



Húsatóttir í Grindavík

Vinnsla á grunnvatni og jarðsjó

Þórólfur H. Hafstað
Daði Þorbjörnsson
Steinunn Hauksdóttir

Unnið fyrir Matorku ehf.

ÍSOR-2018/010

ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR

Reykjavík: Orkugarður, Grensásvegi 9, 108 Rvk. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1699
Akureyri: Rangárvöllum, P.O. Box 30, 602 Ak. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1599
isor@isor.is – www.isor.is

Húsatóttir í Grindavík

Vinnsla á grunnvatni og jarðsjó

Þórólfur H. Hafstað
Daði Þorbjörnsson
Steinunn Hauksdóttir

Unnið fyrir Matorku ehf.

ÍSOR-2018/010

Mars 2018

Skýrsla nr. ÍSOR-2018/010	Dags. Mars 2018	Dreifing <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill Húsatóttir í Grindavík Vinnsla á grunnvatni og jarðsjó	Upplag 3	
	Fjöldi síðna 28	
Höfundar Pórolfur H Hafstað, Daði Þorbjörnsson og Steinunn Hauksdóttir	Verkefnisstjóri Steinunn Hauksdóttir	
Gerð skýrslu / Verkstig	Verknúmer 17-0211	
Unnið fyrir Matorku ehf.		
Samvinnuaðilar		
Útdráttur Gerð er almenn grein fyrir vatnafari á Reykjanesskaga og sérstöðu þess. Þá er fjallað nánar um grunnvatn og jarðsjó við Húsatóttir í Grindavík og þær rannsóknir sem þar hafa verið gerðar. Þar er fyrst og fremst um að ræða mælingar í nálægum borholum sem gerðar hafa verið um áratugaskeið sem þáttur í grunnvatnseftirliti umhverfis orkuverið í Svartsengi. Einnig er gerð grein fyrir mælingum sem Matorka lét gera áður en stórfelld vinnsla á sjóblönduðu grunnvatni og jarðsjó hófst sumarið 2017 og eru enn í gangi. Helstu niðurstöður þessara mælinga eru að áhrif vinnslunnar koma ekki fram í eftirlitsholunni MAT-1 (austan vinnsluvæðisins) né heldur í Baðstofugjá (vestan þess); áhrif vinnslunnar á grunnvatn á svæðinu eru ekki merkjanleg. Staðhátum er lýst á stöðum þar sem eftirlitsmælingum verður fram haldið.		
Lykilorð Fiskeldi, grunnvatn, jarðsjór, blandlag, niðurdráttur, eftirlit, MAT-1 (B17022), HSK-16 (B16616), MO-1 til MO-11 (B16771-16781), Baðstofugjá (K636), Grindavík, Húsatóttir, salt grunnvatn, Matorka, ÍSOR	ISBN-númer	
	Undirskrift verkefnisstjóra 	
	Yfirfarið Heimir Ingimarsson	

Efnisyfirlit

1	Inngangur	7
2	Vatnafar á Reykjanesskaga	7
	2.1 Almennt um grunnvatn á Suðurnesjum	8
3	Grunnvatnsfar í Grindavík	10
	3.1 Grindavík - Mismunandi ferskleiki grunnvatns.....	10
4	Grunnvatn og jarðsjór við Húsatóttir	14
	4.1 Um eldri rannsóknir	14
	4.2 Um rannsóknir Matorku á grunnvatni og jarðsjó	15
	4.3 Borun holu MAT-1	16
	4.4 Boranir á núverandi vinnslusvæði	17
5	Eftirlitsmælingar í grennd við athafnasvæði Matorku	19
	5.1 Eftirlitsmælingar í Baðstofugjá.....	19
	5.2 Eftirlitsmælingar í MAT-1.....	22
	5.3 Eftirlitsmælingar í HSK-16.....	24
6	Staðan í ársbyrjun 2018	26
7	Niðurstöður	27
8	Heimildir	28

Töflur

Tafla 1.	<i>Grunnupplýsingar um frágang á vinnsluholunum á Húsatóttum strax eftir borun.</i>	18
Tafla 2.	<i>Greiningar á helstu efnum í vatni úr Baðstofugjá.</i>	20

Myndir

Mynd 1.	<i>Yfirlitsmynd af streymisstefnum grunnvatns á Suðurnesjum</i>	7
Mynd 2.	<i>Baden Ghyben-Herzberg-jafnan lýsir flotvægi ferskvatns og jarðsjávar.</i>	8
Mynd 3.	<i>Dæmigert samspil grunnvatns og jarðsjávar.</i>	9
Mynd 4.	<i>Grindavík og grennd.</i>	11
Mynd 5a.	<i>Hiti í grunnvatni í HSK-7 norðaustan við Grindavíkurbæ</i>	11
Mynd 5b.	<i>Rafleiðni í grunnvatnslaginu samsvarar um 1,3%o seltu.</i>	11
Mynd 6a.	<i>Hitamæling úr MAT-1</i>	12
Mynd 6b.	<i>Leiðnimæling úr MAT-1</i>	12
Mynd 7a.	<i>Hitamæling úr SY-5</i>	13
Mynd 7b.	<i>Leiðnimæling úr SY-5</i>	13
Mynd 8.	<i>Aðalvinnslusvæði Matorku er nú í borholum norður af stöðvarhúsunum milli Baðstofu- gjár og könnunarholunnar MAT-1</i>	14

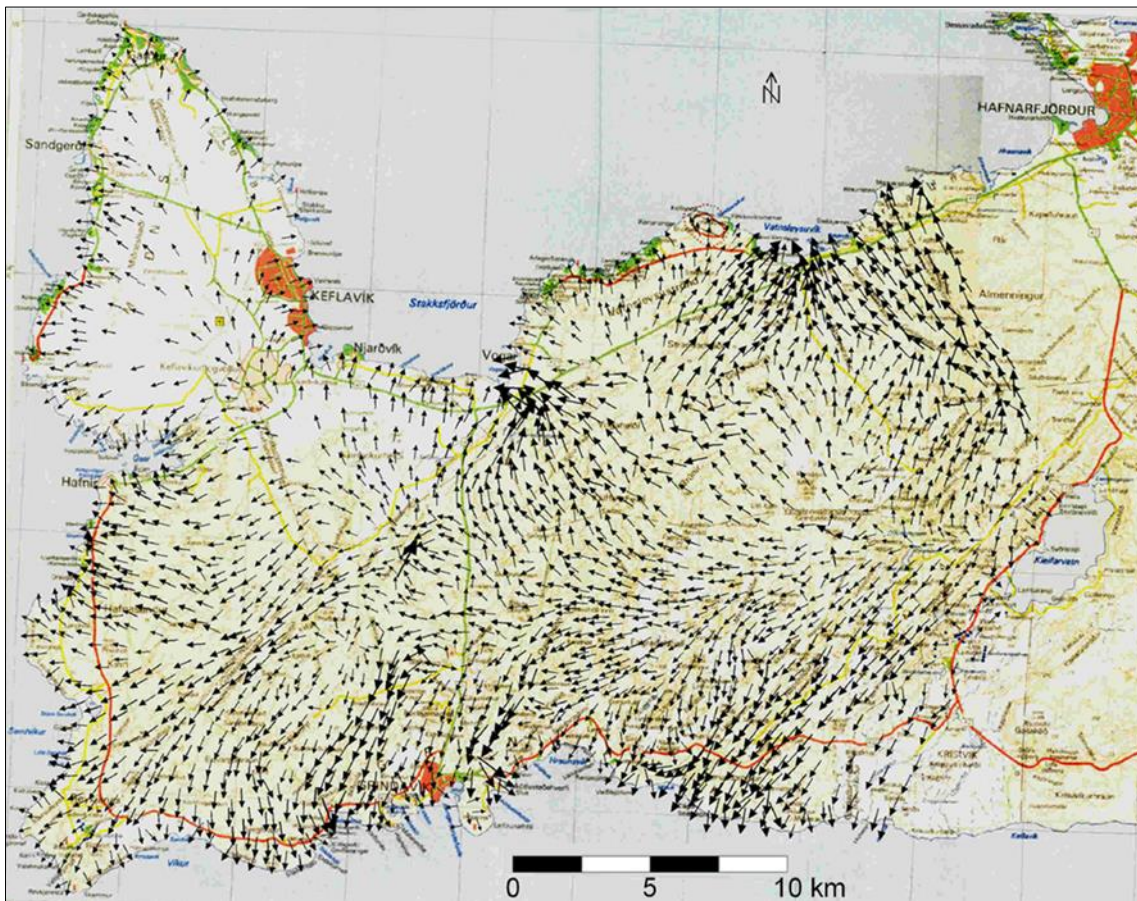
Mynd 9. Reiknaður niðurdráttur og aðrennslissvæði vegna 1000 L/s grunnvatnstöku norður af fiskeldisstöðinni í Húsatóttum.....	15
Mynd 10. Staðsetning holnanna MO-1 til MO-11 á athafnasvæði Matorku	17
Mynd 11. Hiti og leiðni í Baðstofugjá fyrir og eftir gangsetningu á MO-holunum.....	21
Mynd 12. Sískráning á hita og leiðni í Baðstofugjá frá 20. júní 2017 til 20. febrúar 2018	22
Mynd 13a. Hitamælingar í MAT-1 fyrir og eftir gangsetningu á MO-holunum.....	23
Mynd 13b. Leiðnimælingar í MAT-1	23
Mynd 14. Sískráning hita (°C) og leiðni (mS/cm) á 30 m dýpi ásamt vatnsborðsbreytingum í holu MAT-1 frá 20. júní til 20. febrúar 2018	24
Mynd 15. Hita- og leiðnimælingar úr HSK-16	25

1 Inngangur

Núverandi þekking á grunnvatnsaðstæðum á Suðurnesjum byggist fyrst og fremst á rannsóknum Freysteins Sigurðssonar (1985) og því sem síðan hefur bæst við. Þarna hefur Hitaveita Suðurnesja og síðar HS Orka haldið uppi eftirliti með grunnvatnsauðlindinni og vinnslu úr henni, meðal annars með reglulegri uppfærslu á grunnvatnslíkani sem Verkfræðistofan Vatnaskil þróaði. Það sem hér er skrifað er að mestu byggt á fyrri rannsóknum.

2 Vatnafar á Reykjaneskaga

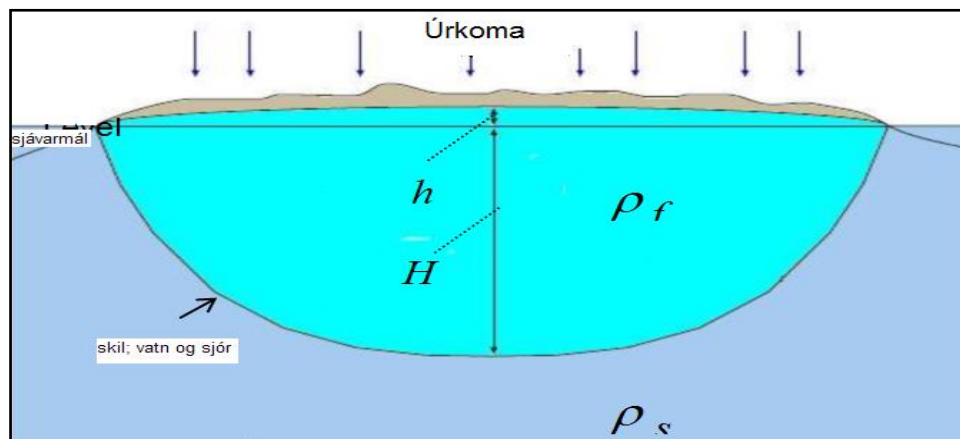
Óþarft er að minna á að á Reykjaneskaga rennur allt vatn til sjávar sem grunnvatn, engir lækir renna í sjó innan frá Hafnarfirði, út um skagann og allt austur til Ölfusár (ef undan er skilið afrennsli Hlíðarvatns) (mynd 1). Af þeim sökum hefur jafnan verið erfitt um neysluvatnsöflun á þessum slóðum. Þar hafa menn víða þurft að búa við sjómengað vatn úr gjám og brunnum niðri við strönd. Möguleikar á miklu og fersku neysluvatni jukust verulega eftir að farið var að bora eftir vatni.



