

Eiginleiki grunnvatnshlota undir efnaálagi

Skýrsla til Umhverfisstofnunar
Apríl 2020



Forsíðumynd: Melissa Anne Pfeffer við grunnvatnsmælingar í Rangárbotnum.
Ljósmynd: Gerður Stefánsdóttir.

Eiginleiki grunnvatnshlota undir efnaálagi

Skýrsla til Umhverfisstofnunar

Gerður Stefánsdóttir
Davíð Egilson
Svava Björk Þorláksdóttir

Lykilsíða



Skýrsla nr. VÍ 2020-002	Dags. Apríl 2020	ISSN 1670-8261	Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/> Skilmálar:
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Eiginleiki grunnvatnshlota undir efnaálagi Skýrsla til Umhverfisstofnunar		Upplag: 10 Fjöldi síðna: 62	
Höfundar: Gerður Stefánsdóttir, Davíð Egilson og Svava Björk Þorlákssdóttir		Framkvæmdastjóri sviðs: Jórunn Harðardóttir	
Gerð skýrslu/verkstíg:		Verkefnisstjóri: Gerður Stefánsdóttir	
		Verknúmer: 4605-414	
		Málsnúmer: 2018-0344	
Unnið fyrir: Umhverfisstofnun			
Samvinnuaðilar:			
Útdráttur: Umhverfisstofnun hefur skilgreint nokkur grunnvatnshlot kalds grunnvatns í óvissu eða í hættu vegna mögulegs efnaálags. Það eru Héðinshöfði, Krafla-Bjarnarflag, Nesjahraun og Rosm-hvalanes. Samkvæmt 11. gr. reglugerðar nr. 535/2011 skal gera frekari lýsingu á eiginleikum grunnvatnshlota sem talin eru undir álagi. Í skýrslu þessari er gerð grein fyrir úrkomumagni, jarðfræðilegum og eðlisefnafræðilegum eiginleikum grunnvatnshlotanna, eiginleika yfirborðs-þekju á svæðinu s.s. yfirborðsjarðvegs og vistgerða. Jafnframt er fjallað um það álag sem er á viðkomandi grunnvatnssvæðum og farið yfir helstu rannsóknarniðurstöður.			
Lykilorð: Grunnvatn, grunnvatnshlot, jarðfræði, efnaálag, grop, leiðni, gleypni, vatnsheldni, álag á grunnvatn, efnasamsetning grunnvatns, mengun, jarðvegur, vistgerð.		Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs: 	
		Undirskrift verkefnisstjóra:	
		Yfirfarið af: SG	

Efnisyfirlit

Myndaskrá	6
1 Tilgangur	7
2 Afmörkun verkefnisins	8
2.1 Viðfangsefnið	8
3 Megindrættir vatnajarðfræði Íslands	10
3.1 Úrkoma	10
3.2 Jarðfæðilegir þættir	10
4 Grunnvatnshlot undir efnaálagi	15
4.1 IS104-115-2-G Rosmhvalanes 2	15
4.1.1 Forsendur	15
4.1.2 Lýsing á hloti	16
4.1.3 Rannsóknarsaga	22
4.1.4 Niðurstaða	29
4.1.5 Tengsl grunnvatns við vistgerðargreiningu Náttúrufræðistofnunar Íslands	30
4.2 IS104-250-1-G Nesjahraun – Óvissa	31
4.2.1 Forsendur	31
4.2.2 Lýsing á hloti	31
4.2.3 Framkvæmdir	34
4.2.4 Niðurstaða	36
4.2.5 Tengsl grunnvatns við vistgerðargreiningu Náttúrufræðistofnunar Íslands	36
4.3 IS102-278-1-G Krafla-Bjarnarflag	37
4.3.1 Forsendur	37
4.3.2 Lýsing á hloti	37
4.3.3 Kröflueldar	40
4.3.4 Framkvæmdir	41
4.3.5 Rannsókn á affalli	43
4.3.6 Niðurstaða	44
4.3.7 Tengsl grunnvatns við vistgerðargreiningu Náttúrufræðistofnunar Íslands	44
4.4 IS102-199-G Héðinshöfði – Óvissa	44
4.4.1 Forsendur	44
4.4.2 Lýsing á hloti	44
4.4.3 Framkvæmdir	47
4.4.4 Niðurstaða	48
4.4.5 Tengsl grunnvatns við vistgerðargreiningu Náttúrufræðistofnunar Íslands	48
Þakkir	49
Heimildir	49
Viðauki I. Vatnsheldni mismunandi jarðvegsgerða	53
Viðauki II. Meðallekt mismunandi berggrunnsgerða	54
Viðauki III. Vistgerðarkóðar landvistgerða	55
Viðauki IV. Vistgerðarkóðar vatna og fjöruvistgerðar	60

Myndaskrá

Mynd 1. Gróf skipting vatns á Íslandi eftir hita og seltu	9
Mynd 2. Ársmeðaltal úrkomu (Gl/ár) yfir árabilið 1980–2010	11
Mynd 3. Vegin meðalvatnsheldni grunnvatnshlota í óvissu / hættu.	12
Mynd 4. Vegin meðallekt grunnvatnshlota undir efnaálagi.....	13
Mynd 5. Yfirborðsfarvegir á Íslandi	14
Mynd 6. Jarðvegsgerðir á Rosmhvalanesi	15
Mynd 7. Grágrýtisdýngjur á Rosmhvalanesi.	17
Mynd 8. IS104-115-2-G Rosmhvalanes	17
Mynd 9. Hita- og seltudreifing í borholu við Sandgerði.....	18
Mynd 10. Hugmyndalíkan af lagskiptingu grunnvatns á ytri hluta Reykjaness	18
Mynd 11. Útnes Meðalgrunnvatnshæð 1986–1965 og streymisstefnur til strandar	19
Mynd 12. Rosmhvalanes – vatnstaka og mengun.....	20
Mynd 13. Borholur á Rosmhvalanesi og helstu vatnstökusvæði	21
Mynd 14. Rosmhvalanes. Staðsetning borhola og yfirlit stöðu þekkingar á efnainnihaldi	23
Mynd 15. Niðurstöður í rannsókn á grunnvatni frá 2009	25
Mynd 16. Niðurstöður efnagreininga úr sýnatöku þann 18. mars 2018	26
Mynd 17. Grunnvatnshlotið IS104-250-1-G Nesjakraun.	31
Mynd 18. Jarðvegur í grunnvatnshlotinu IS104-250-1-G Nesjakraun. Brúnjörð	33
Mynd 19. Nesjakraun langsnið	34
Mynd 20. Nesjakraun. Niðurrennslistaðir affallsvatns og helstu sýnatökustaðir	35
Mynd 21. Breyting á hitadreifingu í grunnvatni Nesjakrauni mill 2000 og 2016.....	36
Mynd 22. Jarðvegur grunnvatnshlots IS102-278-1-G Krafla-Bjarnarflag.....	38
Mynd 23. Berggrunnur grunnvatnshlots IS102-278-1-G Krafla-Bjarnarflag	39
Mynd 24. Yfirlitsmynd af sýnatökustöðum og rennismælistöðum í Dallæk	40
Mynd 25. Kröflusvæði. Árleg vinnsla, vermi og niðurdæling	41
Mynd 26.. Bjarnarflag. Árleg vinnsla og vermi	42
Mynd 27. Hitamælingar í Grjótagjá og Stórugjá yfir tímabilið 1975–2014.	43
Mynd 28. Jarðvegur við Héðinshöfða.....	45
Mynd 29. Grunnvatnshlotið IS102-199-G Héðinshöfði	46
Mynd 30. Brotalínur í grennd við vatnshlot IS102-199.....	47

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. Eins er grunnvatn víða undirstaða vistkerfa bæði þar sem það kemur fram sem lindir eða sem grunnrennsli vatnsfalla en einnig tryggir það vatnsborðstöðu margra vistkerfa s.s. í votlendi. Grunnvatn er því mikilvæg auðlind hér á landi og nauðsynlegt að tryggja gæði þess og framboð. 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 skilgreint sem „allt sem hefur áhrif á ástand og sjálfbæra nýtingu vatnsins“. Álag á kalt neysluvatn getur verið vegna ýmislegra efna- og eðlisfræðilegra þátta, nýtingar eða annarra mannglegra áhrifa sem hafa áhrif á gæði. Dæmi um slíkt er 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.

Samkvæmt 11. gr. reglugerðar nr. 535/2011 skal gera frekari lýsingu á eiginleikum grunnvatnshlota sem talin eru undir álagi. Eftirfarandi upplýsingar skulu koma fram, eftir því sem við á:

- a) jarðfræðilegir eiginleikar grunnvatnshlotsins, þ.m.t. umfang þess og berggerðir umhverfis það
- b) vatnajarðfræðilegir eiginleikar grunnvatnshlotsins, þ.m.t. leiðni, grop og umfang
- c) eiginleikar yfirborðssets og jarðvegs á aðrennslissvæði grunnvatnshlotsins, þ.m.t. þykkt, grop, leiðni og gleypni sets og jarðvegs
- d) lagskipting grunnvatnsins innan grunnvatnshlotsins
- e) skrá yfir yfirborðskerfi sem grunnvatnshlotið er í tengingu við, þ.m.t. landvistkerfi og yfirborðsvatnshlot
- f) mat á stefnu og umfangi vatnsskipta milli grunnvatnshlotsins og tengdra yfirborðskerfa
- g) gögn sem nægja til að reikna út árlegt meðaltal heildarendurnýjunar grunnvatns til langs tíma
- h) lýsing á eiginleikum efnasamsetningar grunnvatnsins, þar sem tilgreint er það sem rekja má til starfsemi manna.

2 Afmörkun verkefnisins

Samkvæmt samningi milli Umhverfisstofnunar og Veðurstofu Íslands, dagsettu hinn 10.10.2018, er viðfangsefni þessarar skýrslu liður 9.2 í samningnum.

9.2 Lýsing á grunnvatnshlotum sem eru talin undir álagi vegna mengunar.

Veðurstofa Íslands skal gera frekari lýsingu á grunnvatnshlotum sem talin eru undir álagi samkvæmt 7. og 11. gr. reglugerðar nr. 535/2011. Umhverfisstofnun mun leggja fram lista yfir þau vatnshlot sem um ræðir. Vinnan er unnin í samstarfi við Umhverfisstofnun og Orkustofnun eftir því sem þurfa þykir. Lýsingin verður hluti af vatnaáætlun samkvæmt lögum nr. 36/2011 um stjórn vatnamála.

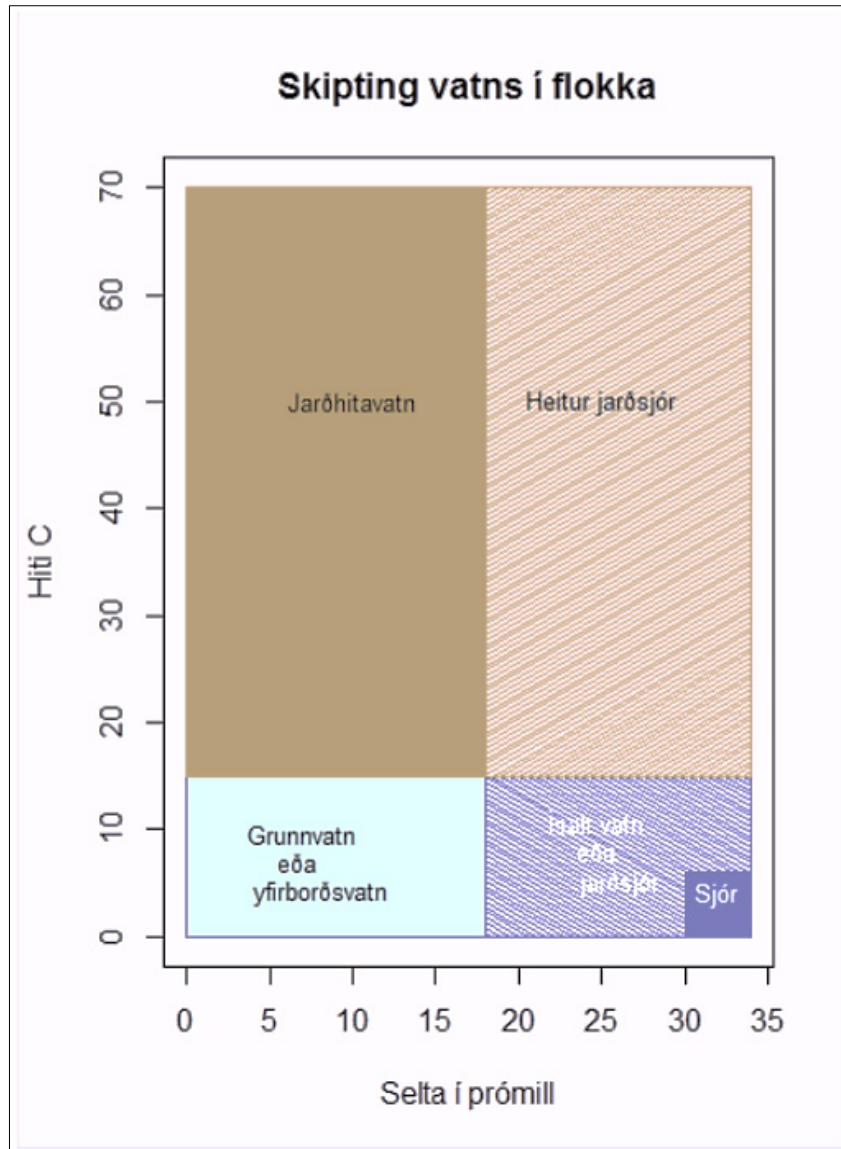
Skiladagar eru skilgreindir samkvæmt endurskoðaðri tímaáætlun Umhverfisstofnunar frá 16.11.2018, þar sem vinna fagstofnana var samræmd. Samkvæmt samningum auk viðauka með endurskoðaðri tímaáætlun skal þessum verkþætti lokið eigi síðar en 30.09.2019.

2.1 Viðfangsefnið

Umhverfisstofnun hefur skilgreint nokkur grunnvatnshlot í óvissu eða í hættu vegna mögulegs efnaálags. Þau hlot sem um ræðir eru eftirfarandi:

- IS102-199-G Héðinshöfði – Óvissa.
Óvissa um álag vegna ösku frá sorpbrennslustöð sem urðuð var á urðunarstað í Laugardal við Húsavík.
- IS102-278-1-G Krafla-Bjarnarflag – Óvissa.
Óvissa um álag vegna efnamengunar í grunnvatni og lindum í sprungum austan við Mývatn vegna losunar affallsvatns frá jarðvarmavirkjunum.
- IS104-250 -1-G Nesjakraun – Óvissa.
Óvissa um álag vegna efnamengunar úr affallsvatni jarðvarmavirkjunar og vegna hitaáhrifa þess.
- IS104-115-G Rosmhvalanes – Í hættu.
Gamlir urðunarstaðir á Stafnesi, sunnan Sandgerðis og Smiðjutjarnar (Ásbrú). Úrgangsmeðhöndlun við Helguvík og athafnasvæði fyrrum sorpbrennslu við Hafnarveg. Vatnshlotið er metið í hættu vegna mögulegrar efnamengunar sem kemst í grunnvatn.

Skýrslan er afmörkuð við umfjöllun um 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 bundið við brot og sprungur í berggrunninum. Mynd 1 sýnir í grófum dráttum þau viðmið sem voru notuð.



Mynd 1. Gróf skipting vatns á Íslandi eftir hita og seltu (Davið Egilson o.fl., 2019).

3 Megindrættir vatnajarðfræði Íslands

Í skýrslunni Magnstaða grunnvatns. Tillaga um aðferðafræðilega nálgun (Davíð Egilson o.fl., 2019) er gefið almennt yfirlit yfir vatnajarðfræði Íslands og er vísað í hana. Til að varpa ljósi á tiltekna þætti í umfjölluninn hér að neðan þótti hins vegar rétt að nefna helstu áhrifaþætti og fjalla sérstaklega um nokkur atriði.

Helstu þættir sem hafa áhrif á grunnvatn og grunnvatnsstreymi:

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

3.1 Úrkoma

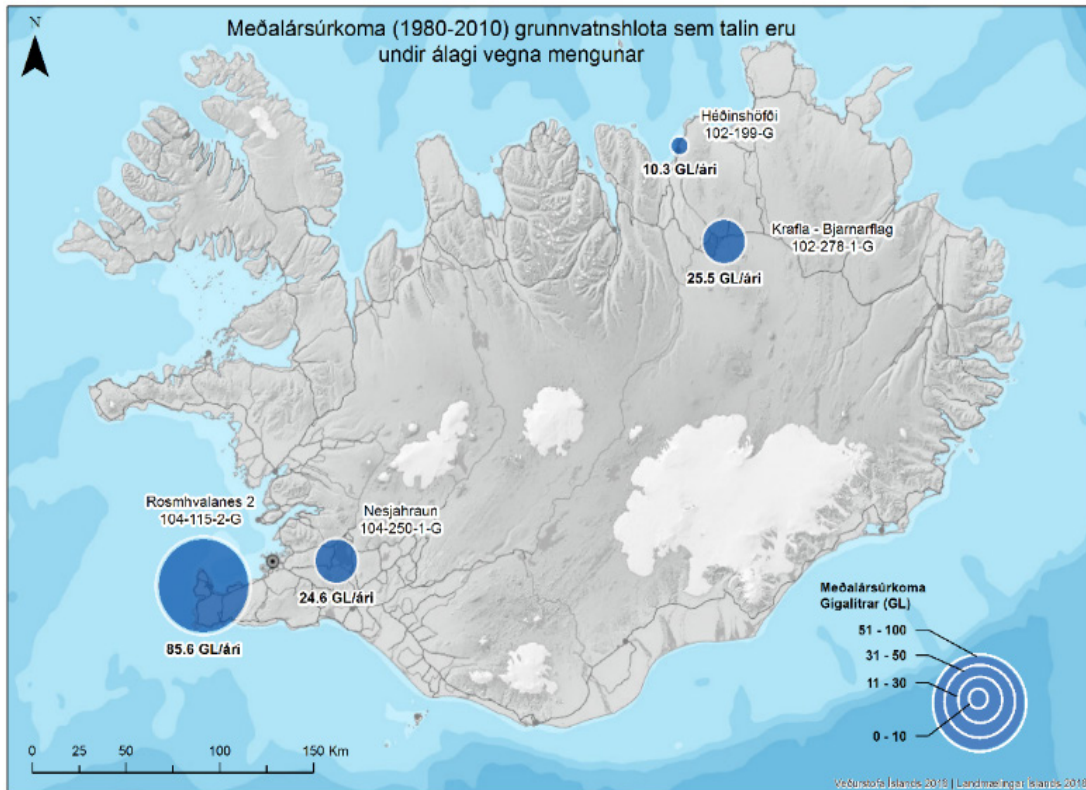
Úrkomumagn (úrkoma að frádreginni uppgufun) og flatarmál grunnvatnshlots ráða því hve mikið berst ofan á hlotið. Hins vegar ræður landslagshalli, vatnsheldni og þykkt jarðvegs auk sprungukerfisins niður í berggrunn hversu mikið vatn berst ofan í grunnvatnshlotið á hverjum stað. Lekt berggrunnsins í grunnvatnshlotsinu og veituleiðir ræður hve hratt vatnið berst fram. Þessir þættir hafa veruleg áhrif á hvort og hvernig mengun dreifist um hlotið og afdrif hennar, þ.m.t. hvort mengunin verður varanleg eða skilast úr því.

Mynd 2 sýnir heildarrúmtak árlegrar úrkomu sem berst á ofangreind grunnvatnshlot, þ.e. margfeldi af meðalársúrkomu að frádreginni uppgufun og flatarmáli og er byggt á ICRA endurgreiningu Veðurstofunnar (Nikolai Narwi o.fl., 2017).

Þar kemur greinilega fram að árlegt heildarrúmtak af vatni sem fellur á hvert hlot sem hér er fjallað um er ákaflega mismunandi. Það fer síðan eftir þáttum sem nefndir eru hér að ofan svo sem jarðvegsgerð, berggerð, landslagi og landformi hvort vatnið leitar niður í grunnvatnshlotið eða rennur fram á yfirborði.

3.2 Jarðfæðilegir þættir

Það kallast írennsli þegar vatn hripar niður í jörðina og verður að grunnvatni. Yfirborðsþekjan ásamt berggrunnum ræður mestu um það vatn sem hripar niður sem grunnvatn, auk þess sem jarðklaki hefur umtalsverð áhrif (Davíð Egilson o.fl., 2019; Guðrún Nína Petersen & Derya Berber, 2018).

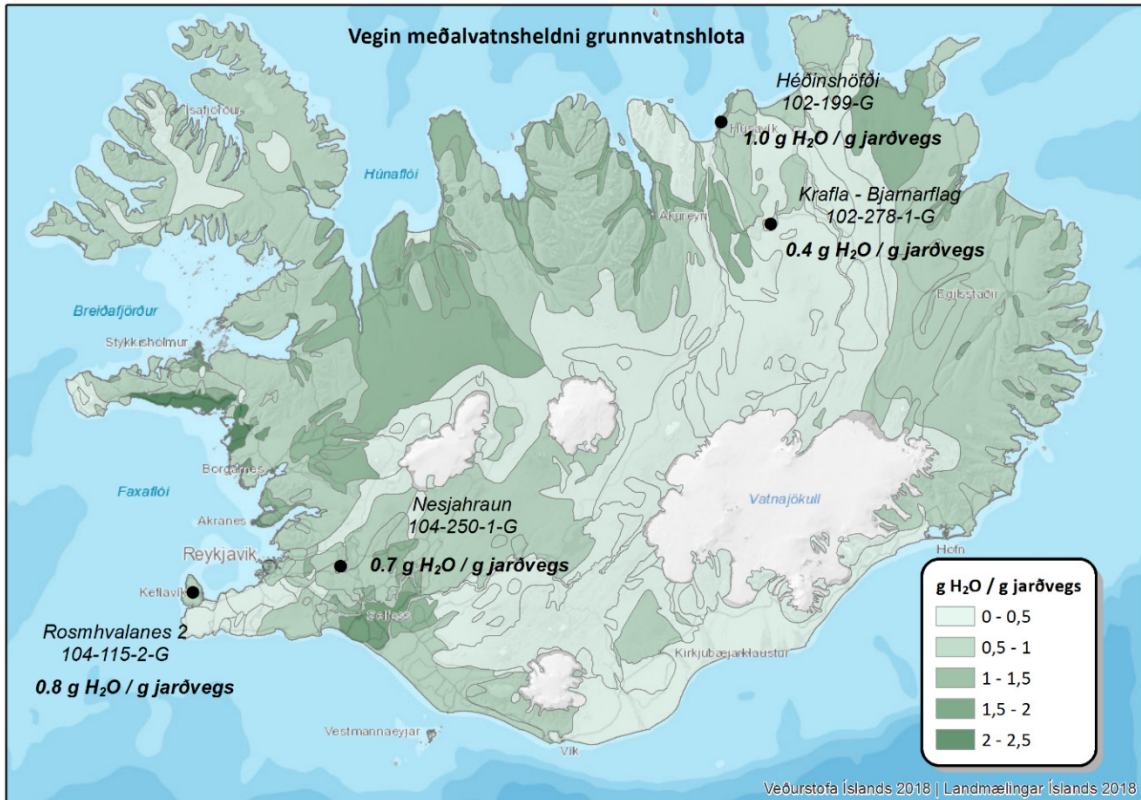


Mynd 2. Ársmeðaltal úrkomu (GL/ár) yfir árabilið 1980–2010, sem fellur á grunnvatnshlot sem talin eru í óvissu / hættu vegna efnáálags.

Jarðvegsgerðin er einn af ráðandi þáttum um það hversu stórt hlutfall úrkomunnar sem fellur á hlotið berst ofan í það og verður að grunnvatni. Til þess að meta vatnsheldni jarðvegs er notaður matskvarði sem byggir á því hve miklu vatni mismunandi jarðvegsgerðir geta haldið í sér miðað við þurrþyngd jarðvegsins í grömmum, sjá viðauka I (Jón Guðmundsson o.fl., 2006). Vegin meðalvatnsheldni jarðvegs á vatnshlotinu er fundin með að margfalda hlutfall flatarmáls hvernjar jarðvegsgerðar með vatnsheldnisstuðli viðkomandi jarðvegsgerðar (Dávíð Egilson o.fl., 2019). Þannig fæst meðalvatnsheldni jarðvegs ofan grunnvatnshlotsins og mat á vatnsheldni hans (tafla 1).

