

## Álagsþættir á grunnvatn

---

Davíð Egilson, Veðurstofu Íslands  
Gerður Stefánsdóttir, Veðurstofu Íslands



<b>Greinargerð nr.:</b> DE/GSt/2014-01	<b>Dags.:</b> Febrúar 2014	<b>Dreifing:</b> Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/> <b>Skilmálar:</b>
<b>Heiti greinargerðar:</b> Álagsþættir á grunnvatn	<b>Upplag:</b> 15	<b>Fjöldi síðna:</b> 30
	<b>Framkvæmdastjóri sviðs:</b> Jórunn Harðardóttir	
<b>Höfundar:</b> Davíð Egilson og Gerður Stefánsdóttir	<b>Verkefnisstjóri:</b> Gerður Stefánsdóttir	
	<b>Verknúmer:</b> 4605	
<b>Gerð greinargerðar/verkstig:</b> Verklokaskýrsla 2013	<b>Málsnúmer:</b> 2011-203	
<b>Unnið fyrir:</b> Umhverfisstofnun.		
<b>Samvinnuaðilar:</b> Orkustofnun. Tengiliður: Kristinn Einarsson		
<b>Útdráttur:</b> Greinargerðin gefur yfirlit yfir helstu álagsþætti sem kunna að varða grunnvatn á Íslandi. Fjallað er almennt um hugsanlega álagsþætti á grunnvatnshlot eins og þau eru skilgreind í lögum nr. 36 frá 2011 um stjórn vatnamála. Gerð er grein fyrir álagi á grunnvatnshlot vegna vatnstöku, álagi sem stafar frá afmörkuðum eða dreifðum uppruna og manngerðum breytingum á rennsli. Ofangreindir þættir afmarkast að mestu við álag vegna athafna mannsins. Til viðbótar er einnig fjallað stuttlega um álagsþætti sem stafa af atburðum sem eiga náttúrulegan uppruna en geta haft áhrif á grunnvatn og gæði þess til lengri eða skemmri tíma. Við mótvægisáðgerðir er mikilvægt að geta skilið á milli þess sem unnt er að hafa áhrif á með beinum aðgerðum og þeirra ferla sem stafa af náttúrulegum breytileika.		
<b>Lykilorð:</b> Stjórn vatnamála, vatnatilskipun, grunnvatn, álag, álagsþættir	<b>Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs:</b> 	
	<b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b>	
<b>Yfirfarið af:</b> JHa, KE		



# Efnisyfirlit

1	Inngangur .....	6
1.1	Aðstæður hér á landi .....	6
2	Flokkun í álagsþætti .....	12
3	Bein vatnstaka úr grunnvatnsgeyminum .....	13
4	Álag vegna mengunar af afmörkuðum uppruna .....	16
4.1	Búseta fólks og helstu þéttbýlisstaðir .....	17
4.2	Mengandi starfsemi sem er starfsleyfisskyld .....	18
4.3	Losun mengandi efna sem berast í grunnvatn .....	19
5	Álag af dreifðum uppruna .....	19
5.1	Landbúnaður og landnotkun .....	19
6	Endurnýjun grunnvatns af mannavöldum .....	20
6.1	Breyting á farvegum og fallvötnum .....	20
6.2	Niðurdæling .....	21
7	Álagsþættir sem ekki er unnt að hafa stjórn á með beinum aðgerðum .....	21
7.1	Breytt innrennsli vegna loftslagsbreytinga .....	22
7.2	Eldvirkni, rof og langt að borin mengun .....	23
8	Samantekt um álagsþætti .....	26
9	Heimildir .....	28

## Myndaskrá

Mynd 1. Heildarafrennsli af landinu og skipting í helstu flokka fallvatna.....	7
Mynd 2. Vatnsnýtingarstuðull þjóða í Evrópu. ....	7
Mynd 3. Grunnvatn á jörðinni .....	8
Mynd 4. Lega helstu lindarsvæða og þáttur grunnrennslis í stærstu vatnsföllum landins. ....	9
Mynd 5. Jarðhiti á Íslandi.....	10
Mynd 6. Skammtíma og langtímabreytingar á magni grunnvatns.....	11
Mynd 7. Greining á álagsþáttum grunnvatns samkvæmt Vatnatilskipuninni .....	12
Mynd 8. Vatnsverndarsvæði samkvæmt skipulagi, vatnstaka og helstu lindasvæði. ....	13
Mynd 9. Tilkynnt vatnsupptaka hjá vatnsveitum fyrir árið 2010 í l/s.....	15
Mynd 10. Aðstæður þegar grunnvatn flýtur á jarðsjó og hætta á saltinnskoti. ....	16
Mynd 11. Dreifing íbúa 2010.....	17
Mynd 12. Innlendar sýkingar af völdum <i>S. typhimurium</i> og <i>S. montivideo</i> . ....	18
Mynd 13. Mengandi starfsemi aðila með starfsleyfi .....	18
Mynd 14. Corine landflokkunarkerfið.....	19
Mynd 15. Vatnsaflvirkjanir á Íslandi árið 2013. ....	20
Mynd 16. Þekkt áhrifasvæði á grunnvatn vegna niðurdælingar eða vatnaveitinga.....	21
Mynd 17. Langtímarennsli Brúarár í Biskupstungum.....	22
Mynd 18. Tengsl úrkomu og langtímarennslis í Brúará.....	23
Mynd 19. Samband ársúrkomu og rennslis í Brúará yfir árin 1961–2007.....	23
Mynd 20. Þróun ákomu blýs (Pb) og króms (Cr) á Stórhöfða 2001–2012. ....	24
Mynd 21. Styrkur þungmálma í andrúmslofti á Stórhöfða 1995–1996 sem hlutfall af styrk þeirra í bergi. Ál er notað sem viðmiðunarefni. ....	25
Mynd 22. Klasagreining eftir útbreiðslu mismunandi efnasambanda.....	26

## Töfluskrá:

Tafla 1 Nyttjavatnstaka árin 2010–2012 .....	14
--	----

# 1 Inngangur

Í samstarfssamningi Umhverfisstofnunar og Veðurstofu Íslands, sem dagsettur er 4. október 2013 er kveðið svo á um að Veðurstofan skuli benda á helstu álagsþætti sem kunni að varða grunnvatn. Í samantekt þessari er fjallað almennt um hugsanlega álagsþætti. Henni er ekki ætlað að setja fram fullyrðingar um álag heldur benda á atriði sem æskilegt væri að huga betur að við slíka greiningu.

Greinargerðin horfir til þeirra atriða sem sett eru fram í lögum nr. 36/2011 um stjórn vatnamála og reglugerð nr. 935 frá 2011 um stjórn vatnamála, sem og í öðrum viðeigandi reglugerðum. Lög nr. 36/2011 innleiða rammatilskipun Evrópusambandsins um vatn (WFD) og var tekið mið af leiðbeiningarskjölum sem fylgja rammatilskipuninni varðandi framkvæmd (European Commission Environment, 2007a, 2007b, 2007c, 2009, 2010).

Í leiðbeiningarskjölunum er lagt til að tekist sé á við viðfangsefnið í áföngum. Í fyrri áfanga verkefnisins er unnið almennt yfirlit, en nákvæmari staðbundin útfærsla unnin þegar frekari yfirsýn liggur fyrir. Þessi samantekt er fyrsta nálgun að hinu almenna yfirliti um álagsþætti grunnvatns. Líta verður á hana sem skjal sem er í þróun og þarf að endurskoða og umbylta eftir því sem vinnunni vindur fram og þekking á viðfangsefninu eykst.

## 1.1 Aðstæður hér á landi

Það er viðtekin venja að flokka vatnsföll hér á landi í þrjár gerðir eftir uppruna; Dragár, lindár og jökulár (Guðmundur Kjartansson, 1945).

Dragár renna fram þar sem úrkoma fellur á þetta jörð og vatnið finnur sér leið í farvegum á yfirborði. Snjóalög geyma vetrarúrkomu fram á vor en á öðrum árstímum bregðast dragár snögg við úrkomu.

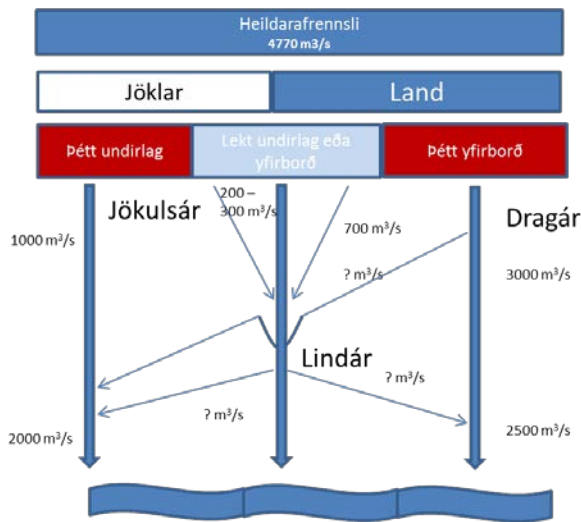
Jökulárnar endurspeglar að jöklar geyma úrkomu milli ára og áratuga. Afrennsli frá þeim fylgir ekki síður sumar- og hausthitum heldur en úrkomusveiflum.

Lindár eiga uppruna sinn þar sem yfirborðslög eða bergrunnur eru svo lek að vatnið getur auðveldlega hripað niður. Það kallast írennsli þegar vatnið hripar niður í jörðina og verður að grunnvatni. Við írennsli safnast vatnið fyrir í grunnvatnsgeymum sem sía út flestar hátíðnisveiflur í úrkomu. Grunnvatnið sígur alla jafna hægt fram undan þyngdaraflinu. Það kemur undan jarðlögum sem lindir og er vel þekkt að lindir komi fram í stöðuvötnum eins og t.d. Þingvallavatni eða neðansjávar. Grunnvatn, eðli þess og hegðun, er meginviðfangsefni þessarar greinargerðar.

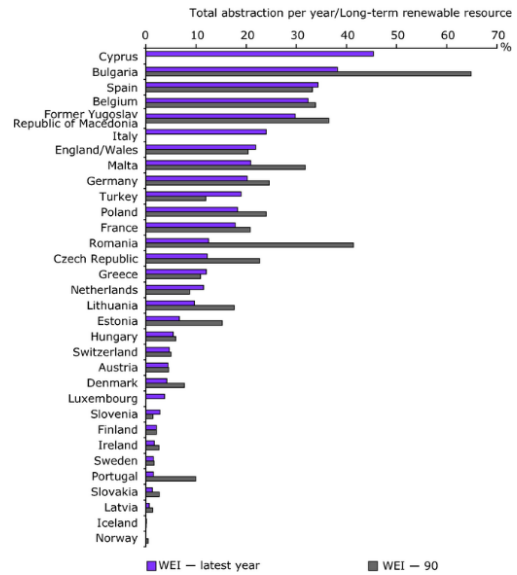
Undanfarin ár hefur Veðurstofan metið afrennsli landsins með vatnafræðilíkaninu WaSiM. Líkanið nýtir m.a. veðurupplýsingar, eiginleika jarðvegs og yfirborðs og landhæðargögn til þess að áætla afrennsli vatnsfalls. Nýjasta mat á heildarafrennsli af landinu er frá árinu 2007 og gefur til kynna að það sé um 4770 m<sup>3</sup>/s (Jóna Finndís Jónsdóttir, 2008).

Enn sem komið er liggja ekki fyrir nákvæmar tölur um meðalafrennsli grunnvatns af landinu en talið er að það sé um 20% af heildarafrennsli eða 1000 m<sup>3</sup>/s og þar af komi um 400 m<sup>3</sup>/s fram á láglandi (Freysteinn Sigurðsson, 1992). Það er fremur fátítt að lindár renni beint til

sjávar án þess að sameinast öðrum vatnsföllum og flest vatnsföll sem innihalda lindarvatn eru í raun blanda af lindám, dragám og jökulám. Lindár hafa mun jafnara rennsli og því minni rofmátt en dragár og jökulár. Það kann að vera umtalsverður hluti skýringarinnar hvers vegna þær langflestar sameinast drag- eða jökulám á leið sinni til sjávar. Sakir þessarar blöndunar þarf að greina lindarvatnspáttinn sérstaklega í bæði dragám og jökulám ef gefa á hugmynd um hve mikill hluti afrennslisins er upprunalega grunnvatn. Mat Freysteins Sigurðssonar (1992) er sett fram myndrænt með tilliti til hefðbundinnar uppskiptingar vatnsfalla á mynd 1.