Mynd 1. Yfirlitsmynd Verkfræðistofunnar Vatnaskila (2015) af streymisstefnum grunnvatns á Suðurnesjum. Bent er á stríða strauma báðum megin við Grindavíkurbæ en misferska.

2.1 Almennt um grunnvatn á Suðurnesjum

Á utanverðum Reykjaneskaga hagar alls staðar svo til að undir fersku eða saltblönduðu grunnvatnslagi er jarðsjór. Grunnvatnið á uppruna sinn í úrkomu sem fellur á landið og sígur í jörð en jarðsjórinn á rætur sínar að rekja til úthafsins. Mismunandi eðlisþyngd veldur því að ferska (léttara) rigningarvatnið flýtur ofan á (þyngri) jarðsjónum (Freysteinn Sigurðsson, 1985). Vatnafarsaðstæður á Suðurnesjum eru sérstakar og afar óvanalegar en sambærilegar aðstæður þekkjast einna helst á úthafseyjum annars staðar. Þarna gildir regla Baden Ghyben-Herzbergs varðandi flotjafnvægi grunnvatns og jarðsjávar eins og sýnt er á mynd 2.



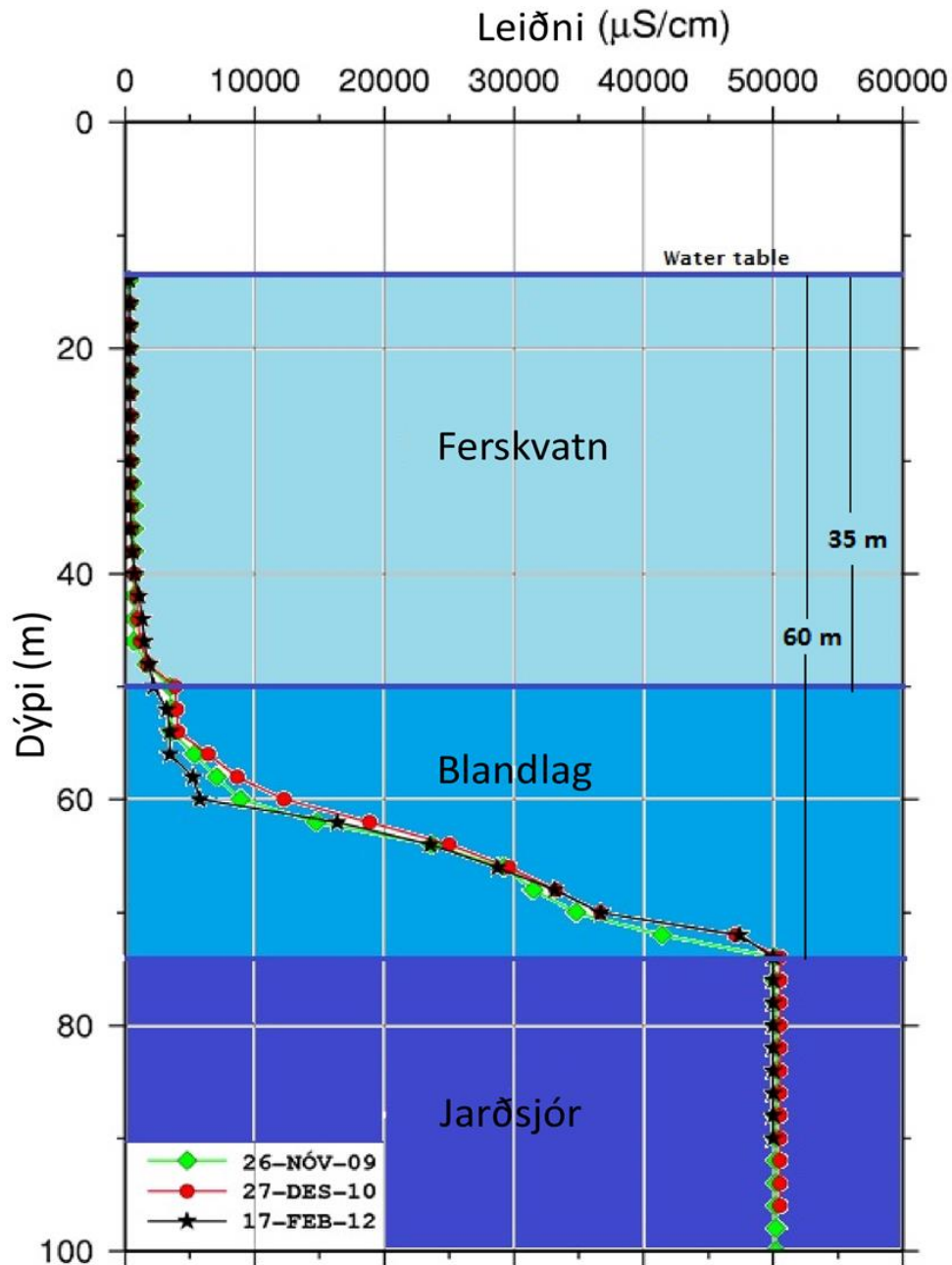
Mynd 2. Baden Ghyben-Herzberg jafnan lýsir flotvægi grunnvatns og jarðsjávar.

Við breytingar á grunnvatnsstöðu færast neðri mörk grunnvatnslinsunnar upp eða niður vegna flotvægis vatns og sjávar, eins og sýnt er á mynd 2. Venjuleg eðlisþyngdarhlutföll ferskvatns og sjávar eru 1,000/1,025. Hlutfallið milli grunnvatnshæðar (h) og dýpis á jarðsjó (H) má setja fram með einfaldri jöfnu; $H = h/0,025$. Reglan er að þykkt grunnvatnslagsins neðan sjávarmáls er um 40 sinnum grunnvatnshæðin (það er í m y.s).

Grunnvatnslinsan flýtur ofan á jarðsjónum og þegar vatni er dælt upp úr henni um borholu eða sprungu þynnist linsan og skapast hætta á að jarðsjórinn dragist upp. Þykkt grunnvatnslinsunnar er misjöfn eftir úrkomuástandi hverju sinni og hversu langt er til sjávar. Úti við ströndina er hún oft um 20 m þykk en allt að 40 m inni á miðjum skaganum.

Mörkin milli grunnvatns og jarðsjávar eru mismunandi glögg innan svæðisins, eins og sýnt er á mynd 3, og að sama skapi er grunnvatnið misjafnlega ferskt. Sums staðar gætir íblöndunar frá jarðsjó verulega mikið og getur þá vatnið verið ódrekkandi þrátt fyrir að vera langt frá því að vera fullsaltur jarðsjór. Annars staðar gætir afrennslisáhrifa frá jarðhitasvæðum í grunnvatninu. Þessi áhrif geta verið umtalsverð og hætt við að þau vaxi við virkjanir, nema að gerðar séu sérstakar ráðstafanir til að sporna við því. Þar kemur niðurdæling ofan í jarðhitakerfið til greina og einnig að leiða affallsvökvann út í sjó.

Við þær aðstæður sem eru til staðar á Reykjanesi stafar grunnvatni jafnan mest hætta af mengun ofan frá; jarðlögin eru vel vatnsleiðandi og yfirborðsmengun á því greiða leið niður að grunnvatnsborði. Á móti kemur að töluvert mikil úrkoma er á svæðinu og því er útþynning óæskilegra efna frekar mikil. Eigi að síður þarfnast vatnsbólusvæði á Reykjaneskaga yfirleitt strangrar vatnsverndar (Árni Hjartarson, 2009).



Mynd 3. Dæmigert samspil ferskvatns og jarðsjávar. Sýnd er lagskipting í eftirlitsholu HSK-11 í Lágum, sem er á miðjum Reykjanesskaga. Efst er fullferskt grunnvatnslag, sem verður saltmengað allra neðst. Undir ferska vatninu er sem næst fullsaltur jarðsjór.

Um leið og varmaorkuverið í Svartsengi reis var farið að fylgjast með því hvort vart yrði við hita- og seltubreytingar á afrennslissvæðinu, einkum við fiskeldisstöðvarnar í Húsatóttum (Freysteinn Sigurðsson o.fl., 1977) og síðar á Stað (Sverrir Þórhallsson o.fl., 1986). Þarna voru jarðhitaáhrif fyrir virkjun og þau breyttust lítillega við tilkomu orkuversins en breytingar virðast hafa síðan verið sáralitlar og afrennsli haldið sig í sama farvegi og var fyrir virkjun. Hins vegar er grunnvatnsmengun vegna jarðhitavinnslu mest við orkuverið sjálft í Svartsengi og ekki síður við Bláa lónið þrátt fyrir að stórum hluta affallsvatns virkjunarinnar sé nú skilað aftur niður í jarðhitakerfið.

3 Grunnvatnsfar í Grindavík

Grindavík fær neysluvatn sitt úr vatnsbólum í Lágum; sama vatn og upphitað er í Svartsengi fyrir hitaveituna. Það er fullferskt og fengið úr náttúrulegum gjám og borholum á sama svæði. Allvel hefur verið fylgst með vatnsvinnslusvæðinu í Lágum síðan orkuverinu í Svartsengi var komið á laggirnar og einnig með afrennslissvæði virkjunarinnar. Þetta hefur verið gert með reglubundnu eftirliti með uppdædu vatni (Þráinn Friðriksson o.fl., 2010) og mælingum í eftirlitsholum (Mannvit, Verkfræðistofa, 2016). Jafnframt hefur grunnvatnsreiknilíkan Vatnaskila verið reglulega uppfært allt frá upphafi nýtingar í Lágum (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2011, 2015). Eftirlitið var enn aukið þegar rafmagnsframleiðsla var hafin í Svartsengi en við það jókst kælivatnsþörf töluvert og reynt var að huga enn frekar að frárennslismálum orkuversins og um leið Bláa lónsins.

Áður en Hitaveita Suðurnesja tók til starfa var neysluvatn Grindavíkur fengið úr borholum í grennd við bæinn, einkum KH-2 við Grindavíkurveg, og annað vatnsból var hola í Moldarlágum. Vatnið þaðan þótti ekki gott og voru menn þó ýmsu vanir á Suðurnesjum. Þess vegna þótti mikil bót af því að fá ferskara neysluvatn úr Lágasvæðinu.

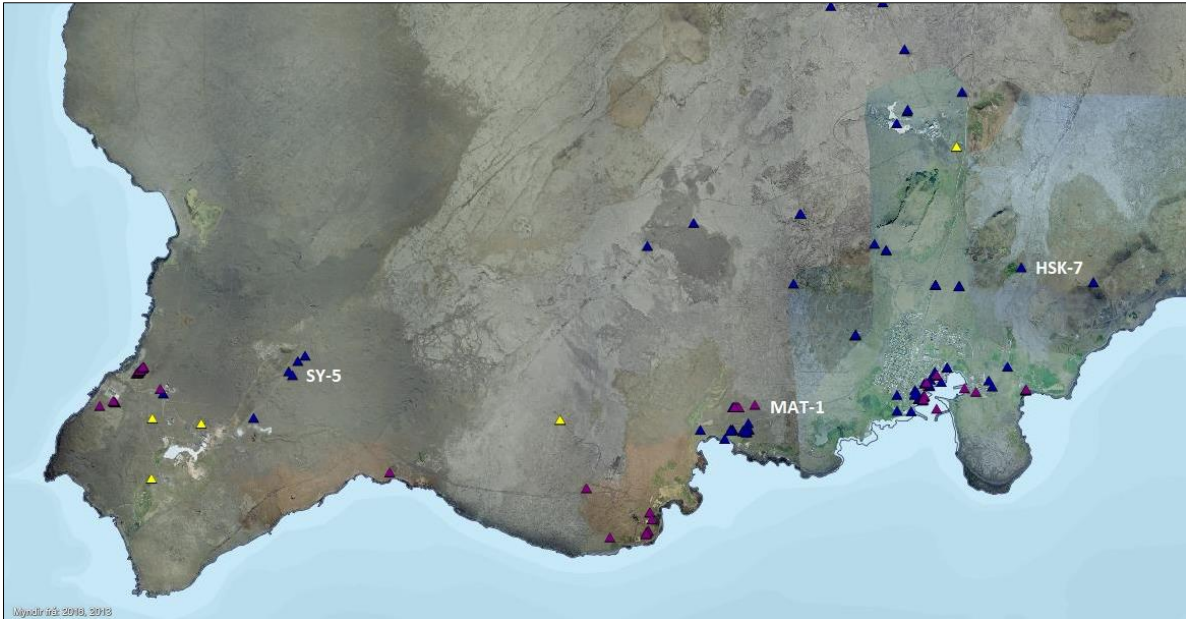
Á sama tíma og orkuverið í Svartsengi hóf starfsemi sína hófst fiskeldisævintýrið á Reykjaneskaga með lítilli eldisstöð í Húsatóttum og síðan stórri stöð í Staðarhverfinu. Einnig var gerð tilraun í Mölvík út undir Reykjanesi þar sem enn sjást menjar eftir Atlantslax.

