



Ferilefnaprófanir í Landsveit

Vatnsvernd við Tvíbytnulæk og Kerauga

Árni Hjartarson

Unnið fyrir Rangárþing ytra

ÍSOR-2016/067

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

Ferilefnaprófanir í Landsveit

Vatnsvernd við Tvíbytnulæk og Kerauga

Árni Hjartarson

Unnið fyrir Rangárþing ytra

ÍSOR-2016/067

Desember 2016

Skýrsla nr. ÍSOR-2016/067	Dags. Desember 2016	Dreifing <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill Ferilefnaprófanir í Landsveit Vatnsvernd við Tvíbytnulæk og Kerauga	Upplag 6	Fjöldi síðna 24
	Höfundur Árni Hjartarson	Verkefnisstjóri Steinunn Hauksdóttir
Gerð skýrslu / Verkstig	Verknúmer 16-0002	
Unnið fyrir Rangárþing ytra		
Samvinnuaðilar		
Útdráttur Ferilefnaprófunin í nágrenni við grannsvæði vatnsbólanna við Tvíbytnulæk og Kerauga í Landsveit hófst í febrúar 2016. Þjórsárhraunið þekur svæðið. Ferilefni voru sett í jarðvegsgryfjur á hrauninu í landi Jarlsstaða. Einnig voru sett ferilefni í Minnivallalæk og Tjarnalæk í maí. Sýni hafa verið tekin úr Kerauga og úr vatnsbólunni við Tvíbytnulæk, einnig úr Kálfhagalæk við Bjalla og úr Lækjarbotnalæk ofan Tvíbytnulækjar. Sýni frá 9. febrúar til 29. nóvember hafa verið greind á efnarannsóknarstofu ÍSOR. Eitt ferilefnanna hefur skilað sér í sýnatöku. Þetta er efni sem sett var í Minnivallalæk þann 20. maí. Það tók að birtast í sýnum frá Kerauga þann 3. ágúst og kom svo síðar fram í dæluhúsi vatnsveitunnar við Tvíbytnulæk, í Lækjarbotnalindum og loks í lindum Kálfhagalækjar hjá Bjalla. Prófunin sýnir að vatn sem hripar úr Minnivallalæk ofan í hraunið kemur fram í lindinni í Kerauga um 70 dögum síðar. Í Kálfhagalæk birtist það ekki fyrr en 144 dögum eftir niðursetningu þótt rennslisvegalengdin sé nánast sú sama, eða 5,2 km. Ferilefni, sem sett voru í hraunið í landi Jarlsstaða og í Tjarnalæk, komu ekki fram á sýnatökustöðunum. Vatnaskil virðast vera í grunnvatninu á milli Minnivallalækjar og Tjarnalækjar. Efnin sem sett voru í hraunið í landi Jarlsstaða og í Tjarnalæk virðast leita til suðurs, í átt að Rangá. Grannsvæðið umhverfis vatnsbólinn við Tvíbytnulæk og Kerauga virðist ekki nógu stórt til að tryggja tilskylda síun grunnvatnsins sem um það streymir. Gerðar eru tillögur um breytingu á því. Varðandi staðsetningu alifuglabús á Jarlsstöðum er niðurstaðan sú að lindum og vatnsbólum innan vatnsverndarsvæðisins virðist ekki stafa hætta af mengun frá því.		
Lykilorð vatnsból, vatnsverndarsvæði, lindir, ferilefni, Landsveit, Tvíbytnulækur, Kerauga, Rangárþing ytra, ÍSOR	ISBN-númer	
	Undirskrift verkefnisstjóra	
	Yfirfarið Magnús Ólafsson	

Efnisyfirlit

1	Inngangur	7
2	Ferilefni	7
3	Framkvæmd prófunarinnar	9
4	Niðurstöður efnagreininga	13
5	Umræða	15
6	Afmörkun vatnsverndarsvæða	17
7	Vatnafarsrannsóknir	19
8	Niðurstöður ferilefnaprófunar	22
9	Samandregning punktar	23
10	Heimildaskrá	24