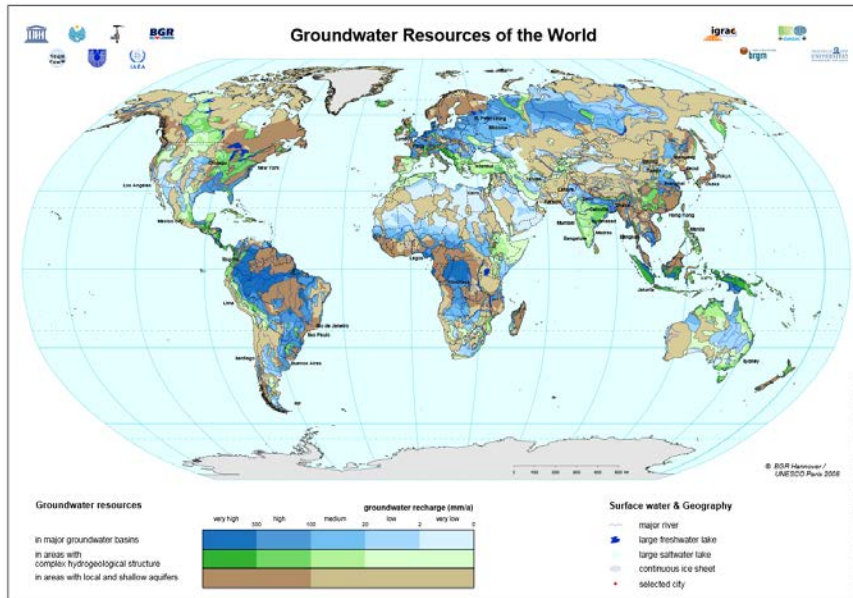
Mynd 1. Heildarafrennsli af landinu og skipting í helstu flokka fallvatna. Byggt á grein Freysteins Sigurðssonar frá 1992.



Mynd 2. Vatnsnýtingarstuðull þjóða í Evrópu (European Environment Agency, 2009).

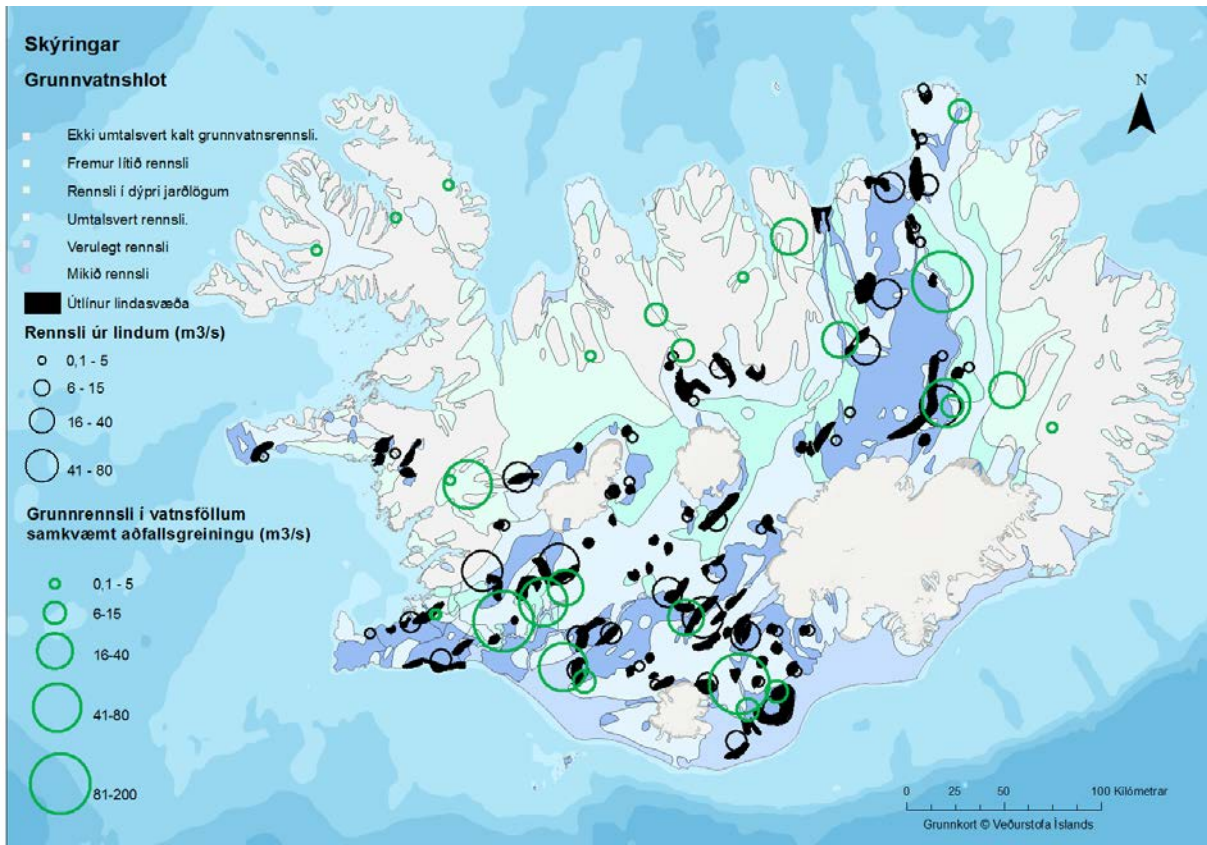
Samkvæmt þessu mati er hlutfall grunnvatnsafrennslis af landinu óvenjuhátt hér á landi miðað við mörg önnur lönd og grunnvatnsauðlindin mikil miðað við það sem almennt gerist (Morris, Lawrence, Chilton, Adams, Calow & Klinck, 2003) (myndir 2 og 3).





Mynd 3. Grunnvatn á jörðinni Morris, Lawrence, Chilton, Adams, Calow & Klinck, 2003).

Stærstu lindarsvæði landsins eru að langmestu leyti bundin við eldvirka beltið og nútímahraun (Mynd 4). Jarðlög þar eru mjög gropin og safnast þar saman mikið grunnvatn. Lindir koma oft fram þar sem gropin jarðlög frá nútíma með mikið grunnvatn mæta eldri og þéttari jarðlögum. Jarðlög á Aust- og Vestfjörðum ásamt Mið-Norðurlandi eru hins vegar almennt ekki mjög vatnsgæf. Bergið þar er mun eldra en á eldvirka beltinu og í tímans rás hafa jarðlögin orðið afar þétt vegna holufyllinga og hitaummyndana. Almenna reglan er að mikil ferskvatnsvinnsla úr bergi verði því ólíklegri sem bergið verður eldra og ummyndaðra. Grunnvatn á landsvæðum með eldra bergi liggur að meginhluta í lausum eða ferskum jarðlögum sem liggja á þéttum berggrunni. Þar sem grunnvatn er að finna í berggrunninum sjálfum fylgir það einkum sprungukerfum á þessum svæðum. Þó má finna víðáttumikið ferskt berg í fjalllendi Vestfjarða, Tröllaskaga og víðar þar sem unnt er að vinna grunnvatn. Raunar er ekki óalgengt að grunnvatn komi lárétt úr fjallshlíðum á skilum milli fersks og ummyndaðs bergs (Grímur Björnsson, Kristján Sæmundsson & Þórólfur Hafstað, 1995).



Mynd 4. Lega helstu lindarsvæða og þáttur grunnrennslis í mörgum stærstu vatnsföllum landsins. Myndin byggir á greiningu Freysteins Sigurðssonar varðandi staðsetningu og rennsli úr lindum (1992). Greining á grunnrennsli í vatnsföllum hefur verið unnin á Veðurstofu Íslands. Flokkun í grunnvatnshlot var unnin á Orkustofnun.

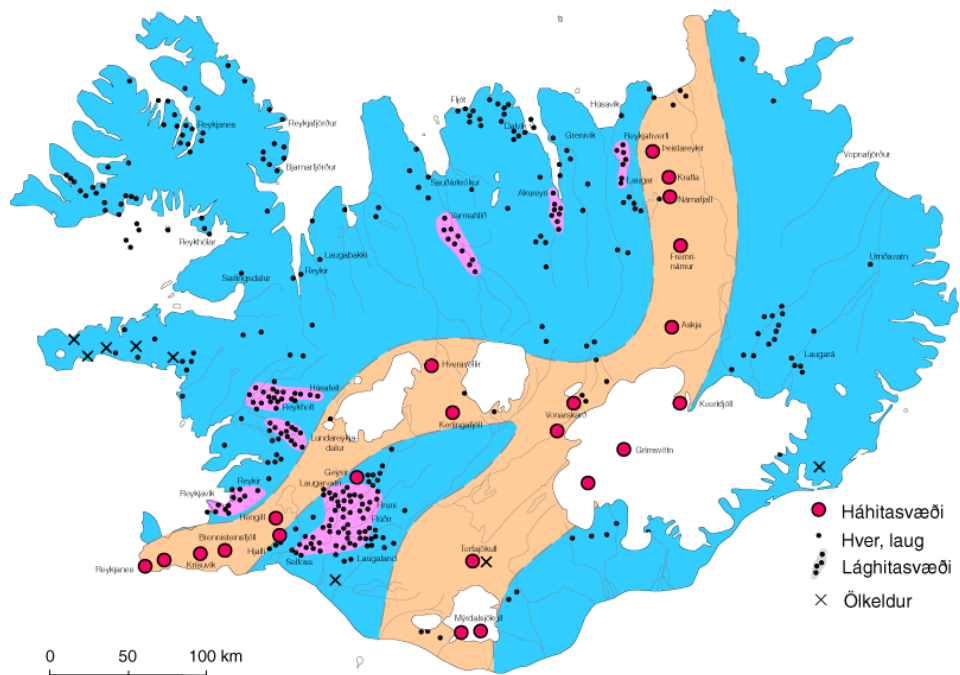
Grunnvatn er nýtt á margan hátt. Um 97% af neysluvatni landsmanna er grunnvatn sem er nokkuð sem fáar aðrar þjóðir geta notið (Veðurstofa Íslands & Orkustofnun, 2014; (European Environment Agency, 2009). Grunnvatn er notað sem neysluvatn til heimila, til matvælaframleiðslu, sem kælivatn fyrir iðjuver og til raforkuframleiðslu. Þá er grunnvatn notað sem orkuberi við stærstu hitaveitur landsins. Gufa frá háhitasvæðum hitar upp grunnvatn sem síðan rennur um dreifikerfi hitaveitnanna og notað til húshitunar. Nánar verður fjallað um nýtingu grunnvatns til mannelis og í framleiðsluferlum í kafla 3.

Eftirsótt er að virkja vatnsföll sem hafa stóran grunnvatnsþátt þar sem jafnt rennsli dregur úr þörf á miðlun og þar af leiðandi stærð uppistöðulóna. Áhrifasvæði virkjananna verða minni og þær ódýrari. Á hinn bóginn er víða mikil náttúrufegurð þar sem lindarvatn streymir fram. Lítið er á marga slíka staði sem tákni ósnortinnar náttúru og friðsældar. Mörg lindarsvæði eru fjölsótt af ferðamönnum enda einkennast lindár oft af fjölbreyttu lífríki og margar þeirra eru gjöfular veiðiár. Meginástæða þessa er sú að grunnvatn sem rennur um langan veg neðanjarðar um glerríkt, ungt berg er oft efnaríkt og myndar oft afar frjósamar aðstæður í lindám (Hrefna Kristmannsdóttir, 2007; Hrefna Kristmannsdóttir, Stefán Arnórsson, Árný Erla Sveinbjörnsdóttir & Halldór Ármannsson, 2010).

Nýting jarðhitavatns tengist mjög grunnvatnsnýtingu. Jarðhiti er nýttur víða um land einkum til upphitunar en einnig til orkuvinnslu og í iðnaði (mynd 5). Jarðhitavatn er alla jafna tekið

neðar í jarðlögunum en grunnvatnið, þó á því séu undantekningar. Heitar lindir renna fram á allmörgum stöðum. Mikil nýting á jarðhita hefur þó víða valdið því að vatnsborð heita vatnsins hefur færst niður, t.d. í Laugarnesi og á Reykjum í Mosfellssveit (Guðmundur Pálmason, 2005; Stefán Arnórsson, 2011; Stefán Arnórsson, Sveinbjörn Björnsson, Haukur Jóhannesson & Einar Gunnlaugsson, 1991).