Landreknar fiskeldisstöðvar þurfa oftast töluvert ferskvatn og ekki síður mikinn jarðsjó. Þessir vatnsnotendur gera því í sumum tilvikum sömu kröfur um ferskleika vatnsins og gerðar eru til neysluvatnsbóla en fiskeldisstöðvum hentar líka oft ísalt vatn sem annars er ónothæft í almenningsvatnsveitum. Þannig geta hagsmunir fólks og fiska stundum farið saman; ísalt grunnvatn, sem ekki er gott fyrir fólk, getur hentað til fiskeldis.

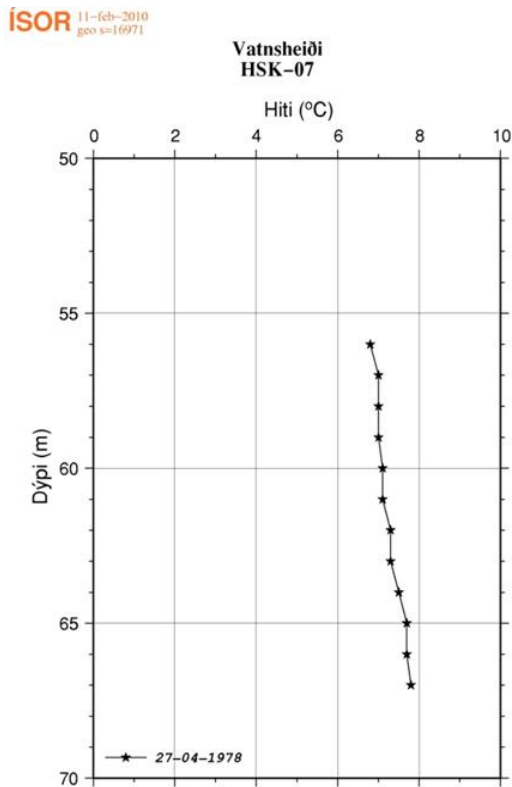
3.1 Grindavík - Mismunandi ferskleiki grunnvatns

Fjölmargar holur hafa verið boraðar eftir grunnvatni og jarðsjó í Grindavík (mynd 4). ÍSOR hefur tekið saman yfirlit um þær en ekki eru til mælingar úr öllum þeirra (Þórólfur H. Hafstað og Guðjón Eyjólfur Ólafsson, 2010). Mælingar á hita, þrýstingi og seltu hafa verið gerðar í þeim holum sem Matorka hefur látið bora á framkvæmdasvæði sínu við Grindavík (Heimir Ingimarsson o.fl., 2017).

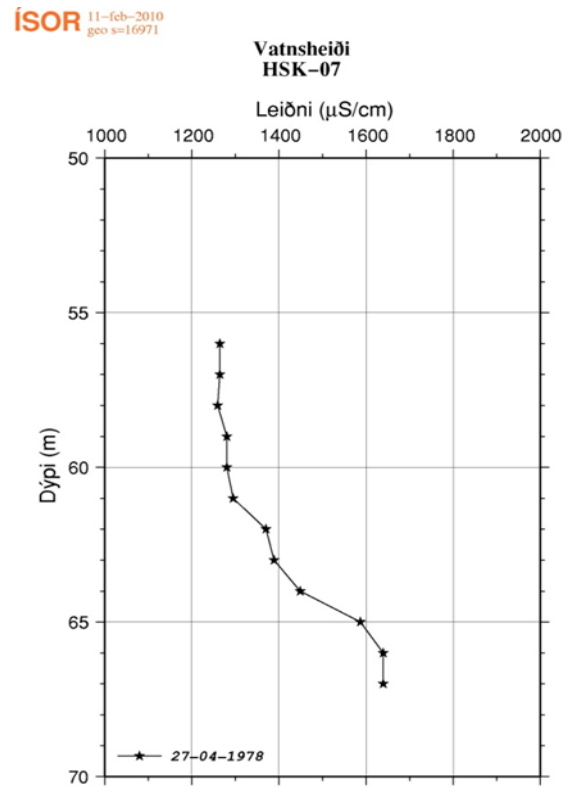
Í stórum dráttum má segja að náttúrulega sé svæðið sunnan og austan Þorbjarnar undir nokkrum áhrifum frá jarðhitaupprensli frá Svartsengissvæðinu. Þar er ferskleiki grunnvatnsins óásættanlegur til neyslu (sjá myndir 5a og 5b). Á iðnaðarsvæðinu vestan við þéttbýlið er grunnvatnið heldur ekki fullferskt (myndir 6a og 6b) en úti undir Reykjanesi fæst fullferskt og drykkjahæft grunnvatn úr holum við Sýrfell eins og sýnt er á myndum 7a og 7b (Þórólfur H. Hafstað, 2016b).



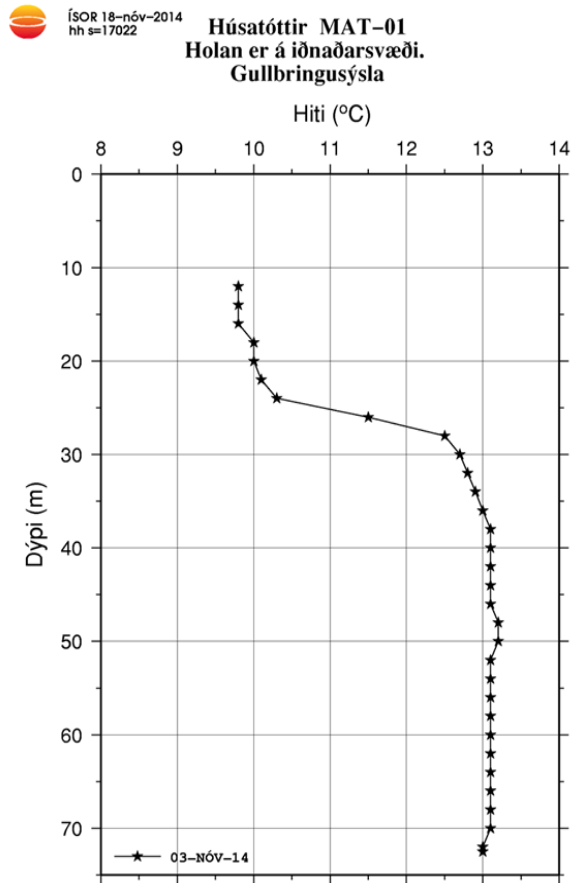
Mynd 4. Grindavík og grennd. Sýnd er staðsetning flestra holna sem boraðar hafa verið eftir ferskvatni og jarðsjó. Hiti og leiðni í auðkenndum holum er sýnd á myndum 5–7.



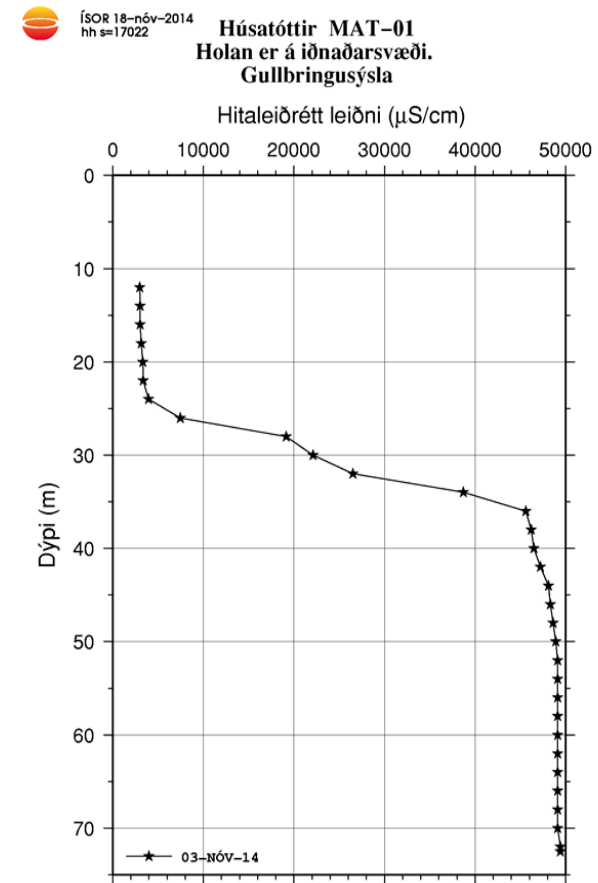
Mynd 5a. Hiti í grunnvatnslínu í HSK-7 norðaustan við Grindavíkurbæ.



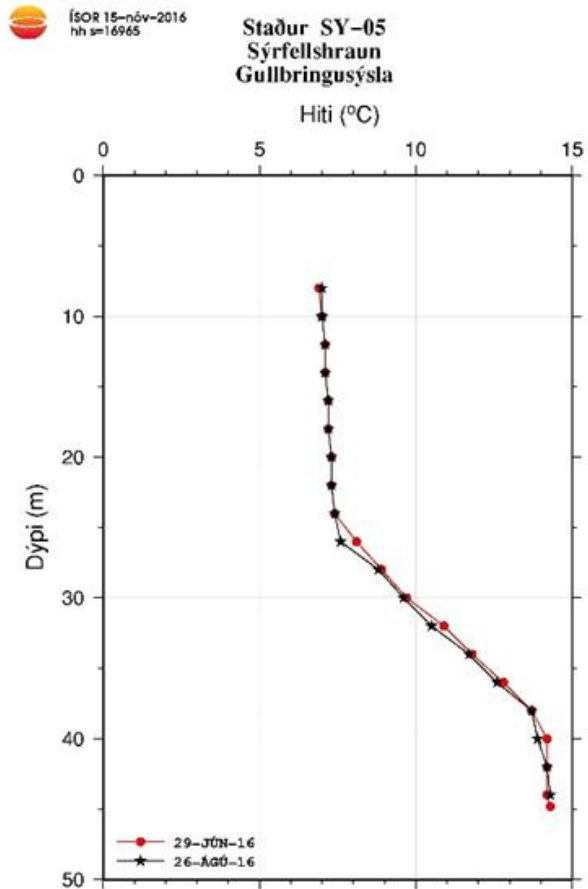
Mynd 5b. Rafleiðni í grunnvatninu samsvavar um 1,3‰ seltu. Holan nær ekki í jarðsjó.



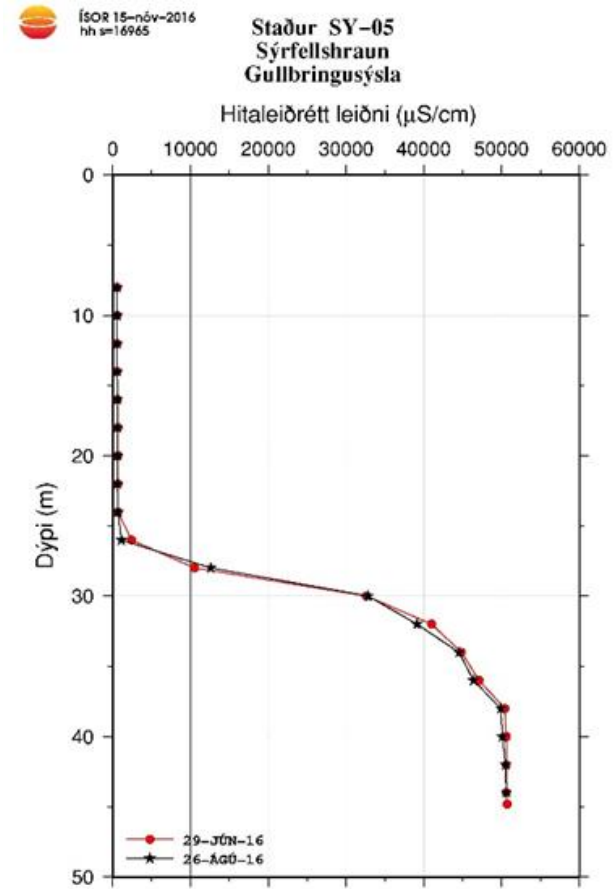
Mynd 6a. Hitamæling úr MAT-1. Eins og sést eru afgerandi hitaskil á 25–30 m dýpi. Jarðsjórinn er hlýr, um og yfir 13°C.