Tafla 1. Matskvarði á vatnsheldni jarðvegs á í umhverfi viðkomandi grunnvatnshlots. (Dávíð Egilson o.fl. 2019)

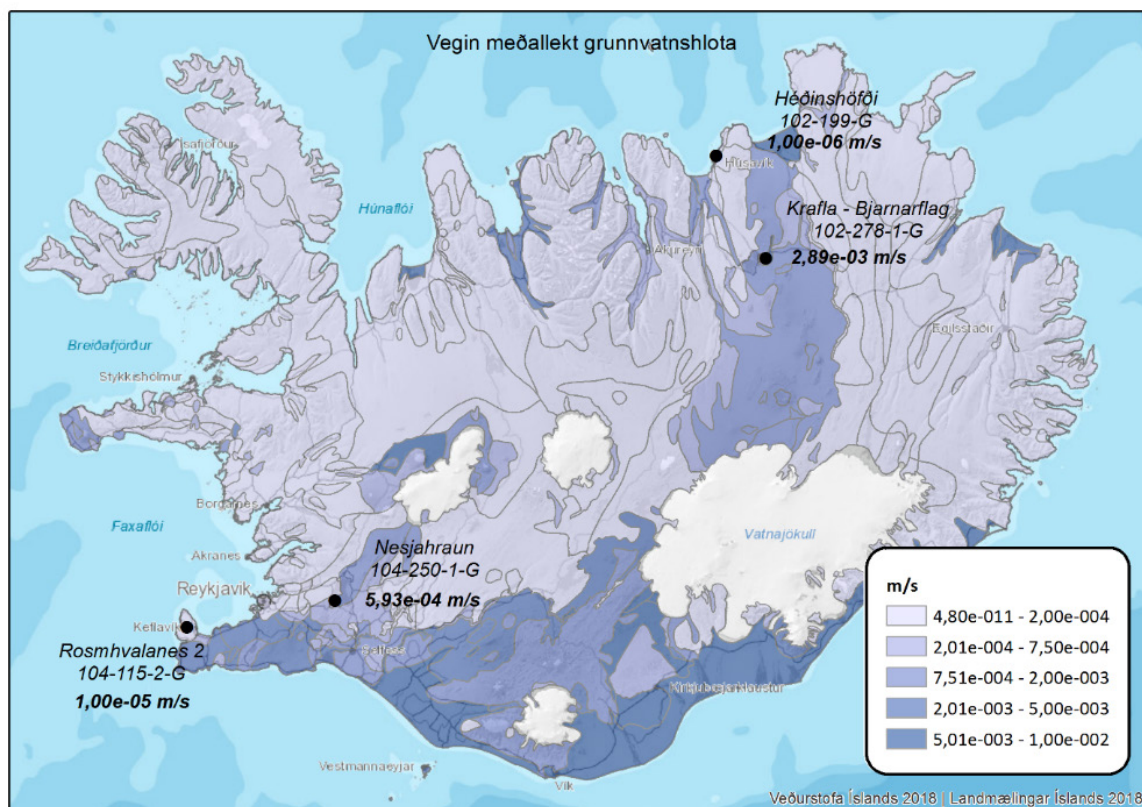
Meðalvatnsheldni gH ₂ O/g jarðvegs	Mat á vatnsheldni
0 -0.5	Mög lítil
0.5-1	Lítil
1-1.5	Meðal
1.5-2	Mikil
2-2.5	Mjög mikil



Mynd 3. Vegin meðalvatnsheldni grunnvatnshlota í óvissu / hættu.

Mynd 3 sýnir vegna meðalvatnsheldni mismunandi jarðvegsgerðar á Íslandi skv. aðferð sem notuð var í skýrslunni *Magnstaða grunnvatns: Tillaga um aðferðarfræðilega nálgun*. Sett er sérstaklega inn tölugildi meðalvatnsheldni vatnshlota í óvissu og hættu. Þar kemur fram að vatnsheldni er á bilinu 0,4–1,0 en það er lítil eða mjög lítil á matskvarðanum um vatnsheldni (tafla 1). Þetta þýðir að miklar líkur eru á því að úrkoma sem berst á hlotið muni hripa nokkuð auðveldlega niður í undirliggjandi berg og þaðan í grunnvatnsgeyminn í gegnum ferli sem kallast „írennsli“.

Lekt og rýmd berggrunnins ræður mestu um það hve mikið vatnsmagn grunnvatnshlotið rúmar og hversu auðvelt er að ná vatni upp. Vegin meðalvatnsleiðni er fundin með því að margfalda hlutfall flatarmáls hveirrar berggrunnsgerðar með meðallekt þeirrar gerðar samkvæmt matskvarðanum í viðauka II (Davíð Egilson o.fl., 2019). Basísk og íssúr hraun sem runnið hafa eftir síðustu ísöld hafa nokkra sérstöðu því lárétta lektin getur verið a.m.k. tífold miðað við lóðrétta. Vatn rennur auðveldar fram eftir lagmótum hrauna en í gegnum þau. Hraun eru til staðar í öllum umræddum vatnshlotum. Mynd 4 sýnir vegna meðalvatnsleiðni í hverju umræddra hlota og tafla 2 sýnir matskvarðann.

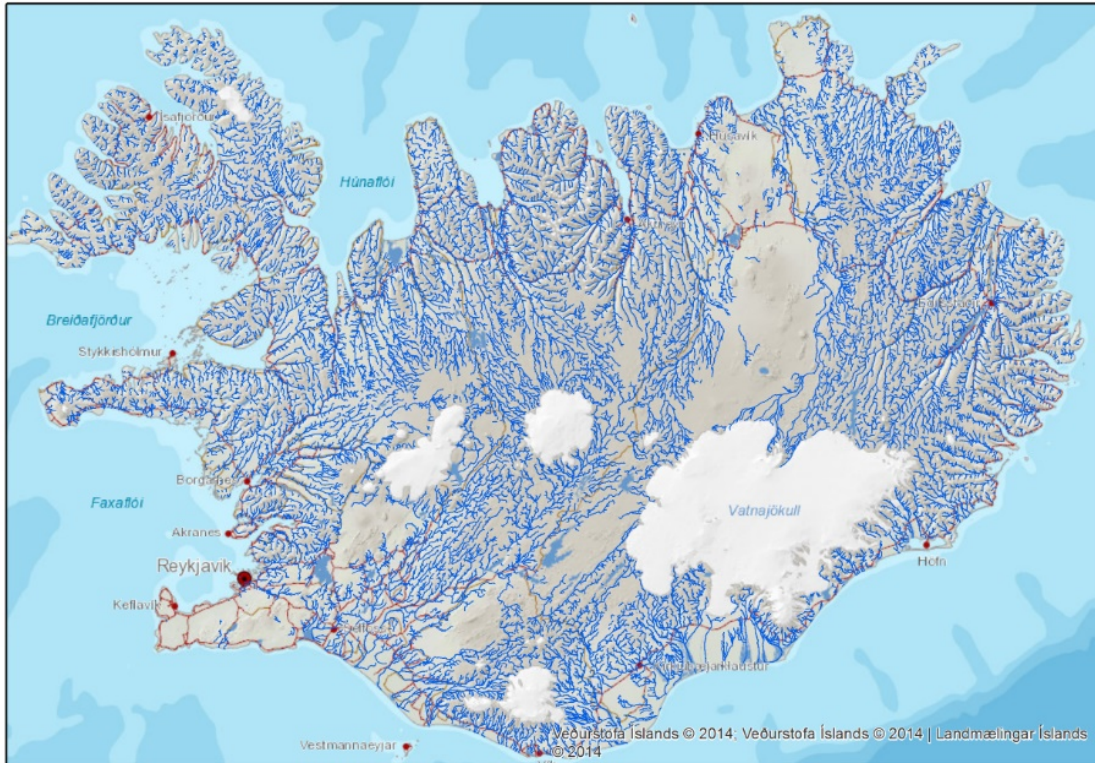


Mynd 4. Vegin meðallekt grunnvatnshlota undir efnaálagi.

Fram kemur í þessari greiningu að vegin meðallekt hlotsins í heild er almennt mjög mikil eða mikil. Þessi framsetning er þeim annmörkum háð að hún gerir ekki ráð fyrir að stærstur hluti vatnsins er þar sem bergið er lekast og mest rýmd er. Af þessum sökum er lektin í einstökum hlotum trúlegast allnokkru meiri en framsetningin gefur til kynna en nánar er komið inn á það í umfjöllun um einstök hlot. Auk þess má ekki meta áhrif svokallaðrar misleitni. Þegar berg er sprungið á vatn mun auðveldara með að renna í sprungustefnu en þvert á hana og getur sá munur verið margfaldur.

Tafla 2. Matskvarði varðandi meðalvatnsleiðni grunnvatnshlota.

Lektarbil m/s	Mat á lekt
$10^{-11} - 10^{-9}$	Engin
$10^{-9} - 10^{-6}$	Óveruleg
$10^{-6} - 10^{-3}$	Nokkur
$10^{-3} - 10^0$	Mjög mikil



Mynd 5. Yfirborðsfarvegir á Íslandi.

Þegar kemur að mati á tengslum við yfirborðshlot er rétt að hafa mynd af staðsetningu helstu árfarvega landsins í huga (mynd 5). Athygli vekur að lítið er um árfarvegi í grennd við umrædd grunnvatnshlot. Almennt eru jarðvegslög á þessum svæðum með litla vatnsheldni svo mestur hluti úrkomunnar berst beint niður í grunnvatnið. Á þessu eru þó undantekningar þar sem vatnsfarvegir hafa þétts t.d. vegna útfellinga og mynda þannig þéttari yfirborðsfarveg en almennt á svæðinu. Fjallað er nánar um þetta í hverju tilviki fyrir sig.

4 Grunnvatnshlot undir efnaálagi

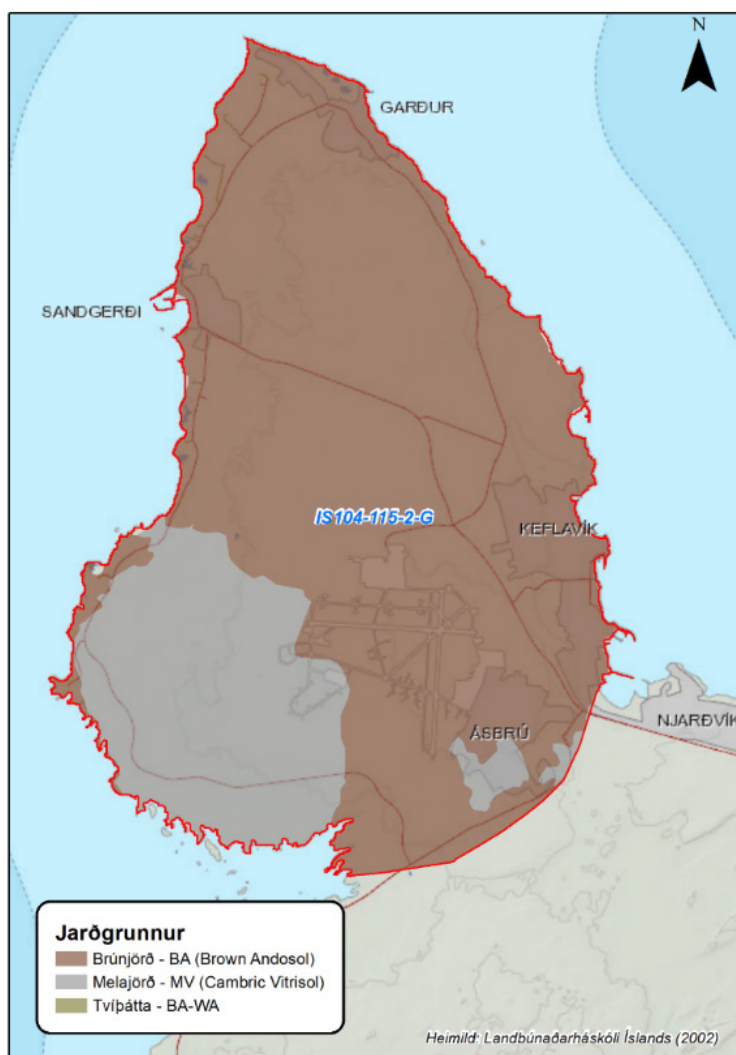
Í skýrslu um magnstöðu grunnvatns (Davið Egilson o.fl., 2019) er farið yfir eiginleika og aðstæður sem hafa megin áhrif á lekt grunnvatns og framboði þess á ólíkum svæðum landsins og er vísað til þeirrar skýrslu hvað varðar yfirsýn yfir aðferðarfræðilega nálgun.

4.1 IS104-115-2-G Rosmhvalanes 2

4.1.1 Forsendur

Helstu ástæður eru:

- Gamall urðunarstaður á Stafnesi og Smiðjutröð (Ásbrú)
- Úrgangsméðhöndlun við Helguvík
- Athafnasvæði fyrrum sorpbrennslu við Hafnarveg



Mynd 6. Jarðvegsgerðir á Rosmhvalanesi (Ólafur Arnalds & Hlynur Óskarsson, 2009).

Í stöðuskýrslunni kemur m.a. fram að allt frá árinu 1985 hefur verið vitneskjaum grunnvatns- mengun á Miðnesheiði (Rosmhvalanesi). Mengunin er fjölþætt m.a. vegna klórkolvetnis- sambanda, olíu, nitrata og lífrænna leysiefna (tríklórétýlen og tetraklórétýlen). Á flugvellinum var þvagefni (urea) notað til afsingar flugbrauta allt frá árinu 1970. Vorið 1990 sýndu mælingar heilbrigðiseftirlits Suðurnesja í grunnvatni talsverða níturat mengun í borholum við flugbrautina en sú mengun er rakin til afsingarefnisins. Efnamælingar í grunnvatni við gömlu urðunar- staðina á Stafnesi (sunnan Sandgerðis) og við Smiðjutröð (Ásbrú) sýni að ýmsir þungmálmar, forgangsefni og önnur efni frá þeim mengi grunnvatn. Grunnvatnshlotið var því metið í hættu, (Jóhanna Björk Weisshappel, 2013).

4.1.2 Lýsing á hloti

Rosmhvalanesi hefur verið skipt upp í tvö grunnvatnshlot eftir vinnulagi sem sett er niður samkvæmt reglugerð 535/2011 um flokkun vatnshlota, eiginleika þeirra, álagsgreiningu og vöktun (Bogi B. Björnsson o.fl., 2013). Grunnvatnshlotið Rosmhvalanes 2 er á utanverðu Reykjanesi og er 105 km² að flatarmáli (mynd 6 og 7).

a) Árleg endurnýjun og tenging við yfirborðskerfi

Mynd 2 sýnir að meðaltal árlegs rúmtaks úrkomu að frádreginni uppgufun yfir árabilið 1980–2010 sem fellur á hlotið er 85.6 Gl sem samsvarar 2,7 m³/s afrennsli af öllu hlotinu. Nánast ekkert af því vatni rennur á yfirborði heldur berst niður í grunnvatnið.

b) Yfirborðslög

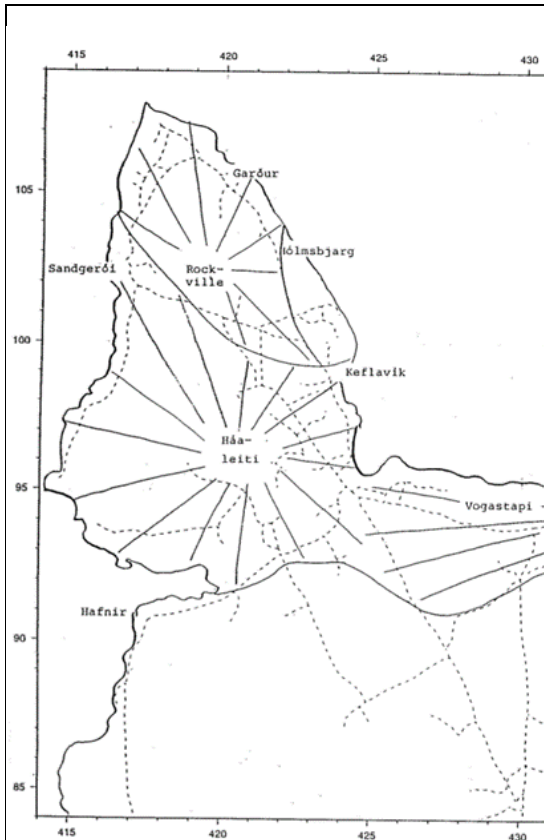
Jarðvegur á Rosmhvalanesi er frekar þunnur. Hann er að mestu Brúnjörð eða Melajörð og vatnsheldnin ekki mikil samkvæmt töflu í viðauka I (mynd 6 og tafla 3). Veruleg hætta er því á grunnvatnsmengun ef óvarlega er farið með mengandi efni.

c) Jarðfræði og vatnafræði

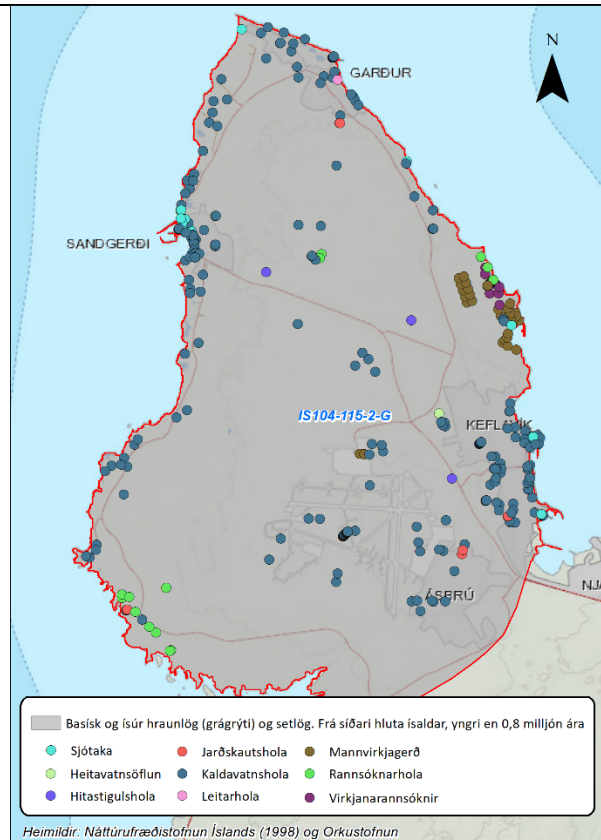
Rosmhvalanes 2 er myndað af tveimur basaltdyngjum sem ná frá yfirborði og niður fyrir ferskvatnslagið. Önnur dyngjan hefur miðju við Háaleiti, um það bil þar sem flugturninn er nú staðsettur en miðja hinnar dyngjunnar er við Rockville (mynd 7).

Tafla 3. Matskvarði varðandi meðalvatnsleiðni grunnvatnshlota.

Jarðvegsgerð	Vatnsheldinbil- gH ₂ O/g jarðvegs
<i>Brúnjörð</i>	1
<i>Melajörð</i>	0.2
<i>Brúnjörð- blautjörð</i>	1



Mynd 7. Grágrýtisdyngjur á Rosmhvalanesi (Þórólfur H. Hafstað & Kristján Sæmundsson, 2000).

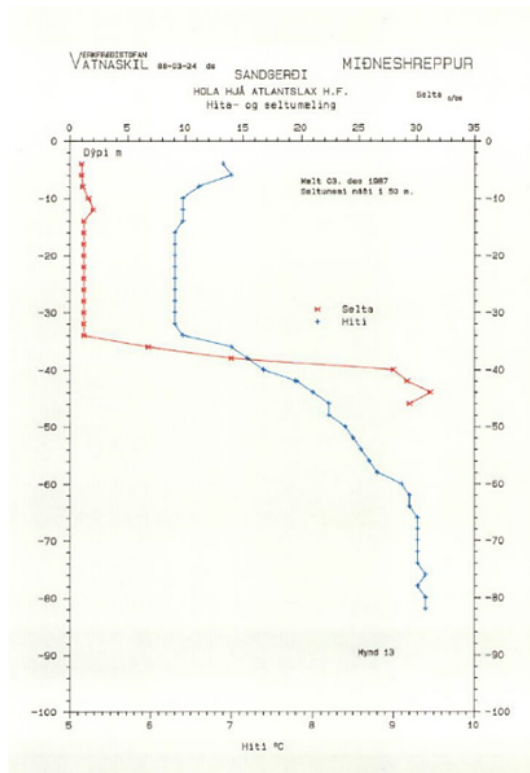


Heimildir: Náttúrufræðistofnun Íslands (1998) og Orkustofnun

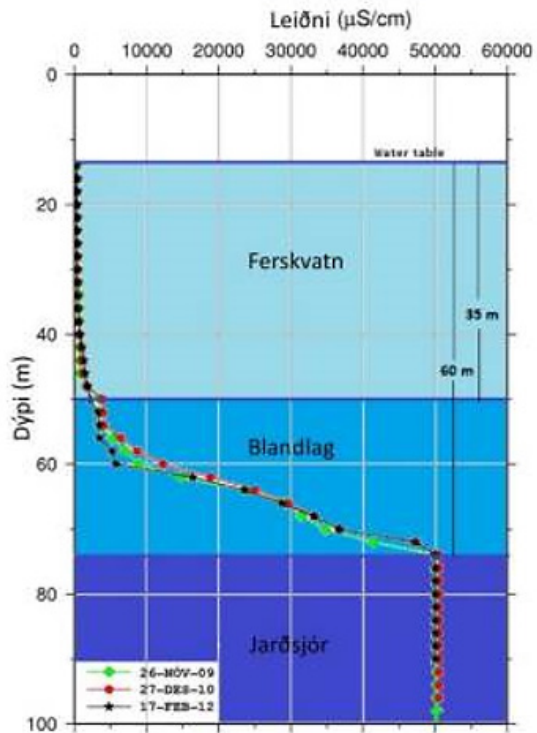
Berggrunnur	Áætluð meðallekt m/s
Basísk og ísúr hraunlög (grágrýti) og setlög. Frá síðari hluta ísaldar, yngri en 0.8 milljón ára	1,00E-05

Mynd 8. IS104-115-2-G Rosmhvalanes. Afmörkun grunnvatnshluts og staðsetning borhola. Flokkun borhola fylgir borholuskrá Orkustofnunar. Langflestar þær holur sem eru merktar sem kaldavatnsholur í skránni (dökkblár litur) eru í raun rannsóknar- og vöktunarholur ýmist rannsóknar- eða neysluvatnsholur (Bogi B. Björnsson o.fl., 2013; Borholuskrá OS).

Nokkuð ítarlegar rannsóknir hafa farið fram á svæðinu og þekking því ágæt. Borholur á Rosmhvalanesi eru vel á þriðja hundrað, eða 258 talsins samkvæmt borholuskrá Orkustofnunar (mynd 8). Fjölmargar holur hafa verið boraðar á nesinu eftir ferskvatni og jarðsjó en einnig vegna mengunarrannsókna og vegna grundunar stórra mannvirkja í grennd við Helguvík (Þórólfur H. Hafstað & Kristján Sæmundsson, 2000). Hins vegar finnast margar þeirra eldri ekki og er það væntanlega vegna ónógs frágangs á yfirborði eða eru óaðgengilegar.

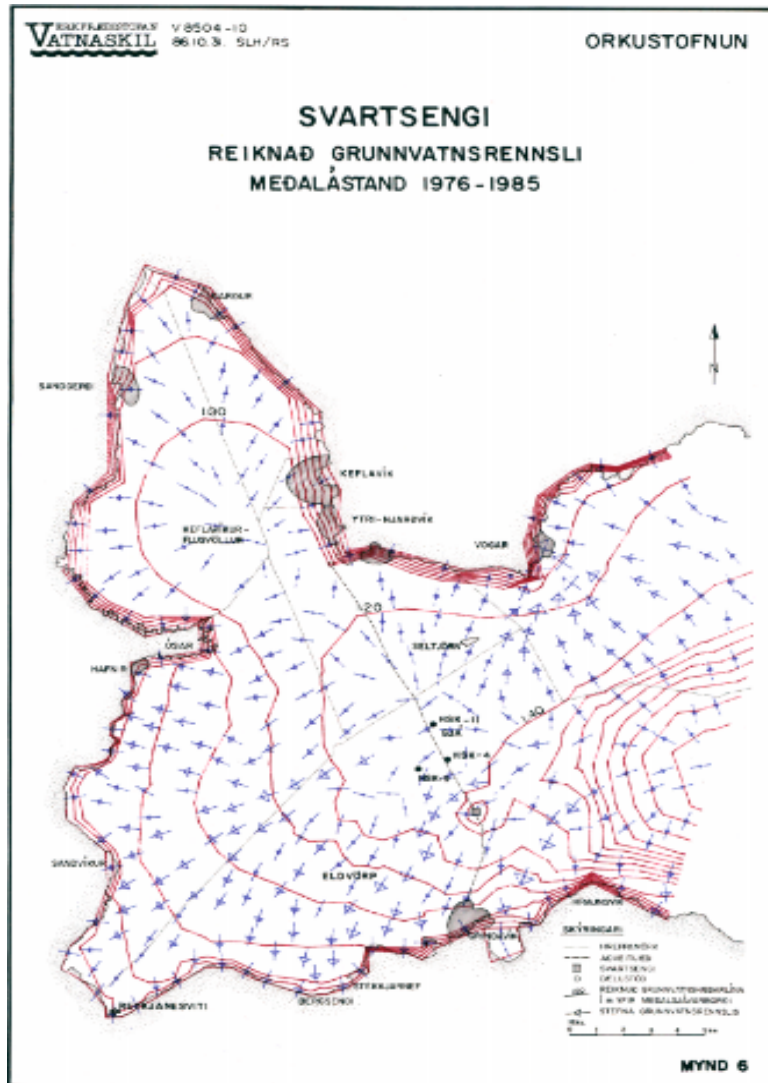


Mynd 9. Hita- og seltudreifing í borholu við Sandgerði. Það sést vel hvernig grunnvatnið flýtur á jarðsjó (Davið Egilson, 1988).