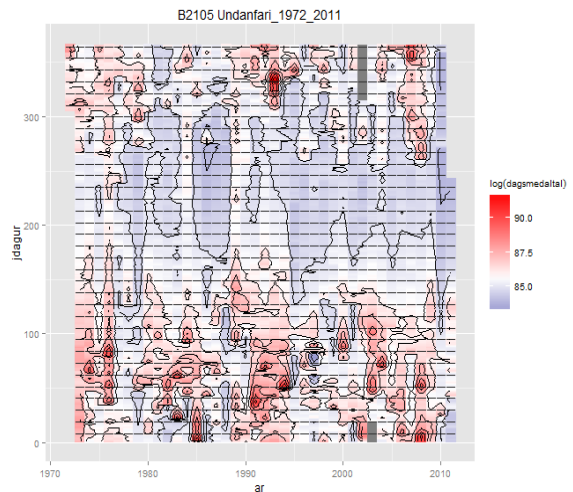
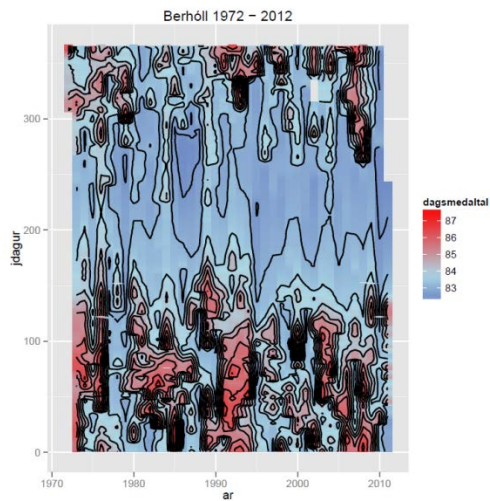
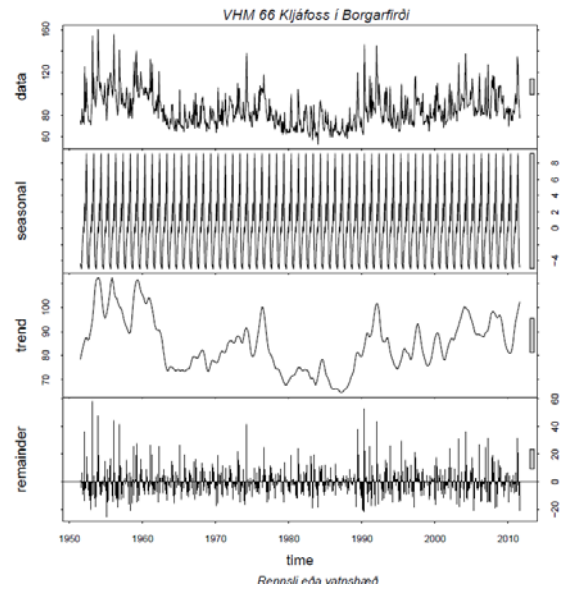
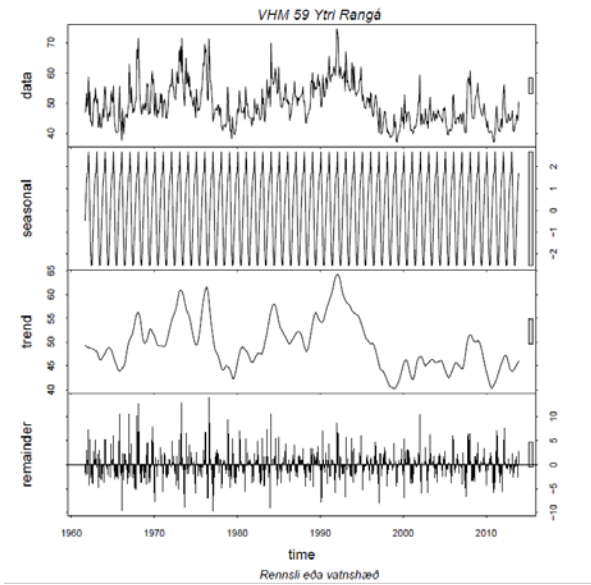
Rétt er að benda á að jarðhitanýting er fyrir utan viðfangsefni þessarar samantektar að öðru leyti en því að fjallað verður um þann afmarkaða þátt jarðhitanýtingar sem snýr að því að losa sig við affallsvatn af háhitasvæðum.



Mynd 5. Jarðhiti á Íslandi. Bleiku svæðin eru lághitasvæði en rauðu punktarnir háhitasvæði. Heimild Orkustofnun.

Áður en fjallað er um helstu álagsþætti á grunnvatn er mikilvægt að fram komi að grunnvatnsrennsli er sjaldnast stöðugt heldur er það háð sömu orsakavöldum og þeim er hafa áhrif á rennsli yfirborðsvatns. Úrkoma, lofthiti og uppsöfnun snævar eða leysing snjófyrninga og jökulíss hafa veruleg áhrif á grunnrennslið þrátt fyrir að það sé að sönnu mun jafnara og minna næmt fyrir skammtímabreytingum en afrennsli af yfirborði. Mynd 6 sýnir annars vegar rennsli í Ytri Rangá og Hvítá við Kljáfoss sem hafa mikinn grunnvatnsþátt, og hins vegar vatnsstöðu í tveimur borholum í Heiðmörk. Á myndinni sést vel hve mikill breytileiki er í rennsli grunnvatns og vatnsstöðu, bæði innan árstíða en einnig milli ára og áratuga.

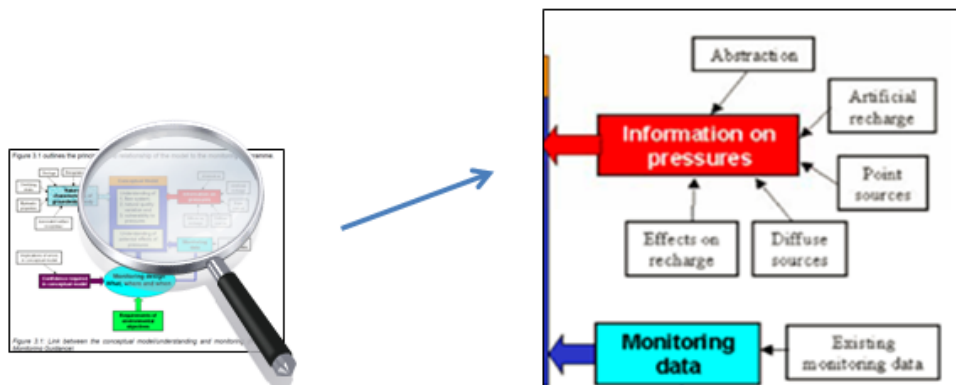
Þeir þættir er ráða mikið til dempun grunnrennslisins eða breytingum í vatnshæð eru lekt og vatnsrýmd jarðlaganna sem vatnið rennur um en auk þess eru aðrir mikilsverðir áhrifavaldar svo sem gerð og lögum grunnvatnsgeymanna eða höggun jarðlaganna.



Mynd 6. Skammtíma- og langtímabreytingar á magni grunnvatns. Efri myndir: Rennslí lindáa í  $m^3/s$  með ríkan grunnvatnspátt. Neðri myndir: Grunnvatnshæð í borholum í Heiðmörk.

## 2 Flokkun í álagsþætti

Líkt mynd 7 sýnir nefnir leiðbeiningaskjal Vatnatilskipunar Evrópu til eftirtalda þætti sem vert væri að skoða varðandi vöktun á álagi á grunnvatn (European Commission Environment, 2007a):



Mynd 7. Greining á álagsþáttum grunnvatns samkvæmt Vatnatilskipun Evrópu (European Commission Environment, 2007a).

Samkvæmt henni eru meginálagsþættir<sup>1</sup>:

- Vatnstaka (Abstraction)
- Endurnýjun grunnvatns af mannavöldum (Artificial recharge)
- Punktupptök mengunar (Point sources)
- Dreifð upptök mengunar (Diffuse sources)
- Áhrif á endurnýjun grunnvatns (Effects on recharge)

Þessi upptalning er nokkuð almenn og myndar ramma utan um viðfangsefnið. Það fer síðan eftir aðstæðum í hverju landi hvaða þættir skipta máli varðandi áhrif af álagi á grunnvatn.

Ofangreind flokkun Vatnatilskipunarinnar aðlöguð að íslenskum aðstæðum gæti skilað eftirfarandi sundurgreiningu í álagsþætti:

- Vatnstaka–bein vatnstaka úr grunnvatnsgeyminum
  - Til neyslu og mannelis
  - Til annarra nota
- Álag vegna mengunar af afmörkuðum uppruna<sup>2</sup>
  - Búseta fólks og helstu þéttbýlisstaðir
  - Mengandi starfsemi
- Álag vegna mengunar af dreifðum uppruna
  - Landbúnaður og landnotkun
- Endurnýjun grunnvatns af mannavöldum (Artificial Recharge) og áhrif hennar
  - Breyting á vatnsvegum
  - Niðurdæling

<sup>1</sup> Þýðingar á ensku hugtökunum fylgja hinni opinberu þýðingu á vatnatilskipuninni.

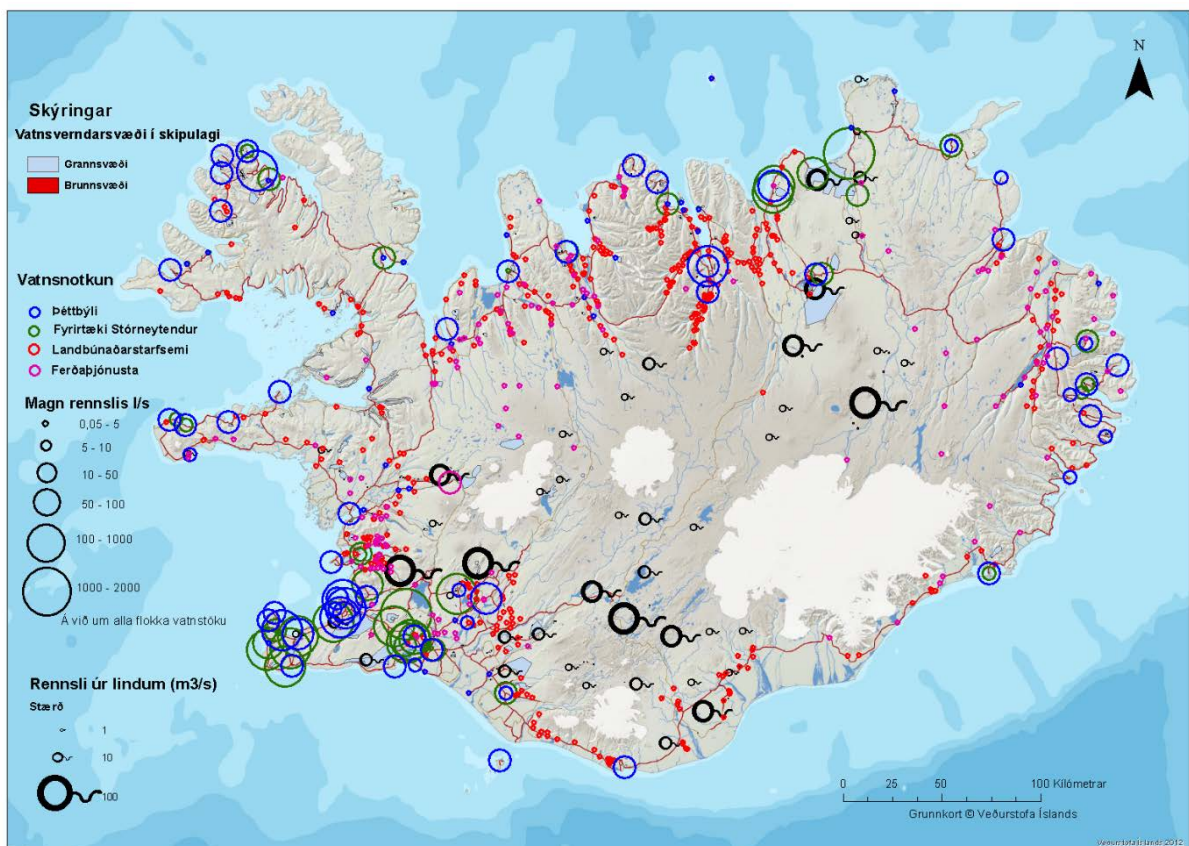
<sup>2</sup> Hér er valið að kalla hugtakið „mengun af afmörkuðum uppruna“ í stað „mengun af punktuppruna“.

- Aðrir áhrifaþættir sem er ekki unnt eða erfitt að hafa stjórn á með staðbundnum aðgerðum
  - Breytt írennsli vegna loftslagsbreytinga
  - Eldvirkni. Rof og langt að borin mengun

Hér að neðan verður fjallað um einstaka þætti þessarar skiptingar.

### 3 Bein vatnstaka úr grunnvatnsgeyminum

Líkt og kom fram í kafla 1.1. er grunnvatn notað sem neysluvatn til heimila, til matvælaframleiðslu, sem kælivatn fyrir iðjuver og til raforkuframleiðslu. Þá er grunnvatn notað sem orkuberi við stærstu hitaveitur landsins. Gufa frá háhitasvæðum hitar upp grunnvatn sem síðan rennur um dreifikerfi hitaveitnanna og notað til húshitunar. Mynd 8 sýnir helstu vatnstökustaði á landinu og til hvers vatnið er notað. Af henni má ráða að álaginu er mjög misskipt. Langmesta vatnstakan er á SV landi, vestarlega á Suðurlandi og síðan á NA landi, einkanlega við Öxarfjörð og Skjálfanda. Dreifingin á vatnsnotkuninni endurspeglar: a) helstu þéttbýlismyndun landsins; b) nálægð við háhitasvæði þar sem verið er að nýta orkuna; og c) aðgengi að rennandi lindarvatni sem ekki er fjarri sjó og unnt er að nýta til fiskeldis. Því er ekki að neita að álagið á SV horninu er orðið umtalsvert. Það er mikilvægt að fylgjast vel með vatnstökunni og nota grunnvatnslíkön sem unnt er að bera saman við mældar stærðir, til að tryggja að fyllsta öryggis sé gætt. Helstu nýtingaraðilar á þessu svæði eins og Orkuveitan,



Mynd 8. Vatnsverndarsvæði samkvæmt skipulagi, vatnstaka og helstu lindasvæði.