Mynd 6b. Leiðnimæling úr MAT-1. Skil milli grunnvatns og jarðsjávar í 25–30 m. Grunnvatnið er 2‰ salt en sjór um 31‰.



Mynd 7a. Hitamæling úr SY-5. Afgerandi hitaskil eru á 25–40 m dýpi. Jarðsjórinn er þarna glettilega hlýr.



Mynd 7b. Leiðnimæling úr SY-5. Skilin milli grunnvatns og jarðsjávar eru glögg. Efst er fullferskt vatn en sjórinn er um 31%.

4 Grunnvatn og jarðsjór við Húsatóttir

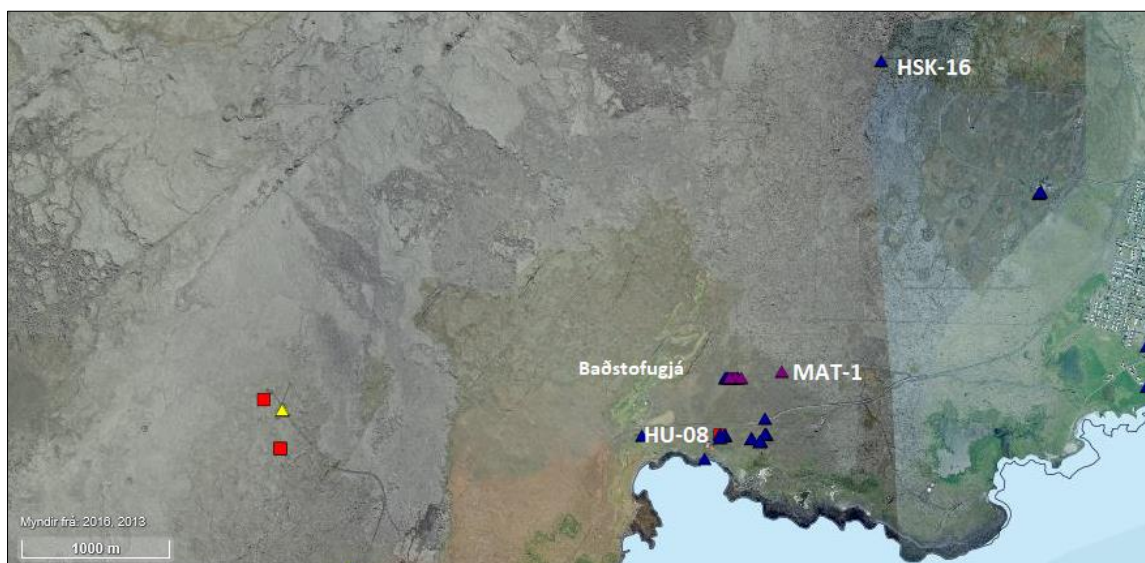
4.1 Um eldri rannsóknir

Undirbúningur að varmaorkuveri í Svartsengi hófst um miðjan áttunda áratug síðustu aldar. Strax þá var farið að huga að afrennslisháttum jarðhitavatnsins þaðan (Freysteinn Sigurðsson o.fl., 1977). Á sama tíma tók lítil fiskeldisstöð til starfa í Húsatóttum og notaði vatn úr gjám í grenndinni og einnig úr grunnnum borholum. Fylgst var með hugsanlegum breytingum á grunnvatnsástandi þar eftir að orkuverið tók til starfa og einnig í vatnsbólsholum Varnarliðsins sunnan undir Þorbirni. Gerð er almenn grein fyrir þessum eftirlitsrannsóknum í ítarlegri yfirlitsskýrslu Freysteins Sigurðssonar (1985).

Jafnframt var gert grunnvatnsreiknilíkan fyrir Húsatóttir (Orkustofnun, Vatnaskil, 1986) og var niðurstaðan að taka mætti mikið af fiskeldishæfu grunnvatni á staðnum en að jarðsjórinn undir væri ónýtur vegna járnmengunar. Gerð hefur verið nokkur grein fyrir þessum sérstöku aðstæðum í holunni HU-8 (mynd 8) (Hrefna Kristmannsdóttir og Magnús Ólafsson, 1989) en mengunin virðist hafa horfið með tímanum og áframhaldandi vinnslu. Á þetta er minnst þar sem sambærileg járnmengunarvandamál urðu við jarðsjávarboranir Matorku árið 2017. Járn- og manganútfellingar virðast fyrst og fremst tengjast afmörkuðu hitastigi í jarðhitaskotnum jarðsjó, eins og hann vissulega er á Grindavíkursvæðinu.

Til eru reglulegar mælingar á hita og seltu í aðalvatnsbólí Húsatóttarstöðvarinnar í Baðstofugjá allt frá 1978. Einnig er verulegt gagn af reglulegum mælingum í holu HSK-16 sem Hitaveita Suðurnesja lét bora 1999 á afrennslissvæðinu frá Bláa lóninu (mynd 8).

Mynd 8 er afstöðumynd af helstu mælistöðum í og í grennd við Húsatóttir. Lengst af hefur Baðstofugjá verið helsta uppspretta fyrir vatn en þaðan var dælt um 90 L/s allt þar til farið var að virkja vinnsluholur Matorku árið 2017. Seltan í þessu vatni úr Baðstofugjá hefur gjarnan mælst vera um 1,0‰ og klóríðinnihald töluvert yfir viðmiðunarmörkum fyrir neysluvatn (Þráinn Friðriksson o.fl., 2010).

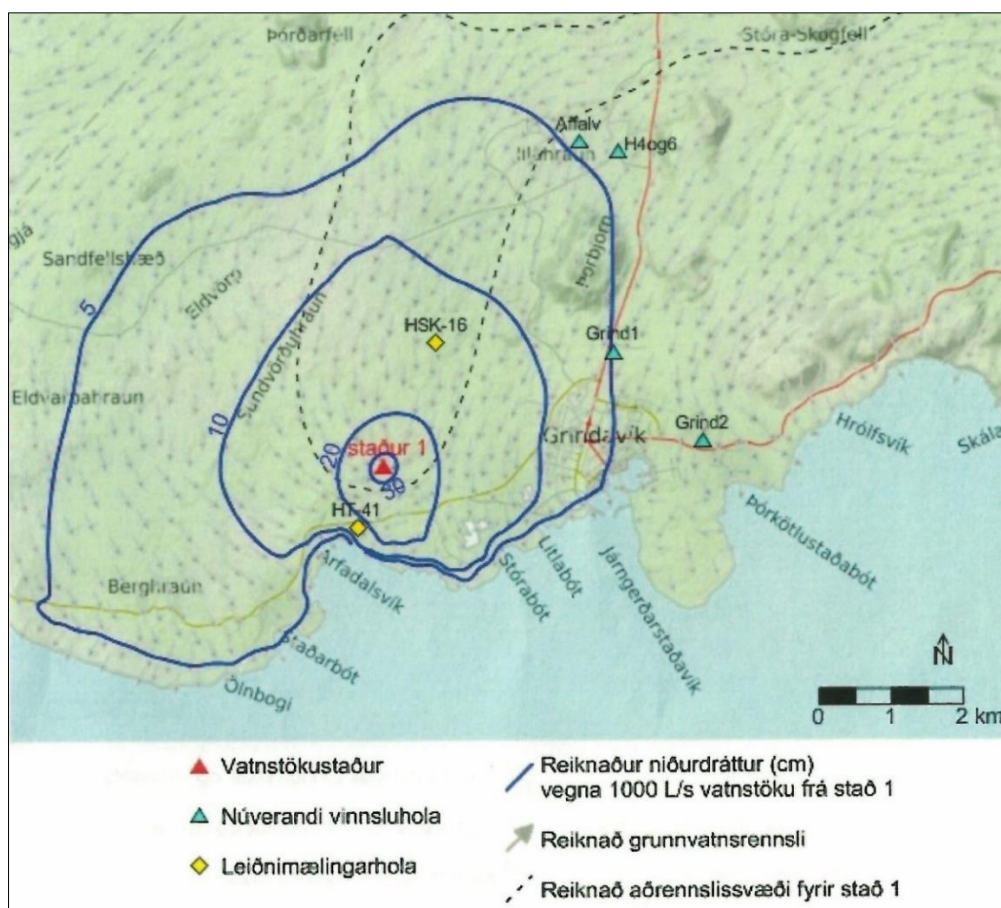


Mynd 8. Aðalvinnslusvæði Matorku er nú í (grunnvatns- og jarðsjávar-) borholum norður af stöðvarhúsunum milli Baðstofugjár og könnunarholunnar MAT-1.

4.2 Um rannsóknir Matorku á grunnvatni og jarðsjó

Á það hefur verið bent að grunnvatn (úrkoma á aðrennslissvæði) og jarðsjór (samband við hafið) eiga sér mismunandi uppruna. En þrátt fyrir það eru mörkin milli þeirra sums staðar loðin. Sums staðar eru mörkin mjög skýr og afgerandi (mynd 7) meðan annars staðar er blandlag á skilunum þar sem sjómengunar gætir í grunnvatnslaginu (mynd 5). Segja má að grunnvatnið sé misjafnlega mikið mengað af undirliggjandi jarðsjó þar sem hið svokallaða blandlag er hluti af grunnvatnslinsunni. Talið hefur verið að mismunandi (láréttir) vatnsleiðnieiginleikar bergs (oftast hraunlaga) hafi mest áhrif á það hvort og þá hvernig grunnvatn og sjór blandast og hve þykkt blandlagið verður. Stór áhrifaþáttur er einnig sífelld upphræring vegna mikilla sjávarfallaáhrifa.

Við vinnslu á grunnvatni, sem flýtur ofan á jarðsjó, verður að gæta þess að vatnsborðslækkun við dælingu úr borholum verði eins lítil og kostur er til að ekki skapist hætta á að draga upp jarðsjóinn. Gerð var sérstök keyrsla á grunnvatnslíkani Vatnaskila (2013) á fyrirhuguðu vinnslusvæði Matorku til að áætla svæðisbundinn niðurdrátt vatnsborðsins. Reiknað var með mikilli grunnvatnsdælingu (500–1000 L/s) á tveimur stöðum og er annar þeirra sýndur á mynd 9. Niðurstöður líkanreikninganna sýna að svæðið er talið þola dælingu á 1000 L/s vatns án hættu á uppdrætti.



Mynd 9. Reiknaður niðurdráttur og aðrennslissvæði vegna 1000 L/s grunnvatnstöku norður af fiskeldisstöðinni í Húsatóttum. Þar má búast við 30 cm niðurdrætti við uppðælingu á 1000 L/s á grunnvatni, sem er lítilla saltmengað frá náttúrunnar hendi (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2013).

Til samanburðar er heildarvinnsla á fersku vatni úr Lágasvæðinu um 700 L/s og er henni dreift milli sex vinnslustaða (borholur og gjár). Þar er ferskvatnslinsan töluvert þykkari en á athafnasvæði Matorku og þar er vatnið líka fullferskt. Ekki er reiknað með að grunnvatnið í Húsatóttum verði drykkjarhæft en ef það á að nýtast til fiskeldis (<4%) þarf líklega að vinna það úr nokkrum holum.

Hvað varðar dælingu á fullsöltum jarðsjó úr dýpri borholum, þar sem grunnvatnslagið er fóðrað af, gildir öðru máli. Uppruni jarðsjávarins er annar en grunnvatnsins eins og áður hefur verið rakið. Sjávarfalla gætir í borholum og gjám í grennd við Húsatóttir, eins og víða annars staðar á Reykjaneskaga. Það er til merkis um góða lekt jarðlaga og auðvelda endurnýjun jarðsjávarins. Til þess að kanna þetta samspil nánar var svo boruð rannsóknarhola (MAT-1) á fyrirhuguðu athafnasvæði Matorku og nýtist hún sem eftirlitshola fyrir framkvæmdasvæðið.