Töflur

Tafla 1.	<i>Ferilefni sem notuð voru í Landsveit</i>	8
Tafla 2.	<i>Niðurstetning ferilefna</i>	9
Tafla 3.	<i>Aðrennslistími og rennslis hraði grunnvatns</i>	14
Tafla 4.	<i>Rennslismælingar í lindum og lækjum í apríl 2016</i>	19
Tafla 5.	<i>Mælingar á hitastigi og rafleiðni í lindum, lækjum og ám í Landsveit í apríl 2016</i>	20

Myndir

Mynd 1.	<i>Vatnsverndarsvæðið við Tvíbytnulæk og Kerauga</i>	8
Mynd 2.	<i>Niðurstetningarstaðir ferilefna, sýnatökustaðir, vatnsból, lindir og stefna grunnvatnsstrauma í Landsveit</i>	10
Mynd 3.	<i>Valmundur Gíslason við sýnatöku í Kerauga</i>	11
Mynd 4.	<i>Ferilefni sett í Tjarnalæk 20. maí 2016</i>	12
Mynd 5.	<i>Línurit sem sýnir hvernig ferilefnið NDS 1,6, sem sett var í Minnivallalæk, birtist á sýnatökustöðum</i>	14
Mynd 6.	<i>Á fyrri öldum hóarf Minnivallalækur í hraunið milli Stóruvalla og Minnivalla en var veitt í núverandi farveg og beint til Þjórsár um miðja 19. öld</i>	15
Mynd 7.	<i>Lindir við Ytri-Rangá á svæðinu frá Húsagarði til Réttarness</i>	16
Mynd 8.	<i>Jarðfræðikort sem sýnir lindir, vatnsból, staði sem ferilefni voru sett niður, sýnatökustaði, vatnsverndarsvæði og margt fleira</i>	18
Mynd 9.	<i>Mælistaðir í Minnivallalæk og Tjarnalæk og rennsli á hverjum stað</i>	20
Mynd 10.	<i>Rennslismælistaðir í grennd við Kerauga</i>	21
Mynd 11.	<i>Lindir í grennd við Kerauga</i>	21

1 Inngangur

Í erindi frá stjórn Vatnsveitu Rangárþings ytra og Ásahrepps, dags. 15. des. 2015, eru Íslenskar orkurannsóknir (ÍSOR) beðnar um álit á áætlunum um að reist verði stórt alifugla- eða kjúklingabú í landi Jarlsstaða í Landsveit. Fyrirhuguð staðsetning búans er upp af vatnsverndarsvæðinu (grannsvæðinu) við Tvíbytnulæk og Kerauga, nánar tiltekið 4–5 km norðaustur af mörkuðu brunnsvæði við Kerauga (mynd 1). Í framhaldi af þessu sendi ÍSOR frá sér greinargerð um alifuglabú á Jarlsstöðum og vatnsvernd við Kerauga og Tvíbytnulæk á Landi, sem dagsett er 7. jan. 2016 (Árni Hjartarson, 2016). Þar voru gerðir útreikningar á rennslis hraða grunnvatns og síunarhæfni jarðlaga. Reikningarnir bentu til þess að grannsvæði vatnsbólanna væri nægilega stórt til að tryggja síun og hreinleika vatnsins en jafnframt var undirstrikað að ákveðnar reiknistærðir væru matskenndar og óvissumörk því víð. Bent var á leiðir til að fá öruggari niðurstöður um stefnu grunnvatnsstrauma, síunareiginleika jarðlaga og mengunarhættu á vatnsverndarsvæðinu. Nánari umræður og vangaveltur leiddu til þeirrar niðurstöðu að ferilefnaprófun væri vænlegasta leiðin til að skila öruggum niðurstöðum um hvort hætta yrði á að rekstur alifuglabúsins ylli mengun á brunnsvæðum við Kerauga og Tvíbytnulæk. Í samræmi við það óskaði stjórn Vatnsveitu Rangárþings ytra og Ásahrepps eftir því að umræddar ferilefnaprófanir yrðu gerðar. Einnig var samþykkt tilboð frá Jónasi Ketilssyni um vatnafarslega rannsókn á svæðinu sem gerð yrði af stúdentum frá Gautaborgarháskóla í Svíþjóð. Seinna var síðan ákveðið að gera nánari ferilefnaprófanir þannig að í heild voru settar niður fimm mismunandi gerðir ferilefna á jafn marga staði upp af grannsvæðinu við Tvíbytnulæk og Kerauga.