Hitaveita Suðurnesja og Landsvirkjun nýta sér grunnvatnslíkön í rekstri sínum, sjá t.d. Verkfræðistofan Vatnaskil (2012) og Eric M. Myer & Sveinn Óli Pálmarrsson (2013)

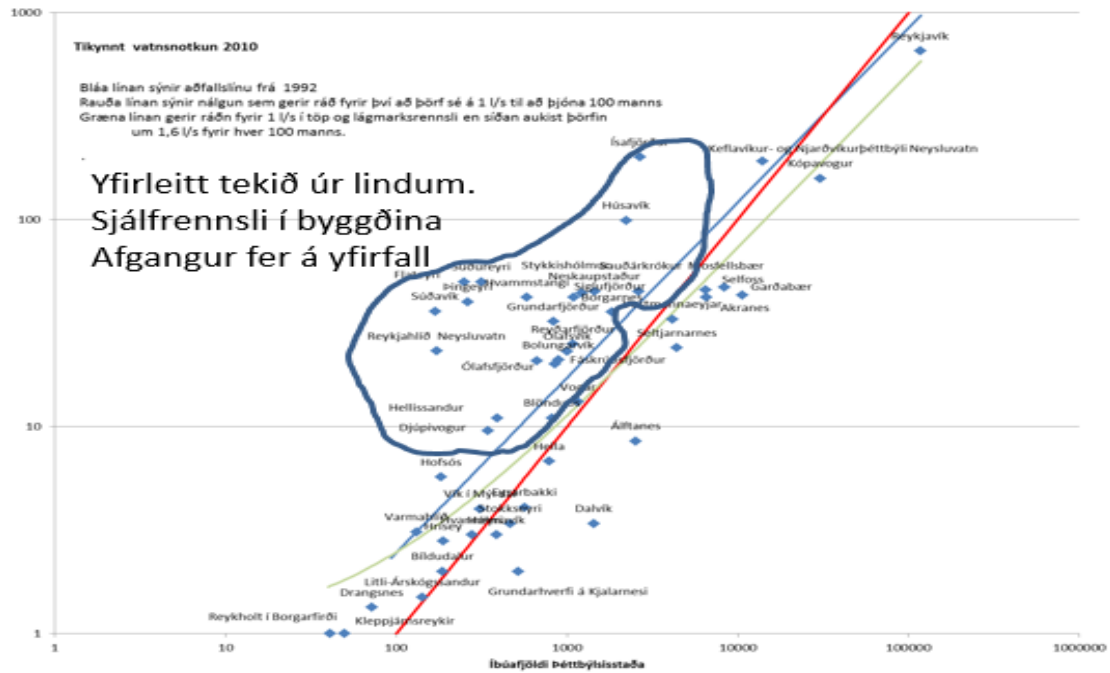
Tafla 1. sýnir þá vatnstöku sem hefur verið skráð undanfarin ár (Veðurstofa Íslands, Orkustofnun, Nytjavatnsgrunnur óbirt gögn).

*Tafla 1 Nytjavatnstaka árin 2010–2012.*

	2010	2011	2012
	l/s	l/s	l/s
Þéttbýli	2500	2524	2331
Stakar veitur	82	119	124
Samveitur í dreifbýli	90	88	88
Samveitur í þéttbýli	219	343	331
Fyrirtæki	6241	6720	6634
Samtals	9132	9794	9508

Langstærsti hluti notkunarinnar skiptist milli þéttbýlis og fyrirtækjareksturs. Stærsti hluti þess sem fyrirtæki nota er annað hvort til varmaskipta eða í fiskeldi. Grunnvatnið sem er nýtt til matvælaframleiðslu eða iðnaðarstarfsemi er um 1% af því sem áætlað er að renni fram sem grunnvatn, sbr. mynd 2. Íslendingar nota mun meira vatn á íbúa en aðrar þjóðir, en það stafar væntanlega af því að auðlindin er afar stór þegar litið er á landið í heild. Það sem skilur okkur þó verulega frá öðrum þjóðum er að mikið af nýttu grunnvatni er lindarvatn. Víða er auðvelt að ná þessu vatni án þess að dæla því þar sem það rennur fram í hlíðum ofan við byggð. Þetta sést nokkuð vel á mynd 9. Nýting með þeim hætti er því ekki upptaka úr grunnvatnsgeyminum og veldur ekki auknu álagi á hann sem slíkan. Breytingin er sú að lindarvatn sem kom fram á yfirborði er í raun horfið og skilar sér ekki til þess yfirborðsvatnsholts sem það gerði áður og kann það að hafa áhrif á það umhverfi sem fyrir var á yfirborði.v

Rýmd og lekt grunnvatnsgeymis ræður mestu um hvort vatnstakan sjálf hefur áhrif. Þegar meira er tekið úr grunnvatnsgeyminum en rennur að dregst vatnsborðið niður. Við það eykst rennsli að vatnstökustaðnum. Alla jafna þolir vatnsgeymirinn einhvern niðurdrátt meðan rýmd hans er vel umfram vatnstökuna.



Mynd 9. Tilkynnt vatnsupptaka hjá vatnsveitum fyrir árið 2010 í l/s (y-ás). Á stöðunum sem falla innan bláa flákans er vatnstaka yfirleitt úr sjálfrennandi lindum þar sem afgangur fer á yfirfall.

Veruleg vatnstaka getur í einhverjum tilvikum orsakað það mikinn niðurdrátt að vatn utan geymisins, sem álitid er óhentugt til neyslu, berist inn í hann. Bæði kann að vera yfirborðsvatn berist niður í geyminn en eins getur verið um mengað grunnvatn að ræða. Einkanlega þarf að huga að slíkum aðstæðum hérlandis þegar til þess að gera kyrrstæð grunnvatnslinsa flýtur á sjó. Þessar aðstæður eru við utanvert Reykjanes, í Vestmannaeyjum og annars staðar þar sem vel leiðandi jarðlög liggja að sjó. Vatn er nokkru eðlisléttara en sjór en eðlismassi vatns er í kringum  $1 \text{ g/cm}^3$  á meðan eðlismassi sjávar er um  $1,025 \text{ g/cm}^3$  við  $20^\circ\text{C}$ . Eðlismassi sjávar er þó talsvert breytilegur og háður seltuinnihaldi og hita.

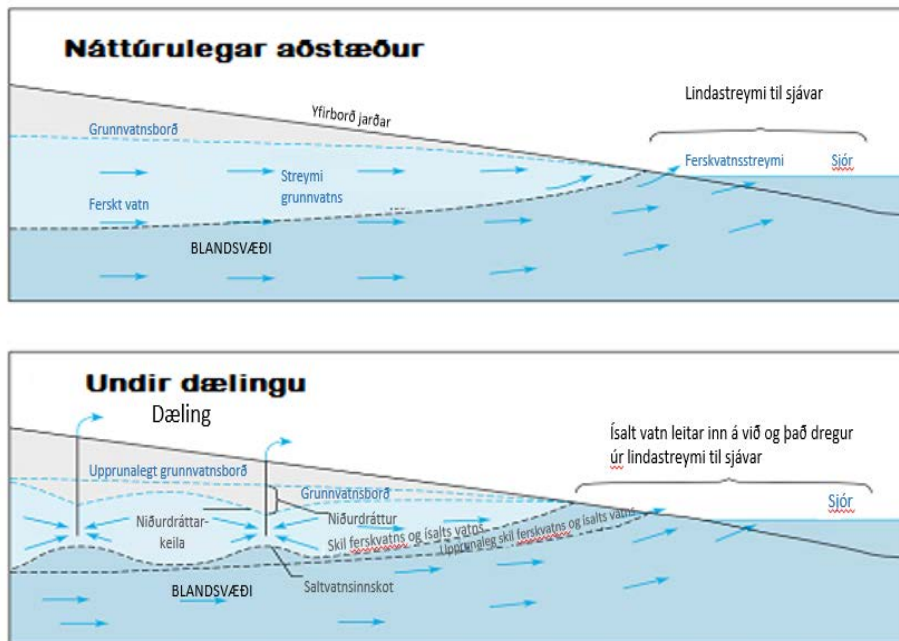
Við einfaldar aðstæður þar sem kyrrstætt vatn flýtur á jarðsjó og jörð er ekki lagskipt gildir líking sem kennd er við Ghyben Herzberg., sjá t.d. Wentworth (1947). Líkingin er eftirfarandi:

$$z = \frac{\rho_f}{(\rho_s - \rho_f)} h \quad \text{þar sem } \rho_f \text{ er eðlisþyngd ferskvatns } 1 \text{ g/cm}^3, \text{ og } \rho_s \text{ er eðlisþyngd sjávar } 1,025 \text{ g/cm}^3$$

Af þessu leiðir að  $z = 40h$



Þegar vatni er dælt úr grunnvatnsgeymi myndast niðurdráttarkeila í kringum mannvirkið. Samkvæmt Ghyben Herzberg líkingunni myndi dæling sem orsakar 20 cm niðurdrátt fvalda því að yfirborð jarðsjávar hækki um 8 m.



Mynd 10. Aðstæður þegar grunnvatn flýtur á jarðsjó og hætta er á saltinnskoti (Carruth, 2003).

Þegar grunnvatnslinsan er um 20–30 m þykk eins og er víða á Reykjanesskaga er tekin áhætta varðandi það að jarðsjórinn mengi grunnvatnið sé þess ekki gætt að haga dælingu í samræmi við það sem svæðið getur gefið. Aðstæður á þessum stöðum eru þó í raun mun flóknari en þetta. Til að mynda eru vatnsveitar þar mjög vel leiðandi sem orsakar minni niðurdrátt en ella og auk þess er verulegur munur á láréttri og lóðréttri lekt jarðlaganna. Hins vegar er hættan til staðar á þessum stöðum sé ekki varlega farið. Þess vegna er mikilvægt að gæta fyllsta öryggis og dæla ekki meira en svo að niðurdráttur sé vel innan skilgreindra öryggismarka. HS Orka er stærsti nýtingaraðili á utanverðu Reykjanesi. Fyrirtækið stendur fyrir umfangsmikilli vöktun á ferskvatnsforða á vinnslusvæðum sínum. Þessi vöktun samanstendur m.a. af símælingum á grunnvatnshæð, leiðni og hitastigi á völdum stöðum sem og efnaeftirliti í eftirlitsholum á brunnsvæði vatnsverndar. HS Orka styðst í rekstri sínum við grunnvatnslíkan sem nýtir sér ofangreindar upplýsingar auk ýmissra annarra stoðmælinga, sjá t.d. (Jón Einar Jónsson og Sverrir Óskar Elefsen ,2013; Finnbogi Óskarsson og Vigdís Harðardóttir, 2014; Eric M. Myer, 2013)

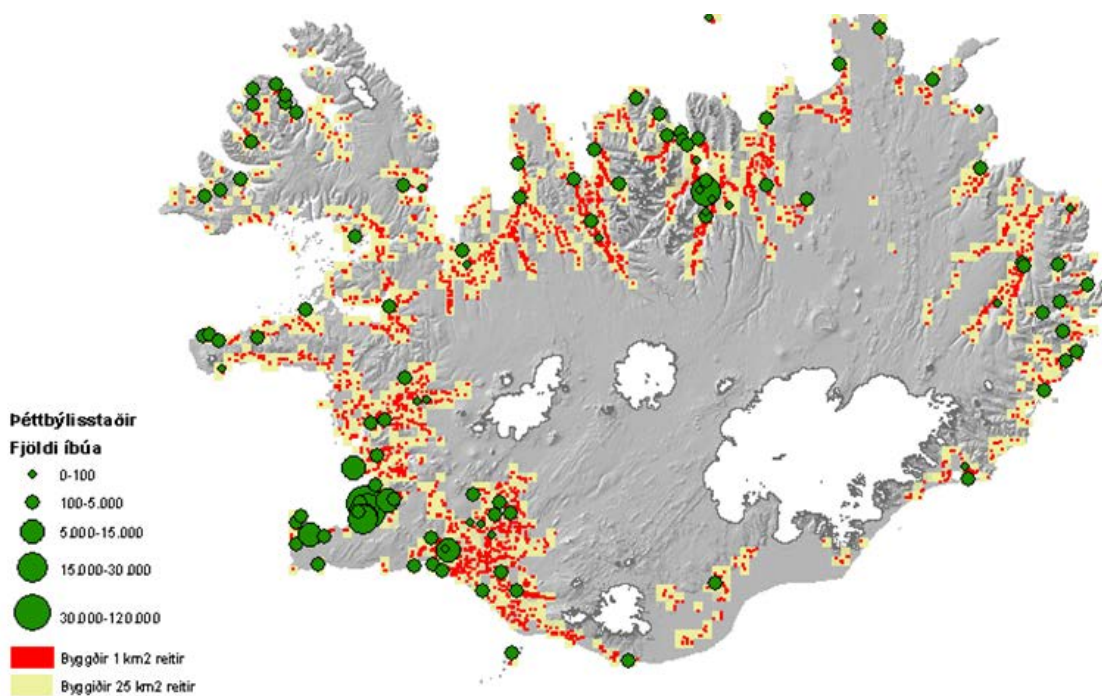
## 4 Álag vegna mengunar af afmörkuðum uppruna

Álagsmat vegna mengandi efna er innan verkefnis um stjórn vatnamála á forræði Umhverfisstofnunnar og er gerð grein fyrir þeim þáttum bæði í stöðuskýrslu fyrir vatnasvæði Íslands (Jóhanna Björk Weissappel o.fl., 2013) sem og á heimasíðu stofnunarinnar. Í

Þessari samantekt er því eingöngu fjallað stuttlega um álagsmat vegna mengandi efna til þess að halda heildarsýn yfir alla þá þætti sem haft geta áhrif á grunnvatn.