4.3 Borun holu MAT-1

Tilgangurinn með borun mælingaholunnar MAT-1 (auðkennisnúmer 17022) árið 2014 var meðal annars að fá betri upplýsingar um náttúrulegt ástand grunnvatns og jarðsjávar á þessum slóðum. Þarna í grennd var fát um mælingastaði (holur) en fyrirfram var búist við að berglekt væri mikil þannig að ekki yrði um mikinn vatnsborðsniðurdrátt að ræða við dælingu. Einnig þótti líklegt að grunnvatn þarna væri ekki drykkjarhæft vegna sjóblöndunar þó að það sé vel nothæft til fiskeldis (Þórólfur H. Hafstað, 2014).

Niðurstaða rannsókna í MAT-1 var sú að með þessum mælingum væri fengin ágæt mynd af samspili grunnvatnsins og jarðsjávarins. Afgerandi skil eru milli grunnvatns og jarðsjávar á 25–30 m dýpi. Grunnvatnið er um 2‰ salt en sjórinn um 31‰. Grunnvatnið er því dálítið saltskotið, eins og fyrirfram var spáð, og jarðsjórinn líka ögn daufari en fullsaltur úthafssjór. Þarna virðist hann vera hlýrri en í vinnsluholum sem nær eru ströndinni.

Stórfelld vinnsla gæti breytt þessum aðstæðum eitthvað og einhver blöndun grunnvatns og jarðsjávar er líkleg við mikla langtímanotkun. Til að meta möguleg áhrif vinnslu er byggt á hita- og seltumælingum úr holum á svæðinu og keyrslum á grunnvatnsreiknilíkani en samkvæmt því er ótruflað vatnsborð á svæðinu rétt um einn metra yfir sjávarmáli. Líkankeyrslur benda til að svæðisniðurdráttur við 1000 L/s dælingu yrði allt að 30 cm eftir aðstæðum hverju sinni á þessum slóðum (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2013). Staðbundin vatnsborðslækkun myndi verða nokkuð meiri í borholunum sjálfum en þar er um að ræða niðurdrátt vegna iðustreymis (turbulent flow) sem stundum er nefnt holutap. Það getur orðið mismikið í einstökum holum en er alla jafnan minna í víðum holum en grönnum. Ekki var gert sérstakt dæluþróf í MAT-1, til þess er holan of grönn.

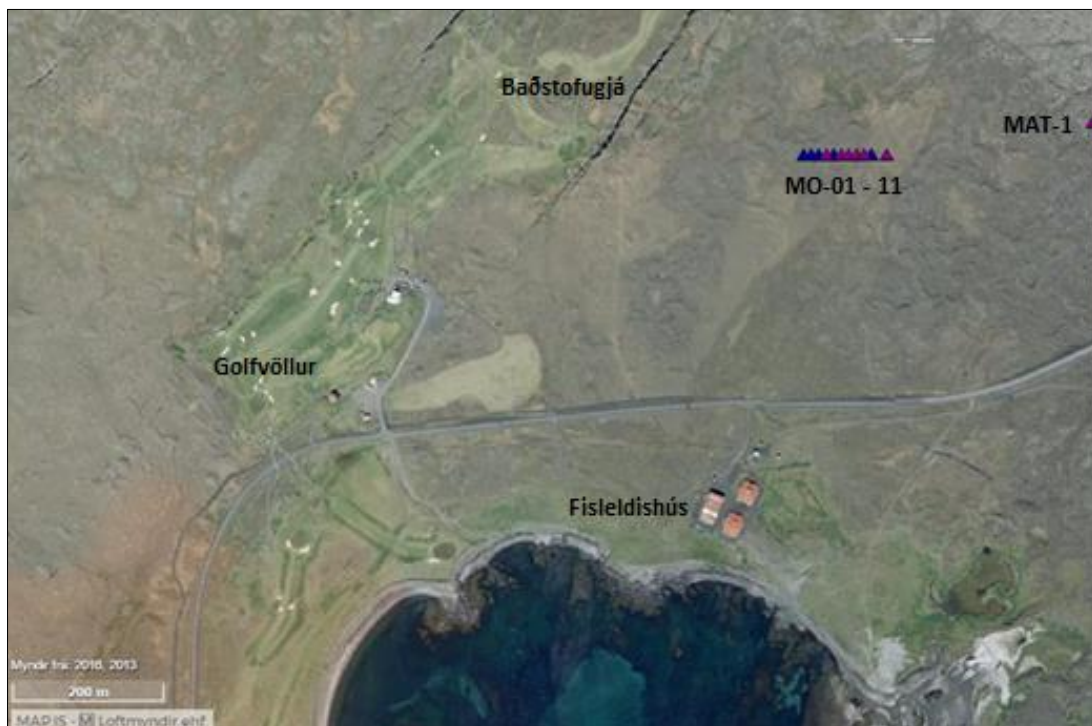
Ef regla Ghyben-Herzbergs varðandi flotjafnvægi ferskvatns og jarðsjávar er notuð og gert ráð fyrir 30 cm niðurdrætti bendir það til að grunnvatnslinsan á svæðinu muni þynnast um 12 m (úr 25 m í um 13 m þykkt). Mynd 9 sýnir stærð og útbreiðslu svæða hvar búast má við 5, 10 og 20 cm niðurdrætti. Innan þessara svæða benda líkankeyrslur til að grunnvatnslinsan þynnist um 2, 4 og 8 m.

4.4 Boranir á núverandi vinnslusvæði

Árið 2017 voru boraðar ellefu vatns- og sjótökuholur á athafnasvæði Matorku á Húsatóttum vestan Grindavíkurbæjar með jarðbornum Trölla frá Ræktunarsambandi Flóa og Skeiða (Heimir Ingimarsson o.fl., 2017). Þessar holur, MO-1 til MO-11, eru þétt saman á borplani í línu frá vestri til austurs norðan við fiskeldisstöð Matorku á Húsatóttum en staðsetning þeirra er sýnd á mynd 10.

ÍSOR veitti ráðgjöf um hönnun og borun á mismunandi vinnsluholum eftir því hvort vinna ætti úr þeim grunnvatn eða jarðsjó (Þórólfur H. Hafstað, 2014) en að öðru leyti sá Matorka um staðsetningu á holum. Fyrirnefnd ráðgjöf ÍSOR um gerð og frágang á þessum holum var eins og hér verður rakið og gekk það eftir í stórum dráttum:

- A. Ef vinna ætti tiltölulega lítið salt grunnvatn þyrfti heil fóðring aðeins að ná stutt niður fyrir vatnsborð. Ferskasta er vatnið efst; fóðring þarf að ná nógu djúpt til að pláss sé fyrir dælu.
- B. Ef dæla á jarðsjó yrði heil fóðring að ná tryggilega niður í jarðsjávarlagið en hér er komið í það á tæplega 40 m dýpi. Þangað þarf fóðring að ná ef vinna á fullsaltan jarðsjó.
- C. Einfaldasta útgáfa af vinnsluholum væri að bora tiltölulega grunnt en samt ofan í sjó og taka upp bland af grunnvatni og jarðsjó. Þar væri alls ekki víst um endanlega seltu og hita í vökvanum.
- D. Áhrif 1000 L/s dælingar á svæðisbundinn niðurdrátt grunnvatnsborðs eru talin geta orðið rúmlega 30 cm (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2013) en gætu orðið meiri í einstökum borholum.
- F. Best yrði að bora annars vegar eftir grunnvatni en hins vegar jarðsjó. Það var gert.



Mynd 10. Staðsetning holnanna MO-1 til MO-11 á athafnasvæði Matorku. Vinnsluholur Matorku standa þétt saman norður af eldri húsum fiskeldisstöðvarinnar á Húsatóttum. Þær eru ýmist boraðar eftir grunnvatni eða jarðsjó (sjá nánar í töflu 1).

Tafla 1. Grunnupplýsingar um frágang á vinnsluholunum á Húsatóttum strax eftir borun.

Heiti	Auðkennisnúmer	Dýpi (m)	Fóðring
MO-1	16771	24	7 $\frac{1}{2}$ " í 18 m
MO-2	16772	43,5	14" í 39 m
MO-3	16773	21	14" í 18 m
MO-4	16774	61	14" í 54 m
MO-5	16775	21	14" í 18 m
MO-6	16776	44	14" í 38,3 m
MO-7	16777	61	14" í 54 m
MO-8	16778	21	14" í 18 m
MO-9	16779	61	14" í 54 m
MO-10	16780	22	14" í 18 m
MO-11	16781	61	14" í 54 m

Vinnsluholurnar voru ýmist fóðraðar stuttum fóðurrörum niður á 18 m dýpi (grunnvinnsla) eða þá alllönngum, allt niður á 39–61 m dýpi (jarðsjávarvinnsla). Þær eru allar með 14" víðri fóðringu nema hola MO-1, sem er hugsuð sem eftirlitshola og er 7" í þvermál.

Við upphaf dælingar á jarðsjó úr dýpstu vinnsluholum kom í ljós að útfellingar urðu þegar volgur sjór komst í snertingu við súrefni andrúmsloftsins. Af þeim sökum reyndist nauðsynlegt að grynna þær með því að fylla upp með möl og sandi í botninn (Þórólfur H. Hafstað og Heimir Ingimarsson, 2017). Þannig eru dýpstu holurnar 54 m djúpar núna. Með þessari aðgerð hefur tekist að koma í veg fyrir útfellingavandamál í jarðsjónum.

Sambærileg járnútfellingavandamál urðu tímabundið við boranir eftir jarðsjó við fiskeldisstöðina árið 1979 og var þá gerð nokkur grein fyrir þessum sérstöku aðstæðum (Hrefna Kristmannsdóttir og Magnús Ólafsson, 1989). Þessi útfellingavandamál virðast stafa af mikilli leysni steinda sem innihalda járn og mangan við sérstakar aðstæður sem fyrst og fremst tengjast afmörkuðu hitastigi í jarðhitaskotnum jarðsjó. Þess konar aðstæður eru sjaldgæfar en þó þekktar annars staðar og meðal annars í borholu á Stað í Grindavík. Áhrif þessara aðstæðna virðast minnka með tímanum.

Augljóst er að gæta þarf varúðar við öflun grunnvatns og jarðsjávar á sama svæði. Það krefst eftirlits og þarf að fylgjast með því vatni sem upp er dælt og hugsanlega breytingum á seltuinnihaldi. Umfangsmikil grunnvatnsvinnsla Hitaveitu Suðurnesja, og síðar HS Orku, hefur verið vel vöktuð undanfarin 40 ár og nýtur svæðið góðs af því eftirliti. Þar hefur meðal annars verið stuðst við grunnvatnsreiknilíkan Vatnaskila allt frá upphafi en einnig reglulegt efnaeftirlit úr vatni í Baðstofugjá (OS og ÍSOR) og reglulegar mælingar á hita og seltu í nálægum eftirlitsholum (OS, ÍSOR og Mannvit).

Um jarðsjóinn gegnir að nokkru leyti öðru máli. Þar er um að ræða sjó sem tengsl hefur við hafið auk þess að nokkru er um að ræða saltan, heitan jarðhitavökva frá Svartsengissvæðinu. Samkvæmt grunnvatnslíkani Vatnaskila á vökvi sem sígur í jörð við Bláa lónið afrennsli til suðurs (mynd 1) og hefur þar áhrif á grunnvatnslinsuna í næsta nágrenni. Þegar sunnar dregur kólnar frárennslisvökvinn og sekkur vegna eðlisþyngdar niður í jarðsjávarlagið. Samkvæmt líkaninu myndu áhrif affallsvatns vegna jarðhitavinnslunnar í Svartsengi fyrst og fremst vera á jarðsjó þegar komið er suður undir Húsatóttasvæðið.