2 Ferilefni

Allnokkur reynsla er af notkun ferilefna hérlendis, mest við jarðhitarannsóknir en einnig í tengslum við rannsóknir á köldum grunnvatnsstraumum. Í því sambandi má nefna könnun á grunnvatnsstraumum við Mývatn (Guðni Axelsson, 1999). Ýmsar gerðir ferilefna eru til og hæfa mismunandi aðstæðum. Mikilvægt er að ferilefni sem sett eru í grunnvatn séu skaðlaus fyrir líf og umhverfi og spilli hvorki tærleika, ilman eða keim vatnsins. Jafnframt þarf þó að vera unnt að greina þau á efnarannsóknarstofu í afar útþynntu og litlu magni.

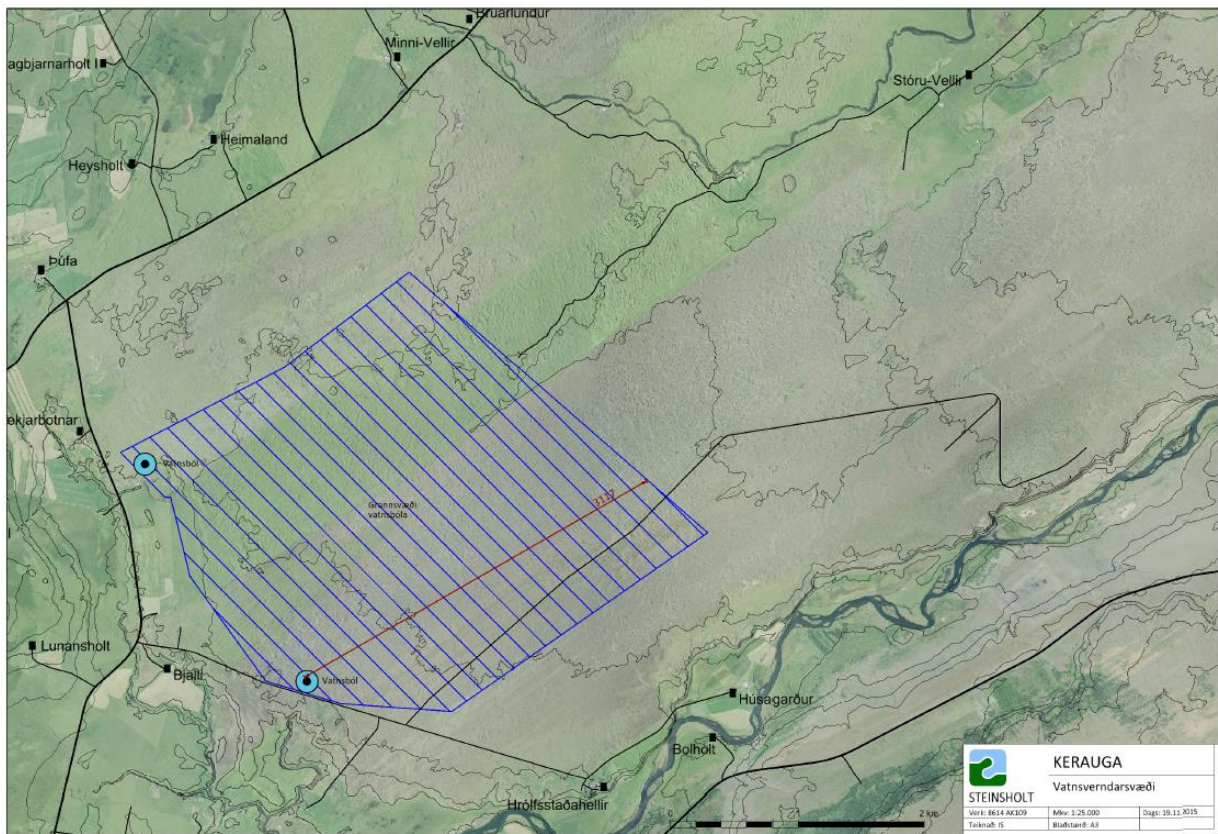
Ferilefnin sem notuð voru í Landsveit eru fimm afbrigði af naftalen-dísúlfónati sem þekkja má sundur í einni og sömu efnagreiningunni, þ.e. ekki þarf að greina þau hvert fyrir sig. Greiningarkostnaðurinn er því lægri en ella. Ferilefnin eru talin upp í töflu 1 þar sem efnafræðiheiti þeirra koma fram og skammstafanir á þeim sem notaðar eru í eftirfarandi texta.