#### 4.1 Búseta fólks og helstu þéttbýlisstaðir

Það gefur auga leið að álag og hætta á að skaða grunnvatn vegna mengandi efna, ákomu næringarefna eða beinna inngrípa eykst eftir því sem meiri byggð er nærri helstu grunnvatnsgeymum og aðrennsli að þeim. Með auknum þéttleika byggðar fylgja álagspættir eins og loftmengun, förgun spilliefna, frárennsli og förgun úrgangs. Þar fyrir utan vex álagið vegna aukinnar umferðar yfir aðrennsli- eða safnsvæði vatnsbóla. Það er alla jafna staðbundið álag t.d. vegna slæmrar umgengni eða óviðunandi frágangs sem skaðar vatnsból hvað mest. Mynd 11 sýnir vel að íbúabyggð afmarkast að langmestu við láglandið og meðfram strandlengju landsins (Eiður K. Eiðsson, 2010). Álag af hennar völdum gætir nánast ekki neitt utan þeirra svæða.



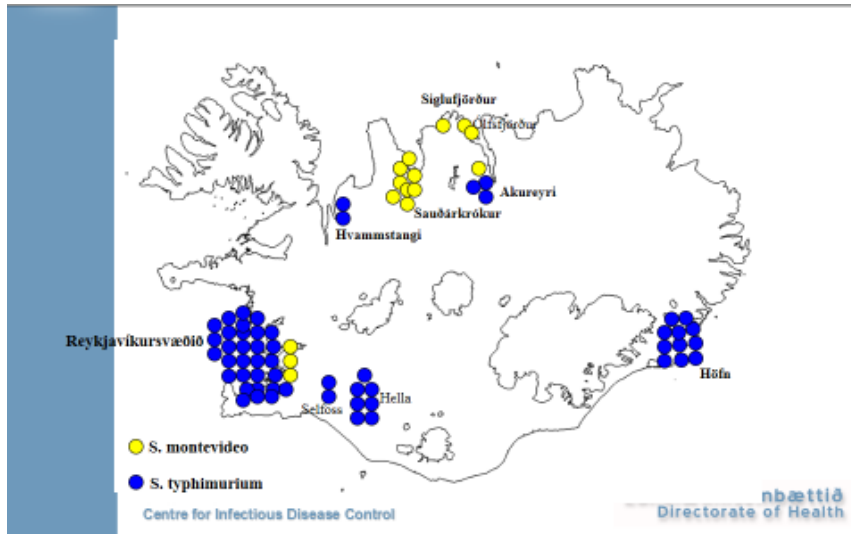
Mynd 11. Dreifing íbúa 2010. (Íbúafjöldi: Heimild: Hagstofa Íslands (2013), Reitaskipting: Heimild, Eiður K. Eiðsson (2010).

Það var ekki fyrr en líða tók vel á síðustu öld sem Íslendingar gerðu sér almennt grein fyrir hugsanlegum neikvæðum áhrifum á grunnvatn af völdum búsetu. Víða þarf enn að taka til hendinni varðandi gamla urðunarstaði og vinnusvæði sem kunna að innihalda efni sem mengað getur úrgang.

Þá ber enn fremur að huga að þeim mannvirkjum sem enn eru í notkun. Ófullnægjandi frágangur rotþróa veldur hugsanlegu álag á grunnvatnsauðlindina þar sem fráveituvatn rennur ekki beint til sjávar. Mynd 12 sýnir sýkingafaraldur sem gekk yfir árin 1999–2000. Það vekur athygli að hlutfallslega flestar þessar sýkingar eru á stöðum þar sem fráveituvatn fer ekki beint til sjávar heldur í jarðveg eða yfirborðsvatn.

Leiddar eru líkur að því að sýkingin kunni að hafa stafað af óviðunandi frágangi af frárennsli (Landlækniseimbættið/Sóttvarnarlæknir, 2005; María J. Gunnarsdóttir, 2005). Hið sama

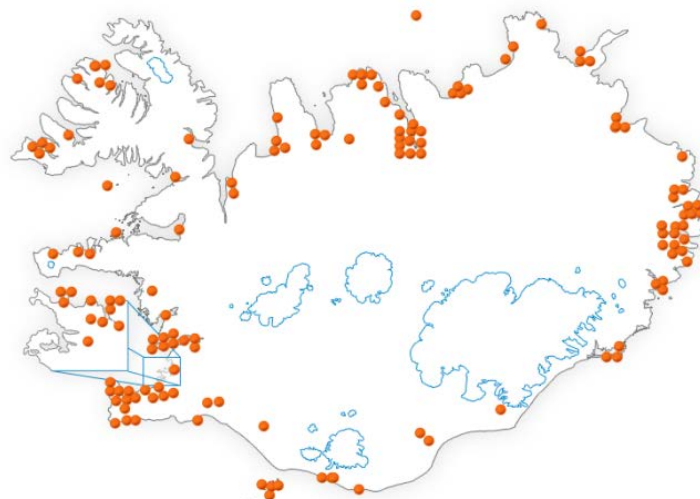
gildir um Noro- verusýkinguna á Húsafelli árið 2004. Gallað frárennsli þar sem afrennsli fer í grunnvatn er ein alvarlegasta ógnunin við gæði grunnvatnsauðlindarinnar þar sem slíkt ástand getur valdið alvarlegum sýkingum.



Mynd 12 Innlendar sýkingar af völdum *S. typhimurium* og *S. montevideo*: 31.7.1999 – 31.7.2000 (Haraldur Briem, 2005).

## 4.2 Mengandi starfsemi sem er starfsleyfisþyngd

Mengandi starfsemi er samkvæmt heimasíðu Umhverfisstofnunar hjá um 140 aðilum en af þeim eru 31 starfsleyfisþyngdir skv. IPPC. Nánari upplýsingar er að finna á heimasíðu Umhverfisstofnunar. Heitið IPPC vísar til tilskipunar Evrópusambandsins um Integrated Pollution Prevention and Control (European Commission Environment, 2014). Hér er yfirleitt um að ræða stórar verksmiðjur og framleiðslufyrirtæki sem geta mengað verulega séu ekki ströngustu umhverfiskröfur uppfylltar.



Mynd 13. Mengandi starfsemi aðila með starfsleyfi skv. Heimild, Umhverfisstofnun.

Langstærsti hluti mengandi starfsleyfis skyldrar starfsemi á Íslandi er staðsett nærri ströndu svo grunnvatni á landsvísu stafar almennt ekki veruleg hættu af frárennsli frá þeim. Á því eru þó undantekningar og þarf slík starfsemi sérstaka aðgát.

### 4.3 Losun mengandi efna sem berast í grunnvatn

Þekkt eru nokkur dæmi hér á landi um að mengandi efni hafi verið losuð í umhverfið með þeim hætti að þau hafi borist beint í grunnvatn. Þar er oft um að ræða ófullnægjandi frágang á urðunarstöðum, en einnig hafa leysiefni borist niður í gropið hraun við Keflavíkurflugvöll (María J. Gunnarsdóttir, 2005; Meyles, 2006; Snorri Páll Snorrason, 1991).

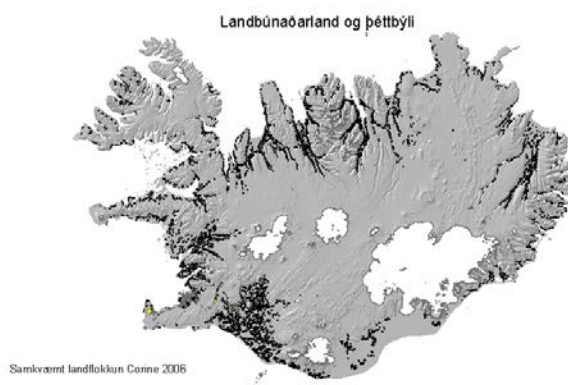
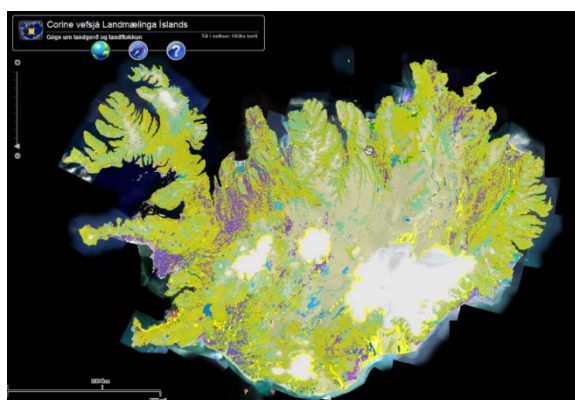
Fjallað er nánar um losun jarðhitavats í kafla 6.2 „Niðurdæling“.

## 5 Álag af dreifðum uppruna

### 5.1 Landbúnaður og landnotkun

Landbúnaður og ræktun jarðar, einkum áburðargjöf, búfjárúrgangur og notkun illgresis- og pláguedyða getur haft veruleg áhrif á gæði grunnvats. Það stafar af því að þessi efni eru borin á jörð og hluti þeirra skolast af í næstu farvegi eða hripar niður í jörðina. Víða erlendis er næringarefnaauðgun í ám og vötnum verulegt vandamál. Fá tilvik hafa verið nefnd hér á landi en hins vegar hefur næringarefnaauðgun ekki verið rannsökuð sérstaklega. Það þyrfti að kanna til að ganga úr skugga um hvort sú er raunin. Jafnframt þarf að athuga mögulegt álag á viðkvæmari svæðum sem vitað er að eru undir miklu álagi. Þrátt fyrir að næringarefnaauðgun sé ekki talin vandamál varðandi grunnvatn hérlendis verður að fylgjast með því að næringarefni og/eða illgresis- og pláguedyðar berist ekki í vatnsból.

Með tilkomu Corine landflokunarkerfisins hefur fengist góð yfirsýn yfir helstu landnot hér á landi. Þekjan á mynd 14 hér að neðan er tekin úr Corine landflokunarkerfi Landmælinga Íslands. Hún sýnir legu helstu mannvirkja, hvar jarðrækt fer fram og skógræktarsvæði. Myndin gefur allgóða mynd af því á hvaða svæðum er líklegt að helstu álagsþættir efna- og næringarefna mengunar séu. Álagið er að langmestu leyti við ströndina og á undirlendi landsins, samhangandi við helstu þéttbýlissvæðin.

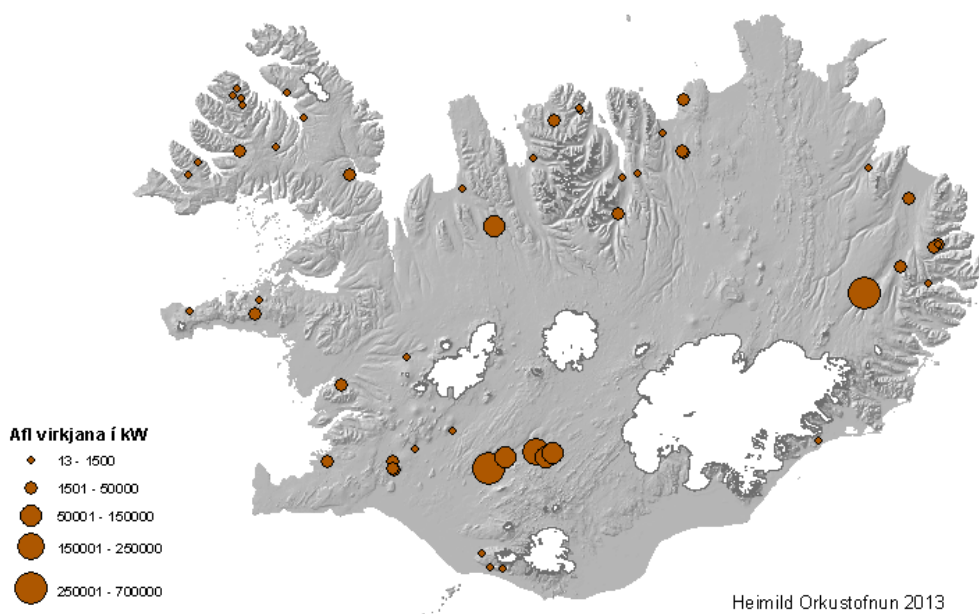


Mynd 14. Corine landflokunarkerfið <http://atlas.lmi.is/corine/> til vinstri. Myndin t.h. sýnir búsetu, bújarðir og skógræktarsvæði skv. Corine 2006.