Náttúrulegt uppstreymi er á heitum jarðsjó á Svartsengissvæðinu og hefur það án efa aukist verulega með tilkomu orkuversins þar. Áhrifa jarðhitanýtingarinnar í Svartsengi hefur orðið

vart í nágrenni við virkjunina og ekki síst í Bláa lóninu en engin augljós merki eru um að aukinna áhrifa gæti í nágrenni við Húsatóttir. Volgur jarðsjór við Húsatóttir er upprunninn úr hafi sem áréttar það að grunnvatn og jarðsjór eru aðskildar auðlindir. Stórum hluta af heita jarðsjónum, sem nú er notaður í orkuverinu í Svartsengi, er nú dælt niður í jarðhitakerfið og vonir standa til að afganginum verði öllum veitt til sjávar í nýrri affallslögn í Arfadalsvík rétt austan við Húsatóttir.

5 Eftirlitsmælingar í grennd við athafnasvæði Matorku

Frá því um mitt árið 2017 hefur verið fylgst með breytingum á hita og seltu á tveimur stöðum í grennd við athafnasvæðið. Annars vegar er það Baðstofugjá, sem á sér langa eftirlitssögu, en hins vegar rannsóknarholan MAT-1 sem Matorka lét bora árið 2014. Staðsetning þessara mælistaða er sýnd á mynd 10.

Þarna voru sett niður síritandi mælitæki frá Star:Oddi sem mæla hita, þrýsting (vatnsborð) og rafleiðni (seltu). Niðurstöður þessara mælingar eru sýndar á myndum 12 og 14.

5.1 Eftirlitsmælingar í Baðstofugjá

Undanfarna áratugi hefur verið vatnsvinnsla úr Baðstofugjá fyrir gömlu fiskeldisstöðina á Húsatóttum en að auki hefur jarðsjór verið fenginn úr borholu. Talið er að vinnslan á saltskotnu grunnvatni úr gjánni hafi lengst af verið um 90 L/s (Þórólfur H. Hafstað, 2016a) en að annað eins magn af jarðsjó hafi einnig verið tekið heima við stöðina (Þórólfur H. Hafstað o.fl., 2017).

Reglulega hefur verið fylgst með hita og rafleiðni vatnsins í gjánni allt frá því um 1980 og oftast árlega (Orkustofnun, ÍSOR og Mannvit). Í stórum dráttum má segja að þar hafi litlar breytingar mælst, ögn mismunandi milli ára og eru þær breytingar, líklega mest háðar úrkomu- og árstíðasveiflum.

Gerðar hafa verið nokkrar efnagreiningar á vatninu í Baðstofugjá vegna reglulegra eftirlitsmælinga HS Orku og eru þrjár þeirra sýndar í töflu 2 (Þráinn Friðriksson o.fl., 2010). Árin 1986 og 1996 voru sýnin tekin rétt undir vatnsyfirborði en á um 5 m dýpi árið 2008. Dálíttill munur er á rafleiðni eftir dýpi og svo hefur alltaf verið (Þórólfur H. Hafstað og Freysteinn Sigurðsson, 1999) og má sjá á mynd 11. Þess vegna er ekki víst að breytileiki til lengri tíma litið komi fram í efnagreiningum á vatni sem dælt hefur verið úr gjánni um áratugaskeið þar til farið var að nota nýju Matorkuholurnar.

Tafla 2. Greiningar á helstu efnum í vatni úr Baðstofugjá.

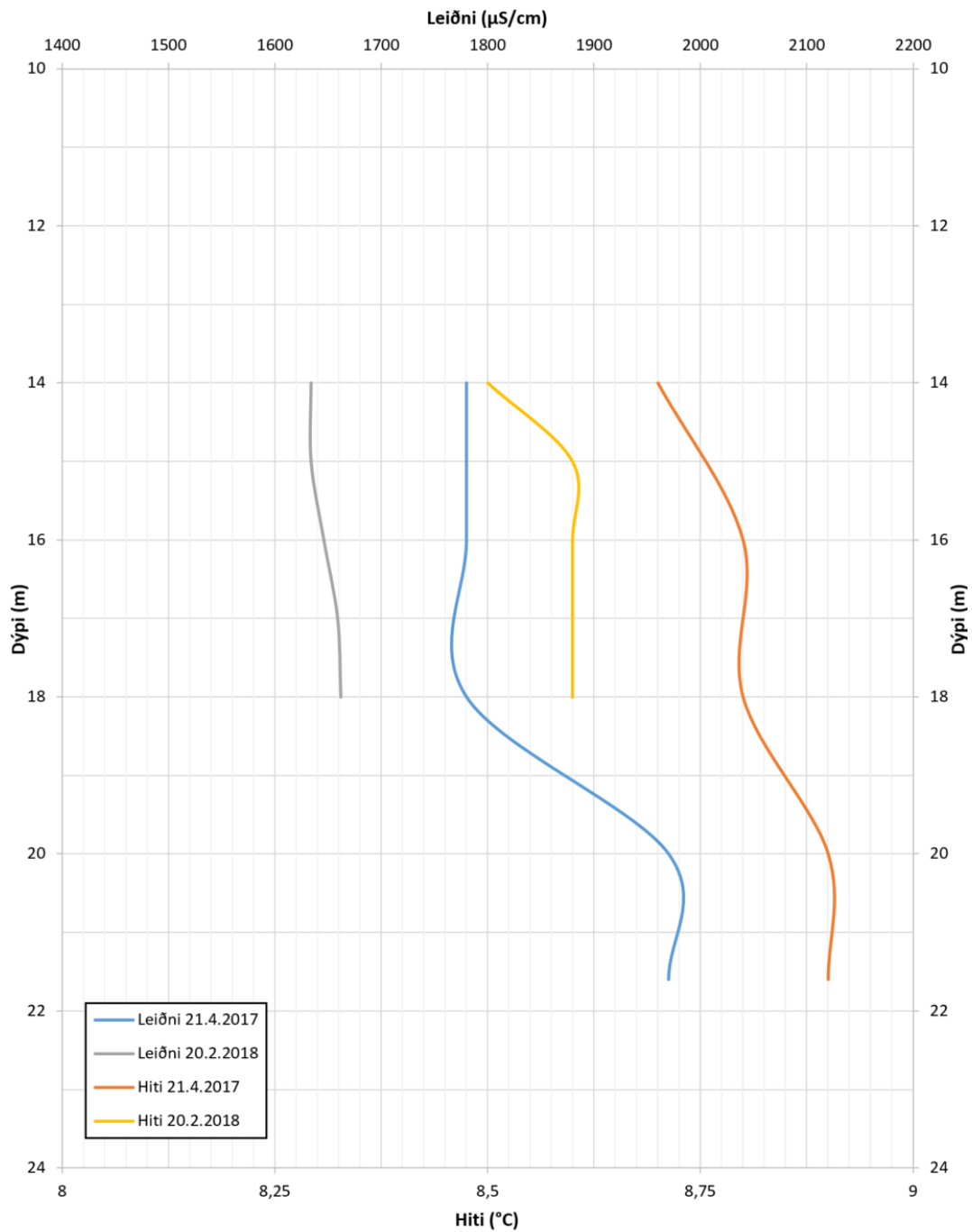
Dagsetning	27.9.1986	13.9.1996	11.4.2008
Nr. sýnis	19869160	19960278	20080125
Rafleiðni $\mu\text{S}/\text{cm}/^\circ\text{C}$	1075/20,2	1551/25	932/25
Sýrustig, $\text{pH}/^\circ\text{C}$	7,55/20,3	5,50/21,6	7,35/23,5
Kísill (SiO_2)	15,4 mg/L	15,0 mg/L	15,75 mg/L
Natríum (Na)	155 mg/L	239 mg/L	250 mg/L
Kalíum (Ca)	5,7 mg/L	21,7 mg/L	26,1 mg/L
Kalsíum (Ka)	23 mg/L	36 mg/L	38,7 mg/L
Magnesíum (Mg)	21,7 mg/L	14,3 mg/L	12,4 mg/L
Karbonsat (CO_2)	19,2 mg/L	21,9 mg/L	---
Súlfat (SO_4)	32,2 mg/L	17,0 mg/L	23,55 mg/L
Klóríð (Cl)	305 mg/L	447 mg/L	524 mg/L
Flúoríð (F)	0,05 mg/L	0,06 mg/L	0,05 mg/L
Járn ((Fe)	0,0 mg/L	0,012 mg/L	0,0015 mg/L
Mangan (Mn)	----	0,000 mg/L	0,00036 mg/L
Ál (Al)	----	0,004 mg/L	0,00095 mg/L
Uppleyst efni (TDS)	613 mg/L	844 mg/L	1210 mg/L

Byrjað var að fylgjast með hugsanlegum breytingum á seltu og hita í grennd við vinnslusvæðið áður en vinnsla á jarðsjó og grunnvatni hófst úr holum Matorku (MO-holunum) árið 2017 (Heimir Ingimarsson o.fl., 2017). Snemmsumars 2017 var settur síritandi hita- og seltumælir í Baðstofugjá. Áður var seltu- og hitasnið mælt í gjánni eins djúpt og hægt var og það síðan endurtekið í febrúar 2018, og eru niðurstöður þeirra mælinga sýndar á mynd 11.

Hita- og leiðniferlarnir eru dæmigerðir miðað við fyrri mælingar (Þráinn Friðriksson o.fl., 2010). Mynd 12 sýnir upphafsástand við núverandi síritun og einnig stöðuna í ársbyrjun 2018 þegar verið er að dæla allt að 1000 L/s á svæðinu.

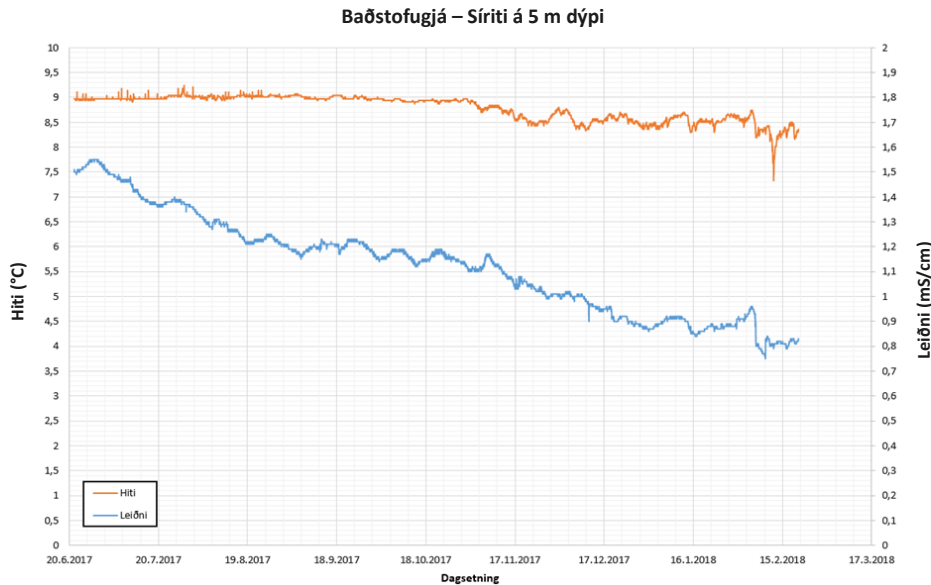
Stórfellt vatns- og jarðsjávarnám á athafnasvæði Matorku á seinni hluta ársins 2017 virðist ekki hafa haft áhrif á hita og rafleiðni vatnsins í Baðstofugjá.

Brú yfir Baðstofugjá



Mynd 11. Hiti og leiðni í Baðstofugjá (sjá mynd 10) fyrir og eftir gangsetningu MO-holnanna.

Á mynd 12 eru niðurstöður mælinga á hita og rafleiðni í Baðstofugjá rétt við inntak dælu. Síritandi mælitæki var sett um 5 m niður fyrir vatnsborð í júní 2017 og það tekið upp til aflestrar í febrúar 2018. Ekki verður annað séð en að ástand grunnvatns, sem þarna er aðeins saltmengað, sé líkt og verið hefur.



Mynd 12. Sískráning á hita og leiðni í Baðstofugjá frá 20. júní 2017 til 20. febrúar 2018.

Eins og sést á mynd 12 ber hitastigi í upphafi og lok mæliskeiðsins vel saman við handmæld gildi (mynd 11). Vatnshiti virðist hafa verið nokkuð stöðugur allt fram í nóvember 2017 en eftir það ber meira á hitasveiflum. Talið er að þær megi fyrst og fremst rekja til veðurfarsáhrifa; mælitækið er frekar grunnt undir vatnsborði í opinni gjá.