Mynd 10. Hugmyndalíkan af lagskiptingu grunnvatns á ytri hluta Reykjaness (Ásbjörn Blöndal, 2018).

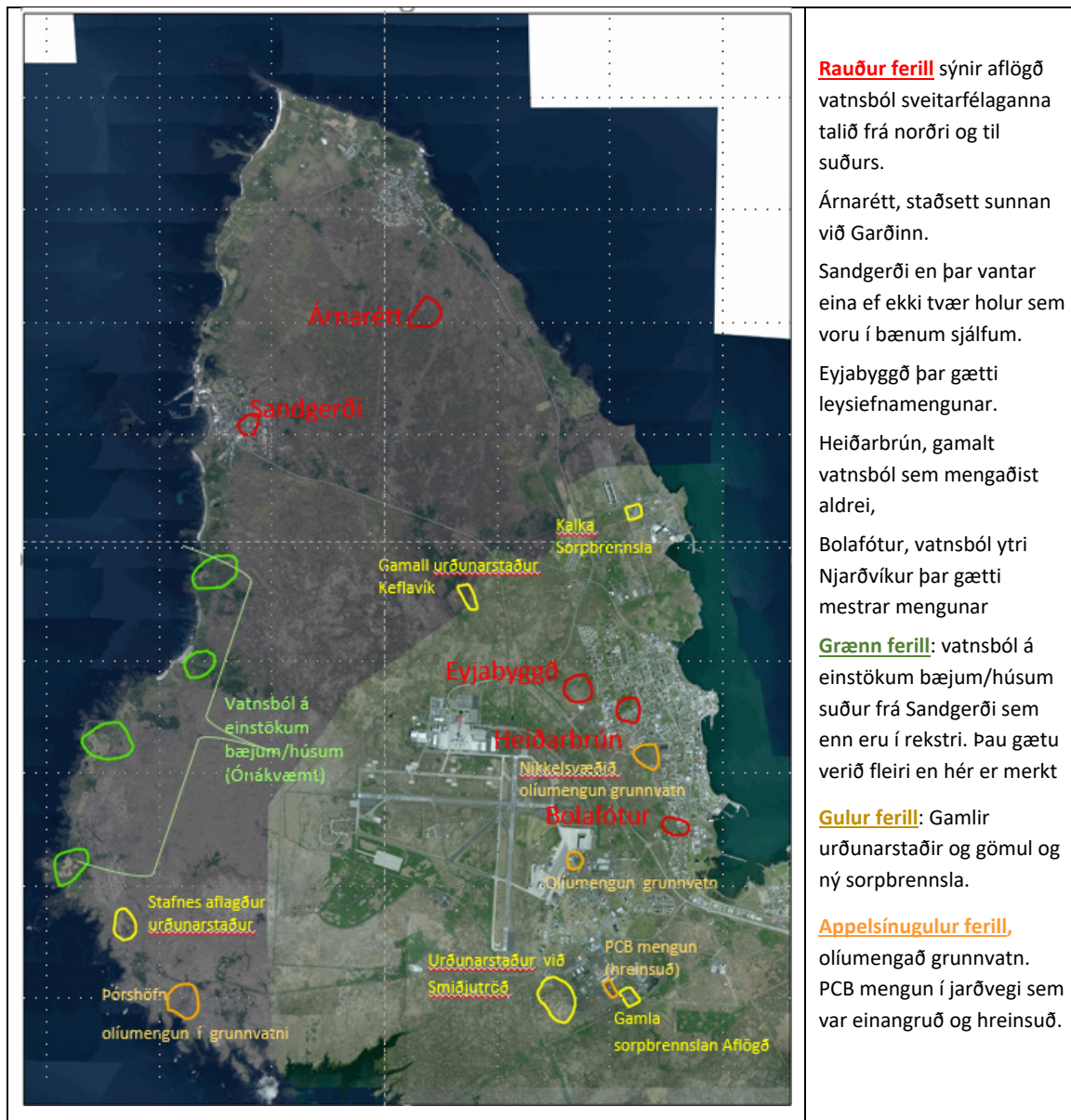
Grunnvatnið á Rosmhvalanesi flýtur á jarðsjó eins sést á myndum 9 og 10 sem sýna hita- og seltumælingar í einni borholu við Sandgerði sem endurspeglast í hugmyndalíkani um lagskiptingu grunnvatns á nesinu (mynd 11). Grunnvatnið á að langmestu leyti uppruna sinn í úrkomu sem hefur fallið á vatnasvið þess, en ekkert aðrennsli er að því. Það endurspeglast í lögum grunnvatnsspegilsins þar sem vatnsborð er hæst um miðbik nesses og grunnvatn streymir þaðan í átt til strandar, sjá mynd 11.



Mynd 11. Útnes Meðalgrunnvatnshæð 1986–1965 og streymisstefnur til strandar. Rauðar línur sýna meðalgrunnvatnshæð en bláar línur straumstefnuna (Verkfræðistofan Vatnaskil, 1986).

Rétt er að vekja athygli á því að myndin sýnir ekki niðurstöður nýjustu líkanreikninga Vatnaskila, hins vegar er hún í betra samræmi við núverandi hugmyndir um rennslisstefnur við jaðra Rosmhvalanes sem byggja á vettvangskönnun (Snorri Páll Snorrason, 2020).

Hraunin á Rosmhvalanesi eru afar lek, einkanlega í lárétta stefnu á lagmótum þeirra sem gerir það að verkum að grunnvatnslinsan er frekar þunn, eða um 35–50 m þar sem hún er hvað þykkust, mynd 10. Vegna hinnar miklu lektar gætir sjávarfalla alls staðar í hlotinu. Víða má merkja hæga útskolun mengandi efna sem hafa borist niður í grunnvatnið eins og rakið verður hér á eftir. Sjávarfallabylgjan berst eftir lekum lagmótum hraunanna og þar verða vatnsskiptin. Sé mengunin á yfirborði grunnvatnsins í þéttum hluta hraunanna verður þar aðeins lóðrétt hreyfing en ekki vatnsskipti. Þynningin verður aðeins vegna lóðréttra hreyfinga og útskolun hæg. Verulegur tímamunur er á sjávarföllum austan og vestan nessins og kemur það fram í sjávarfallabylgjunni í grunnvatninu.



Rauður ferill sýnir aflögð vatnsból sveitarfélaganna talið frá norðri og til suðurs.

Árnarétt, staðsett sunnan við Garðinn.

Sandgerði en þar vantar eina ef ekki tvær holur sem voru í bænum sjálfum.

Eyjabyggð þar gætti leysiefnamengunar.

Heiðarbrún, gamalt vatnsból sem mengaðist aldrei,

Bolafótur, vatnsból ytri Njarðvíkur þar gætti mestrar mengunar

Grænn ferill: vatnsból á einstökum bæjum/húsum suður frá Sandgerði sem enn eru í rekstri. Þau gætu verið fleiri en hér er merkt

Gulur ferill: Gamlir urðunarstaðir og gömul og ný sorpbrennsla.

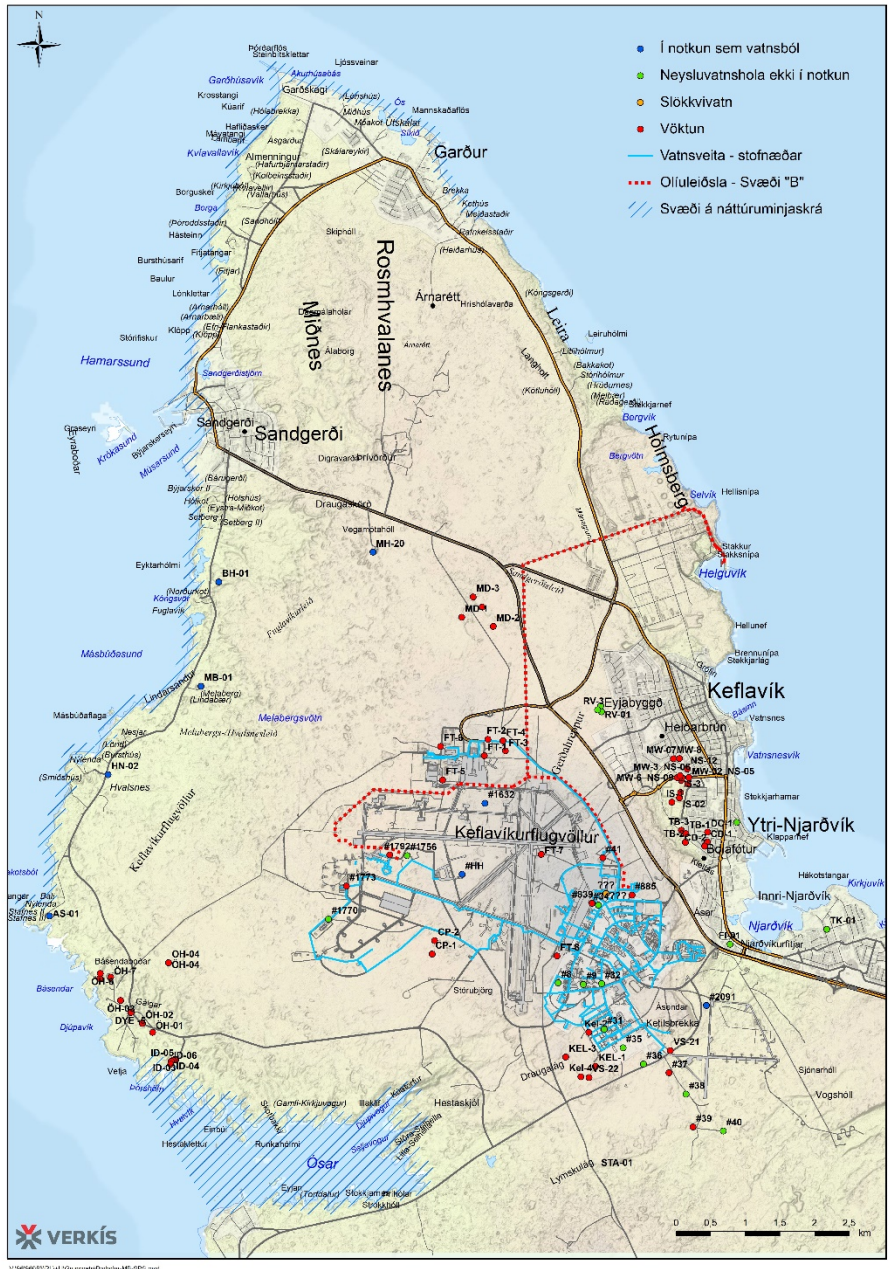
Appelsínugulur ferill, olíumengað grunnvatn. PCB mengun í jarðvegi sem var einangruð og hreinsuð.

Mynd 12. Rosmshvalanes – vatnstaka og mengun (Snorri Páll Snorrason, 2020).

d) Samspil vatnstöku og athafna

Mynd 12 gefur gróft yfirlit yfir vatnstökustaði sem hafa verið í notkun á Rosmshvalanesi og hvar athafnir manna hafa verið með þeim hætti að huga þurfi að vegna hættu á grunnvatns-mengun.

Mynd 13 sýnir núverandi nýtingu og vöktun. Grunnvatn sem liggur ofan á sjó og með litlu aðrennsli getur verið viðkvæmt fyrir vatnstöku ef of nærri er gengið (Davíð Egilson & Gerður Stefánsdóttir, 2014). Afar mikilvægt er að vatnstaka fari ekki fram yfir sjálfbær mörk, þ.e. að ekki sé dregið það mikið niður að hætta verið á aðrennsli mengandi efna, saltinnskoti eða að vatnstaka sé umfram náttúrliga endurnýjun vatns í vatnbólinu til lengri tíma (Davíð Egilson & Gerður Stefánsdóttir, 2014). Mögulegt er að vakta slík hlot með leiðni- og efnamælingum til þess að tryggja að sjór eða mengandi efni frá nærliggjandi umhverfi dragist ekki inn í vatnshlotið vegna of mikillar vatnstöku.



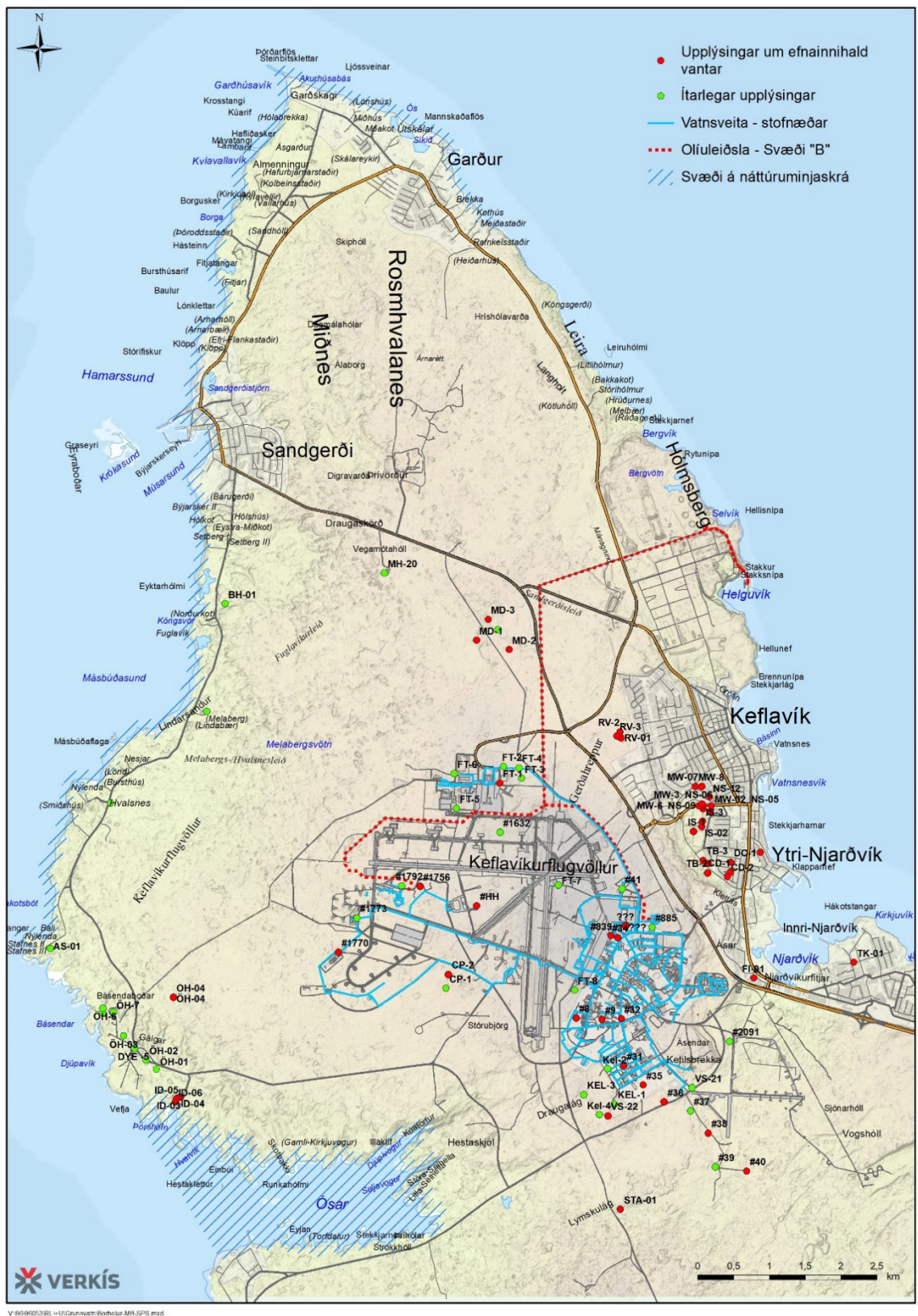
Mynd 13. Borholur á Rosmhverlanesi og helstu vatnstökusvæði (Snorri Páll Snorrason, 2020).

4.1.3 Rannsóknarsaga

Vöktun á grunnvatni á Suðurnesjum má rekja til nokkurra atburða, sjá myndir 12 og 13.

- Sumarið 1985 lét varnarliðið athuga hvort grunnvatn við eitt af vatnsbólum þess í nágrenni Sorpeyðingarstöðvar Suðurnesja væri mengað og reyndist svo vera. Þá kom í ljós að í grunnvatninu voru lífræn leysiefni. Vatnsbólínu var tafarlaust lokað. Við frekari rannsókn kom í ljós að þrjú skyld leysiefni, tetraklóreten, triklórethýlen og 1,1,1, triklóretan var að finna í fleiri vatnsbólum varnarliðsins á Keflavíkflugvelli (Snorri Páll Snorrason, 1991; María J. Gunnarsdóttir, 2005).
- Rúmu ári síðar, í september 1986, barst Heilbrigðiseftirliti Suðurnesja vitneskja um mengunina (Magnús H. Guðjónsson, 1992). Þá var strax hafist handa við að efnagreina vatn úr vatnsbólum Njarðvíkinga við Bolafót og vatnsbólum Keflvíkinga ofan við Eyjabyggð (mynd 13). Sú rannsókn leiddi í ljós að leysiefnin tetraklóreten og triklóreten voru í báðum vatnsbólunum. Þegar þetta kom í ljós var sett af stað umfangsmikil rannsókn til að kortleggja grunnvatnsflæði á Rosmhvalanesi, umfang mengunarinnar og kanna sögu meðferðar efna á svæðinu. Mengun í vatnsbólum við Bolafót var aðal áhyggjuefnið og styrkur triklóreten o.fl. efna var lang hæstur þar. Triklóretenið kom líklegast frá stóra flugskýlinu #885 en tetraklóreten sem þar fannst líka hefur hugsanlega komið frá fatahreinsun nærri vatnsbólínu. Í Keflavík voru tvö vatnsból, annað við Heiðarbrún þar sem aldrei mældist mengun en hitt við Eyjabyggð þar sem mældist lítilsháttar mengun en miklar áhyggjur voru af því að hún myndi aukast.
- Haustið 1988 voru boraðar tuttugu rannsóknarholur og vatn úr þeim efnagreint. Þessar efnagreiningar leiddu í ljós umfangsmikla mengun grunnvatns á Rosmhvalanesi (María J. Gunnarsdóttir, 2005).

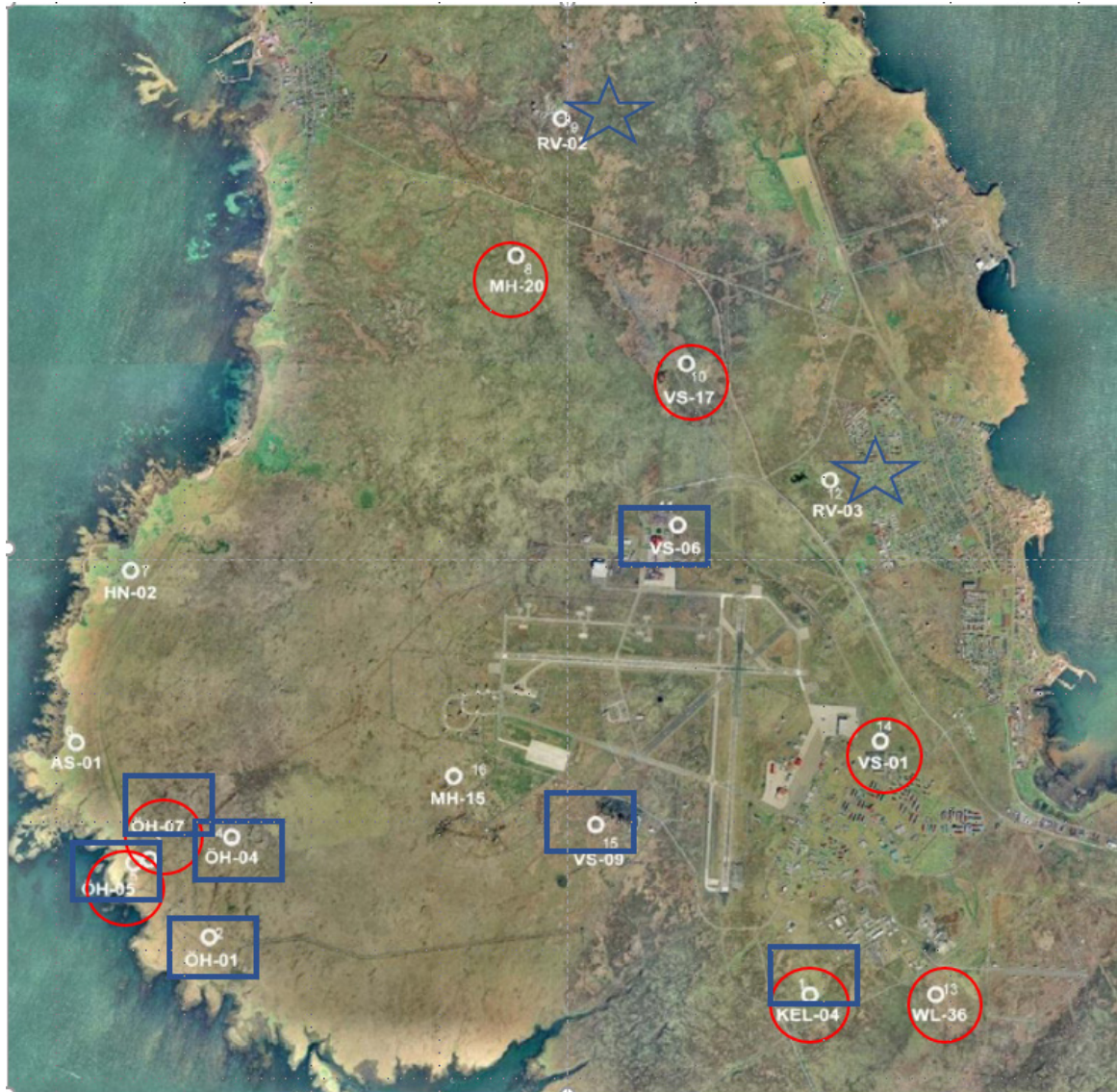
Auk þessa var vel vitað að umfangsmikil starfsemi tengd flugvellingum og varnarsvæðum, svo sem á flughlöðum og við sorpförgun hefði getað mengað grunnvatn nærri starfseminni. Staðbundin mengun mældist á um 4–5 stöðum árabilið 1987–1990 vegna lekra olíutanka. Flestar olíulagnir á svæðinu voru úr járn og settar niður upp úr 1950 og ekki ólíklegt að 35–45 ár sé hámarkslíftími slíkra lagna. Mynd 14 sýnir mat á stöðu þekkingar varðandi dreifingu mengunarefna..



Mynd 14. Rosmhverlanes. Staðsetning borhola og yfirlit stöðu þekkingar á efnainnihaldi (Snorri Páll Snorrason, 2020).

Tveir aðilar standa að mælingunum á efnainnihaldi grunnvatns á Rosmhvalanesi. Mengunin virðist bundin við úrgangsförgun, einkanlega á gömlum urðunarstöðum og á flughlaðinu (mynd 15).

- Þróunarfélag Keflavíkurflugvallar (Kadeco) hefur staðið að mælingum á grunnvatni á sínu svæði eins og það var skilgreint við brottför varnarliðsins 2006. Árin 2009 og 2014 fól Þróunarfélag Keflavíkurflugvallar Almennu verkfræðistofunni með Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR) sem undirverktaka, að gera úttekt á grunnvatni við og á gömlum urðunarstað hersins á Rosmhvalanesi og suðvestan við iðnaðarsvæðið á þáverandi varnarsvæði Keflavíkurflugvallar. Auk þess voru sýni tekin utan svæðanna á stöðum þar sem engrar mengunar var von. Í fyrri rannsókninni árið 2009, mældist magn járns, kopars, mangans og nikkels yfir neysluvatnsmörkum og merkjanlegt magn af triklóróeten, (Sigurður G Kristinsson, o.fl, 2009). Hins vegar hafði styrkur triklóreten minnkað tífalt frá því um 1990. Líklegast er að úrkoma og írennsli í þau þrjátíu ár sem liðu milli mælinganna hafi þynnt styrkinn út (Snorri Páll Snorrason, 2020). Í síðari rannsókninni mældist styrkur málmanna hærrí en áður og merkjanlegt magn af 1,1,1-tríklóróetan og triklóreten mældist í einni holu. Styrkurinn var þó undir mörkum fyrir yfirborðsferskvatn, árósavatn og strandsjó, mynd 14 (Sigurður G. Kristinsson, o.fl. 2009; Finnboogi Óskarsson & Þórólfur H. Hafstað, 2014).
- Hvað varðar starfsemina á flugvallarsvæðinu sjálfu hefur Isavia undanfarin ár fylgt málinu eftir í tengslum við starfsleyfi frá heilbrigðiseftirliti og gert ítarlegar og endurteknar mælingar á grunnvatni á flugvallarsvæðinu sjálfu og staðið að borun eftirlitshola við flughlöð og brautir (VERKÍS, 2017a, 2017ba, 2018). Mynd 15 sýnir helstu niðurstöður mælinganna.