## 6 Endurnýjun grunnvatns af mannavöldum

### 6.1 Breyting á farvegum og fallvötnum

Vatnsafl hefur til langs tíma verið virkjað á Íslandi og stærstu virkjanirnar (mynd 15) byggja á umtalsverðum breytingum á rennsli, veitingu vatns og auruppsöfnun í lón. Vatnsaflsvirkjanir og vatnsveitur geta breytt framburði og haft áhrif á vatnsborð og írennsli vatns til grunnvatnshlota. Það er vel þekkt á Tungnaár-/Þjórsársvæðinu að Þórisvatnsmiðlun, Krókslón og Hágöngulón hafa haft veruleg áhrif á grunnvatnsstöðuna þar. Grunnvatnshæðin og lindarrensli þar endurspeglar nokkuð ákveðið vatnsstöðu í lónunum á hverjum tíma. Þá hefur tilkoma mannvirkjana breytt rennslisáttum vatnsfallanna, auk þess sem grófasti hlutur aurburðar hefur fallið út í t.d. Krókslóni, Sultartangalóni, Blöndulóni og Hálslóni. Það vatn sem rennur út úr þessum lónum inniheldur nú töluvert minna af grófum aur en áður og er aurburður ekki lengur í jafnvægi við rennslið. Í kjölfarið hafa vatnsföllin tilhneigingu til að taka upp efni í farveginum fyrir neðan mannvirkin (Haukur Tómasson, 1982; Davíð Egilson o.fl., 1991; Almenna Verkfræðistofan, 2003, 2006; Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2013). Vatnsföllin grafa sig niður í árfarveginn og hann getur orðið mun afmarkaðri. Það kann að hafa áhrif á stöðu grunnvatns nærri farveginum. Loks er vert að nefna að sakir mikils framburðar jökulvatna myndast alla jafna þéttur botn þar sem þau renna. Við flóð þegar vatnsfallið rúmast ekki lengur innan farvegarins flæðir áin út fyrir bakka sína. Þegar það gerist rennur yfirleitt mikið í undirliggjandi grunnvatnsgeymi. Þegar búið er að virkja ána fer hún sjaldan upp úr farvegi sínum enda er tilgangurinn að jafna rennsli.

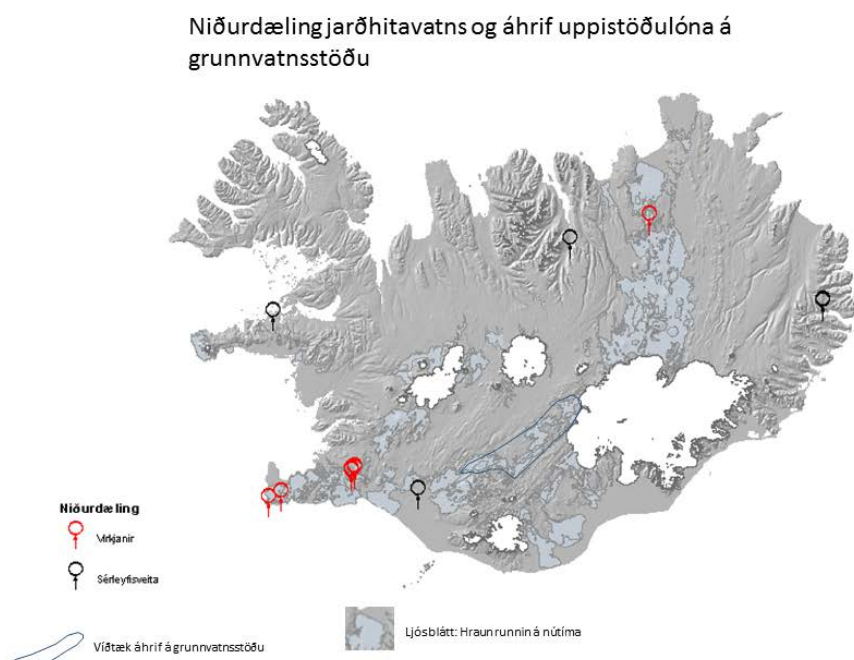


Mynd 15. Vatnsaflvirkjanir á Íslandi árið 2013.

Allt eru þetta atriði sem vert er að huga að þegar teknar eru ákvarðanir um breytingar á vatnsvegum. Það eru minni líkur á að litlar virkjanaframkvæmdir utan eldvirka beltisins hafi umtalsverð áhrif á grunnvatnsauðlindir í grennd við sig. Hins vegar verður að hafa þann möguleika í huga þar sem grunnvatnsveitar eru undir miklu álagi fyrir.

## 6.2 Niðurdæling

Niðurdæling á vatni er hér á landi er nánast eingöngu bundin nýtingu jarðhitasvæða (mynd 16). Gufan sem kemur upp við vinnsluna er kæld niður svo úr verður affallsvatn. Því er yfirleitt fargað með losun á yfirborði eða dælingu niður í dýpri jarðlög. Niðurdælingaholur eru um 260–270 m djúpar á Hellisheiði og 490 m í Kröflu. Dælingin er þar það djúpt að hún telst fyrir utan hefðbundna skilgreiningu á grunnvatni. Áhrif niðurdælingarlosunar á grunnvatn geta orðið umtalsverð eins og t.d. losunin á Nesjavöllum út í hraunið og þaðan í Þingvallavatn ef ekki er gætilega farið.



Mynd 16. Þekkt áhrifasvæði á grunnvatn vegna niðurdælingar eða vatnaveitinga. Heimild varðandi niðurdælingu: Orkustofnun 2014 Óbirt gögn.

Leki úr lónum eins og er á Þjórsár-/Tungnaársvæðinu hefur mjög sambærileg áhrif á grunnvatnsstöðu og niðurdælingu á vatni. Breytt vatnsstaða í Þórisvatni, Krókslóni, Sultartangalóni og Hágöngulóni hefur mjög víðtæk áhrif á grunnvatnsstöðuna þar í kring.

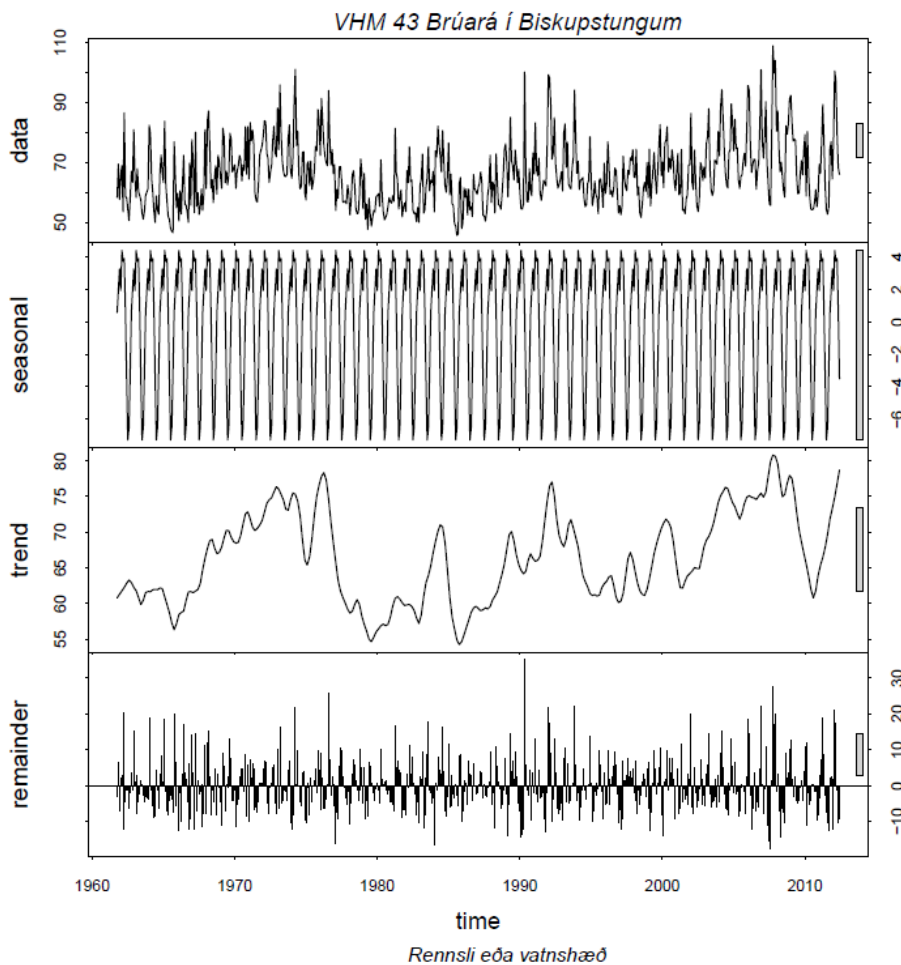
## 7 Álagsþættir sem ekki er unnt að hafa stjórn á með beinum aðgerðum

Jarðsagan sýnir ljóslega að umhverfið er undir stöðugum breytingum. Þegar meta á áhrif mannsins á umhverfið þarf að greina þau frá hinum náttúrulega breytileika. Þar fyrir utan eru ýmis áhrif vegna aðgerða mannsins engan veginn staðbundin heldur geta þau náð yfir stærra svæði eða jafnvel heimsins alls. Dæmi um slíkt er losun þrávirkra mengandi efna sem berast um heim allan. Loftslagsbreytingar hvort sem þær stafa af mannavöldum eða eru hluti af hinum náttúrulega breytileika ná eðlilega til grunnvatnsrennslis, bæði með áhrifum á

úrkomudreifingu og eins með breyttum vatnsbúskap jökla. Hluti leysingarvatnsins sígur í jörðu og berst fram sem grunnvatn. Væntanlega verður ákaflega umdeilt hvað eru manngerð áhrif og hver er náttúrulegur breytileiki í slíkum tilvikum. Óháð því þurfa þeir sem ætla að greina hvort góðu vistfræðilegu ástandi<sup>3</sup> hefur verið náð að skilja á milli þess sem unnt er að ná með staðbundnum mótvægisáðgerðum og þess sem er utan seilingar vegna þróunar sem staðbundnar áðgerðir ná ekki til.

## 7.1 Breytt innrennsli vegna loftslagsbreytinga

Vel er unnt að sjá langtímabreytingar í mæliritum þeirra vatnsfalla sem hvað lengst verið mæld, sbr. mynd 17.

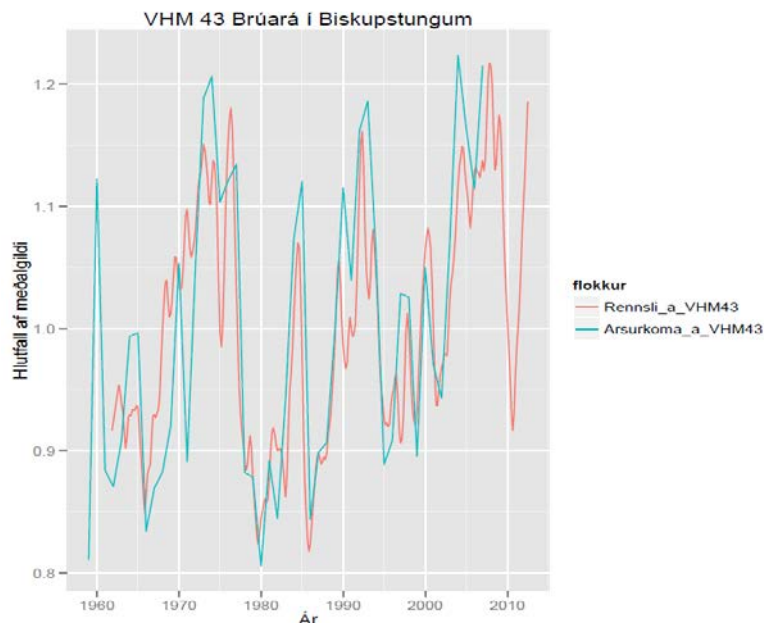


Mynd 17. Langtímarennisli Brúarár í Biskupstungum. Mælieingin er í  $m^3/s$ .