Efnin, sem eru í duftformi, voru leyst upp í 1000 lítrum af vatni hver skammtur. Grafnar voru gryfjur með vélgröfu þar sem efnin voru sett í hraunið og fylgst með er þau hripuðu niður í hraunið og í grunnvatnið. Ferilefni voru einnig sett í Tjarnalæk og Minnivallalæk til að kanna afdrif vatns sem hripar úr lækjunum í grunnvatnið.

Tafla 1. Ferilefni sem notuð voru í Landsveit.

Heiti	Skst.
2,6 Naphthalenedisulfonic acid disodium salt, 97%	(2,7 NDS)
2,7 Naphthalenedisulfonic acid disodium salt, 95%	(2,6 NDS)
1-Naphthalenesulfonic acid sodium salt, 90%	(1-NS)
1,5-Naphthalenesulfonic acid sodium salt	(1,5-NS)
1,6-Naphthalenesulfonic acid sodium salt	(1,6-NS)

Naftalen-dísúlfónöt eru skaðlítil efni og sem næst skaðlaus útþynnt í miklu magni af vatni. Heilbrigðisnefnd var höfð með í ráðum áður en farið var í aðgerðir. Hafa má í huga að grunnvatnsstraumurinn sem flytur efnablönduna er gríðarmikill og skilar sér til yfirborðs í lindum sem gefa af sér hundruð lítra á sekúndu. Þynning efnanna er því mikil.