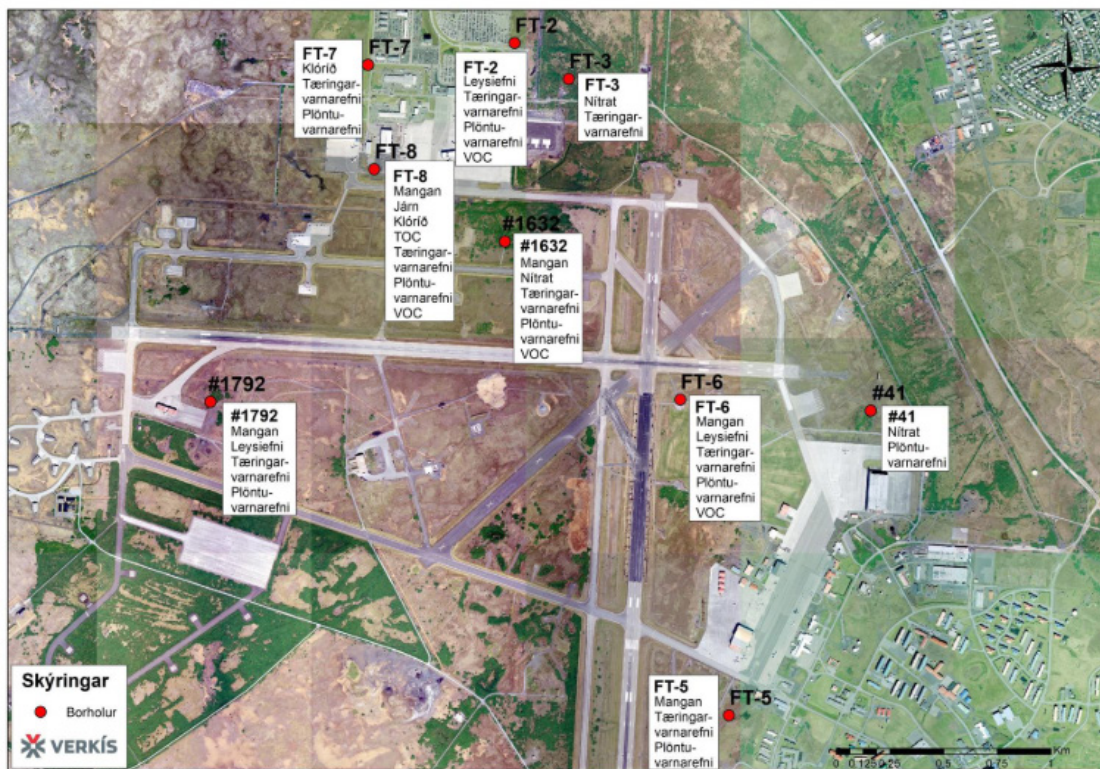
Mynd 15. Niðurstöður í rannsókn á grunnvatni frá 2009. Grunnheimild: Sigurður G. Kristinsson o.fl. (2009). Rauðir hringir sýna staði þar sem triklóreten fannst í mælanlegu magni. Bláir kassar sýna staði þar sem járn var í meiri styrk en kröfur í Neysluvatnsreglugerð kveða á um. Stjarna sýnir staðsetningu sem ekki var unnt að taka sýni.

Tafla 4. Rosmhvalanes. Dagsetning og fjöldi sýnatökustaða við rannsókn á efnainnihaldi grunnvatns árin 2017 og 2018.

Heiti	Dagsetning	Fjöldi sýnatökustaða
Sýnataka 1	20170410	9
Sýnataka 2	20170912	8
Sýnataka 3	20180318	9

Hér verður fjallað sérstaklega um þrjár mælingar á efnainnihaldi grunnvatns á vegum Isavia sem gerðar voru árin 2017 og 2018 á flugvallasvæðinu (VERKÍS, 2017a, 2017b, 2018) (sjá töflu 4).

Um er að ræða mælingar á þungmálum og lífrænum efnum. Kannað var hvort þungmálma væri að finna í magni umfram það sem búast má við í náttúrulegum ferlum. Lífrænu efni koma hins vegar ekki fyrir í náttúrunni og ef þau mælast má rekja þau til athafna mannsins. Mynd 16 sýnir niðurstöðu efnagreininga sem gerðar voru þann 18. mars árið 2018 (sýnataka 3).



Mynd 16. Niðurstöður efnagreininga úr sýnatöku þann 18. mars 2018 (Sýnataka 3). TOC stendur fyrir heildar lífrænt kolefni (Total Organic Carbon) og VOC fyrir rokgjörn lífræn efni (Volatile Organic Compounds) (VERKÍS, 2018).

Tafla 5. Valin efni úr töflu 2 í reglugerð um neysluvatn. Efna- og edlisfræðilegir þættir í reglugerð nr. 536/2001 um neysluvatn með síðari breytingum.

RANNSÓKNÞÁTTUR	HÁMARKSGILDI	FLOKKUR ¹	ATHUGASEMDIR
Aromatísk fjölhringa kolvatnsefni (PAH)	0,10 µg/l	B	Hámarksgildið á við summu af styrk eftirfarandi efnasambanda: benzo(b)flúoranten, benzo(k)flúoranten og benzo(ghi)perylene, indeno(1,2,3-cd)pyren
Járn (Fe)	200 µg/l	C	
Klóríð (Cl)	250 mg/l	C	Vatnið má ekki vera tærandi
Mangan (Mn)	50 µg/l	C	
Nikkel (Ni)	20 µg/l	B	Gildið skal vera lýsandi fyrir neysluvatn
Nítrat (NO ₃)	50 mg/l	B	Uppfylla þarf skilyrði um að $[\text{nítrat}]/50 + [\text{nítrít}]/3 \leq 1$, þar sem hornklofarnir merkja styrkinn í mg/l fyrir nítrat (NO ₃) og nítrít (NO ₂) og að gildið fyrir nítrít fari ekki yfir 0,10 mg/l í vatni frá vatnsveitu

¹Rannsóknþættir í töflu 2 í viðauka I reglugerðar nr. 536/2001 um neysluvatn með síðari breytingum eru flokkaðir í flokka A, B og C eftir því til hvaða aðgerða ber að grípa ef gildi mælist hærra en hámarksgildi viðkomandi þátta. Flokkur A telst alvarlegastur og kallar á bráð viðbrögð.

Niðurstöður á mældum styrk einstakra efna í umfjölluninni hér að neðan eru bornar saman við hámarksgildi eins og þau koma fram í reglugerð nr. 536/2001 um neysluvatn, með síðari breytingum, sjá töflu 5.

Niðurstöður úr mælingum frá sýnatökum 1-3, sem gert er grein fyrir í skýrslum VERKÍS (2017a, 2017b, 2018).

- **Nítrat** mældist eingöngu norðan og austan við flugstöðina og flugvöllinn. Nítrat binst við blóðrauða og getur m.a. valdið súrefnisskort hjá ungbörnum ef styrkur þess er hár. Nítratið er líklegast leifar af þvagefni (urea, (NH₂)₂CO) sem notað var áður fyrr sem afsingarefni á flugbrautir. Mældur styrkur í grunnvatni í sýnatökunum þremur var á bilinu 1,1 -3,4 mg/L. Þessi styrkur er vel undir hámarksgildi drykkjarhæfs neysluvatns sem eru 50 mg/l, sbr. töflu 5. Líklegt er að styrkur nítrats lækki enn frekar með tímanum eins og sést hefur í holu #41. Þar náði styrkur nítrats um 100 mg/l á árunum eftir 1990 sem er langt umfram það sem mælist í dag.
- Styrkur **klóríðs** í grunnvatni gefur oft til kynna seltu sem rekja má til særoks. Hins vegar getur hár styrkur orsakast af margs konar öðrum ástæðum svo sem, heitum jarðsjó (grunnvatn við Svartsengi), sjávarföllum þar sem útstreymi grunnvatns er lítið (Vatnsleysuströnd), of mikilli dælingu neysluvatns sem veldur íblöndun sjávar (Grindavík og hola við Þorustíg í Ytri Njarðvík). Hár styrkur klóríðs var bundinn við sýnatökustaði í borholum sem eru í kringum flugstöðina og við flughlöð (FT-7) eða 260 mg/L, sem reynist þar vera rétt yfir hámarksgildi drykkjahæfs drykkjarvatns, tafla 2. Hins vegar er styrkur klóríðs einnig í borholum FT-2 og FT-3 hlutfallslega hár þegar tekið er mið af styrk þess í öðrum holum. Skýrsluhöfundar benda á að líklegt sé að hár styrkur klóríðs í þessum holum stafi af staðbundinni uppsprettu t.d. þegar salt var notað til hálkuvana á vegum í grenndinni

(Kalíum acetat er notað á flugbrautir). Klóríð styrkur getur einnig hækkað ef of mikil vatnstaka hefur raskað jafnvægi saltvatns og grunnvatns, liggi grunnvatnshlotið á sjó.

- **Pungmálmar** fundust í mjög lágum styrk í flestum holanna. Almennt voru mæligildi þungmálma undir þeim mörkum sem sett eru fram í reglugerð nr. 536/2001 um neysluvatn, sjá töflu 2. Málmurinn mangan mældist þó yfir neysluvatnsmörkum í öllum sýnatökum í holum FT-8 og #1792. Í sýnatökunni 2018 fór mangan yfir neysluvatnsmörk og að auki í holu FT-6. Járn fór rétt yfir neysluvatnsmörk í holu FT-8 sýnatöku 1 og 3 sem og nikkell sem mældist í þriðju sýnatöku í holu FT-2, sjá töflu 1.
- **Tæringarvarnarefni benzotriazol og tolytriazol** mældust í sýnatökunum þremur. Benzotriazol styrkur í grunnvatni á Keflavíkurflugvelli mældist á bilinu 0,01 – 0,3 µg. Þessi tæringarvarnarefni eru í afisingarefnum flugvéla og þar með mikið notuð á flughlöðum. Styrkur þessara tæringarvarnarefna var lágur ef hann er borinn saman við styrk þessara efna á Kastrup flugvelli í Danmörku, en þar var meðalstyrkur benzotriazols í grunnvatni 30 µg/l. Í sömu rannsókn á Kastrup flugvelli mældist meðalstyrkur tolytriazols í styrknum 160-180 µg/l en styrkur tolytriazols á Keflavíkurflugelli var á bilinu 0,021–8,9 µg/l. Þessi tæringarvarnarefni koma ekki fyrir í náttúrunni.
- **Plöntuvarnarefni** greindust í grunnvatni á Keflavíkurflugvelli. Skordýraeitrið **Dinoterb** mældist í öllum holum nema einni í sýnatöku 3. Þar sem Dinoterb hefur ekki mælst áður er ekki tímabært að draga ályktanir um uppruna efnisins. Hins vegar er ljóst að ekki er um mengun á rannsóknarstofunni að ræða þar sem það hefur ekki verið notað þar né greint áður.
- **Fjölhringa aromatísk kolvatnsefni (PAH)** mældust í stöku holum í sýnatöku 1 og 3. Heildarstyrkur PAH efnasambanda fór yfir neysluvatnsmörk í sýnatöku 1 og mældist PAH efnasambandið naphthalene í styrknum 0,09 µg/l og 0,33 µg/l í sitthvorri holunni. Neysluvatnsmörk PAH efna eru 0,1 µg/l (tafla 5). Að auki mældist PAH efnasamböndin fluoranthene og pyrene í lágum styrk í sýnatöku 1, undir neysluvatnsmörkum (tafla 9). Pyrene mældist einnig í sýnatöku 3. Það að PAH mælist í tveimur sýnatökum bendir til þess að efni séu eða hafi verið í notkun á svæðinu.
- **BTEX efnasambönd** eru safnheiti yfir nokkur fjölhringa arómatísk kolvatnsefni svo sem Bensen, Toulén, Ethylbensen og Xylen. Þetta eru algeng mengunarefni sem finnast í vatni og þar með talið grunnvatni þar sem mengandi efni hafa verið losuð og þar sem mengunaróhöpp á borð við leka úr olíulögnum (Fayemiwo, Daramola, & Moothi, 2017). Allt eru þetta sterk leysiefni. Xylen er þynnir sem mikið er notaður við hreinsun og þynningu olíumálningar og lakks. Toulén er vökvi og eitt aðalefnanna í sprengiefninu TNT (Trinitrotolúene). BTEX efni eru innihaldsefni og /eða viðbætt efni í olíu og bensíni og mældust við sýnatöku 1 og 3. Efni eru m.a. skilgreind sem möguleg krabbameinsvaldandi efni og geta skaðað líffæri við langvarandi eða endurtekna snertingu. Í sýnatöku 1 var summa BTEX efnasambanda 2,7 µg/l í holu #1792 og 0,4 µg/l í holu FT-8 og í 3 sýnatöku mældust 0,6 µg/l af 1,3,5-trimethylbenzene í holu #1792.

Almennt var ekki hægt að greina mun á styrk efna eftir árstíðum, vetri og sumri. Þó ber að athuga að aðeins er um 3 sýnatökur að ræða og því ekki tímabært að greina mynstur á efnainnihaldi grunnvatnsins (VERKÍS, 2017a, 2017b, 2018).

4.1.4 Niðurstaða

Sú mynd sem liggur fyrir varðandi grunnvatnshlotið Rosmhvalanes 2 er í stórum dráttum eftirfarandi:

- 1) Umtalsverð grunnvatnsmengun er í hluta grunnvatnshlotsins og þar er vatn mengað og jafnvel óhæft til drykkjar.
- 2) Mengunin er mest grennd við flugvallasvæðið og stafar það af miklu álagi sem:
 - a) Fylgdi starfsemi varnarliðsins
 - i) Nítrat mengunin stafaði af þvagefna (urea) notkun á flugbrautir og varð mest um 1400 tonn á ári, mest vegna þess að AWACS ratsjárflugvélar hersins þurftu íslausar flugbrautir nánast allan sólarhringinn. Nítrat innihaldið er komið niður fyrir 5 mg/kg eða tífalt lægra en neysluvatnsmörkin eru (tafla 5).
 - ii) Leysiefnamengunin fylgdi greinilega starfsemi varnarliðs. Þetta voru efni sem notuð voru til að hreinsa íhluti í rafeindabúnaði. Þau voru ekki eldfim og þess vegna góð til að nota við rafeindabúnað í flugvélar (talstöðvar o.fl.). Aðal notkunarstaður var skýli #885. Dregið hefur verulega úr þessari mengun síðustu áratugi og leysiefnamengunin mælist nú um tífalt minni en um 1990.
 - iii) Olíumengun var veruleg en þó staðbundin, einkanlega á 4–5 stöðum. Sú mengun sem kom fram á árunum 1987-1990 og stafaði af því að ekki var hugað að endurnýjun lagna og tanka þegar komið var undir lok líftíma þeirra.
 - iv) Álag vegna meðhöndlunar olíu var verulegt fram til 1995 en dró úr henni við brottflutning varnarliðsins.
 - b) Hugsanlega stafar af aukinni umferð um Keflavíkurflugvöll undanfarandi ár
 - i) Álagið fer nú aftur vaxandi samfara aukinni umferð. Þar ber að hafa í huga notkun afisingarefna bæði við flugbrautir (aðallega kalíum acetat) og afisingarefni flugvéla (glycol og íblöndunarefni).
- 3) Neysluvatn fyrir þéttbýlissvæðin á Rosmhvalanesi er að mestu tekið fyrir utan grunnvatnshlotið á Rosmhvalanesi 2. Hins vegar er neysluvatn tekið við ströndina á einstaka bæjum suður frá Sandgerði. Sýni voru tekin þar og við gömlu urðunarstaðina á vegum Þróunarfélags Keflavíkurflugvallar. Mengunin virðist vera bundin við urðunarstaðina og í nágrenni þeirra.
- 4) Vatnstaka úr grunnvatnshlotinu er mjög lítil. Vatnstakan gæti aukist með aukinni starfsemi á svæðinu. Uppi eru hugmyndir um að taka vatn við flugvöllinn vegna slökkvivatns og einnig kælivatns í og við flugstöðina og minnka þannig álag á vatnsveitu en einnig er til athugunar að skoða varavatnsból í ljósi jarðskorpuhreyfinga við Þorbjörn. Eins hefur verið rætt um að taka upp kælivatn vegna rekstur Kísilverksmiðju við Helguvík. Ef af verður þarf að meta áhrif vatnstökunnar á það neysluvatn sem er til staðar í vatnshlotinu.

Vegna lítillar viðstöðuáhrifa vatns í jarðvegi er líklegt að mengun á yfirborði berist hratt í grunnvatnið. Ef eingöngu væri tekið mið af mikill lekt í grunnvatnshlotinu mætti ætla að útskolun efna sé að jafnaði nokkuð góð. Hins vegar er jarðvegur á Reykjanesi nokkuð ungur og því bæði hvarfgjarn og efnafræðileg viðloðun- og bindigeta mikil. Bent er á í fyrri hluta þessa kafla að ef mengunin er í þéttum hluta hraunanna verður þar aðeins lóðrétt hreyfing en ekki vatnsskipti. Þynningin verður aðeins vegna lóðréttra hreyfinga og útskolun fremur hæg.

Einnig hefur halli berglaga og jarðfræðilegir tálmar svæðisbundin áhrif á útskolun. Sýnataka nær einungis yfir tvö ár og því ekki forsendur til þess að draga ályktun af útskolun efna í grunnvatnshlotinu. Við slíkar aðstæður er mikilvægt að vakta framvindu álagsins.

4.1.5 Tengsl grunnvatns við vistgerðargreiningu Náttúrufræðistofnunar Íslands

Í viðauka III og IV þessarar skýrslu er að finna lista yfir landvistgerðir, yfirborðsferskvatns- og fjöruvistgerðir samkvæmt vistgerðarkortum Náttúrufræðistofnunar Íslands (Jón Gunnar Ottósson o.fl., 2016) auk frumats á verndargildi vistgerða. Þar má glöggva sig á hvaða landvistgerðir eru gróðurfarslega mikilvægar. Í úttekt Náttúrufræðistofnunar Íslands (NÍ) kemur einnig fram hvaða vistgerðir eru lista Bernarsamningsins frá 2014, þ.e. yfir vistgerðir sem þarfnast verndar. Líta þyrfti til fleiri þátta þegar þetta verður unnið til fullnustu s.s. svæða á náttúruminjaskrá og forgangsvistgerða í tengslum við þá vinnu (Olga K. Vilmundardóttir o.fl., 2019), svæði sem eru vernduð samkvæmt sérlögum eða sérákvæðum (t.d. 97/2004, 85/2005, 60/2013 og 54/1995) eða njóta annarrar verndar t.d. samkvæmt RAMSAR eða OSPAR samningum.

Þau grunnvatnssvæði sem eru undir álagi vegna t.d. vatnstöku eða ákomu mengandi efna geta haft áhrif á vistkerfi sem eru í miklum tengslum við grunnvatn. Mikilvægt er því að huga að hvaða vistlendi eru ríkjandi á þessum svæðum. Samkvæmt munnlegum heimildum frá Náttúrufræðistofnun Íslands (Sunna B. Ragnarsdóttir, símtal 18. mars 2019) hefur ekki verið skilgreint í hvaða mæli mismunandi vistgerðir eru háðar grunnvatni. Jafnframt þarf afmarka þyrfti betur þau svæði innan viðkomandi grunnvatnssvæðis sem geta orðið fyrir álagi þar sem hluti þeirra er utan áhrifasvæðis grunnvatns undir álagi en slík mætti gera í næstu skrefum greiningarinnar. Að þessu sinni er því valin sú leið að fjalla almennt um gróðurfars svæðisins með áherslu á þau vistkerfi sem líklegast er að verði fyrir áhrifum svo sem votlendi og þar sem vatn rennur fram.

Á Rosmhvalanesi 2 eru samkvæmt vistgerðarmati Náttúrufræðistofnunar Íslands (NÍ) flokkast um 68% vistlenda í mólendi (24%), moslendi (22%) og melar og sandlendi (22%). Um 27% gróðurfars á svæðinu fellur undir vistgerðir sem þarfnast verndar samkvæmt Bernarsamningnum frá 2014.

Rúm 8% falla undir hátt (8%) og mjög hátt (0,01%) verndargildi. Mjög hátt verndargildi er einkum á votlendi svæðisins, algengust er svokölluð starungsmýravist. Af vatna og fjöru vistgerðum hafa flatlendisvötn, sandmaðksleirur, klóþangsfjörur og klóþangsklungur mjög hátt verndargildi og vistgerðin háseltulón, sem hefur miðlungs verndargildi, er ekki algeng á landinu. Tvö svæði eru skilgreind á Náttúruminjaskrá (Guðríður Þorvarðardóttir, 1991), þ.e. nr. 107 – Ósar Reykjanesbæ og 108 – Fjörur og Tjarnir á Rosmhvalanesi og er verndargildi þeirra aðallega fólgið í fjörum, háseltulóni og sjávertjörnum og mikilvægi þeirra fyrir fuglalíf svæðisins. Þessar vistgerðir byggja að jafnaði umtalsvert á grunnvatni og ástandi grunnvatns. Það væri eðlilegt að skoða styrk helstu mengunarefna þar sem álag gæti verið til staðar og meta möguleg áhrif mengunarálags á þessi vistkerfi svæðisins.

4.2 IS104-250-1-G Nesjahraun – Óvissa

4.2.1 Forsendur

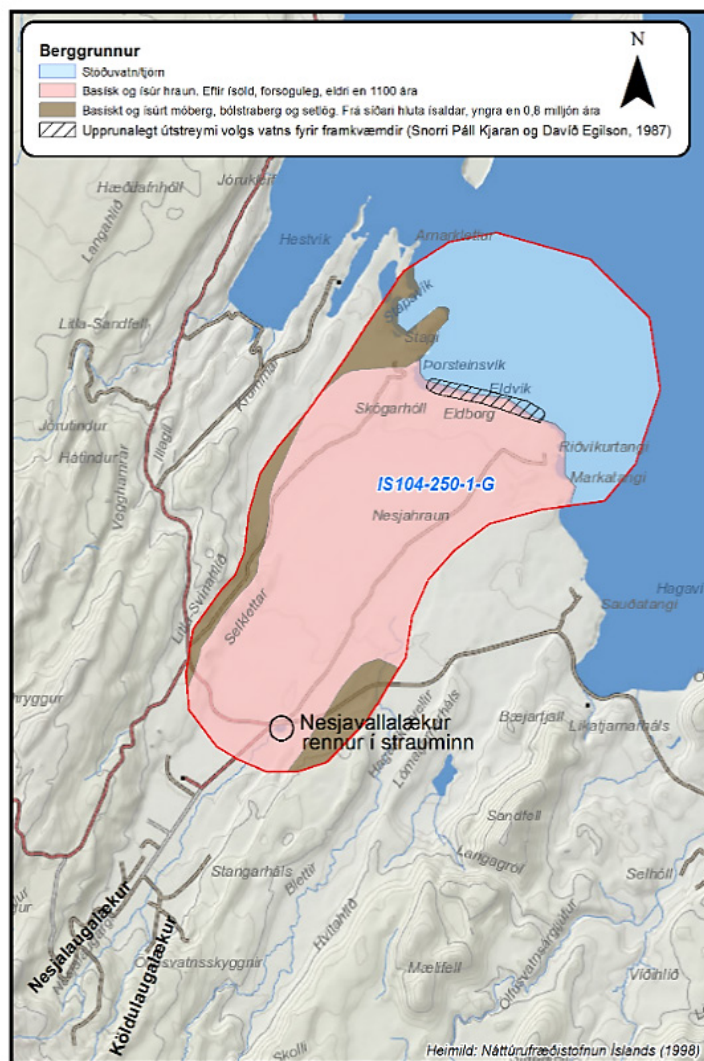
Í Stöðuskýrslu fyrir vatnasvæði Íslands er grunnvatnshlotið Nesjahraun (IS104-250-1-G) metið í óvissu vegna mögulegra áhrifa af affallsvatni frá virkjunum (Jóhanna Björk Weissshappel, 2013). Helstu ástæður eru:

- Efnamengun frá affallsvatni, einkum arsen, ál og kvikasilfur
- Hitaálag frá affallsvatni

Í stöðuskýrslunni kemur fram að affallsvatnið er losað bæði á yfirborð og í grunnar holur en ekki niður fyrir kalda grunnvatnið. Hækkaður hiti hefur mælst í Varmagjá og út fyrir Eldvík umfram náttúrulegan vatnshita.

4.2.2 Lýsing á hloti

Vatnshlotið IS104-250-1-G Nesjahraun er á vatnasviði Nesjavallavirkjunar og nær austur að Þingvallavatni, sjá mynd 17. Hlotið spannar yfir 14 km².