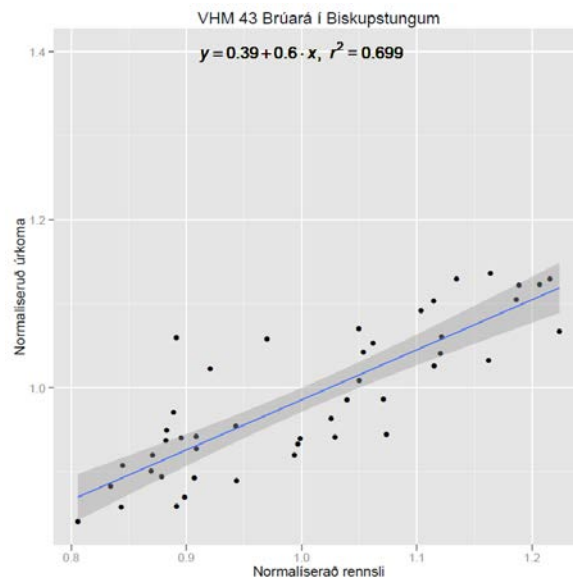
Þessar breytingar endurspeglar breytingu í veðurfari. Líkt og kom fram í kafla 1.1. hafa úrkoma, lofthiti og uppsöfnun snævar eða leysing snjófyrninga og jökulíss veruleg áhrif á grunnrennslið. Í tilviki Brúarár má t.d. sjá afgerandi tengsl úrkomu á vatnasviðið og langtímarennisli (mynd 18). Í öðrum tilvikum þar sem jökulþáttur vatnsfallsins er stærri kann sambandið að vera talsvert flóknara.

<sup>3</sup> Opinber þýðing vatnatilskipunarinnar á „good ecological status“.

Unnt er að vita af þessum álagsþætti og hugsanlegum áhrifavöldum en beinar aðgerðir til að hafa áhrif þar á duga skammt.



Mynd 18. Tengsl úrkomu og langtímarennslis í Brúará. Athugið að bæði úrkoma og langtímarennslis eru teiknuð sem hlutfall af meðaltali hvorrar raðar.



Mynd 19. Samband ársúrkomu og rennslis í Brúará yfir árin 1961–2007.

## 7.2 Eldvirkni, rof og langt að borin mengun

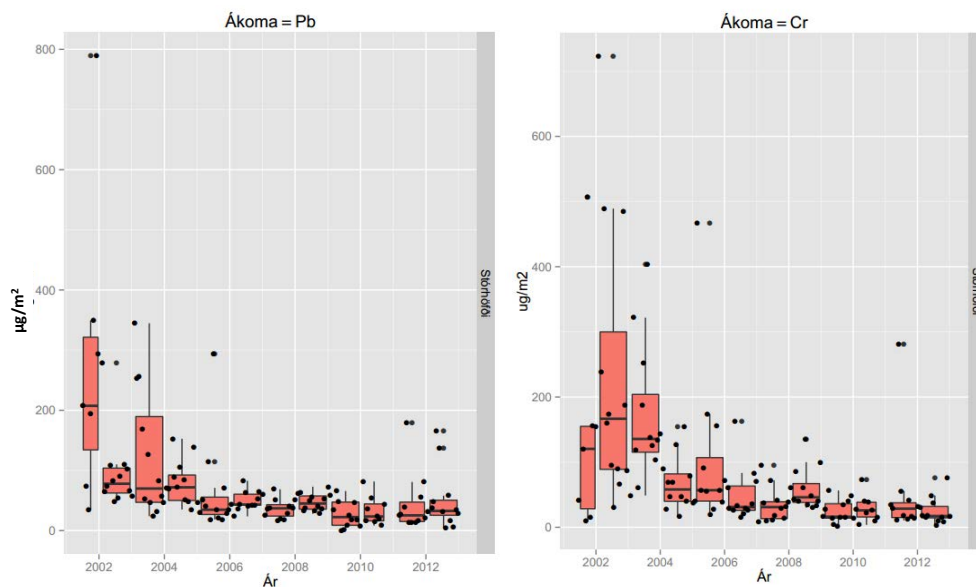
Eldvirkni, rof og langt að borin mengunarefni geta haft áhrif á efnasamsetningu vatns. Lögum um stjórn vatnamála er ætlað að greina áhrif mannsins á ástand náttúrunnar en undanskilja áhrif sem rekja má til náttúrulegs breytileika. Til þess að geta greint þar á milli er nauðsynlegt að hafa þekkingu á þeim bakgrunnsgildum sem ríkja á hverjum stað og hvað



hefur áhrif á þau. Augljósir áhrifavaldar eru annars vegar landrænir þættir eins og bergrunnur og jarðvegsgerð, gróðurfar og áfok, og hins vegar breytilegt ytra umhverfi sem kann t.d. að stafa af eldgosum eða loftslagsbreytingum. Það skiptir miklu við framkvæmd laganna að greina slík áhrif frá þeim sem rekja má beint til staðbundinna athafna mannsins þegar áhöld eru um ástand vatnshlots. Einkum og sér í lagi er þetta mikilvægt á Íslandi þar sem áfok og eldvirkni geta haft umtalsverð áhrif á efnastyrk ýmissa efna sem eru skilgreind sem mengandi efni.

Veðurstofa Íslands vaktar styrk þungmálma í andrúmslofti á Stórhöfða í Vestmannaeyjum og Reykjavík, styrk þrávirkra lífrænna efna á Stórhöfða og styrk brennisteins á Írafossi. Þetta er gert í samræmi við alþjóðlega samninga Íslands um eftirlit með dreifingu mengandi efna á alþjóðavísu.

Á meginlandi Evrópu hefur mengun minnkað verulega hin síðari ár og styrkur þungmálma á vöktunarstöðum Veðurstofunnar hefur almennt farið minnkandi í samræmi við það sem er að gerast í Evrópu. Eins og sjá má á mynd 20 sýna mælingar á Stórhöfða að ákoma blýs hefur farið minnkandi í samræmi við þá þróun sem hefur sést í Evrópu. Sömuleiðis virðist ákoma króms (Cr) fara minnkandi. Gröfin sýna öll mæld sýni. Einstaka atburðir geta gefið útgildi. Skoða þarf gögnin sérstaklega með tilliti til gæðaflöggunar sýnanna.



Mynd 20. Þróun ákomu blýs (Pb) og króms (Cr) á Stórhöfða 2001–2012.

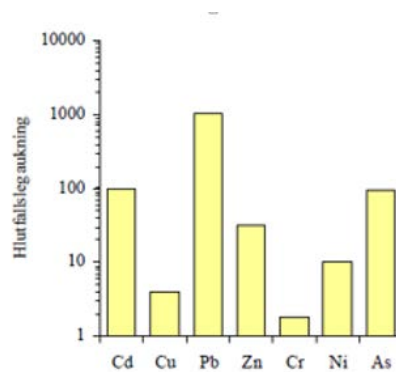
Þessi þróun sést í ýmsum öðrum efnum, s.s. kadmíum, sem berast til landsins með langt að borinni mengun. Styrkur annarra efna hefur staðið í stað, langtímasveiflur í styrk eru ekki óalgengar eða styrkurinn hefur jafnvel aukist. Dæmi um slík efni eru arsen (As), járn (Fe) og ál (Al). Styrkur þeirra hefur almennt lækkað í Evrópu en ekki á Íslandi. Líklegt er að innlendar uppsprettur séu orsakavaldar, einkum náttúrulegar s.s. eldgos og svifryk.

Mjög áhugaverðar rannsóknir á þessum þáttum eru mælingar á þungmálmum og brennisteini í mosa á Íslandi sem er fjölþjóðlegt vöktunarverkefni (ICP Vegetation) sem Náttúrufræðistofnun Íslands hefur tekið þátt í frá 1990 (Sigurður H. Magnússon, 2013a, 2013b).

Mosi safnar í sig þungmálmum og eins þrávirkum lífrænum efnum. Upphaflega var sýnatökusvæðum dreift á landið í heild en auk þess var bætt við sýnatökustöðum í nágrenni

iðjuvera. Niðurstöður þessarar rannsóknar eru að mestu leyti í samræmi við vöktun Veðurstofunnar. Í rannsókn Sigurðar hefur styrkur efna sem eiga líklega uppruna í Evrópu, s.s. kadmíum, fallið og er það í samræmi við þróunina í Evrópu. Styrkur arsens hefur hækkað jafnt og þétt á landinu öllu. Mesti styrkur finnst syðst á landinu. Talið er líklegt að þetta séu áhrif frá gosinu í Eyjafjallajökli enda dreifingin í samræmi við þykkt öskulagsins. Járn er dæmi um efni sem á uppruna í áfoki og er hæst innan gosbeltisins. Járn sýnir ekki neina leitni og er misjafnt eftir árum. Í rannsókn Sigurðar er styrkur járn borinn saman við áfokskort LbHÍ og virðist dreifingin í góðu samræmi við áfokið (Ólafur Arnalds, 2010). Járn er t.d. mun hærra á Íslandi en í Evrópu, um þrefalt hærra en hæstu gildi í Evrópu (Sigurður H. Magnússon, 2013a, 2013b).

Í skýrslu um vöktunarmælingar frá 1999 (Davíð Egilson o.fl., 1999) er sýndur styrkur þungmálma í andrúmslofti á Stórhöfða árin 1995–1996 sem hlutfall af styrk þeirra í bergi. Þar er ál notað sem viðmiðunarefni (mynd 21).

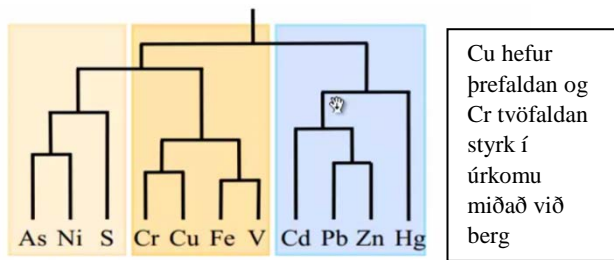


Mynd 21. Styrkur þungmálma í andrúmslofti á Stórhöfða 1995–1996 sem hlutfall af styrk þeirra í bergi. Ál er notað sem viðmiðunarefni (Davíð Egilson o.fl., 1999).

Þar kemur fram að styrkur þungmálma kadmíum, blýs (Pb), sinks (Zn) og arsens (As) er hlutfallslega langtum meiri en styrkur áls og eru leiddar líkur að því að þar kunni að vera um áhrif sem rekja megi til annarra uppspretta en landræns svifryks (Davíð Egilson o.fl., 1999).

Nokkuð er til af gögnum og getur samlegð hinna mismunandi rannsókna verið sérstaklega mikilvæg. Þekkt er að sum efni hafa nokkuð vel skilgreindan uppruna s.s. járn, ál og klór og er aðferðafræðin að nota þau til greiningar á uppruna þekkt.

Við rannsóknir á þungmálmum í mosa er sett fram áhugaverð skyldleikagreining m.t.t. til uppruna (mynd 22). Þar skera þungmálmarnir Cd, Pb, Zn og Hg sig frá öðrum efnasamböndum enda uppruni þeirra að mestu langt að borin mengun. Hin efnasamböndin eru af landrænni uppruna. Cr, Cu, Fe og V koma helst úr áfoki og iðnaði. Frumefnin As, Ni og S hafa líka útbreiðslu og eru að mestu frá iðjuverum. Raunar eru hverasvæði mikil uppspretta fyrir S á formi H<sub>2</sub>S. Við þetta má bæta að S eins og Cl og Na eiga einnig uppruna í sjó.



Mynd 22. Klasagreining eftir útbreiðslu mismunandi efnasambanda fyrir 147 sýni frá árinu 2010 (Sigurður H. Magnússon, 2013a, 2013b).

Í áframhaldandi vinnu vegna stjórnar vatnamála er mikilvægt að vinna úr gögnum með tilliti til mögulegra áhrifa landrænna þátta og atburða eins og eldgosa og bera saman áhrif af mismunandi uppruna, s.s. sjó, landfoks, jarðvirkni eða iðjuvera. Með því móti safnast gögn til að útskýra tilfallandi háan styrk þungmálma, brennisteins við tiltekna tilfallandi atburði og sveiflur í styrk þeirra þannig að ljóst megi vera hvort um náttúrleg fyrirbæri er að ræða eða ekki.

## 8 Samantekt um álagsþætti

Langstærstur hluti grunnvatnsins á uppruna sinn innan eldvirka og móbergsbeltis landsins; hins vegar eru viðamestu álagsþættirnir eins búseta og stærstur hluti atvinnustarfseminnar á láglendinu inn til dala en einkum meðfram ströndinni. Af þessum sökum stafar auðlindinni í heild ekki mikil hættu af búsetu og athöfnum mannsins, en það kunna að vera veruleg staðbundin áhrif af henni á stöku stað. Þrátt fyrir að álag af hnattrænum breytingum eins og veðurfarsbreytingum eða langt að bornum mengandi efnum kunni að hafa einhver áhrif á landsvísu er nærtækt að draga þá ályktun að staðbundið álag vegna efnamengunar sé lítið í óbyggðum og annars staðar fjarri mannabyggð.

Hvað varðar staðbundin áhrif má gera ráð fyrir eftirfarandi:

Vatnstakan sjálf er í talsverðum tilvikum umtalsverður álagsþáttur. Draga má verulega úr þeim áhrifum með því ganga úr skugga um hvað unnt er að nýta og eins að hafa almennt gæðaeftirlit með vinnslunni.