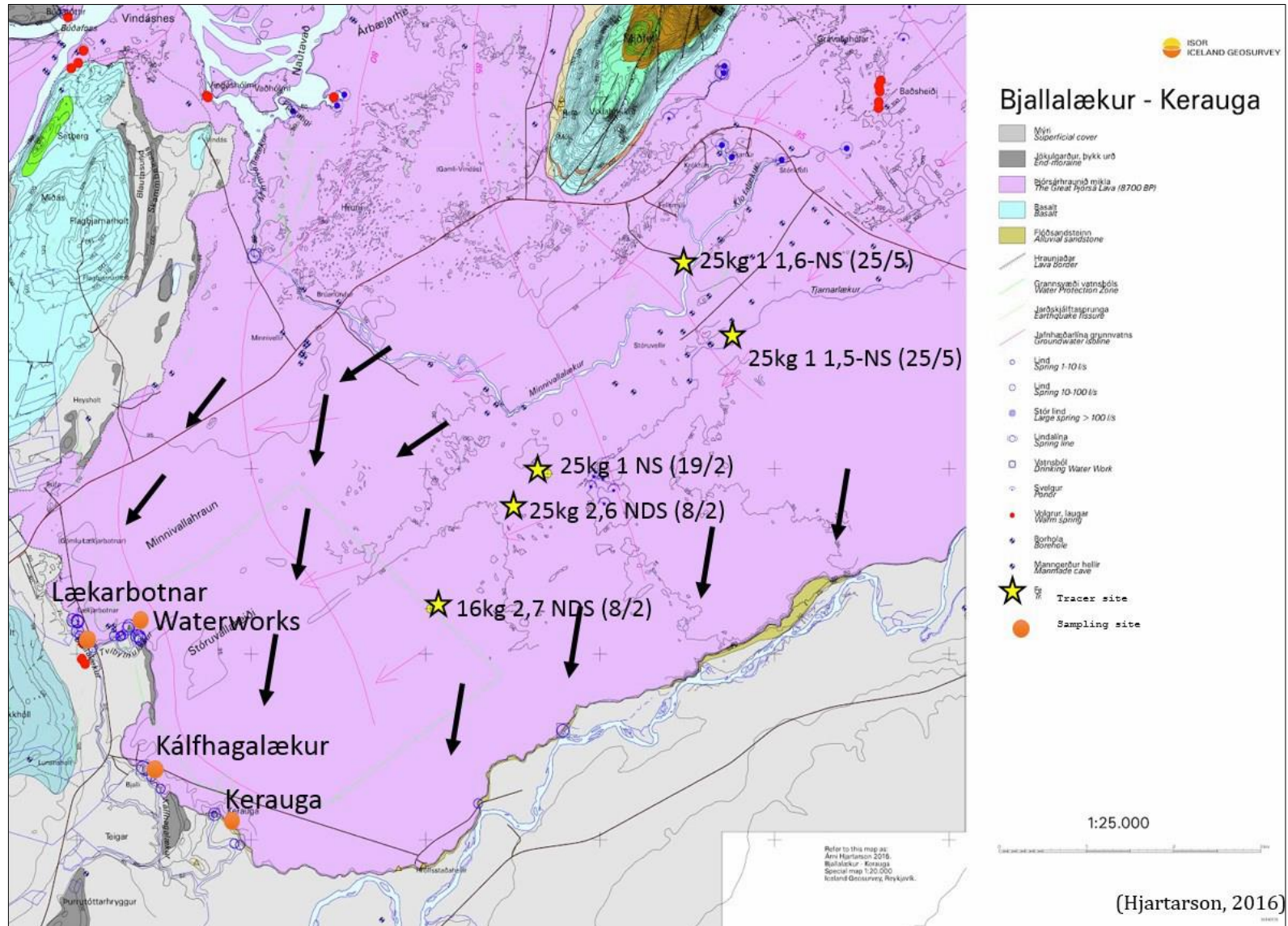
Mynd 1. Vatnsverndarsvæðið við Tvíbytnulæk og Kerauga. Bláir hringir sýna brunnsvæðin en skástrikaða svæðið er grannsvæði þeirra.

3 Framkvæmd prófunarinnar

Farnar voru þrjár ferðir til að koma efnunum niður, fyrst 8. febrúar 2016, síðan 19. febrúar og svo 20. maí (mynd 2). Í töflu 2 eru hnit staðanna sýnd, niðursetningardagur og gerð og magn hvers skammts. Fyrsti staðurinn sem farið var á er við mörk grannsvæðisins um 3 km norðaustur af Kerauga í landi Jarlsstaða. Þar var 16 kg af 2,7 NDS, blandað í 950 l af vatni sem síðan var hellt í gryfju sem grafin var í jarðveginn ofan á hrauninu. Blandan hvarf hratt úr gryfjunni og niður í hraunið. Sama dag fóru 25 kg af 2,6 NDS í 950 l af vatni niður allnokkru norðar. Vélarbilanir í gröfu og dráttarvél, sem notaðar voru við verkið, urðu til þess að efnið fór þarna niður en ekki á þeim stað sem hafði verið valinn.

Tafla 2. Niðursetning ferilefna.

Dags.	Efni	kg	X	Y	Athugasemdir
8.2. 2016	2,7 NDS	16	442060	384490	Við mörk grannsvæðis norðaustan Kerauga
8.2. 2016	2,6 NDS	25	442974	385592	Ekki réttur staður
19.2. 2016	1-NS	25	443241	385913	Vestan við tjarnir Tjarnalækjar
20.5. 2016	1,5-NS	25	445172	387309	Tjarnalækur hjá Stóruvöllum
20.5. 2016	1,6-NS	25	444969	388060	Minnivallalækur neðan Fellsmúla



Mynd 2. Niðursetningarstaðir ferilefna, sýnatökustaðir, vatnsból, lindir og stefna grunnvatnsstrauma í Landsveit. Gular stjörnur sýna hvar efni voru sett niður. Rauðir punktar eru sýnatökustaðir.