Mynd 17. Grunnvatnshlotið IS104-250-1-G Nesjahraun. Myndin sýnir skilgreint vatnshlot með afrennsli í Þingvallavatni.

Bleikt: basísk og ísúr hraun eldra en 1100 ára, áætluð meðallekt, 10².

Brúnt: basískt og ísúrt móberg, bólstraberg og setlög frá síðari hluta ísaldar, yngri en 0,8 milljón ára, áætluð meðallekt 10⁴.

(Haukur Jóhannesson & Kristján Sæmundsson, 2009; Snorri Páll Kjarran & Davíð Egilson, 1986)

a) Árleg endurnýjun og tenging við yfirborðskerfi

Mynd 2 sýnir að árlegt meðalrúmtak úrkomu sem fellur á hlotið á árabílinu 1980–2010 er, að frádreginni uppgufun, 24.6 Gl, en það samsvarar 0,78 m³/s afrennsli. Þar til viðbótar kemur yfirborðsvatn í lækinn ofar úr Hengli, utan við grunnvatnshlotið, auk heits og kalds vatns sem fylgir nýtingu svæðisins, sjá nánar í kafla 4.2.3 um framkvæmdir.

b) Yfirborðslög

Jarðvegsgerð á grunnvatnshlotinu IS104-250-1-G Nesjahraun er að mestu brúnjörð, sjá mynd 18. Eins og fram kemur í töflu í viðauka I hefur hún mjög litla vatnsheldni og því er líklegt að allt vatn sem rennur af móberginu niður á hraunið berist hratt ofan í grunnvatn.

c) Jarðfræði- og vatnafræðilegir eiginleikar

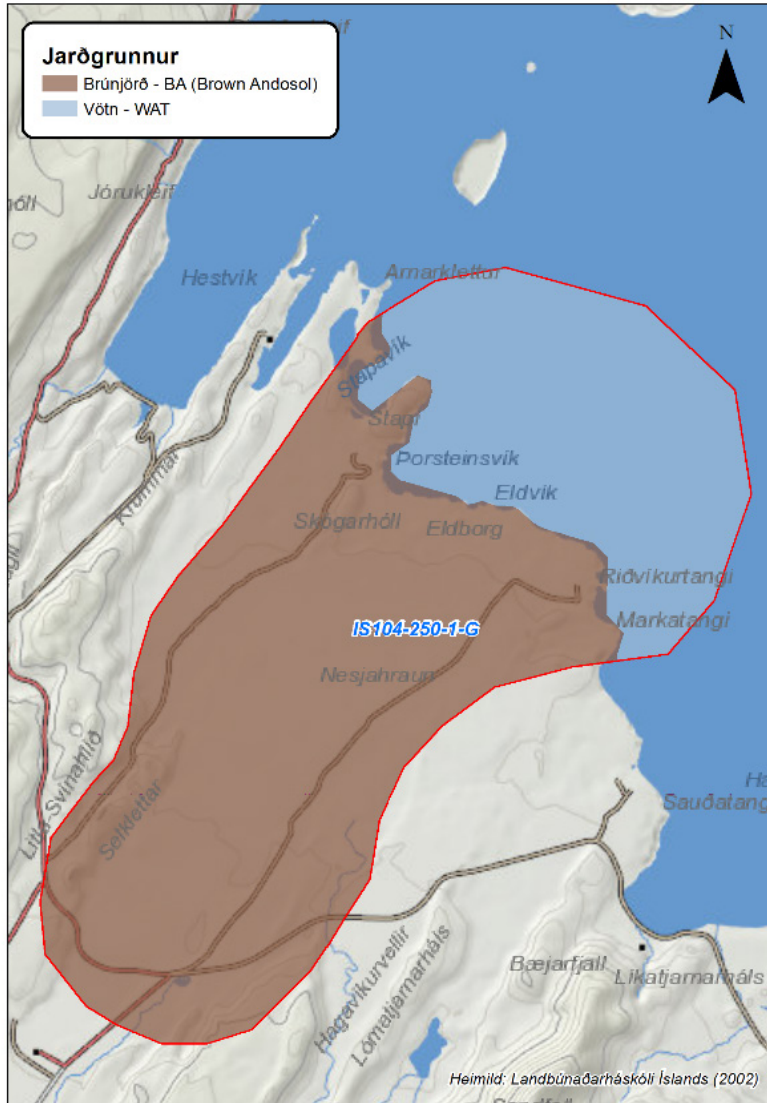
Meginhluti hlotsins er í Nesjahrauninu sjálfu sem rann fyrir um 2000 árum. Hraunið liggur á eldri móbergsmýndun frá ísöld (mynd 19). Það er um 70–80 m þykkt þar sem það er þykkast. Undirliggjandi móbergsmýndanir eru umtalsvert þéttari en hraunið en þau hafa mjög góða leiðni í sprungustefnu sem er í NNA-SSV. Afrennsli á yfirborði hefur í gegnum aldirnar runnið eftir Nesjavallalæk, sem er myndaður við samruna tveggja lækja Köldulauga- og Nesjavalla-lækja. Vatnið í læknum samanstendur af úrkomu, leysingavatni, vatni frá hverasvæðum auk vatnsins sem kemur úr borholum á svæðinu. Nesjavallalækurinn fellur niður í sprungu nærri Þjóðveginum. Vatnið úr honum berst þaðan í efri lögum grunnvatnsins í átt til Þingvallavatns sem liggur að mestu í vel leiðandi ungum hraunum eins og sést á langsniðinu á mynd 19.

Afrennsli af læknum var vel merkjanlegt í vikunum við vatnið áður en nokkrar framkvæmdir hófust, sjá mynd 17 (Snorri Páll Kjarran & Davíð Egilson, 1986).

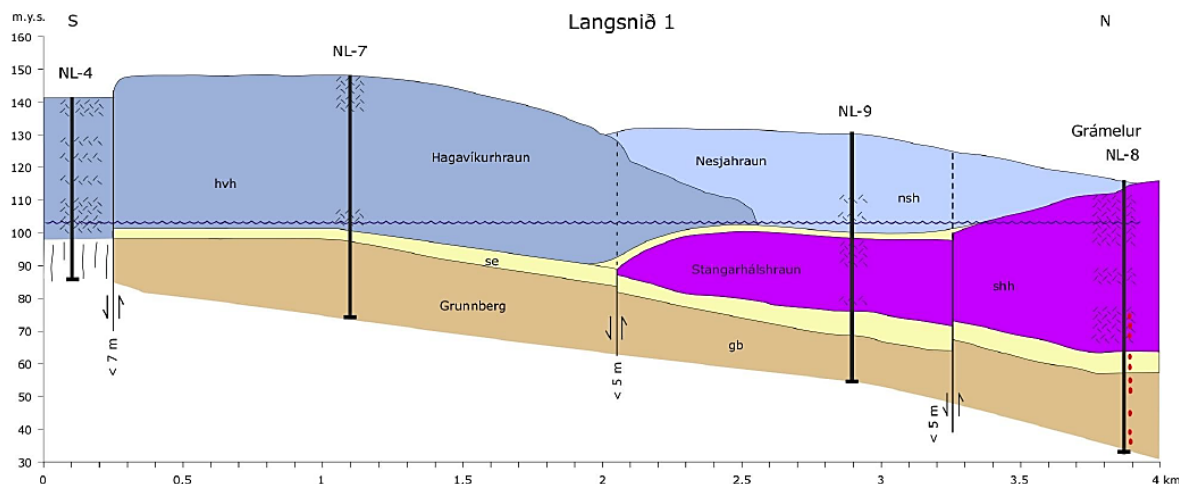
Við aukna vinnslu jarðhita hefur affallsvatni sem ekki er nýtt verið leitt í Nesjalækinn eða því verið dælt niður og er fjallað nánar um það í kafla 4.2.3. Gerð er grein fyrir mismunandi tegund affallsvatns í töflu 6.

Tafla 6. Tegundir affallsvatns sem myndast á svæðinu og förgunarleiðir

Heiti	Gerð	Mengunarþáttur	Förgunarleið
Þéttivatn	Þétt gufa úr borholum, H ₂ S og CO ₂	Hiti 55–80°C, Örlítið súrt vatn. (Spönn 4–6). Lítil sem engin efnamengun	Nesjalækur Grunnar holur – svelgholur og niðurdælingarholur
Skiljuvatn	Vatnsfasinn úr borholum	Hiti (55–100 °C), Uppleyst efni sem koma með borholuvökva.	Niðurdælingarholur Dýpi niðurdælingarhola 400–600 m. Yfirfall í læk
Kælivatn	Upphitað kalt vatn frá Grámel	Hiti 35–85 °C	Nesjalækur Grunnar holur – svelgholur



Mynd 18. Jarðvegur í grunnvatnshlotinu IS104-250-1-G Nesjahraun. Brúnjörð. Vatns-
heldinbil-gH₂O/g jarðvegs: 1 (Ólafur Arnalds & Hlynur Óskarsson, 2009).



Mynd 19. Nesjahraun langsnið. Heita vatnið frá Nesjavallalæk liggur efst í grunnvatnspeglinum (Þórólfur H. Hafstað, Elsa G Vilmundardóttir & Bjarni Reykr Kristjánsson, 2007).

4.2.3 Framkvæmdir

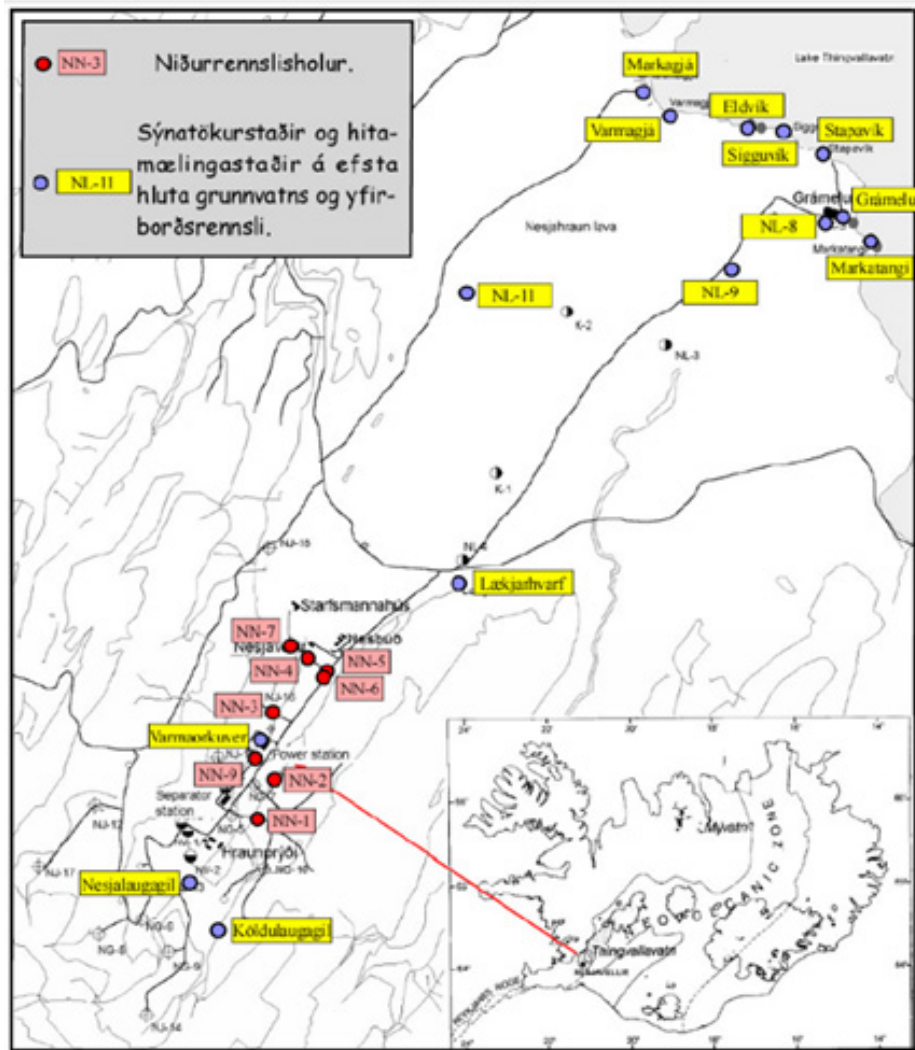
Framkvæmdir við Nesjavallavirkjun hófust 1987. Í september árið 1990 var orkuverið formlega gangsett. Upphaflega voru fjórar borholur nýttar til framleiðslu á 100 MWth af varmaorku til húshitunar og baða.

Notkunin jókst stöðugt og árið 1998 hófst raforkuframleiðsla. Nesjavallavirkjun framleiðir nú 120 MW af rafmagni og 300 MW í varmaorku sem jafngildir 1640 l/sek af 83°C hita. Á Nesjavöllum hafa verið boraðar 25 vinnsluholur, dýptin er á bilinu 1.000 til 2.200 metrar og mælst hefur allt að 380°C hiti. Upphaflega var affallsvatni veitt í Nesjavallalæk en árið 2005 var byrjað að leiða afrennsli í niðurrennslisholur sem boraðar voru niður á 400 - 600 m dýpi (mynd 20). Í venjulegum rekstri fara um 130 l/s af skiljuvatni og 50 l/s af þéttivatni í holurnar.

Það vatn sem veldur mengun í grunnvatni er rennur til Þingvallavatns er þéttivatn, skiljuvatn og kælivatn sem allt kemur frá Nesjavallavirkjun (tafla 6). Hafa þarf í huga að fyrir var náttúrulegt frárennsli af jarðhitasvæðinu.

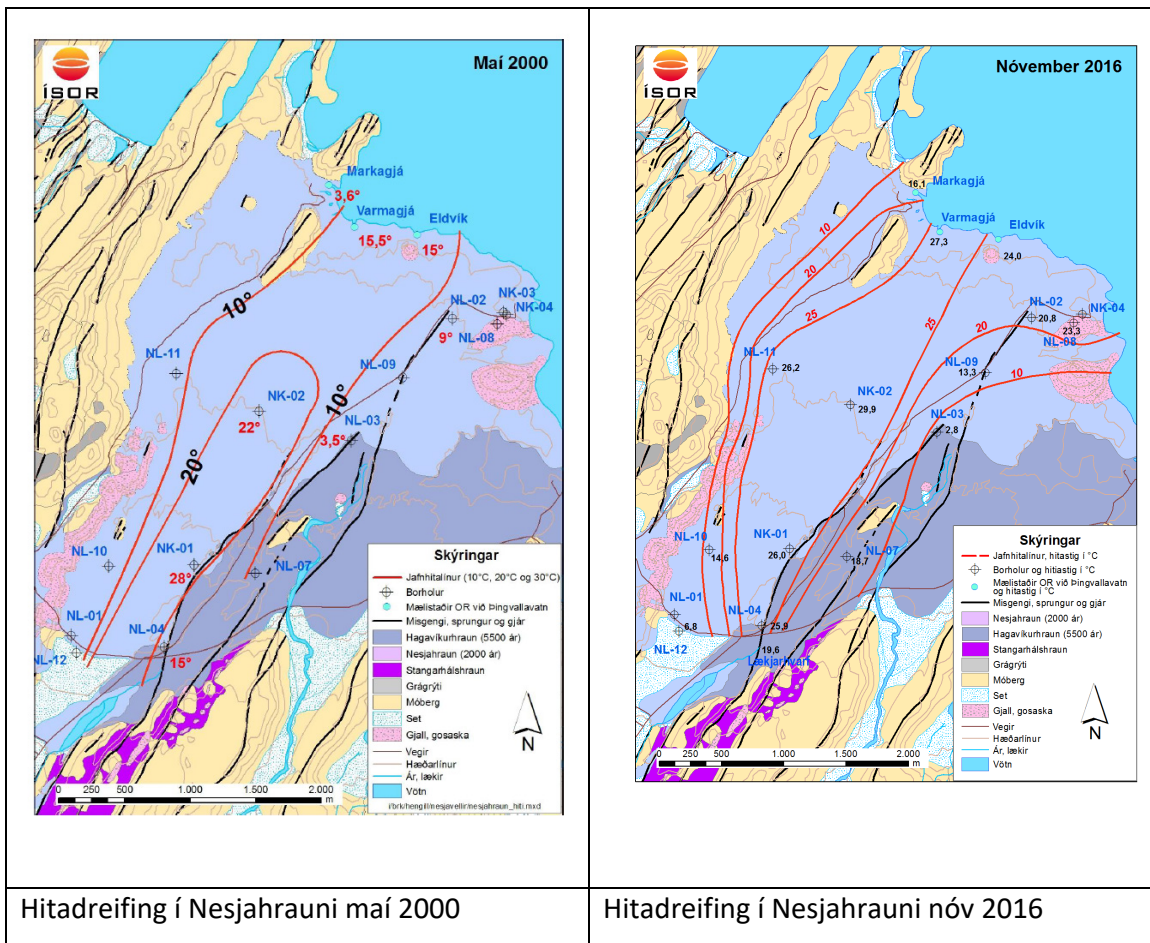
Í skýrslu Orkuveitunnar (Gretar Ívarsson, 2017) kemur fram eftirfarandi:

Starfsemi virkjunarinnar fyrstu árin, þegar eingöngu var framleitt heitt vatn (1990–1998), virðist hafa haft lítil áhrif á efnafraði grunnvatnsins. Með tilkomu raforkuframleiðslu á Nesjavöllum árið 1998 og stóruorku upptöku á vatni á svæðinu og þ.a.l. mun meira frárennsli bæði ofan í lækinn en einnig í grunnar niðurdælingarholur sem náðu um 40–50 niður í grunnvatnið, fór að bera á auknum hita og efnastyrk í grunnvatninu sem liggur í Nesjahrauni.



Mynd 20. Nesjahraun. Niðurrennslisstaðir affallsvatns og helstu sýnatökustaðir (Gretar Ívarsson, 2017).

Fyrir rúmlega áratug, eða um 2007 hófst niðurdæling í neðra grunnvatnskerfi (grunnbergið á mynd 19) og rekstur kæliturns hófst árið 2005. Það orsakaði tímabundna minnkun í efnamengun í Nesjahrauni samfara lækkun á hitastigi grunnvatns, bæði í borholum og eins í uppsprettum við vatnið. Þrátt fyrir að dregið hafi úr losun affallsvatns á yfirborði og niðurdæling aukist hefur ekki tekist að draga frekar úr efna- og hitamengun. Afrennsli og grunnvatnsstraumar hafa breyst verulega frá því að virkjunin tók til starfa eins og mynd 20 sýnir glögglega. Reyndar sést að efnagildi og hiti eru að aukast á ný (Gretar Ívarsson, 2017). Niðurrennsliveitan í neðra grunnvatnskerfi virðist ekki skila tilætluðum árangri. Hugsanlegar skýringar sem hafa verið nefndar eru: mikil lóðrétt lekt í grunnberginu, of grunnar niðurrennslisstaðir og of grunnar eða lekar föðringar. Til þess að bæta úr þessu er rætt um að bora dýpri holur niður í um 1000 m eða síkka föðringar (Gretar Ívarsson, 2017).



Hitadreifing í Nesjakrauni maí 2000

Hitadreifing í Nesjakrauni nóv 2016

Mynd 21. Breyting á hitadreifingu í grunnvatni Nesjakrauni milli 2000 og 2016 (Þórólfur H. Hafstað o.fl., 2007).

4.2.4 Niðurstaða

Nesjakraun hefur í gegnum tíðina tekið við náttúrulegu frárennsli af jarðhitasvæðinu við Nesjavelli (mynd 21). Virkjun svæðisins hefur aukið umtalsvert við það náttúrulega rennsli sem fyrir var þar sem að þar fer nú niður þéttivatn, skiljuvatn og kælivatn frá Nesjavallavirkjun. Grunnvatnshlotið Nesjakraun er undir álagi varðandi hita og efnamengun. Telja má næsta öruggt að þessi mengun geti haft einhver áhrif á vatn á svæðinu s.s. Nesjalæk og mögulega Þingvallavatn. Það virðist þó ekki vera af þeirri stærðargráðu að það þarfnist aðgerða en nauðsynlegt að fylgjast með. Samhliða því hefur hiti Þingvallavatns hækkað merkjanlega á undanförunum árum vegna hnattrænna breytinga (Hilmar Malmquist o.fl., 2012) þannig að erfitt getur verið að greina þar á milli.

Rekstur virkjunarinnar hefur óveruleg áhrif á magnstöðu vatnsins í grunnvatnshlotinu enda er hraunið sjálft og gjallgígurinn Grámelur afar lek og aukið írennsli í hlotið á greiða leið að Þingvallavatni.

4.2.5 Tengsl grunnvatns við vistgerðargreiningu Náttúrufræðistofnunar Íslands

Á Nesjakraun eru samkvæmt vistgerðarmati Náttúrufræðistofnunar Íslands (Jón Gunnar Ottósson o.fl., 2016) ríkjandi vistlendi á landi á hraunlendi (50%) og svo ferskvatn (33%)

(Viðaukar III og IV). Einungis um 1,7% landvistgerða falla undir vistkerfi sem þarfnast verndar samkvæmt Bernarsamningnum frá 2014. Rétt um 1% vistgerða eru með hátt eða mjög hátt verndargildi samkvæmt vistgerðaflokkun NÍ. Ferskvatnsvistkerfi falla undir tegundarík kransþörungavötn sem hafa hátt verndargildi og eru einnig á lista Bernarsamningsins.

Tengsl við landvistgerðir á áhrifasvæði virkjunarinnar eru einkum neðan athafnasvæðis virkjunarinnar. Landvistkerfi á því svæði eru einkum birkiskógar, hraungambravist og starungsmýravist en það er algengasta votlendisgerðin sem hefur hátt verndargildi og mætti hafa í huga við úttekt á svæðinu. Líklegt er þannig að megin áhrif virkjunarinnar á vistkerfi sé á Nesjalæk og Þingvallavatn þó huga megi að votlendissvæðum neðan virkjanasvæðisins. Vert er að benda á að Þingvallavatn og vatnasvið þess er verndað samkvæmt sérlögum (85/2005).

4.3 IS102-278-1-G Krafla-Bjarnarflag

4.3.1 Forsendur

Í Stöðuskýrslu fyrir vatnasvæði Íslands er grunnvatnshlotið Krafla Bjarnarflag (IS102-207-1-G) metið í óvissu vegna mögulegra áhrifa af affallsvatni frá virkjunum (Jóhanna Björk Weisshappel, 2013). Þar kemur fram að affallsvatn frá gufuaflstöðinni við Mývatn er losað á yfirborð, í lón, auk þess sem affallsvatn er að hluta losað á yfirborð við jarðvarmavirkjun við Kröflu. Efni í affallsvatni sem losað er á yfirborð sígi ofan í sprungur og komist í grunnvatn á svæðinu. Þau efni geta verið skaðleg vatnalífriki, einkum arsen, ál og kvikasilfur. Á svæðinu eru tvær virkjanir, Kröflustöð og Gufustöðin Bjarnarflagi.

4.3.2 Lýsing á hloti

Grunnvatnshlotið nær yfir 45 km² svæði, frá Kröflu og suður fyrir Námafjall, austan og norðaustan við Mývatn í S-Þingeyjarsýslu, sjá mynd 22.

a) Árleg endurnýjun og tenging við yfirborðskerfi.

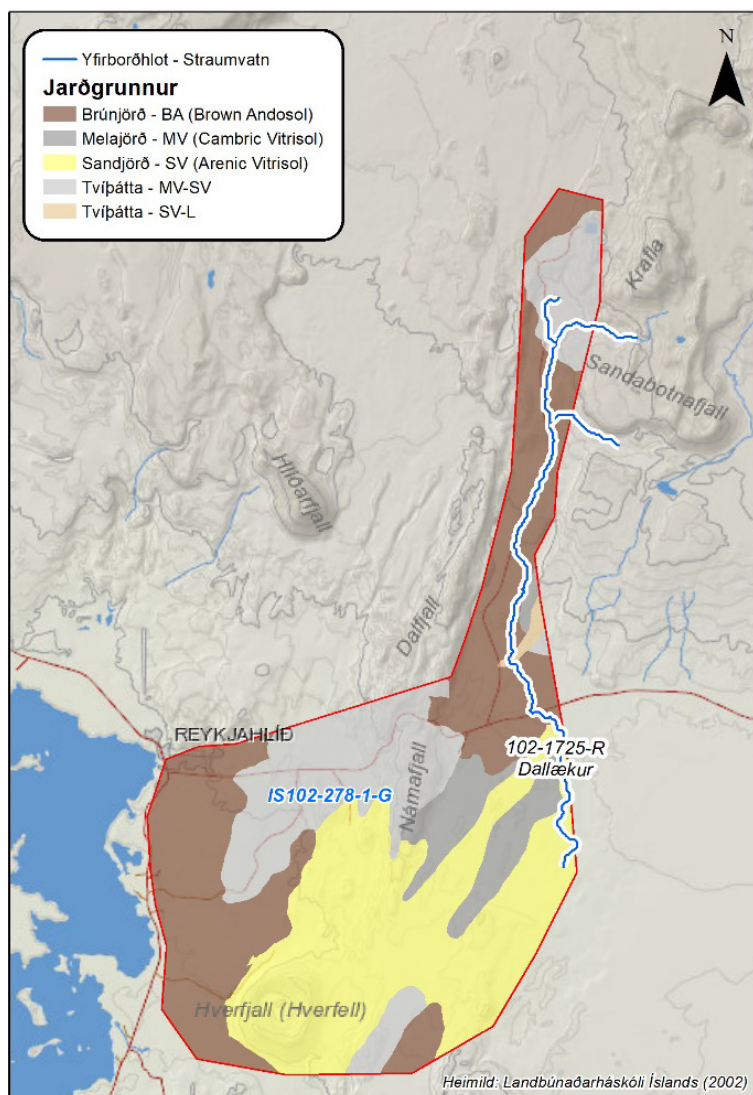
Mynd 3 sýnir að meðalrúmtak árlegrar úrkomu sem fellur á hlotið, að frádreginni uppgufun, yfir árabilið 1980–2010 er 25.5 Gl sem samsvarar 0,81 m³/s afrennsli af öllu hlotinu. Þar til viðbótar kemur yfirborðsvatn í Dallæk úr fjöllunum fyrir ofan. Vatnið sem fer í hlotið berst til Mývatns.

b) Jarðvegur

Jarðvegur á Kröflu-Bjarnarflag-svæðinu hefur almennt ekki mikla vatnsheldni nema rétt þar sem Dallækur hefur þétt botninn undir sér, sjá mynd 22.