Búseta fólks getur haft áhrif á hvort grunnvatnið mengast. Þess vegna skiptir máli að þekkja aðrennslissvæðin og gera viðkomandi ráðstafanir við að takmarka umferð í grennd við vatnsból. Viðunandi frágangur á brunnnum og fráveitum eru skilyrði fyrir því að auðlindin sé rétt notuð.

Landbúnaður og landnotkun tengd honum, svo sem áburðargjöf, notkun illgresiseyða og framræsla hefur víða erlendis mikil áhrif gæði grunnvatns. Hér á landi eru þess fá dæmi að unnt sé að sýna fram á slík tengsl.

Loks má ekki vanmeta áhrif orkuvinnslu á grunnvatn, hvort sem er nýting háhita eða vatnsaflsvirkjanir. Nýting háhita losar mengandi efni í andrúmsloftið sem geta fallið út og haft áhrif á gæði grunnvatns. Þá getur affallsvatn haft áhrif á undirliggjandi grunnvatn. Myndun uppistöðulóna, einkallega á ungum jarðmyndunum, hefur umtalsverð áhrif á grunn-

vatnsstöðu. Á sama hátt orsakar breyting á vatnsvegum jökulvatna verulegar breytingar á rennslisháttum sem geta haft áhrif á grunnvatn og gæði þess.

Almennt séð verður að gæta þessara auðlindar vel enda er um mjög sérstakt fyrirbrigði að ræða sem á fáa sína líka í heiminum.

Veðurstofan bendir á að til framtíðar er mögulegt að vinna að frekari uppskiptingu grunnvatnshlota ef á því er talin þörf. Skipting grunnvatnshlotanna byggir á eina heildarkortinu yfir grunnvatn á Íslandi í mælikvarðanum 1:1.500.000 (Árni Hjartarson o.fl., 1980) og verður hún til þess að sum grunnvatnshlotanna eru æði stór en önnur smá. Mögulegt væri að vinna í frekari uppskiptingu eða sameiningu grunnvatnshlota til samræmis við aðstæður s.s. halla berglaga, jarðfræðilega tálma og þau yfirborðsvatnasvið sem tengjast grunnvatnshlotinu. Þetta á einkum við ef nota þarf afmörkun grunnvatnshlots við mat á álagsþoli vegna vatnstöku eða mögulegrar mengunar, við gerð skipulagsáætlana eða annarrar áætlanagerðar. Komi upp óskir um slíkt væri eðlilegt að fara yfir núverandi grunnvatnshlot stækka þau eða skipta frekar upp þannig að þau endurspegli betur en nú er raunverulegt áhrifasvæði framkvæmda.

## 9 Heimildir

- Almenna Verkfræðistofan (2003). Virkjanir í Þjórsá við Núp og Urriðafoss. Greinargerð um grófkorna aurburð við Urriðafoss. Reykjavík: Landsvirkjun, LV-2003/091.
- Almenna Verkfræðistofan (2006). *Setmyndun í Hagalóni. Rannsóknir, úrvinnsla og útreikningar*. Reykjavík: Landsvirkjun, LV-2006/003.
- Árni Hjartarson, Andersen, L. J., Kelstrup, N. Rasmussen, J. and Struckmeier, W., (1980) *International Hydrogeological Map of Europe, 1:1,500,000. Explanatory Notes. Sheet B2 Island*. Bundesanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe, Hannover, 55 pp +map UNESCO, Paris.
- Carruth, R. L. (2003). *Ground-Water Resources of Saipan, Commonwealth of the Northern Mariana Islands*. Honolulu: U.S Geological Survey, Water-Resources Investigation Report 03-4178. Retrieved January 27, 2014, from <http://pubs.usgs.gov/wri/wri034178/htdocs/wrir03-4178.html>
- Davíð Egilson, Elísabet D. Ólafsdóttir, Eva Yngvadóttir, Helga Halldórsdóttir, Gunnar Steinn Jónsson, Helgi Jensson, Karl Gunnarsson, Sigurður A. Þráinsson, Hallgrímur Daði Indriðason, Hreinn Hjartarson, Jóhanna Thorlacius, Kristín Ólafsdóttir, Sigurður R. Gíslason & Jörundur Svavarsson (1999). *Mælingar á mengandi efnum á og við Ísland. Niðurstöður vöktunarmælinga. Starfshópur um mengunarmælingar*. Reykjavík: Umhverfissráðuneytið.
- Davíð Egilson, Freysteinn Sigurðsson, Helgi Jóhannesson, Páll Sigurðsson, Sigurður Guðjónsson, Sigurður M. Einarsson & Stefán H. Sigfússon (1999). *Fallvötn og landbrot*. Reykjavík: Landgræðsla ríkisins, Orkustofnun, Náttúruverndarráð, Vegagerð ríkisins.
- Eiður K. Eiðsson (2010). *Notkun reitakerfis Íslands til kortlagningar á íbúapétteleika. BS ritgerð*. Reykjavík: Líf- og umhverfisvísindadeild Háskóla Íslands.
- Eric M. Myer & Sveinn Óli Pálmarrson (2013). Líkanreikingar til mats á áhrifum aukinnar vinnslu á Vatnsendakrika. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur og Kópavogsbæ. Reykjavík: Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 13.04.
- Eric M. Myer (2013) *Reykjanesskagi. Grunnvatns og rennislíkan. Árleg endurskoðun fyrir árið 2012*. Unnið fyrir HS Orku hf. Reykjavík: Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 13.06.
- Esther Hlíðar Jensen, Jórunn Harðardóttir, Svava Björk Þorlákssdóttir, Snorri Zóphóníasson & Sigríður Magnea Óskarsdóttir (2013). Heildarframburður neðri hluta Þjórsár árin 2001–2010. Reykjavík: Landsvirkjun, LV-2013-135/VÍ-2013/007.
- European Commission Environment (2007a). Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/2006). Technical Report. Guidance Document 15. Guidance on Groundwater Monitoring. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European Commission Environment (2007b). Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/2006). Technical Report. Guidance Document 17. Guidance on preventing or limiting direct and indirect inputs in the context of the

- Groundwater. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European Commission Environment (2007c). Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/2006). Technical Report. Guidance Document 16. Guidance on Groundwater in Drinking Water Protected Areas . Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European Commission Environment (2009). Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/2006). Guidance Document No 18. Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European Commission Environment (2010). Common implementation strategy for the Water Framework Directive. ). Technical Report. Guidance Document 26. Guidance on risk assessment and the use of conceptual models for groundwater (p. 67). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European Commission Environment (2014). *The IPPC Directive. Summary of Directive 2008/1/EC concerning integrated pollution prevention and control (the IPPC Directive)*. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996L0061&from=EN>
- European Environment Agency (2009). *Water Exploitation Index in (WEI)*. Sótt 28. Janúar , 2013, frá <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/water-exploitation-index-wei-2>
- Finnbogi Óskarsson og Vigdís Harðardóttir (2014) *Svartsengi – Power Plant. Steam and Water Quality in 2012*. Prepared for HS Orka Ltd. Reykjavík: ISOR Report 2013/014
- Freysteinn Sigurðsson (1992). *Hlutur grunnvatns í vatnsaflí*. Erindi flutt á ársfundi Orkustofnunar 26. mars 1992. Reykjavík: Orkustofnun, OS 92013.
- Grímur Björnsson, Kristján Sæmundsson & Þórólfur Hafstað (1995). Vinnsla á köldu vatni úr bergi, Erindi flutt á 15. aðalfundi Sambands íslenskra hitaveitna, 24 og 25 apríl 1995 15. Bls. Samband íslenskra hitaveitna.
- Guðmundur Kjartansson (1945). Íslenzkar vatnsfallategundir. *Náttúrufræðingurinn* , 15, 113–128.
- Guðmundur Pálmason (2005). *Jarðhitabók. Eðli og nýting auðlindar*. Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
- Haraldur Briem (2004). *Heilsufarslegur ávinningur af öruggu neysluvatni*. Glærur frá John Snow fyrirlestri á fundi Samorku 17. sept 2004. Landlæknisembættið – Sóttvarnarlæknir.
- Haukur Tómasson (1982). *Áhrif virkunaframkvæmda á aurburð í Þjórsá*. Reykjavík: Orkustofnun, OS-82044/VOD-07..
- Hrefna Kristmannsdóttir, (2007). *Últrasískt lindarvatn á Norðausturlandi*, (TS0703 Auðlindasvið). Akureyri. Viðskipta-og Raunvísindadeild Háskólans á Akureyri, 10 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Stefán Arnórsson, Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, Halldór Ármannsson (2010). Geochemistry and classification of cold groundwater in Iceland. Í P. B. & I. S. Torres-Alvarado (ritst.) *Water-Rock Interaction XIII*. Taylor & Francis Group CRC Press.

- Jóhanna Björk Weissappel (ritstjóri), Gunnar Steinn Jónsson, Tryggvi Þórðarson, Helgi Jensson, Svanfríður Dóra Karlsdóttir, Heiðrún Guðmundsdóttir & Kristján Geirsson (2013). *Stöðuskýrsla fyrir vatnasvæði Íslands. Skipting vatns í vatnshlot og mat á helsta álagi af starfsemi manna á vatn*. Reykjavík: Umhverfisstofnun.
- Jón Einar Jónsson og Sverrir Óskar Elefsen (2013) *Grunnvatnsmælingar á Suðurnesjum / Niðurstöður mælingar frá árinu 2012. Verkaupi HS Orka hf*. Reykjavík: Mannvit Skýrsla MV 2013-003
- Jóna Finndís Jónsdóttir (2008). *A runoff map based on numerically simulated precipitation and a projection of future runoff in Iceland*, 53, *Hydrological Sciences Journal*, 53(1), 100–111.
- Landlæknisembættið - Sóttvarnarlæknir (2005). *Nóróveikisýkingar yfir sumarmánuðina*. Farsóttarfréttir, 1. árgangur (5), Landlæknisembættið- Sóttvarnarlæknir, bls. 2.
- María J. Gunnarsdóttir (2005). *Neysluvatnsgæði og vatnsvernd*. Meistaraverkefni í umhverfisfræðum. Reykjavík: Háskóli Íslands.
- Meyles, C. (2006). *Contaminated sites in Iceland - status of remediation and investigation. In National Policies in the Nordic Countries - short papers*. Retrieved from [http://www.renaremark.se/filarkiv/nordrocs2006/pdf/Short\\_papers\\_nordrocs2006.pdf](http://www.renaremark.se/filarkiv/nordrocs2006/pdf/Short_papers_nordrocs2006.pdf)
- Morris, B. L., Lawrence, A. R. L., Chilton, P. J. C., Adams, B., Calow, R. C. & Klinck, B. A. (2003). *Groundwater and its Susceptibility to Degradation: A Global Assessment of the Problem and Options for Management*. Early Warning and Assessment Report Series, RS. 03-3. Nairobi: United Nations Environment Programme,
- Ólafur Arnalds (2010). Dust sources and deposition of aeolian materials in Iceland. *Icel. Agric. Sci*, 23, 3–21
- Sigurður H. Magnússon (2013a). Þungmálmur og brennisteinn í mosa á Íslandi 1990 – 2010, áhrif iðjuvera. Garðabær: Náttúrufræðistofnun, NÍ-13003.
- Sigurður H. Magnússon (2013b). *Þungmálmur og brennisteinn í mosa á Íslandi 1990 – 2010*. Erindi flutt á Hrafnáþingi Náttúrufræðistofnunar Íslands 16. október 2013.
- Snorri P. Snorrason (1991). *Mengun grunnvatns á Rosmhvalanesi*. Erindi haldið á vöráðstefnu Jarðfræðafélags Íslands um jarðfræði og umhverfismál 12. apríl 1991..
- Stefán Arnórsson (2011). *Jarðhiti á Íslandi. Eðli auðlindar og ending. Verklag við undirbúning að vinnslu. Umhverfisáhrif af nýtingu*. Sótt 15. janúar 2014 <http://www.atvinnuvegaraduneyti.is/media/ Acrobat/Vidaukaskýrsla.pdf>
- Stefán Arnórsson, Sveinbjörn Björnsson, Haukur Jóhannesson & Einar Gunnlaugsson (1991). *Vinnslueiginleikar lághitasvæða Hitaveitu Reykjavíkur*. Árbók Verkfræðingafélags Íslands, 1991/1992, 344 –366.
- Veðurstofa Íslands & Orkustofnun (2014). *Nytjavatnsgrunnur. Aðgangsstýrður gagnagrunnur*.
- Verkfræðistofan Vatnaskil (2012). Höfuðborgarsvæði. Grunnvatns- og rennislíkan. Árleg endurskoðun fyrir árið 2011. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Reykjavík: Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 12.15.
- Wentworth, C. K. (1947). *Factors in the behavior of ground water in a Ghyben-Herzberg system*. *Pacific Science*, 1, 172–184.