Nokkuð öðru máli gegnir um leiðnimælingar. Svo virðist vera að síritinn hafi mælt heldur minni leiðni en handmælirinn í upphafi mæliskeiðsins og munurinn virðist enn meiri í lok þess. Hugsanlegt er að mælitækið hafi grafist í botnleðju og einangrast frá vatnsmassanum ofan við en ekki er hægt að útiloka að um sé að ræða skekkju í kvörðun tækisins. Gengið verður úr skugga um það áður en mælingum þarna verður fram haldið. Eins og sjá má á mynd 11 er ágætt samræmi milli handvirkra leiðnimælinga í upphafi mæliskeiðsins og við lok þess.

5.2 Eftirlitsmælingar í MAT-1

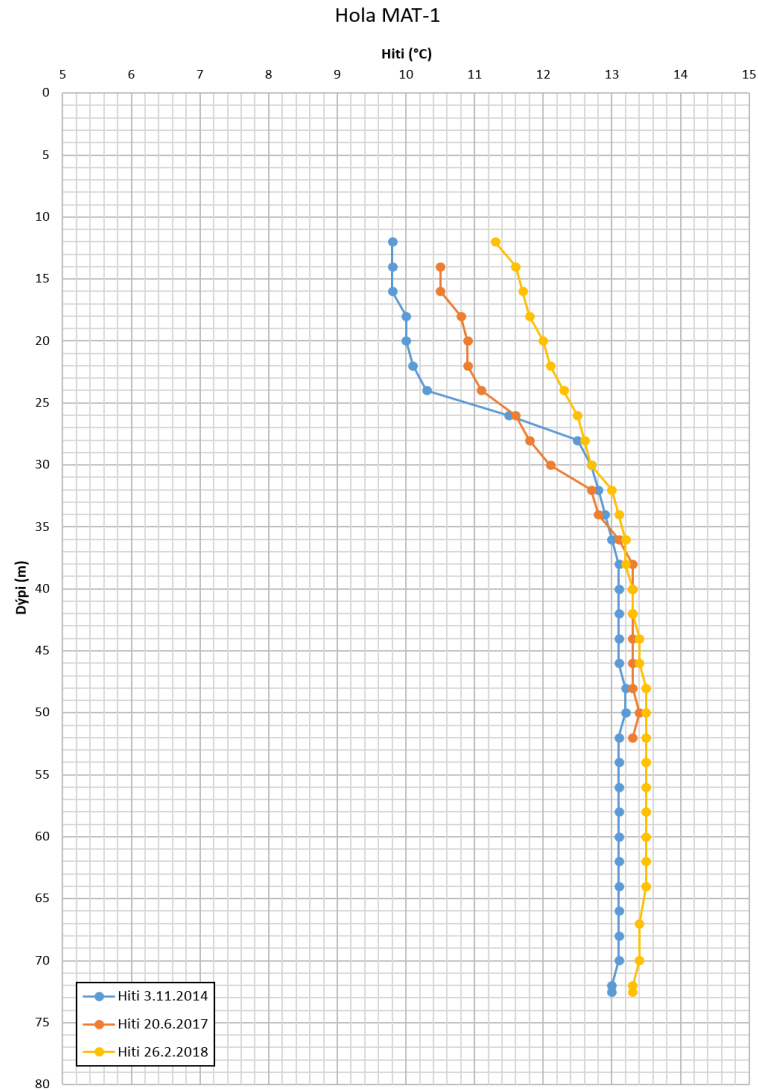
Rannsóknarholan MAT-1 var boruð 2014 og hefur verið gerð grein fyrir mælingum í henni í greinargerð ÍSOR (Þórólfur H. Hafstað, 2014). Hita- og leiðnimælisnið úr holunni eru sýnd á myndum 6a og 6b.

Mælingar í holunni voru fyrst gerðar 20. júní 2017, þegar samfelldar hita- og leiðnimælingar hófust í holunni, og aftur þann 26. febrúar 2018 skömmu eftir að söfnunartækið var tekið upp. Niðurstöður þessara mælinga eru sýndar á myndum 13 og 14 og gefa til kynna að nær engar breytingar hafa orðið á leiðni eða hita frá því í júní 2017.

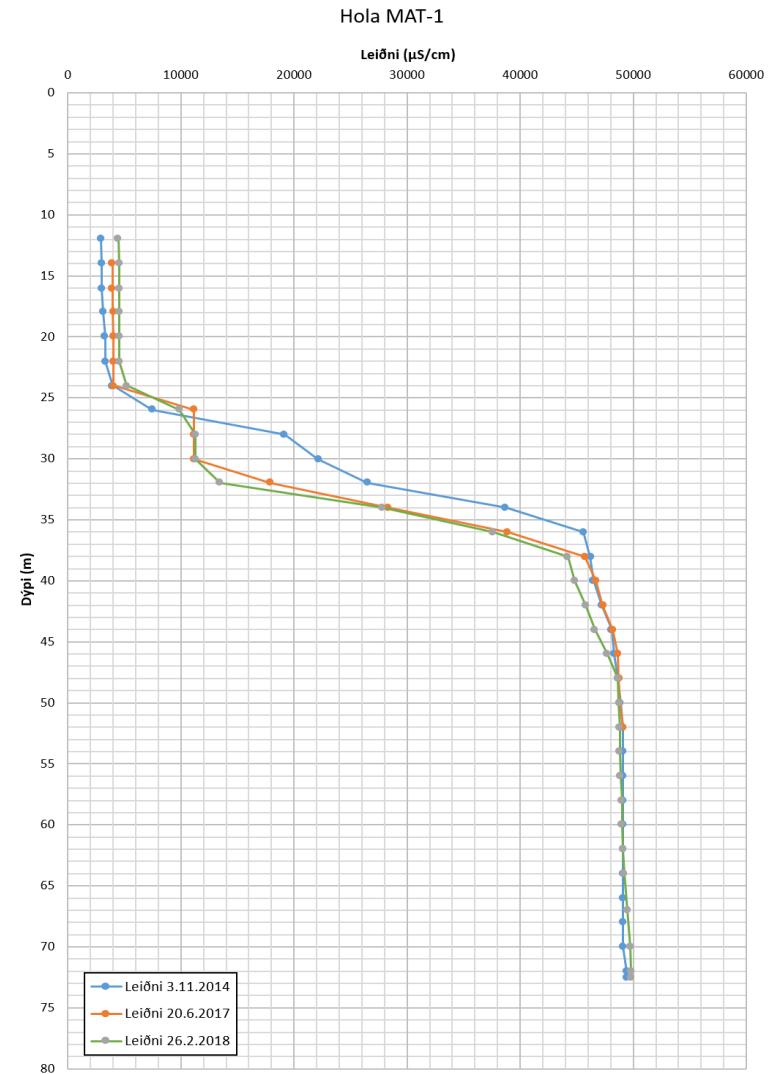
Hitamælingar sýna í grófum dráttum hægt vaxandi hita á 30 m dýpi (sjá myndir 13 og 14) frá um 12,0°C til 12,7°C. Athyglisvert er smávægilegt hökt um mánaðamótin okt.–nóv.

Vatnsborð er úrkomuháð en breytileikinn er þó fyrst og fremst vegna sjávarfalla.

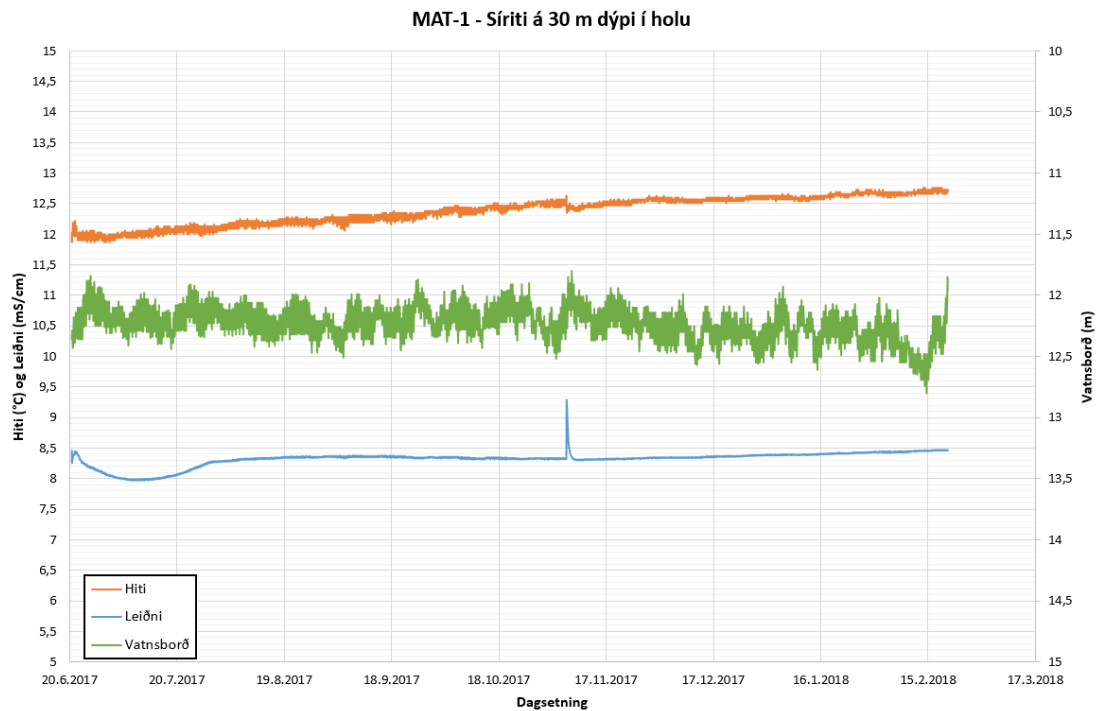
Rafleiðni á 30 m dýpi mælist ögn lægri en fram kemur í handrúllumælingum (mynd 13). Þar gæti verið um að ræða mismunandi kvörðun tækjanna. Ekki er efast um að þau séu sjálfum sér samkvæm en þau gætu miðað við mismunandi grunnildi. Þetta verður staðfest áður en mælingum þarna verður fram haldið. Óútskýrður toppur er í byrjun nóvember. Leiðni virðist aukast óverulega á tímabilinu frá 20. júní til 20. febrúar.



Mynd 13a. Hitamælingar í MAT-1 (sjá staðsetningu á mynd 10) fyrir og eftir gangsetningu MO-holnanna.



Mynd 13b. Leiðnimælingar í MAT-1 (sjá staðsetningu á mynd 10).



