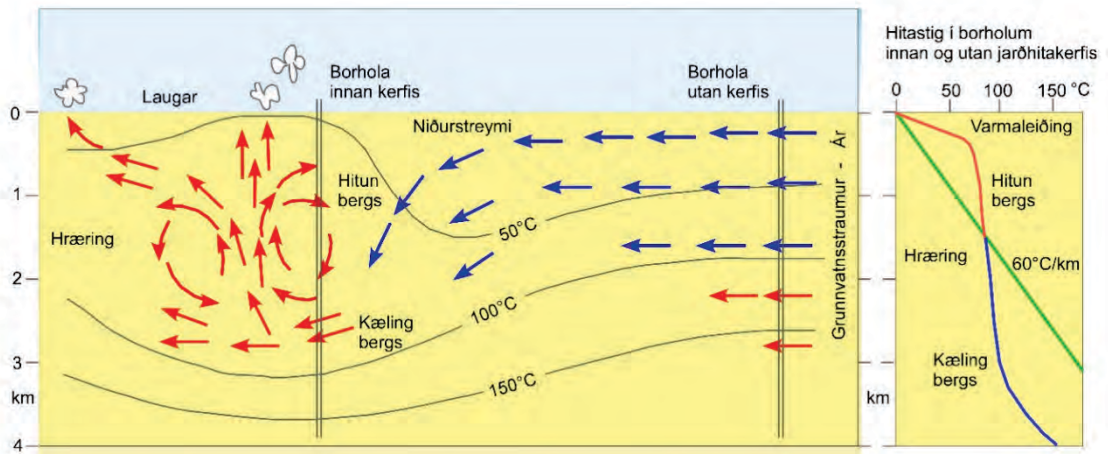


Mynd 36. Lágðiti og ölkeldur á Íslandi (Stefán Arnórsson, 2011).

Það sem orsakar að eldra bergið brotnar upp er talið stafa af færslu möttulstróksins og þar með rekkbeltanna í gegnum tíðina, mynd 36. Við landrekið myndast gliðnunarprungur sem eru samsíða rekkbeltunum. Við flutninginn á rekkbeltunum sem gerist á löngum tíma breytist spennusviðið. Breytt spennusvið hefur áhrif á að nýjar gliðnunarprungur myndast sem skerast við þær sem fyrir voru. Form þeirra og stefna er afleiðing af samspili breytts spennusviðs annars vegar og hins vegar gerðar og lögun þeirra jarðmyndanna auk eldri sprungna sem fyrir voru (Stefán Arnórsson, 2017). Mynd 37 sýnir stílfært líkan af dæmigerðu lágðitasvæði.



Mynd 37. Jarðhiti og landrek: a) Færsla rekkbeltanna á Íslandi í gegnum tíðina (Björn S. Harðarson o.fl., 2008); b) Lághitasvæðin eru gjarnan tengd tveimur sprungukerfum með mismunandi stefnu. Þar sem sprungurnar skerast er lektin mest og heita vatnið leitar þar til yfirborðs (Axel Björnsson, 1989).



Mynd 38. Stílfært líkan af dæmigerðu lághitakerfi (Stefán Arnórsson, 2011).

Við afmörkun lághitahlota má gera ráð fyrir að þau séu á um og yfir 500–1500 m dýpi almennt, en komi upp á yfirborð í til þess að gera afmarkaðri rás sem er tengd sprungu eða gangakerfi.