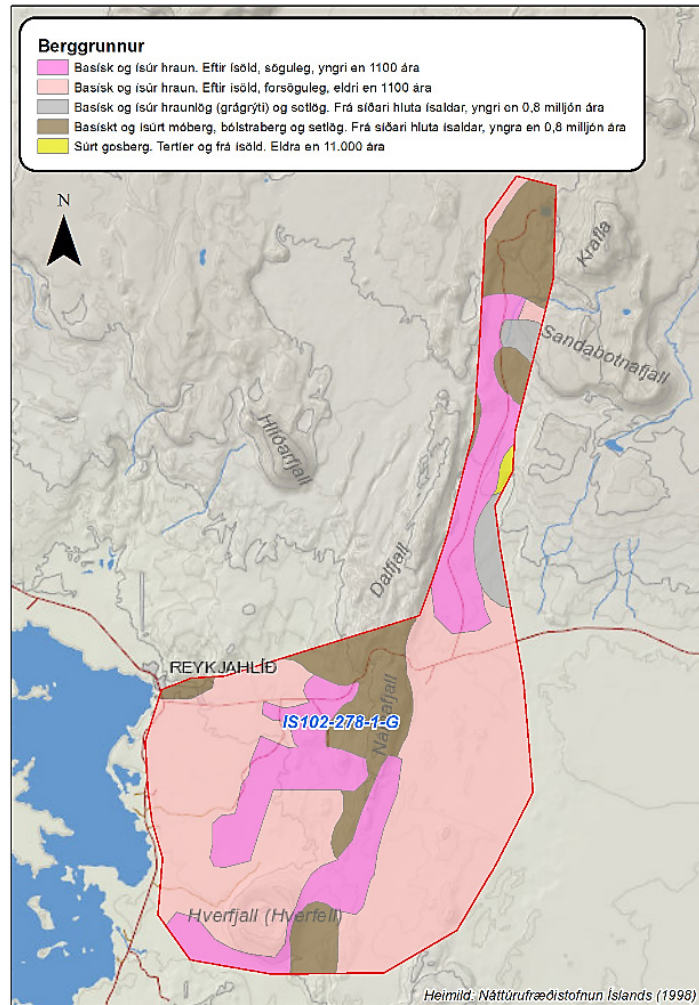
c) Jarðfræði og vatnajarðfræði

Grunnvatnshlotið er að langmestu leyti afmarkað við nútímahraun sem taka við afrennsli frá jarðhitasvæðinu í Kröflu og leysingavatni af Kröfluhálendinu. Vatnið safnast að stórum hluta í Dallæk og hripar frá honum niður í grunnvatnshlotið (mynd 23).



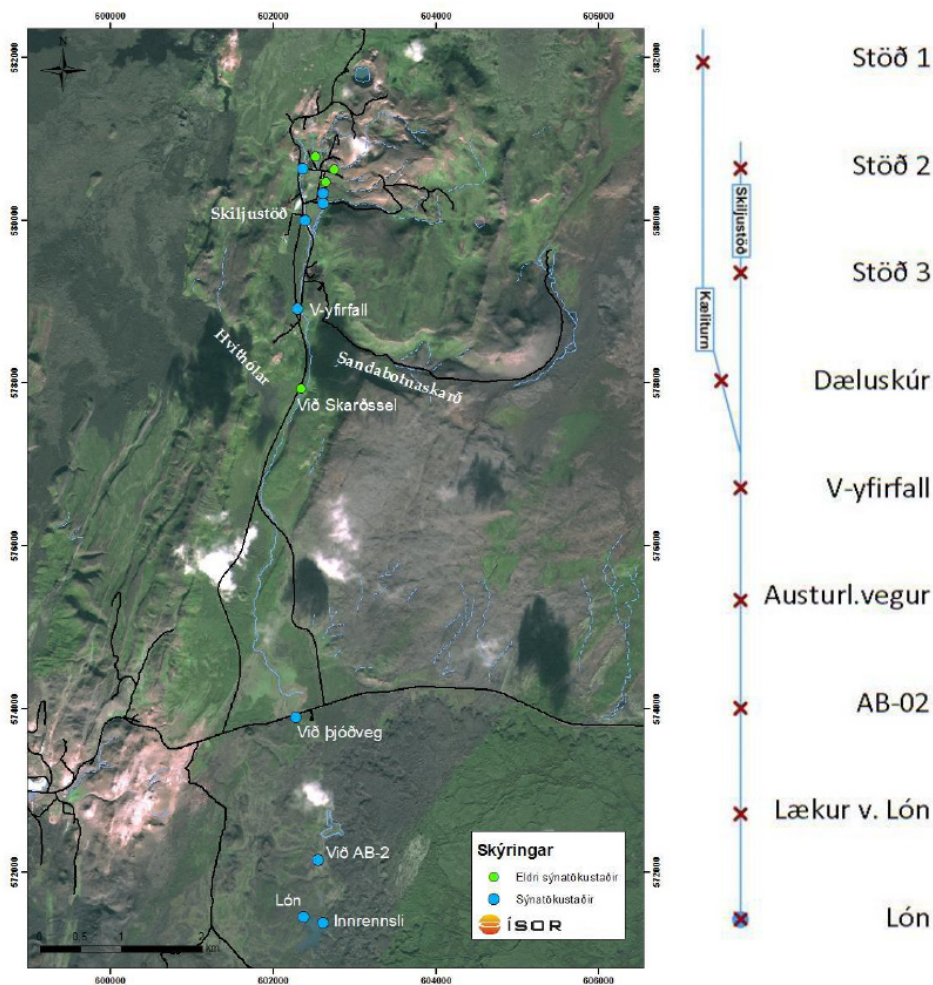
Jarðvegsgerð	Vatnsheldinbil-gH ₂ O/g jarðvegs
Brúnjörð	1.0
Melajörð	0.2
Sandjörð,	0.1
Melajörð-sandjörð	0.2
Sandjörð-bergjörð	0.1

Mynd 22. Jarðvegur grunnvatnshlots IS102-278-1-G Krafla-Bjarnarflag (Ólafur Arnalds og Hlynur Óskarsson, 2009).



Berggrunnur	Áætluð meðallekt m/s
Basísk og ísúr hraun. Eftir ísöld. Söguleg. Yngri en 1100 ára	1,00E-02
Basísk og ísúr hraun. Eftir ísöld. Forsöguleg. Eldri en 1100 ára	1,00E-03
Basísk og ísúr hraunlög (grágrýti) og setlög. Frá síðari hluta ísaldar. Yngri en 0.8 milljón ára	1,00E-05
Basískt og ísúrt móberg, bólstraberg og setlög. Frá síðari hluta ísaldar. Yngra en 0.8 milljón ára	1,00E-04
Súrt gosberg. Tertíer og frá ísöld. Eldra en 11.000 ára	1,00E-09

Mynd 23. Berggrunnur grunnvatnshlots IS102-278-1-G Krafla-Bjarnarflag (Haukur Jóhannesson & Kristján Sæmundsson, 2009).



Mynd 24. Yfirlitsmynd af sýnatökustöðum og rennismælistöðum í Dallæk (Þróunarsvið Landsvirkjunar, 2015).

Dallækur rennur frá jarðhitasvæðinu í Kröflu og Kröfluvirkjun niður eftir Hlíðardal til suðurs og endar í tjörn við jaðar Búrfellshrauns, um 2,9 km sunnan við hringveginn. Áberandi farvegur er sjáanlegur alla leið niður að núverandi tjörn. Á leiðinni eru niðurföll sem væntanlega hafa stíflast og ummerki um tjarnir sem hafa horfið við það að lækurinn rann lengra suður. Lækurinn hefur breyst í tímans rás hvað varðar legu, vatnsmagn og efnasamsetningu. Breytingin stafar bæði af náttúrulegum orsökum en einnig af mannavöldum. Mynd 24 sýnir helstu sýnatökustaði í Dallæk.

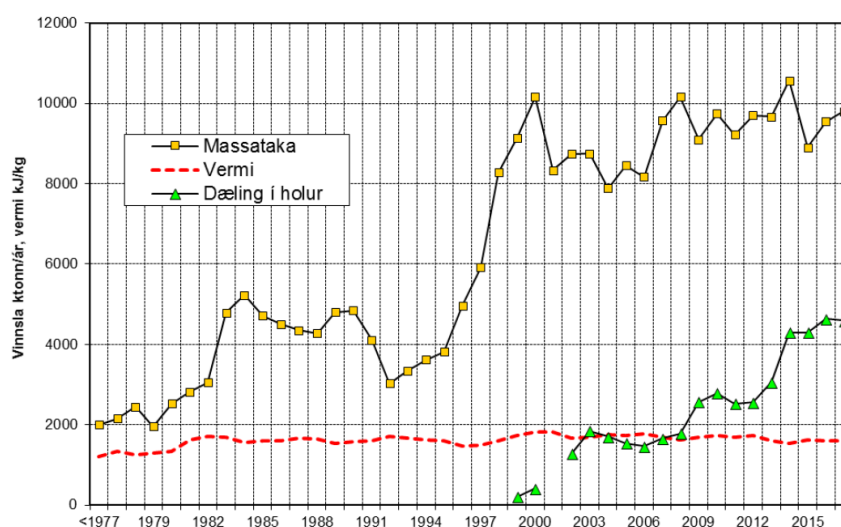
4.3.3 Kröflueldar

Kröflueldar, sem stóðu yfir árabilið 1975–1984 með tilheyrandi eldgosum og landbreytingum, höfðu mikil áhrif á allt svæðið (Axel Björnsson, 1985; Þóroddur Þóroddson, 1980). Meginbreytingar á læknum af mannavöldum voru þegar honum var veitt að Hveraröndinni þar sem þjóðvegurinn lá um 1950, í tengslum við brennisteinsvinnslu. Einnig ber að hafa í huga að mikið af finu seti er í farveginum sem er vafalaust fok frá hálendinu, sunnan frá (Ásgrímur Guðmundsson verkefnisstjóri, Landsvirkjun, símtal júní 2019). Lækurinn hefur breyst talsvert

á seinustu áratugum, bæði hefur hann hvað eftir annað skipt um farveg við þjóðveg suður að niðurfalli og eins hefur hann lengst mikið eftir að boranir hófust á Kröflusvæðinu, en hluti af affallsvatni virkjunarinnar rennur í lækinn (Þróunarsvið Landsvirkjunar, 2015; Egill Axelsson, 2015).

4.3.4 Framkvæmdir

Framkvæmdir við Kröfluvirkjun hófust árið 1974 með tilraunaborunum en borun á vinnsluholum og bygging orkuvers hófust sumarið 1975. Fyrri vélasamstæða stöðvarinnar var gangsett í ágúst 1977 en vegna gufuskorts hófst vinnsla rafmagns ekki fyrr en í febrúar 1978. Kröflustöð er jarðgufustöð sem nýtir blöndu af há- og lágþrýstigufu úr 20 vinnsluholum til að knýja tvo 30 MW hverfla. Raforkuvinnsla með seinni vélasamstæðunni hófst í nóvember 1997 en eftir að borun og endurbótum á gufuveitunni lauk 1999 hefur Kröflustöð starfað með fullu 60 MW afli. Í forsendum Kröfluvirkjunar var gert ráð fyrir að öllu affallsvatni yrði safnað í lón í Þríhyrningsdal, miðað var við að ef það færi á yfirfall rynni það yfir í Dallæk. Við mat á umhverfisáhrifum árið 2002 vegna fyrirhugaðrar stækkunar Kröflustöðvar um 40 MW var ákveðið að hefja niðurdælingu. Niðurdæling var hugsuð til að milda umhverfisáhrif, veita þrýstistuðning við jarðhitakerfið og mögulega að bæta vinnsluhæfni vökvans í djúpkerfi jarðhitageymisins. Niðurdæling hefur smám saman verið aukin, mynd 25 (Ásgrímur Guðmundsson verkefnisstjóri, Landsvirkjun, símtal júní 2019) (Þróunarsvið Landsvirkjunar, 2015).



Mynd 25. Kröflusvæði. Árlæg vinnsla, vermi og niðurdæling (Trausti Hauksson, 2018).

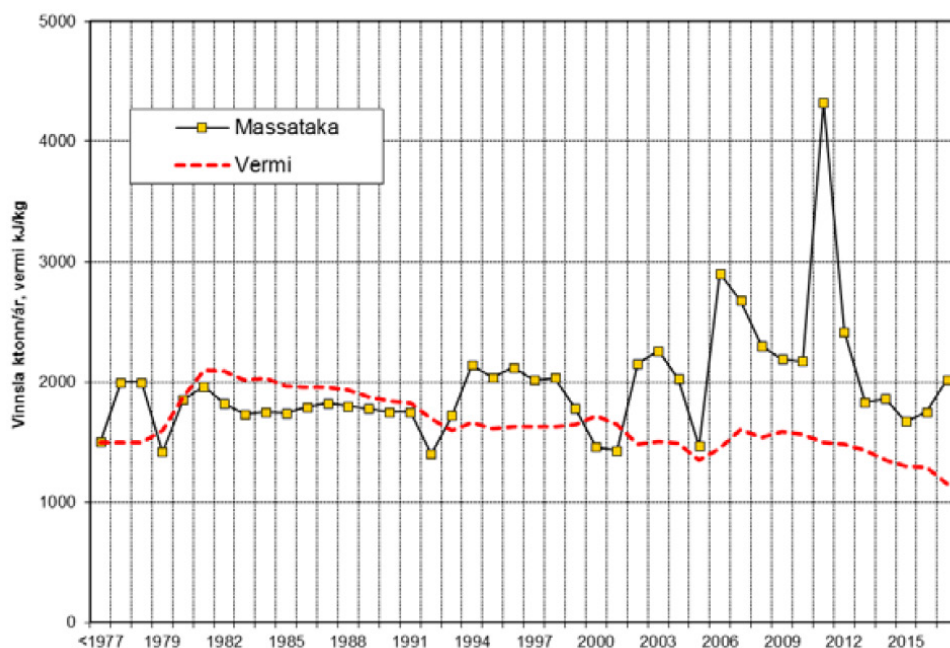
Gufustöðin í Bjarnarflagi var tekin í notkun árið 1969. Virkjunin var fyrsta jarðvarmavirkjun landsins og nýtir gufu frá háhitavæðinu við Námafjall í Mývatnssveit til raforkuvinnslu. Auk þess sér gufustöðin hitaveitu og smáíðnaði fyrir gufu og þaðstað fyrir jarðhitavatni. Gufustöðin hefur eina vélasamstæðu og er uppsett afl hennar nú 5 MW eftir endurnýjun veturinn 2018/2019.

Afallsvatn frá Kröfluvirkjun samanstendur af skiljuvatni en engu þéttivatni eða kælivatni. Skýringar á mismunandi tegund affallsvatns er að finna í töflu 7 (Egill Axelsson, 2013).

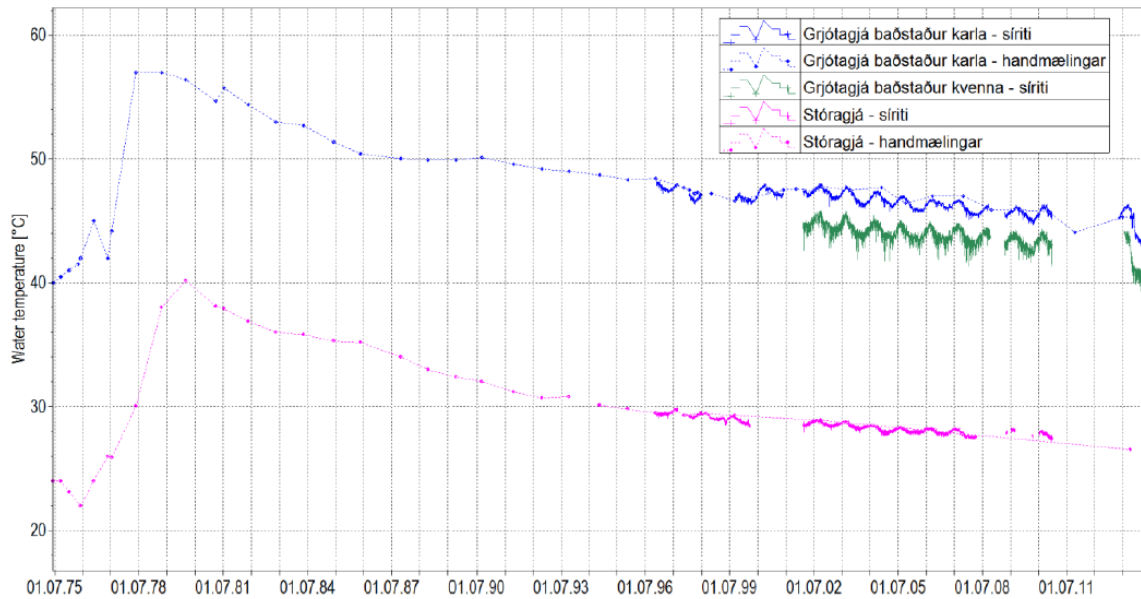
Tafla 7. Tegundir affallsvatns sem þarf að farga.

Heiti	Gerð	Mengunarpáttur	Förgunarleið
Þéttivatn Krafla	Þétt gufa úr kæliturni	Hiti 40°C, pH 4–5	Dallækur
Þéttivatn Bjarnarflag	Ekkert		
Skiljuvatn Krafla	Vatnsfasinn í háhitavökvanum	Hiti 120°C, uppleyst efni sem koma með jarðhitavökvanum	Niðurdælingarholur. Dýpi niður á útstreymi í niðurdælingarholum er á 1300-2100 m.
Skiljuvatn Bjarnarflag	Vatnsfasinn í háhitavökvanum	Hiti 180°C, uppleyst efni sem koma upp með jarðhitavökvanum	Förgun á yfirborði
Kælivatn Krafla	Úr Sandabotnalindum, notað til kælingar í eimsvala	Enginn	Dallækur
Kælivatn Bjarnarflag	Ekkert		

Frá upphafi hefur allt skiljuvatn frá stöðinni í Bjarnarflagi verið losað á yfirborði og engu dælt aftur niður í jarðhitageyminn. Yfirborðslosunin hefur leitt af sér lón við hlið gufustöðvarinnar sem kallað hefur verið Bjarnarflagslón (mynd 26).



Mynd 26. Bjarnarflag. Árleg vinnsla og vermi (Trausti Hauksson, 2018).



Mynd 27. Hitamælingar í Grjótagjá og Stórugjá yfir tímabilið 1975–2014 (Egill Axelsson, 2013).

4.3.5 Rannsókn á affalli

Nýleg rannsókn sem unnin hefur verið á affalli við Kröflu og Bjarnarflag gefur sterklega til kynna að affallsvatn jarðgufuvirkjanna hafi marktæk áhrif á bæði samfélög botnlægra frumframleiðenda og hryggleysingja í læknum (Sigurður Óskar Helgason, 2017). Þær breytingar sem eiga sér stað er hægt að tengja við breytingar á umhverfis- og eðlisþáttum sem er grunnstoðin í mótun vistkerfa. Þessi áhrif eru staðbundin. Þau fara minnkandi eftir því sem neðar dregur í læknum, líklegast vegna þynningaráhrifa.

Svæðið hefur verið vaktað í áratugi og eru til samfelld gögn frá um 1970. Orkustofnun sinni því til að byrja með og upp úr aldarmótunum gerðu Landsvirkjun og Hollustuvernd ríkisins, nú Umhverfisstofnun, tillögu um ákveðna tilhögun á eftirliti með grunnvatni frá Námafjalli að Mývatni og hafa árlegar skýrslur þar um verið birtar. Auk þess hafa sérverkefni eins og t.d. ferilefnaprófanir verið framkvæmdar. Talið hefur verið að fjölskrúðugu lífríki Mývatns stafi ekki hættu af yfirborðslosuninni því miklir grunnvatnsstraumar eru á svæðinu. Kaldur grunnvatnsstraumur kemur sunnan og austan að og náttúrulegt afrennsli frá jarðhitasvæðunum í Kröflu og Námafjalli. Mælingar sýna að áhrif affallsvatnsins á grunnvatn hverfa fljótt vegna þynningaráhrifa (Finnbogi Óskarsson, 2015). Þá sýna mælingar að orkuvinnsla á svæðinu hefur ekki orsakað neina hækkun á styrk arsens eða áls í lindum við Mývatn og grunnvatni vestan Námafjalls (Andri Stefánsson, 2014; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2016). Hitabreytingar voru umtalsverðar á meðan Kröflueldar stóðu yfir eins og samfelldar mælingar í Grjótagjá og Stórugjá sýna (mynd 27).

4.3.6 Niðurstaða

Grunnvatnshlotið IS102-278-1-G Krafla-Bjarnarflag. Breytingar á Grunnvatnshlotinu stafa bæði af náttúrulegum orsökum og mannlegum athöfnum. Mestu áhrif á grunnvatnshlotið urðu í tengslum við Kröfluelda (Axel Björnsson, 1985; Egill Axelsson, 2013). Afrennsli frá Kröflu jarðhitasvæðinu og skiljuvatn frá Kröflustöð berst út í Dallæk og þaðan í grunnvatnshlotið. Merkjanleg aukning er í hita og innihaldi uppleystra efna ásamt lífríki í læknum. Þessi áhrif eru staðbundin. Mælingar sýna að áhrif affallsvatnsins á grunnvatn hverfa fljótt vegna þynningar-áhrifa (Finnbogi Óskarsson, 2015).

4.3.7 Tengsl grunnvatns við vistgerðargreiningu Náttúrufræðistofnunar Íslands

Í grunnvatnshlotinu IS102-278-1-G Krafla-Bjarnarflag eru algengustu vistlendin melar og sandlendi (48%) auk mólendis (22%). Um 25% landvistgerða eru á lista Bernarsamningsins, um 5% landvistgerða falla undir hátt (4%) eða mjög hátt verndargildi. Lyngmóavist á hálendi er með hæstu hlutfalltöluna þar af (3.9%) en þar eru einnig jarðhitasvæði og votlendi á lista. Einnig eru á svæðinu flatlendisvötn sem hafa mjög hátt verndargildi.

Vegna eiginleika jarðvegs og bergrunns á svæðinu berst vatn að jafnaði mjög fljótt í grunnvatn og því líklegt að ef um mengun er að ræða séu áhrifin mest á vistkerfi sem byggja á grunnvatni s.s. vatn, votlendi og háhitasvæði. Tengsl við landvistgerðir á áhrifasvæði virkjananna eru frá athafnasvæði Kröfluvirkjunar, niður að lóni sem er við Gufustöðina og áfram niður að Mývatni. Mestar líkur eru á að nálæg vatnshlot verði fyrir áhrifum, þ.e. Dallækur og Mývatn en um þau hefur verið fjallað í kaflanum hér fyrir ofan. Einstaka votlendi gæti þurft athugunar við sé álagið mikið. Hafa ber í huga að Mývatn og Laxá eru vernduð með sérlögum (97/2004) og eru jafnframt Ramsar svæði.