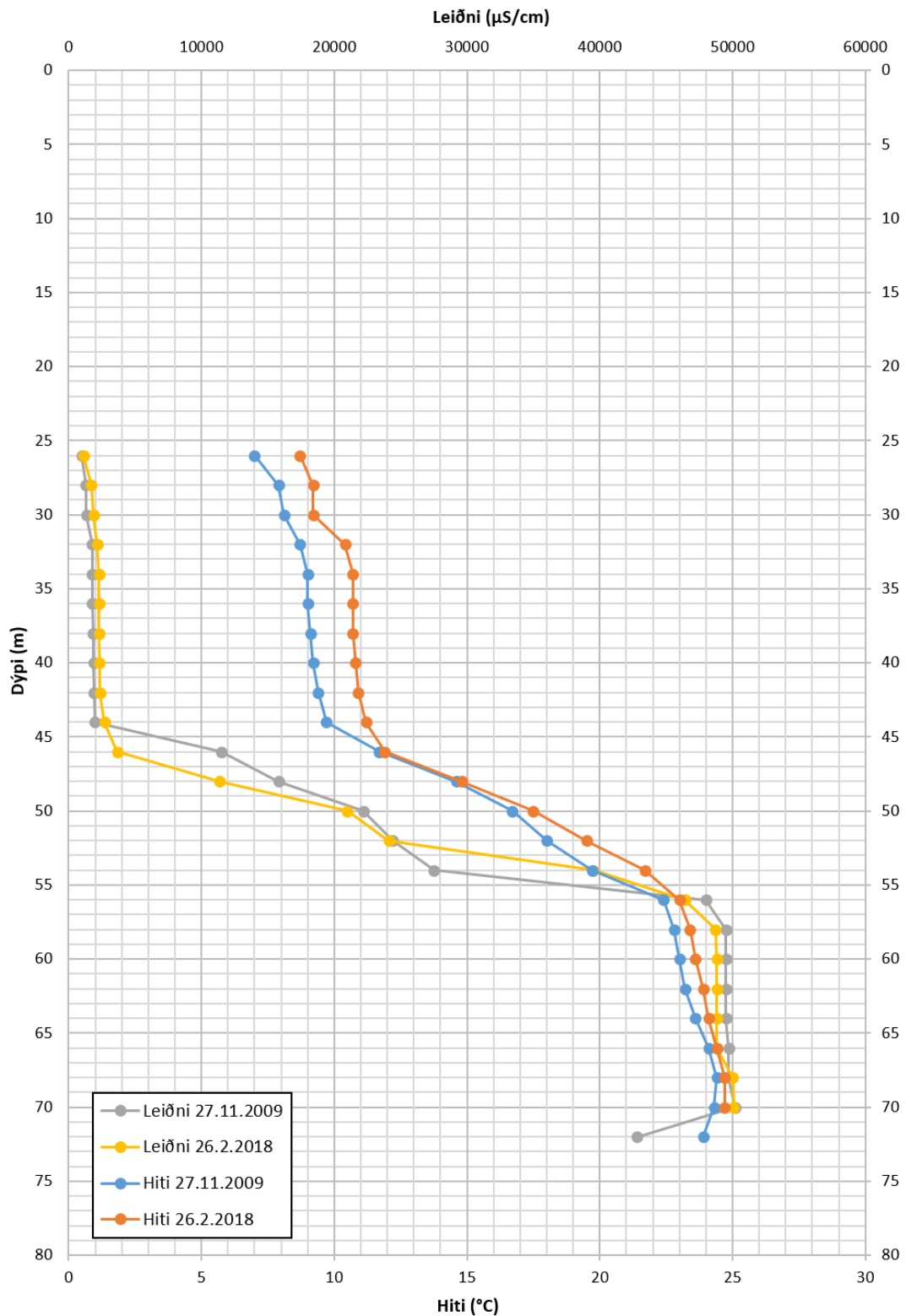
Mynd 14. Sískráning hita ($^{\circ}\text{C}$) og leiðni (mS/cm) á 30 m dýpi ásamt vatnsborðsbreytingum í mælingaholunni MAT-1 frá 20. júní 2017 til 20. febrúar 2018.

5.3 Eftirlitsmælingar í HSK-16

Hola HSK-16, sem er í ríflega 2 km fjarlægð frá vinnsluholum Matorku, var boruð árið 1999. Hún hefur frá upphafi verið notuð til eftirlits með hugsanlegu frárennsli frá Svartsengi og Bláa lóninu og áhrifum þess á grunnvatn. Engar mælanlegar breytingar hafa orðið á þeim tíma sem liðinn er frá borun holunnar en ljóst er að straumur jarðhitavatns rennur frá Svartsengi og/eða Eldvörpum, vestan við Þorbjörn um Skipstígshraun og Blettahraun en það sést vel á því að hiti við botn holunnar hefur frá upphafi mælst um 25°C .

Hiti og leiðni var mæld þann 26. febrúar 2018 og niðurstöðurnar bornar saman við fyrri mælingar. Reiknilíkan Vatnaskila gerir ráð fyrir að niðurdráttur í HSK-16 verði ríflega 10 cm við 1000 L/s vatnsvinnslu. Við slíkan niðurdrátt ætti grunnvatnslinsan að þynnast um 4–6 m. Eins og sjá má á mynd 15 hefur vinnsla Matorku ekki haft nein merkjanleg árif á þykkt grunnvatnslinsunnar eins og hún mælist í holu HSK-16.

Hola HSK-16



Mynd 15. Hita og leiðnimælingar úr holu HSK-16 sem er um 2 km NNA af athafnasvæði Matorku (sjá mynd 9). Mælingu frá febrúar 2018 ber vel saman við dæmigerða mælingu frá 2009.

6 Staðan í ársbyrjun 2018

Um miðjan janúar 2018 var staðan sú að 11 holur höfðu verið boraðar á aðalathafnasvæði Matorku í landi Húsatóttta. Dælt hefur verið 900–1000 L/s úr tíu holum á Matorkusvæðinu um hrið (Stefanía K. Karlsdóttir, pers. uppl. 19. jan. 2018) og fæst saltblandað grunnvatn (1½–2‰) úr grynri holunum en því sem næst fullsaltur jarðsjór úr þeim dýpri, á að giska jafnt úr hvorri holugerð (Sveinbjörn Oddsson, pers. uppl., janúar 2018). Stórfelld breyting hefur þannig orðið á vinnslu úr svæðinu seinni hluta ársins 2017 og ætla má að hún hafi tífaldað á um hálfu ári.

Niðurstaða eftirlitsmælinga þar til í febrúar 2018 sýna að ekki hafa komið fram breytingar sem benda til þess að vinnslan hafi haft áhrif á þykkt grunnvatnslinsunnar á svæðinu. Ekki virðist vera heldur um að ræða upphræringu á grunnvatni og jarðsjó þó að vinnsluholur séu staðsettar þétt saman en slíkt hefði birst í þynningu grunnvatnslinsunnar.

Keyrsla á reiknilíkani um mögulegan niðurdrátt grunnvatns á athafnasvæði Matorku miðað vinnslu sem nemur 1000 L/s gefur um 20 cm niðurdrátt í holu MAT-1 og ríflega 10 cm í holu HSK 16. Eins og fram kemur í umfjöllun hér framar um reglu Ghyben-Herzbergs varðandi flotjafnvægi ferskvatns og jarðsjávar má gera ráð fyrir að slíkur niðurdráttur myndi þynna grunnvatnslinsuna um 4–8 m á þeim slóðum sem holurnar eru. Samanburður nýrra mælinga við eldri mælingar sýnir hinsvegar að núverandi vinnsla (1000 L/s) á bæði grunnvatni og jarðsjó virðist engin áhrif hafa haft á þykkt grunnvatnslinsunnar eða blandlagsins.

7 Niðurstöður

Matorka hóf umtalsverða vatnsvinnslu úr ellefu borholum árið 2017. Vinnslan nemur um 1000 L/s. Vatninu er dælt úr mjög vatnsleiðandi hrauni en á þessum slóðum liggur ferskvatnslinsa ofan á fullsöltum jarðsjó. Grunnvatnslinsan er um 12 m þykk í grennd við holu MAT-1 en um 18 m þykk innar í landinu við holu HSK-16. Á báðum stöðum er 10–12 m þykkt blandlag á milli grunnvatnslinsunnar og jarðsjávarins. Í grennd við vinnsluholur Matorku er grunnvatnið ekki drykkjarhæft vegna seltu þó að það sé ákjósanlegt til fiskeldis. Því er hvorki hætta á að núverandi vinnsla né aukin vinnsla í framtíðinni spilli fersku neysluvatni á svæðinu.

Reiknilíkan frá Verkfræðistofunni Vatnaskil var notað til að meta áhrif vatnsvinnslu sem nemur 1000 L/s á athafnasvæði Matorku. Líkanið spáði um 20 cm niðurdrætti í grennd við holu MAT-1 og ríflega 10 cm niðurdrætti í grennd við holu HSK-16. Mælingar sem gerðar voru í febrúar 2018 í þeim holum sýna engin merkjanleg áhrif vatnsvinnslunnar í eftirlitsholunum.

- Matorka áformar umfangsmikla vinnslu á saltblönduðu grunnvatni og jarðsjó.
- Vinnslan er skipulögð á þröngu svæði norðan við núverandi fiskeldisstöð.
- Grunnvatnið er óhæft sem neysluvatn en vel nothæft til fiskeldis.
- Saltmengun grunnvatns er að hluta vegna náttúrulegs afrennslis jarðhitavatns.
- Saltmengun grunnvatns hefur ekki aukist mikið með auknu frárennslí frá Svartsengi.
- Álitnið er að grunnvatn og jarðsjór séu aðskildar auðlindir þar sem grunnvatnslinsa flýtur ofan á jarðsjó.
- Áformuð nýting Matorku á grunnvatni og jarðsjó er ekki talin hafa umtalsverð áhrif á grunnvatnslinsuna.
- Hvorki er talin ástæða til að ætla að núverandi vinnsla né aukin vinnsla í framtíðinni muni spilla fersku neysluvatni.

8 Heimildir

- Árni Hjartarson (2009). *Vatnsverndarsvæði á Suðurnesjum*. Unnið fyrir samvinnunefnd um svæðisskipulag Suðurnesja. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-09026. 15 s.
- Freysteinn Sigurðsson (1985). *Jarðvatn og vatnajarðfræði á utanverðum Reykjaneskaga*. Yfirlitsskýrsla. Orkustofnun, OS-85075/VOD-06. 102 s. + viðaukar.
- Freysteinn Sigurðsson, Sigurður G. Tómasson og Snorri P. Snorrason (1977). *Hitaveita Suðurnesja, ferskvatnsrannsóknir. Affallsrannsókn sept. 1976–sept. 1977*. Orkustofnun, OS, JKD, 11 s.
- Heimir Ingimarsson, Vaiva Čypatiė og Þórólfur H. Hafstað (2017). *Matorka á Húsatóttum. Um nýjar vinnsluholur*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-17045. 32 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir og Magnús Ólafsson (1989). Manganese and iron in saline groundwater and geothermal brines in Iceland. Í *Proceedings of the 6th. International symposium on water-rock interaction*. August 1989, 393–396.
- Mannvit, Verkfræðistofa (2016). *Grunnvatnsmælingar á Suðurnesjum. Niðurstöður mælinga frá árinu 2015*. Skýrsla nr. MV 2016 010. 44 s.
- Orkustofnun, Vatnaskil Consulting Engineers (1986). *Húsatóftir. Hydrological investigations. Prefeasibility report*. Orkustofnun, OS-86006/JHD-01. 16 s.
- Verkfræðistofan Vatnaskil (2011). *Svartsengi. Árlegt eftirlit með vinnslu vatnsveitunnar og hitaveitunnar og endurskoðun grunnvatnslíkans fyrir 2010*. Skýrsla nr. 11.01. 95 s.
- Verkfræðistofan Vatnaskil (2013). *Líkanreikningar til mats á áhrifum grunnvatnstöku á grunnvatnslínu vestan Grindavíkur*. Minnisblað EMM & SÓP; MB-13.07. 8 s.
- Verkfræðistofan Vatnaskil (2015). *Reykjaneskagi. Grunnvatns- og rennislíkan. Árleg endurskoðun fyrir árið 2014*. Skýrsla nr. 15.10. 69 s.
- Þórólfur H. Hafstað (2014). *Borun á könnunarholu MAT-1 vegna áformaðs fiskeldis í Grindavík*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-14073. 13 s.
- Þórólfur H. Hafstað (2016a). Harnessing ground water lens floating on subterrain sea water. Veggspjald á *Nordic Drinking Water Conference, Reykjavík 29.–30. sept. 2016*. 1 s.
- Þórólfur H. Hafstað (2016b). *Reykjanesvirkjun. Borholur SY-5 og SY-6 við Sýrfell*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-16087. 18 s.
- Þórólfur H. Hafstað og Freysteinn Sigurðsson (1999). *Hitaveita Suðurnesja. Ferskvatnsmælingar 1982 – 1999*. Orkustofnun, OS-99046.
- Þórólfur H. Hafstað og Guðjón Eyjólfur Ólafsson (2010). *Grindavík. Ferskvatnsvinnslumöguleikar*. Unnið fyrir Grindavíkurbæ. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-10022. 32 s.
- Þórólfur H. Hafstað og Heimir Ingimarsson (2017). *Húsatóttir í Grindavík. Götun á fóðringum í sjóholum*. Íslenskar orkurannsóknir, minnisblað ÍSOR 27.10.2017. 2 s.
- Þórólfur H. Hafstað, Steinunn Hauksdóttir og Daði Þorbjörnsson (2017). *Vogavík. Vatnsöflun og jarðsjávarvinnsla*. Íslenskar orkurannsóknir, minnisblað ÍSOR 22.22.2017. 10 s.
- Þráinn Friðriksson, Sigurður G. Kristinsson og Þórólfur H. Hafstað (2010). *Svartsengi. Efnagreiningar á ferskvatni 2008*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/023. 45 s.