Mynd 3. Valmundur Gíslason við sýnatöku í Kerauga.

Blandan rann út á hjarn og ís í hrauninu þannig að ekki er ljóst hversu hratt efnið hefur skilað sér ofan í grunnvatnið en vafalaust hefur það endað þar um síðir. Þótt slysalega hafi til tekist ætti þetta efni að koma fram á sýnatökustöðunum ef grunnvatn frá svæðinu streymir til þeirra, þannig var því ekki kastað á glæ. Þrátt fyrir það var ákveðið að útvega nýtt efni og koma því niður með réttum hætti á réttum stað. Þann 19. febrúar var farið á þann stað. Hann var í grunni áformaðs alifuglabús, eins og staðsetning þess var hugsuð á þeim tíma, um 5 km norðaustur af Kerauga. Þar var grafin gryfja í jarðveginn ofan á hrauninu. Þar fóru niður 25 kg af 1-NS í 1000 l af vatni sem hurfu hratt og vel í hraunið.

Dagleg sýnataka hófst strax daginn eftir fyrri niðurstetninguna, þ.e. þann 9. febrúar, og þá voru tekin sýni úr Keraugalæk skammt neðan lindar og úr krana í dæluhúsi vatnsveitunnar við Tvíbytnulæk. Þann 19. febrúar var bætt við nýjum sýnatökustað en hann er í lind Kálfhagalaekjar skammt frá bænum að Bjalla rétt neðan Þjóðvegarins. Sýni voru síðan tekin daglega fram til 18. apríl en annan hvern dag eftir það. Þá voru liðnir 70 dagar frá fyrri niðurstetningu ferilefna. Sýni voru tekin í 100 ml plastflöskur og greind eftir því sem þau bárust á efnarannsóknarstofu ÍSOR. Valmundur Gíslason bóndi í Flagbjarnarholti var fenginn til að annast sýnatökuna (mynd 3).

Í maí ákvað stjórn Vatnsveitu Rangárbings ytra og Ásahrepps að gera nýjar ferilefnaprófanir í Landsveit. Hugsanlegt þótti að ástæðan fyrir því að ferilefni sem sett voru niður í febrúar birtust ekki í efnagreiningunum væri sú að þau hefðu borist svo hratt fram til lindanna í Kerauga og Tvíbytnulæk að þau hefðu ekki náðst í sýnatökunni heldur sloppið óséd framhjá á

fyrsta degi eða fyrstu dögum sýnatökunnar. Væri þetta tilfellið væri jafnframt ljóst að grunnvatn, sem kemur fram í vatnsbólum og lindum við hraunjaðarinn, rennur um langan veg í hellum og víðum rásum undir hrauninu og fengi þannig litla síun. Ákveðið var að setja tvö mismunandi ferilefni til viðbótar beint í tvo læki á svæðinu, þ.e. í Tjarnalæk við Stóruvelli og í Minnivallalæk við Fellsmúla. Tjarnalækur kemur upp í lindum undan Gloppubrún í hraununum norður af Galtalæk en hverfur á ný í hraunið norðarlega í landi Jarlsstaða, ekki langt frá lóð fyrirhugaðs alifuglabús. Mælingar í Minnivallalæk sýna að mikið vatn hverfur úr honum í hraunið á milli Fellsmúla og Minnivalla. Miklar líkur þóttu á því að vatnið sem kemur fram í lindunum við hraunjaðarinn milli Lækjarbotna og Kerauga sé að hluta til þetta sama vatn.

Ferilefnin voru sett í lækina þann 20. maí (mynd 4). 1,6-NS voru leyst upp í 1000 l af volgu vatni og sett í Minnivallalækinn við brúna neðan við fiskeldisstöðina í Fellsmúla kl. 16.15. Svo var 1,5-NS leyst upp í 1000 l af volgu vatni og sett í Tjarnalæk hjá Stóruvöllum kl. 17.

Bætt var við nýjum sýnatökustað og sýni tekin úr Lækjarbotnalæk ofan við lækjarmótin við Tvíbytnulæk.