4.4 IS102-199-G Héðinshöfði – Óvissa

4.4.1 Forsendur

Í Stöðuskýrslu fyrir vatnasvæði Íslands er grunnvatnshlotið Héðinshöfði (IS102-102-G) metið í óvissu. Þar kemur fram að óvissa er um álag vegna ösku frá sorpbrennslustöð sem urðuð var í Laugardal við Húsavík. Hugsanlegt er að staðbundin þungmálma- og forgangsefnamengun sé í grunnvatni undir urðunarstaðnum en mengunarástand grunnvatns á svæðinu er óþekkt

4.4.2 Lýsing á hloti

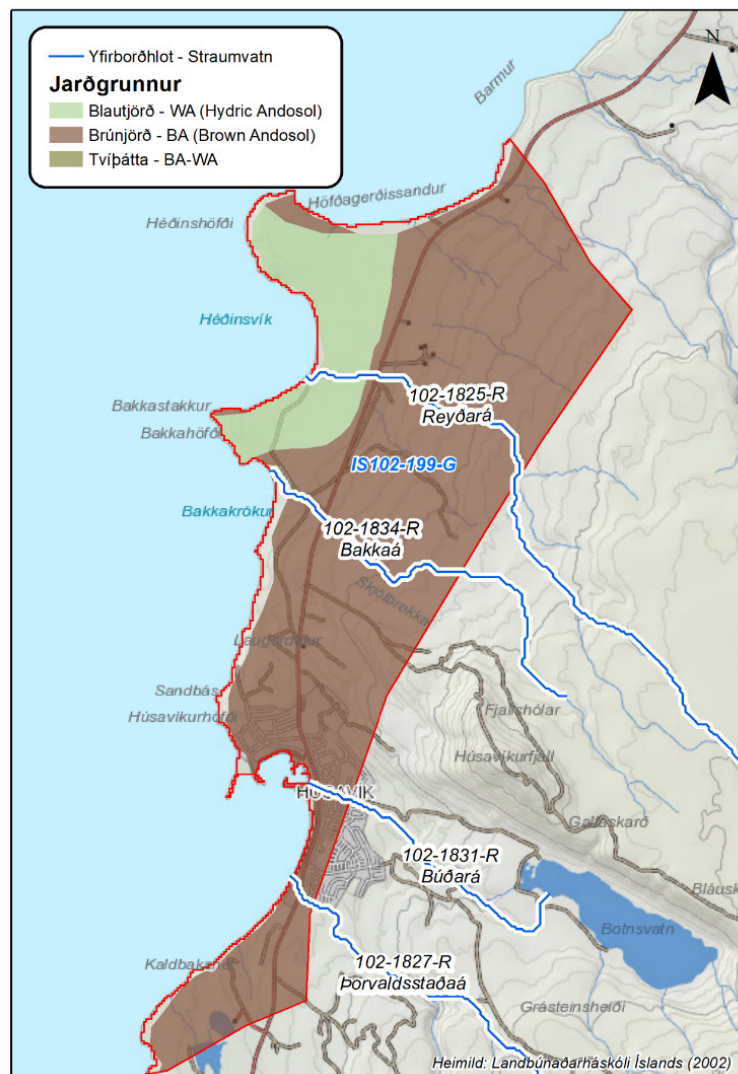
Grunnvatnshlotið nær yfir 15 km², frá Kaldbaki yfir Húsavík og norður undir Barm, mynd 28.

a) Árleg endurnýjun og tenging við yfirborðskerfi

Mynd 3 sýnir að meðaltal árleg rúmtak úrkomu að frádreginni uppgufun yfir árabilið 1980–2010 sem fellur á hlotið er 10 Gl sem samsvarar 0,31 m³/s afrennsli af öllu hlotinu. Þar til viðbótar koma lindir úr fjallshlíðunum, sjá nánar kaflann um jarð- og vatnafræði, mynd 29.

b) Yfirborðslög

Yfirborðslög eru Blautjörð, brúnjörð og bland af brún-blautjörð. Vatnsheldni er almennt séð fremur lítil (mynd 28).



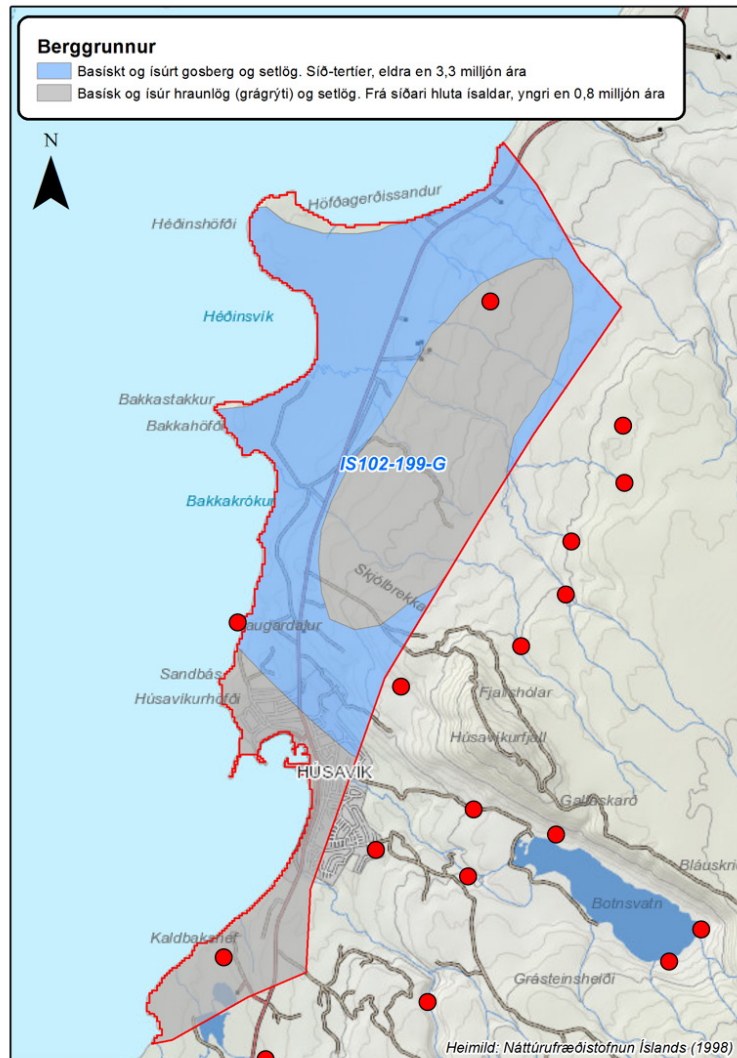
Jarðvegsgerð	Vatnsheldinbil-gH ₂ O/g jarðvegs
Blautjörð	1.2
Brúnjörð	1
Brúnjörð-blautjörð	1

Mynd 28. Jarðvegur við Héðinshöfða (Ólafur Arnalds og Hlynur Óskarsson, 2009).

c) Jarðfræði og vatnafræði

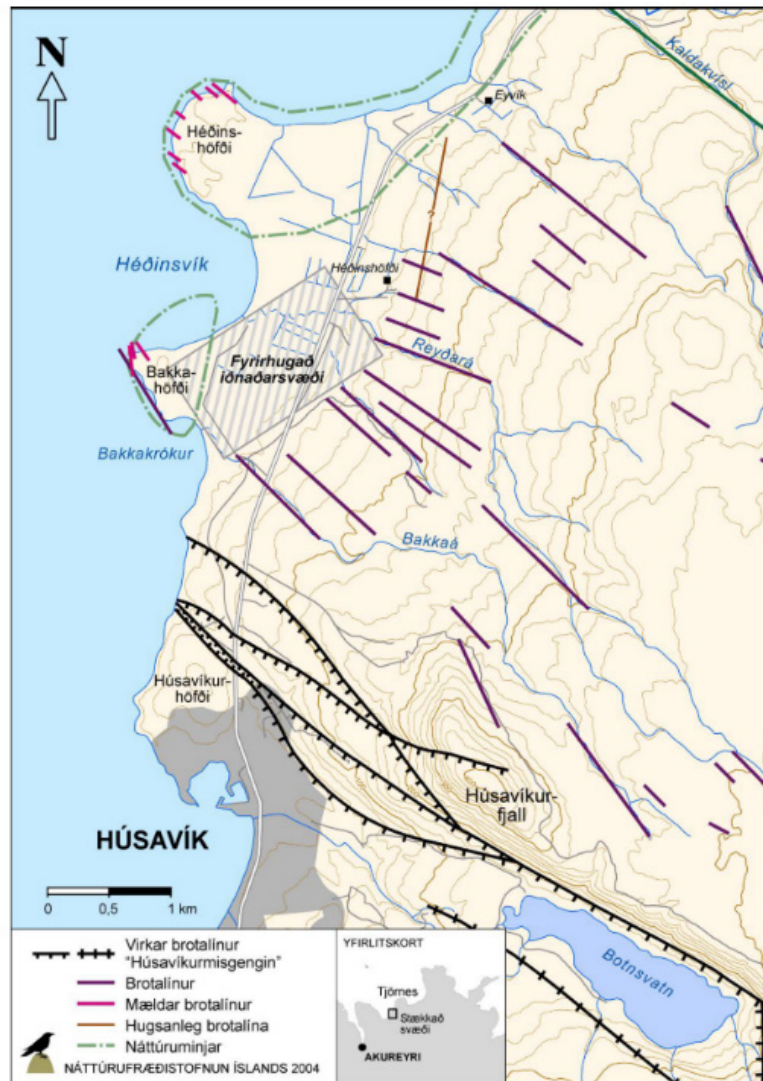
Jarðlög og jarðfræðilegar aðstæður í nágrenni Húsavíkur valda því að mikið grunnvatnsrennsli er í berggrunninum og stórar lindir algengar. Jarðlögin eru að stofni til úr gömlu bergi frá síð-tertíer og grágrýti sem liggur ofan á því, sjá mynd 29. Berggrunnurinn norðan Húsavíkur og Húsavíkurfjalls er raunar úr gömlum mikið ummynduðum hraunlögum og þess vegna þéttur og lítt vatnsleiðandi sem slíkur. Hins vegar er hann brotinn upp af ungum sprungum og misgengjum sem leiða vatn afar vel. Miklar sprungur ganga í gegnum hlotið eins og sést á mynd

30. Norðan Húsavíkurfjalls liggja vel leiðandi grágrýtislög á tertíeru bergi og á þeim mörkum koma lindir fram á nokkrum stöðum (Halldór G. Pétursson, 1994; Árni Hjartarson, 1982). Lindirnar koma á yfirborð áður en grunnvatnið rennur inn í grunnvatnshlotið IS102-199-G Héðinshöfði.



Basískt og ísúrt gosberg og setlög. Síð-tertíer. Eldra en 3.3 milljón ára.	1,00E-09
Basísk og ísúr hraunlög (grágrýti) og setlög. Frá síðari hluta ísaldar. Yngri en 0.8 milljón ára.	1,00E-05

Mynd 29. Grunnvatnshlotið IS102-199-G Héðinshöfði. Upplýsingar um lindir (rauðir punktar) (Halldór G. Pétursson, 1994; Þóroddur Þóroddsson o.fl., 1984).



Mynd 30. Brotalinur í grennd við vatnshlot ISI02-199 (Kristbjörn Egilsson o.fl., 2004).

Gæði grunnvatns í hlotinu hafa verið flokkuð í óvissu sakir þess að sorpbrennsla var starfrækt í Laugardal, rétt norðan við bæinn yfir árabilið 2006–2013, sjá mynd 30. Talið var hugsanlegt að mengunarefni frá henni gætu hafa borist niður í grunnvatnshlotið. Grunnur þess mats er að berggrunnurinn er mjög opinn og vatn hripar auðveldlega niður. Á hitt ber að líta að verulegt grunnvatn kemur fram sem lindir austan við hlotið og almennt berst grunnvatnið, með þeim eignum sem í því eru, mjög hratt fram á þessum slóðum í afmörkuðum farvegum. Úrkomuvatn sem fellur á hlotið sjálft er fljótt að skila sér sem lindarvatn og mikið rennsli eykur líkur á að mengað vatn komi fljótt fram í lindum (Halldór G. Pétursson, 1994).

4.4.3 Framkvæmdir

Seinni hluta 2011 eða fyrri hluta 2012 var um 1.000 tonn af botnösku frá sorpbrennslu urðuð innan vatnshlotsins. Askan reyndist ekki standast útskolunarpróf fyrir óvirkan úrgang m.a. að því er varðar efnin króm (Cr), kopar (Cu) og klór (Cl).

Árið 2015 endurnýjaði Umhverfisstofnun starfsleyfi fyrir urðunarstaðinn og gildir nýja starfsleyfið til 2031 (Umhverfisstofnun, 2015). Til að draga úr mögulegri útskolun mengunarefna

yfir í grunnvatn var í starfsleyfinu gerð krafa um að botn urðunarreina væri ofan grunnvatnsborðsins og að ekki skyldi urða þar sem sprungur væru til staðar á urðunarsvæðinu. Botn og hliðar urðunarstaðarins skyldu mynduð úr náttúrulegum jarðlögum og sigvatni yrði ekki safnaði. Einungis yrði tekið við óvirkum úrgangi eins og reglugerð 738/2003 skilgreinir hann.

Frá því að endurnýjað starfsleyfi tók gildi hefur aðeins lítið af úrgangi verið urðaður á þessum urðunarstað. Hefur slíkum úrgangi aðallega verið fargað utan svæðisins. Árið 2017 voru t.d. urðuð 124,7 tonn (Umhverfisstofnun, 2018) en skv. starfsleyfi er heimilt að urða allt að 700 tonn árlega (Umhverfisstofnun, 2015).

Til þess að unnt sé að fylgjast með hugsanlegri mengun frá urðunarstaðnum er í starfsleyfi gerð krafa um fullnægjandi aðstöðu til árlegrar sýnatöku og mælinga á grunnvatni í þremur grunnvatnsbrunnum þar sem greindir verða mengunarþættir, m.a. lífræn halógensambönd (AOX), blý (Pb), kadmíum (Cd), kvikasilfur (Hg) og tin (Sn).

Greiningar fyrir 2017 og 2018 liggja fyrir. Þær benda ekki til að botnaskan hafi mengað grunnvatnið og liggja gildi forgangsefna (Pb, Cd og Hg) langt undir viðmiðunarmörkum fyrir forgangsefni í yfirborðsvatni. Með þeirri vöktun sem mælt er fyrir um í starfsleyfinu mun vera hægt að fylgjast með því hvort þetta muni breytast með tímanum.

Samkvæmt skýrslu Verkfræðistofunnar EFLU (EFLA 2017) benda niðurstöður útreikninga til að styrkur þungmálma í umhverfi verksmiðjunnar sé mjög lágur og vel innan umhverfismarkna þar sem þau eru til í íslenskum reglugerðum.

Í tengslum við undirbúning kísilmálmverksmiðjunnar á Bakka hafa einnig verið tekin bæði vatns- og jarðvegssýni (Efnagreiningar Keldnaholti, 2017a & 2017b) sem hafa má til hliðsjónar við frekari vöktun grunnvatnsins.

4.4.4 Niðurstaða

Aðstæður eru með þeim hætti við Héðinshöfða að ólíklegt er að mengun sem borist hefur í vatn fyrir 5–10 árum sitji enn í vatnshlotinu. Ekkert í fyrirnefndum mælingunum á grunnvatni neðan við urðunarstaðinn í Laugardal styður það að grunnvatnið sé í hættu á að ná ekki umhverfismarkmiðum. Hins vegar er eðlilegt að fylgjast áfram með þungmálmum í grunnvatninu í samræmi við starfsleyfi urðunarstaðarins. Því er lagt til að beðið verði með að skera úr um hvort vatnshlotið sé í hættu á að ná ekki umhverfismarkmiðum þar til fleiri niðurstöður liggja fyrir. Það verði þó skorið úr því í síðasta lagi áður en næsta vöktunartímabil skv. lögum um stjórn vatnamála hefst (2027). Komi ekki fram nýjar upplýsingar sem sýna annað er því lagt til að grunnvatnshlotið Héðinshöfði verði þegar þar að kemur flokkaður sem vatnshlot sem talið er munu ná umhverfismarkmiðum.

4.4.5 Tengsl grunnvatns við vistgerðargreiningu Náttúrufræðistofnunar Íslands

Á grunnvatnsvæðinu Héðinshöfði er mólendi algengasta vistlendið með víðikjarr-, lyngmóa- og fléttumóavist ríkjandi. Svæði á lista Bernarsamningsins eru á 51% svæðisins. Landvistgerðir með mjög hátt verndargildi samkvæmt verndarskilgreiningu vistgerðargreiningar NÍ er á 19% svæðisins og eru þar m.a. votlendisvistir s.s. starungsmýravist sem eru þær vistgerðir eru líklega í mestum tengslum við grunnvatn. Um 25% fjöru- og vatnavistkerfanna eru lista Bernarsamningsins frá 2014, yfir vistgerðir sem þarfnast verndar. Um 13% fjöruvistgerðanna eru með mjög hátt (5%) og hátt (8%) verndargildi m.a. Bólupangsfjörur og bólupangsklungur auk strandvatna. Flatlendisvötn eru á um 9% svæðisins.

Meðan engar vísbendingar eru staðar um mengun er ekki ástæða til að skoða álag vegna grunnvatns á lífríki, en breytist það þarf að meta hugsanleg áhrif á votlendis vistkerfi og þar sem vatn rennur fram í fjörur, einkum í nágrenni urðunarstaðarins.

Þakkir

Eftirtaldir aðilar lásu yfir textana um vatnshlotin, lögðu til ný gögn og komu með gagnlegar ábendingar: Snorri Páll Snorrason, Rosmhvalanes; Ásgrímur Guðmundsson og Egill Axelsson, Krafla-Bjarnarflag; Halldór Pétursson, Héðinshöfði; Gretar Ívarsson, Nesjahraun; og Sunna Björk Ragnarsdóttir, vistgerðir og tengsl við grunnvatnshlot. Eru þeim færðar bestu þakkir.

Heimildir

- Andri Stefánsson (2014). *Verðmætasköpun úr affalli og útblæstri jarðvarmavirkjana. I. hluti*. Meistaraprófsritgerð, Iðnaðarverkfræði-, vélaverkfræði- og tölvunarfræðideild, Háskóli Íslands, Reykjavík.
- Árni Hjartarson (1982). *Grunnvatn og lindir við Húsavík í Suður-Þingeyjasýslu*. OS82036/VOD21. Reykjavík: Orkustofnun.
- Ásbjörn Blöndal (2018, september). Framtíðar vinnslusvæði ferskvatns. *Málþing HS orku um framtíð í skipulags- raforku- og veitumálum á Suðurnesjum* (ráðstefnurit). Bláa Lónið.
- Axel Björnsson (1985). Dynamics of Crustal Rifting in NE Iceland. *Journal of Geophysical Research*, 90 (B12), 10151–10162.
- Bogi B. Björnsson (2012). *Vatnagrunnur Veðurstofu Íslands 2.0. Verklag viðuppfærslu*. Greinargerð BBB/2012-02. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Bogi B. Björnsson, Kristinn Einarsson & Linda Georgsdóttir (2013). *Yfirborðs- og grunnvatnshlot. Verklagsreglur fyrir skilgreiningu vatnshlota*. Greinargerð BBB/KE/LG/2013-01. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Borholuskrá Orkustofnunar: Sótt af <http://map.is/os/> í febrúar 2020.
- Davíð Egilson (1988). *Sandgerði. Athugun á grunnvatnsástandi*. Reykjavík: Verkfræðistofan Vatnaskil.
- Davíð Egilson (2019). *Nytjavatnsgrunnur – Nytjavatnssjá*. Greinargerð DE-2019-01. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Davíð Egilson & Gerður Stefánsdóttir (2014). *Álagsþættir á Grunnvatn*. Greinargerð DE/GSt/2014-01. Reykjavík: Veðurstofa Íslands
- Davíð Egilson, Jón Guðmundsson, Tinna Þórarinsdóttir & Gerður Stefánsdóttir (2019). *Magnstaða grunnvatns Tillaga um aðferðafræðilega nálgun*. Skýrsla VÍ 2019-012. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- EFLA Verkfræðistofa (2017). Dreifing og styrkur þungmálma frá rekstri PCC BakkiSilicon, minnisblað, Efla.
- Efnagreiningar Keldnaholti (2017a). *PCC Bakki Umhverfissvöktun. Greining jarðvegssýna*. Húsavík.
- Efnagreiningar Keldnaholti (2017b). *PCC Bakki Umhverfissvöktun Greining vatnssýna*. Húsavík.

- Egill Axelsson (2013). *Grunnvatns- og hitamælingar Landsvirkjunar á Norðausturlandi árin 2006-2013*. Reykjavík: Landsvirkjun.
- Egill Axelsson (2015). Rennslismælingar í Hlíðardalslæk. Minnisblað, Landsvirkjun.
- Fayemiwo, O.M., Daramola, M.O. & Moothi, K. (2017). *Btex compounds in water – future trends and directions for water treatment*. *Water SA*, 43(4), bls. 602–613. doi.org/10.4314/wsa.v43i4.08
- Finnbogi Óskarsson (2015). *Dallækur í Mývatnssveit. Efnagreiningar sýna af vatni og seti*. LV 2015-079. Reykjavík: Landsvirkjun.
- Finnbogi Óskarsson, & Þórolfur H. Hafstað (2014). *Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr grunnvatnsholum á Miðnesheiði*. Unnið fyrir Þróunarfélag Keflavíkurflugvallar. Greinargerð ÍSOR14009. Reykjavík: Íslenskar orkurannsóknir.
- Gretar Ívarsson (2017). *Niðurrennsli á Nesjavallasvæðinu. Yfirlit á affalli frá Nejavallavirkjun*. Greinargerð 12. janúar 2017. Orkuveita Reykjavíkur.
- Guðríður Þorvarðardóttir (ritstj) (1991). *Náttúruminjasrá : friðlýst svæði og aðrar skráðar náttúruminjar*. Reykjavík: Náttúruverndarráð.
- Guðrún Nína Petersen, Derya Berber (2018). *Jarðvegshitamælingar á Íslandi. Staða núverandi kerfis og framtíðarsýn*. Skýrsla VÍ 2018-009. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Halldór G. Pétursson (1994). *Vatnsból Húsavíkur - Verndarsvæði*. Akureyri: Náttúrufræðistofnun.
- Haukur Jóhannesson & Kristján Sæmundsson (2009). *Jarðfræðikort af Íslandi. 1:600.000 Berggrunnur* (1. útgáfa). Garðabær: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur H. Ingvason, Stefán Már Stefánsson & Þóra Hrafnisdóttir (2012). *Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Yfirlit yfir fimm fyrstu vöktunarárin 2007–2011 og samanburður við eldri gögn*. (Fjölrit nr. 3-2012). Kópavogur: Náttúrufræðistofna Kópavogs.
- Jón Guðmundsson, Hlynur Óskarsson & Ólafur Arnalds (2006). *Er vatn takmarkandi þáttur í landgræðslu? Fræðaging landbúnaðarins 2006*. Hvanneyri: Landbúnaðarháskóli Íslands.
- Jón Gunnar Ottósson, Anna Sveinsdóttir og María Harðardóttir (ritstj.) (2016). *Vistgerðir á Íslandi*. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar nr. 54. Garðabær: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Jóhanna Weisshappel (ritstj.) (2013). *Stöðuskýrsla fyrir vatnasvið Íslands: Skipting vatns í vatnshlot og mat á helsta álagi af starfsemi manna á vatn*. Reykjavík: Umhverfisstofnun.
- Kristbjörn Egilsson, Halldór G. Pétursson, Guðmundur Guðjónsson, Guðmundur A. Guðmundsson, Starri Heiðmarsson & Regína Hreinsdóttir (2004). *Náttúrufar í nágrenni fyrirhugaðs iðnaðarsvæðis við Héðinsvík*. NÍ-04001. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Lög um stjórn vatnamála nr. 36 /2011.
- Lög um verndun Mývatns og Laxár í Suður-Þingeyjarsýslu nr. 97/2004.
- Lög um framkvæmdir sveitarfélaga í fráveitumálum nr. 85/2005.
- Lög um náttúruvernd (heildarlög) nr. 60/2013.
- Lög um vernd Breiðafjarðar nr. 54/1995.

- Magnús H. Guðjónsson (1992). Megnun í vatnsbólum Njarðvíkur og Keflavíkur. Í: Sigmar Ingason (ritstj.), *Vatnsveita Suðurnesja, aðdragandi og uppbygging* (11-13). Vatnsveita Suðurnesja.
- María J. Gunnarsdóttir (2005). *Neysluvatnsgæði og vatnsvernd*. Meistaraverkefni í umhverfisfræðum. Háskóli Íslands. Sótt á http://skemman.is/stream/get/1946/13275/31864/1/Neysluvatnsgæði_jan2005_2.pdf
- Nikolai Narwi, Bolli Pálmason, Guðrún Nína Petersen, Halldór Björnsson & Sigurður Þorsteinsson (2017). *The ICRA atmospheric reanalysis project for Iceland*. Skýrsla VÍ 2017-005. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Ólafur Arnalds & Hlynur Óskarsson (2009). Íslenskt jarðvegskort. *Náttúrufræðingurinn* 78 (3-4) 107-121.
- Olga Kolbrún Vilmundardóttir, Ásrún Elmarsdóttir, Borgþór Magnússon, Guðmundur Guðmundsson, Ingvar Atli Sigurðsson, Kristinn Haukur Skarphéðinsson, Kristján Jónasson, Lovísa Ásbjörnsdóttir, Marianne Jensdóttir Fjeld, Sigmar Metúsalemsson, Starri Heiðmarsson, Sunna Björk Ragnarsdóttir, Þóra Hrafnisdóttir & Trausti Baldursson (2019). *Framkvæmdaáætlun Náttúruminjaskrár 2018: svæðaval og ávinningur verndar*. NÍ-19008. Garðabær: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Reglugerð um urðun úrgangs nr. 738/2003.
- Reglugerð um flokkun vatnshlota, eiginleika þeirra, álagsgreiningu og vöktun nr. 535/2011.
- Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001.
- Sigurður G. Kristinsson, Finnboði Óskarsson, Auður Agla Óladóttir & Magnús Ólafsson (2016). *Háhitavæðin í Námafelli, Kröflu og á Þeistareykjum. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2016*. ÍSOR-2016/080, LV-2016-124. Reykjavík: Íslenskar orkurannsóknir.
- Sigurður G. Kristinsson, Guðjón Eyjólfur Ólafsson, Þorgils Jónasson & Magnús Ólafsson (2009). *Sýnataka og efnagreiningar á vatni úr borholum á Miðnesheiði*. Unnið fyrir Þróunarfélag Keflavíkurflugvallar. ÍSOR-09073. Reykjavík: Íslenskar orkurannsóknir.
- Sigurður Óskar Helgason (2017). *Effects from geothermal effluent on periphyton and invertebrate assemblages in NE-Iceland*. Meistaraprófsritgerð, Háskóli Íslands, Reykjavík.
- Snorri Páll Kjaran & Davíð Egilson (1986). *Áhrif affallsvatns frá fyrirhugaðri jarðvarmavirkjun á vatnsból við Grámel*. 86-03. Reykjavík: Verkfræðistofan Vatnaskil.
- Snorri P. Snorrason (1991) Mengun grunnvatns á Rosmhvalanesi [ágrip]. *Ráðstefna um jarðfræði og umhverfismál 12. apríl 1991*. Reykjavík: Jarðfræðafélag Íslands, bls. 32-35.
- Snorri Páll Snorrason (2020). Vatnstökustaðir. Óbirt gögn, Verkís verkfræðistofa.
- Trausti Hauksson (2018). *Krafla og Bjarnarflag. Afköst borhola og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás árið 2017*. Reykjavík: Landsvirkjun.
- Umhverfisstofnun (2015). *Starfsleyfi fyrir Urðunarstað í Laugardal*. Sótt á: ust.is/library/Skrar/Atvinnulif/Starfsleyfi/Starfsleyfi-i-gildi/Sorp-og-efnamottaka/Nor%C3%B0ur%C3%BEing%20Laugardalur%20-%20Starfsleyfi%20LOKA%C3%9ATG%C3%81FA%2016.12.15.pdf
- Umhverfisstofnun (2018). *Eftirlitsskýrsla. Norðurþing - Laugardalur, Húsavík*. Sótt á: ust.is/library/Skrar/Einstaklingar/Mengandi-Starfssemi/Urgangur-og-efnamottaka/1046_Nor%C3%B0ur%C3%BEing%20-%20Laugardal%20-%20Lokask%C3%BDrsla.pdf
- Verkfræðistofan Vatnaskil hf. (1986). *Svartsengi. Athugun á vinnslu ferskvatns*. Orkustofnun OS-

86074/JHD-15. Reykjavík: Orkustofnun.

VERKÍS (2017a). *Keflavíkurflugvöllur – Grunnvatnsrannsókn*. Verkís verkfræðistofa.

VERKÍS (2017b). *Keflavíkurflugvöllur grunnvatnsrannsókn 2017*. Verkís verkfræðistofa.

VERKÍS (2018). Keflavíkurflugvöllur. Grunnvatnsrannsóknir Samantekt á sýnatökum framkvæmdum 10. apríl 2017, 12. september 2017 og 18. mars 2018. Dags. 16 ágúst 2018. Verkís verkfræðistofa.

Þóroddur F. Þóroddsson (1980). *Hitamælingar í lindum og gjám við austanvert Mývatn*. Reykjavík ÞFF/09. Reykjavík: Orkustofnun.

Þóroddur Þóroddsson, Helgi Hallgrímsson, Þórir Haraldsson, Ólafur K. Nielsen & Jóhannes Björnsson (1984). *Skýrsla um könnun á náttúrufari og minjum í nágrenni Húsavíkur*. Unnið fyrir Staðarvalsnefnd um iðnrekstur. Náttúrugripasafnið á Akureyri. Iðnaðarráðuneytið, Reykjavík.

Þórólfur H. Hafstað, Elsa G. Vilmundardóttir & Bjarni Reyr Kristjánsson (2007). *Nesjavellir Rannsóknarborholur á affallssvæði*. ÍSOR 2007/058. Reykjavík: Íslenskar orkurannsóknir.

Þórólfur H. Hafstað & Kristján Sæmundsson. (2000). *Rosmhvalanes. Um boranir í grágrýtið*. Reykjavík: Orkustofnun.

Þróunarsvið Landsvirkjunar (2015). *Dallækur 2015 Framvinda ársins, samantekt*. Minnisblað, Landsvirkjun.

Viðauki I. Vatnsheldni mismunandi jarðvegsgerða

Vatnsheldni mismunandi jarðvegsgerða er fengin úr skýrslu Jóns Guðmundssonar o.fl. frá 2016.

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

Viðauki II. Meðallekt mismunandi berggrunnsgerða

Meðallekt berggrunnsgerða byggist á skýrslu Davíðs Egilson o.fl., 2019.

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

Viðauki III. Vistgerðarkóðar landvistgerða

Vistlendi og vistgerð á grunnvatnshlotum samkvæmt vistgerðarsjá Náttúrufræðistofnunar Íslands (Jón Gunnar Ottósson o.fl., 2016).

Rosmhvalanes 2

Vistlendi	Vistgerð	Verndargildi	Bernars. 2014	Fjöldi	Flatarmál vistgerðar (m2)	Flatarmál vistlendis (m2)	Hlutfall vistlendis
Eyrar	Eyravist	Lágt		165	4,125	4,125	0.0%
Ferskvatn	Vötn			10,873	271,825	271,825	0.3%
Fjörur	Fjöruvistir			17,112	427,800	438,550	0.4%
Fjörur	Sjávarlón			430	10,750		
Graslendi	Snarrótarvist	Hátt	X	73,813	1,845,325	4,125,250	3.9%
Graslendi	Stinnastaravist	Miðlungs	X	47,022	1,175,550		
Graslendi	Língresis- og vingulsvist	Hátt	X	24,129	603,225		
Graslendi	Finnungsvist	Hátt	X	16,901	422,525		
Graslendi	Bugðupuntsvist	Hátt		2,562	64,050		
Graslendi	Grasengjavist	Hátt	X	583	14,575		
Hraunlendi	Lynghraunavist	Miðlungs		112,874	2,821,850	4,355,700	4.1%
Hraunlendi	Mosahraunavist	Miðlungs		51,456	1,286,400		
Hraunlendi	Eyðihraunavist	Lágt	X	9,898	247,450		
Melar og sandlendi	Mosamelavist	Lágt		580,386	14,509,650	22,912,025	21.7%
Melar og sandlendi	Grasmelavist	Lágt		200,136	5,003,400		
Melar og sandlendi	Eyðimelavist	Lágt		85,502	2,137,550		
Melar og sandlendi	Víðimelavist	Lágt		48,101	1,202,525		
Melar og sandlendi	Sanda- og vikravist	Lágt	X	2,356	58,900		
Moslendi	Hraungambravist	Lágt		943,908	23,597,700	23,718,900	22.5%
Moslendi	Melagambrovist	Miðlungs		4,848	121,200		
Mólendi	Lyngmóavist á láglendi	Miðlungs	X	748,312	18,707,800	25,133,450	23.8%
Mólendi	Grasmóavist	Hátt	X	214,832	5,370,800		
Mólendi	Mosamóavist	Lágt		29,105	727,625		
Mólendi	Fjalldrapamóavist	Miðlungs		10,730	268,250		
Mólendi	Starmóavist	Miðlungs		1,538	38,450		
Mólendi	Flagmóavist	Lágt		821	20,525		
Sjór	Sjór			2,062	51,550	51,550	0.0%
Skriður og klettur	Grasvíðiskriðuvist	Lágt	X	150	3,750	4,825	0.0%
Skriður og klettur	Ljónslappaskriðuvist	Lágt	X	43	1,075		
Strandlendi	Sjávarfitjungsvist	Hátt	X	6,782	169,550	272,025	0.3%
Strandlendi	Sandstrandarvist	Lágt		3,931	98,275		
Strandlendi	Strandmelhólavist	Lágt	X	125	3,125		
Strandlendi	Gulstararfitjavist	Mjög hátt	X	43	1,075		
Votlendi	Starungsmýravist	Mjög hátt	X	386	9,650	9,750	0.0%
Votlendi	Brokflóavist	Mjög hátt		2	50		
Votlendi	Runnamýravist á láglendi	Mjög hátt	X	2	50		
Aðrar landgerðir	Þéttbýli og annað manngert land			632,074	15,801,850	15,801,850	15.0%
Aðrar landgerðir	Alaskalúpína			221,207	5,530,175	5,530,175	5.2%
Aðrar landgerðir	Tún og akurlendi			75,113	1,877,825	1,877,825	1.8%
Aðrar landgerðir	Skógrækt			40,795	1,019,875	1,019,875	1.0%

Nesjahraun

Vistlendi	Vistgerð	Verndargildi	Bernars. 2014	Fjöldi	Flatarmál vistgerðar (m2)	Flatarmál vistlendis (m2)	Hlutfall vistlendis
Ferskvatn	Vötn			179,933	4,498,325	4,498,325	32.6%
Graslendi	Língresis- og vingulsvist	Hátt	X	146	3,650	7,225	0.1%
Graslendi	Snarrótarvist	Hátt	X	117	2,925		
Graslendi	Stinnastararvist	Miðlungs	X	25	625		
Graslendi	Grasengjavist	Hátt	X	1	25		
Hraunlendi	Mosahraunavist	Miðlungs		237,008	5,925,200	6,957,600	50.4%
Hraunlendi	Lynghraunavist	Miðlungs		36,955	923,875		
Hraunlendi	Eyðihraunavist	Lágt	X	4,230	105,750		
Hraunlendi	Fléttuhraunavist	Miðlungs		111	2,775		
Melar og sandlendi	Eyðimelavist	Lágt		505	12,625	26,250	0.2%
Melar og sandlendi	Sanda- og vikravist	Lágt	X	348	8,700		
Melar og sandlendi	Grasmelavist	Lágt		105	2,625		
Melar og sandlendi	Mosamelavist	Lágt		53	1,325		
Melar og sandlendi	Víðimelavist	Lágt		39	975		
Moslendi	Hraungambravist	Lágt		5,905	147,625	147,950	1.1%
Moslendi	Melagambravist	Miðlungs		13	325		
Mólendi	Lyngmóavist á láglendi	Miðlungs	X	1,371	34,275	93,425	0.7%
Mólendi	Mosamóavist	Lágt		951	23,775		
Mólendi	Fjalldrapamóavist	Miðlungs		663	16,575		
Mólendi	Víðimóavist	Miðlungs		295	7,375		
Mólendi	Starmóavist	Miðlungs		186	4,650		
Mólendi	Grasmóavist	Hátt	X	94	2,350		
Mólendi	Flagmóavist	Lágt		93	2,325		
Mólendi	Víðikjarrvist	Mjög hátt	X	84	2,100		
Skóglendi	Birkiskógur	#N/A		54,661	1,366,525	1,366,525	9.9%
Skríður og klettur	Urðarskríðuvist	Miðlungs	X	380	9,500	12,825	0.1%
Skríður og klettur	Ljónslappaskríðuvist	Lágt	X	106	2,650		
Skríður og klettur	Grasvíðiskríðuvist	Lágt	X	27	675		
Votlendi	Starungsmýravist	Mjög hátt	X	2,117	52,925	54,900	0.4%
Votlendi	Runnamýravist á láglendi	Mjög hátt	X	78	1,950		
Votlendi	Tjarnastararflóavist	Mjög hátt	X	1	25		
Aðrar landgerðir	Skógrækt			9,966	249,150	249,150	1.8%
Aðrar landgerðir	Tún og akurlendi			7,084	177,100	177,100	1.3%
Aðrar landgerðir	Þéttbýli og annað manngert land			5,132	128,300	128,300	0.9%
Aðrar landgerðir	Alaskalúpína			3,226	80,650	80,650	0.6%

Krafla-Bjarnarflag

Vistlendi	Vistgerð	Verndargildi	Bernars. 2014	Fjöldi	Flatarmál vistgerðar (m2)	Flatarmál vistlendis (m2)	Hlutfall vistlendis
Eyrar	Eyravist	Lágt		18	450	450	0.0%
Ferskvatn	Vötn			7,976	199,400	199,400	0.4%
Graslendi	Língresis- og vingulsvist	Hátt	X	9,924	248,100	248,100	0.5%
Hraunlendi	Lynghraunavist	Miðlungs		120,259	3,006,475	4,320,350	9.5%
Hraunlendi	Eyðihraunavist	Lágt	X	24,940	623,500		
Hraunlendi	Mosahraunavist	Miðlungs		13,954	348,850		
Hraunlendi	Fléttuhraunavist	Miðlungs		13,661	341,525		
Jarðhitasvæði	Móahveravist	Mjög hátt	X	4,597	114,925	126,725	0.3%
Jarðhitasvæði	Hveraleirsvist	Hátt	X	308	7,700		
Jarðhitasvæði	Mýrahveravist	Mjög hátt		164	4,100		
Melar og sandlendi	Eyðimelavist	Lágt		533,471	13,336,775	21,592,125	47.6%
Melar og sandlendi	Sanda- og vikravist	Lágt	X	277,156	6,928,900		
Melar og sandlendi	Víðimelavist	Lágt		38,198	954,950		
Melar og sandlendi	Grasmelavist	Lágt		14,834	370,850		
Melar og sandlendi	Mosamelavist	Lágt		26	650		
Moldir	Moldavist	Lágt		267	6,675	6,675	0.0%
Moslendi	Melagambravist	Miðlungs		51,452	1,286,300	1,393,425	3.1%
Moslendi	Héluamosavist	Miðlungs	X	2,181	54,525		
Moslendi	Hraungambravist	Lágt		2,104	52,600		
Mólendi	Fjalldrapamóavist	Miðlungs		147,809	3,695,225	9,931,775	21.9%
Mólendi	Lyngmóavist á láglendi	Miðlungs	X	75,714	1,892,850		
Mólendi	Lyngmóavist á hálandi	Hátt		70,689	1,767,225		
Mólendi	Starmóavist	Miðlungs		63,834	1,595,850		
Mólendi	Víðimóavist	Miðlungs		14,566	364,150		
Mólendi	Fléttumóavist	Miðlungs		14,452	361,300		
Mólendi	Víðikjarrvist	Mjög hátt	X	9,761	244,025		
Mólendi	Mosamóavist	Lágt		446	11,150		
Skóglendi	Birkiskógur			194,247	4,856,175	4,856,175	10.7%
Skriður og klettur	Ljónslappaskriðuvist	Lágt	X	53,991	1,349,775	1,383,850	3.1%
Skriður og klettur	Urðarskriðuvist	Miðlungs	X	1,340	33,500		
Skriður og klettur	Grasvíðiskriðuvist	Lágt	X	23	575		
Votlendi	Starungsmýravist	Mjög hátt	X	406	10,150	15,800	0.0%
Votlendi	Tjarnastararflóavist	Mjög hátt	X	215	5,375		
Votlendi	Hengistararflóavist	Hátt		11	275		
Aðrar landgerðir	Þéttbýli og annað manngert land			38,250	956,250	956,250	2.1%
Aðrar landgerðir	Tún og akurlendi			7,234	180,850	180,850	
Aðrar landgerðir	Skógrækt			4,322	108,050	108,050	
Aðrar landgerðir	Alaskalúpína			465	11,625	11,625	

Héðinshöfði

Vistlendi	Vistgerð	Verndargildi	Bernars. 2014	Fjöldi	Flatarmál vistgerðar (m2)	Flatarmál vistlendis (m2)	Hlutfall vistlendis
Eyrar	Eyravist	Lágt		133	3,325	3,325	0.0%
Ferskvatn	Vötn			1,886	47,150	62,950	0.4%
Ferskvatn	Ár			632	15,800		
Fjörur	Fjöruvistir			6,539	163,475	163,475	1.1%
Graslendi	Snarrótarvist	Hátt	X	44,516	1,112,900	2,426,525	16.3%
Graslendi	Língresis- og vingulsvist	Hátt	X	35,844	896,100		
Graslendi	Grasengjavist	Hátt	X	11,927	298,175		
Graslendi	Stinnastaravist	Miðlungs	X	3,083	77,075		
Graslendi	Blómgresisvist	Miðlungs	X	1,691	42,275		
Melar og sandlendi	Víðimelavist	Lágt		6,229	155,725	336,825	2.3%
Melar og sandlendi	Mosamelavist	Lágt		2,950	73,750		
Melar og sandlendi	Eyðimelavist	Lágt		2,791	69,775		
Melar og sandlendi	Grasmelavist	Lágt		1,053	26,325		
Melar og sandlendi	Sanda- og vikravist	Lágt	X	450	11,250		
Moslendi	Hraungambravist	Lágt		7,138	178,450	343,850	2.3%
Moslendi	Melagambrovist	Miðlungs		6,611	165,275		
Moslendi	Hélumosavist	Miðlungs	X	5	125		
Mólendi	Víðikjarrvist	Mjög hátt	X	68,389	1,709,725	6,088,475	40.9%
Mólendi	Lyngmóavist á láglandi	Miðlungs	X	68,253	1,706,325		
Mólendi	Fléttumóavist	Miðlungs		59,357	1,483,925		
Mólendi	Grasmóavist	Hátt	X	23,828	595,700		
Mólendi	Flagmóavist	Lágt		13,055	326,375		
Mólendi	Starmóavist	Miðlungs		4,947	123,675		
Mólendi	Fjalldrapamóavist	Miðlungs		2,927	73,175		
Mólendi	Mosamóavist	Lágt		1,705	42,625		
Mólendi	Lyngmóavist á hálendi	Hátt		1,055	26,375		
Mólendi	Víðimóavist	Miðlungs		23	575		
Sjór	Sjór		0	763	19,075	19,075	0.1%
Skriður og klettur	Ljónslappaskriðuvist	Lágt	X	436	10,900	14,175	0.1%
Skriður og klettur	Urðarskriðuvist	Miðlungs	X	123	3,075		
Skriður og klettur	Grasvíðiskriðuvist	Lágt	X	8	200		
Strandlendi	Sandstrandarvist	Lágt		1,256	31,400	51,975	0.3%
Strandlendi	Sjávarkletta- og eyjavist	Miðlungs	X	823	20,575		
Votlendi	Starungsmýravist	Mjög hátt	X	41,515	1,037,875	1,189,450	8.0%
Votlendi	Gulstararflóavist	Mjög hátt	X	4,098	102,450		
Votlendi	Starungsflóavist	Mjög hátt	X	1,202	30,050		
Votlendi	Runnamýravist á láglandi	Mjög hátt	X	392	9,800		
Votlendi	Hrossanálarvist	Miðlungs	X	253	6,325		
Votlendi	Brokflóavist	Mjög hátt		118	2,950		
Aðrar landgerðir	Þéttbýli og annað manngert land			54,749	1,368,725	1,368,725	9.2%
Aðrar landgerðir	Alaskalúpína			51,303	1,282,575	1,282,575	8.6%
Aðrar landgerðir	Tún og akurlendi			43,243	1,081,075	1,081,075	7.3%
Aðrar landgerðir	Skógrækt			18,540	463,500	463,500	3.1%

Viðauki IV. Vistgerðarkóðar vatna og fjöruvistgerðar

Vatna- og fjöruvistgerðir grunnvatnshlotasamkvæmt vistgerðarsjá Náttúrufræðistofnunar Íslands (Jón Gunnar Ottóson o.fl., 2016).

Rosmhvalanes2

Vistgerð	Fjöldi	Flatarmál m2	Verndar-gildi	Bernars. 2014
Pangfjörur óflokkaðar	57	563,116	Breytilegt	
Pangklungur	4	53,195	Breytilegt	
Sandmaðksleirur	19	576,458	Hátt	
Strandvötn	25	277,582	Hátt	
Grýttar fjörur óflokkaðar	29	169,207	Lágt	
Hrúðukarlafjörur	6	47,055	Lágt	
Brimasamar hnullungafjörur	3	50,136	Lágt	
Líflitlar sandfjörur	24	274,492	Lágt	
Grýttur sandleir	16	28,690	Lágt	x
Skúfþangsfjörur	4	32,288	Miðlungs	
Háseltulón	1	2,731,197	Miðlungs	
Leirur óflokkaðar	7	53,901	Miðlungs / t	x
Klóbangsfjörur	139	1,262,617	Mjög hátt	
Klóbangsklungur	5	181,353	Mjög hátt	
Flatlendisvötn	2	17,804	Mjög hátt	x

Nesjahraun

Vistgerð	Fjöldi	Flatarmál m2	Verndar-gildi	Bernars. 2014
Tegundarík kransþörungavötn	2	82,905,764	Hátt	x

Krafla Bjarnarflag

Vistgerð	Fjöldi	Flatarmál m2	Verndar-gildi	Bernars. 2014
Flatlendisvötn	1	5,171	Mjög hátt	
Kransþörungavötn á hálendi	1	115,843	Miðlungs	x
Gróðurlítil hálendisvötn	2	36,893	Lágt	

Straumvatn	Fjöldi	Lengd m	Verndar-gildi
Ár á yngri berggrunni	6	12,632	Miðlungs

Héðinshöfði

Vistgerð	Fjöldi	Flatarmál m ²	Verndar- gildi	Bernars. 2014
Pangfjörur óflokkaðar	4	27,776	Breytilegt	
Bólupangsklungur	1	75,955	Hátt	
Strandvötn	1	4,197	Hátt	
Grýttar fjörur óflokkaðar	5	11,966	Lágt	
Hrúðukarlafjörur	5	30,683	Lágt	x
Líflitlar sandfjörur	8	210,343	Lágt	
Brimasamar sandfjörur	3	44,127	Lágt	
Óseyrar	1	14,861	Lágt	
Grýttur sandleir	2	932	Lágt	
Skúfþangsfjörur	2	202,412	Miðlungs	
Þangklungur	2	276,477	Misjafnt	
Bólupangsfjörur	5	48,182	Mjög hátt	
Flatlendisvötn	2	92,685	Mjög hátt	x

Straumvatn	Fjöldi	Lengd m	Verndar- gildi
Ár á yngri berggrunni	3	3,408	Miðlungs
Ár á eldri berggrunni án votlendisáhrifa	1	2,867	Lágt

Rosmhvalanes 2

Flatarmál m2	Fjöldi	Kóði	Vistgerð
169,207	29	F1	Grýttar fjörur óflokkaðar
47,055	6	F1.1	Hrúðukarlafjörur
50,136	3	F1.2	Brimasamar hnullungafjörur
563,116	57	F1.3	Þangfjörur óflokkaðar
1,262,617	139	F1.31	Klóþangsfjörur
32,288	4	F1.33	Skúfþangsfjörur
53,195	4	F1.35	Þangklungur
181,353	5	F1.35.1	Klóþangsklungur
274,492	24	F2.1	Líflitlar sandfjörur
53,901	7	F2.3	Leirur óflokkaðar
576,458	19	F2.31	Sandmaðksleirur
28,690	16	F2.4	Grýttur sandleir
2,731,197	1	FX.11	Háseltulón
17,804	2	V1.1	Flatlendisvötn
277,582	25	V1.8	Strandvötn

Krafla Bjarnarflag

Flatarmál m2	Fjöldi	Kóði	Vistgerð
5,171	1	V1.1	Flatlendisvötn
115,843	1	V1.4	Kransþörungavötn á hálendi
36,893	2	V1.5	Gróðurlítill hálendisvötn
Lengd m			
12,632	6	V2.3	Ár á yngri berggrunni

Héðinshöfði

Flatarmál m2	Fjöldi	Kóði	Vistgerð
11,966	5	F1	Grýttar fjörur óflokkaðar
30,683	5	F1.1	Hrúðukarlafjörur
27,776	4	F1.3	Þangfjörur óflokkaðar
48,182	5	F1.32	Bólupangsfjörur
202,412	2	F1.33	Skúfþangsfjörur
276,477	2	F1.35	Þangklungur
75,955	1	F1.35.2	Bólupangsklungur
210,343	8	F2.1	Líflitlar sandfjörur
44,127	3	F2.11	Brimasamar sandfjörur
14,861	1	F2.2	Óseyrar
932	2	F2.4	Grýttur sandleir
92,685	2	V1.1	Flatlendisvötn
4,197	1	V1.8	Strandvötn
Lengd m			
3,408	3	V2.3	Ár á yngri berggrunni
2,867	1	V2.4	Ár á eldri berggrunni án votlendisáhrifa

Nesjahraun

Flatarmál m2	Fjöldi	Kóði	Vistgerð
82,905,764	2	V1.3	Tegundarík kransþörungavötn