Sýnataka hófst kl. 20 þann sama dag (20. maí) og var tíð fyrst í stað en síðan dregið úr smátt og smátt. Sýnatökutímataflan sem miðað var við er eftirfarandi: Niðursetning kl. X. Sýnataka í klukkustundum eftir niðursetningu: 4 – 6 – 8 – 10 – 14 – 18 – 24 – 30 – 40 – 50. Síðan daglega þar til 20 dagar voru liðnir frá fyrstu sýnatöku, svo annan hvern dag, þá tvisvar í viku og að lokum vikulega.

Sýnin eru greind á efnarannsóknarstofu ÍSOR í vökvaskilju að gerðinni Dionex Ultimate 3000. Tækið getur greint öll ferilefnin í einni og sömu keyrslunni, eins og fyrr er nefnt, og eru greiningarmörk efnanna um 0,1 µg/L.



Mynd 4. Ferilefni sett í Tjarnalæk 20. maí 2016.

4 Niðurstöður efnagreininga

Lengi vel bólaði ekkert á ferilefnum og skemmst er frá því að segja að efnin sem sett voru niður í landi Jarlsstaða í febrúar hafa ekki komið fram. Það sama er að segja um efnið sem sett var í Tjarnalæk 20. maí. Efnið sem sett var í Minnivallalæk sama dag tók hins vegar að birtast í sýnum úr Kerauga, dæluhúsinu við Tvíbytnulæk og í Lækjarbotnalæk þegar kom fram í ágúst. Efnið kom fram í lágum styrk í Kerauga en þó vel mælanlegum. Á hinum stöðunum var það við greiningarmörkin en þrátt fyrir það virðist mega treysta mælingunni (mynd 5).

Aðstæður við Minnivallalæk eru þær að hann kemur upp í lindum í hrauninu hjá Skarði og Stóraklofa. Lækirnir frá lindunum sameinast rétt ofan við Fiskeldisstöðina í Fellsmúla. Þar er rennslið í læknum oft á bilinu 1500–2000 l/s. Neðan við lækjamótin fer vatn að hverfa úr læknum ofan í hraunið. Vatnsmagn lækjarins minnkar eftir því sem neðar dregur. Mælingar frá í apríl 2016 sýna að á bilinu frá brúnni neðan við Fiskeldisstöðina í Fellsmúla og niður að Minnivöllum minnkaði lækurinn úr 1640 l/s í 1290 l/s (mynd 9, tafla 4, Claesson og Collett, 2016). Á þessari leið, sem er um 5 km löng, hurfu sem sagt 350 l/s í hraunið og sameinuðust grunnvatnsstraumnum sem flæðir um það. Þetta eru um 20% vatnsins. Talið hefur verið að þetta vatn birtist aftur í einhverri af lindunum við hraunjaðarinn á milli Lækjarbotna og Kerauga. Ferilefnið var sett í lækinn neðan við fiskeldisstöðina á Fellsmúla svo gera má ráð fyrir að um 20% þess (þ. e. um 200 l) hafi verið horfnir ofan í hraunið og til grunnvatnsins þegar niður að Minnivöllum var komið. Ekki er vitað hvar á þessari leið lekinn á sér stað, hugsanlega sígur jafnt og þétt úr læknum alla leiðina en líklegra er þó að þetta gerist mestmegnis á ákveðnum lekastöðum, t.d. í tengslum við sprungur (jarðskjálftasprungur) sem skera lækjarfarveginn. Þessar sprungur eru þó ekki þekktar.

Ferilefnið kom fyrst fram í Kerauga og sást þar í sýni sem tekið var 2. ágúst, eða um 70 dögum eftir að það var sett í lækinn. Viku síðar náði það hámarksstyrk, fór síðan hægt minnkandi og þann 26. nóvember var efnið við það að hverfa úr vatninu. Sýnataka féll niður um þriggja vikna skeið frá miðjum ágúst og fram í miðjan september. Líklegt er að á því bili hafi ferilefnið í Kerauga náð mestum styrk. Skemmsta vegalengd frá Kerauga í Minnivallalæk er 5,2 km.

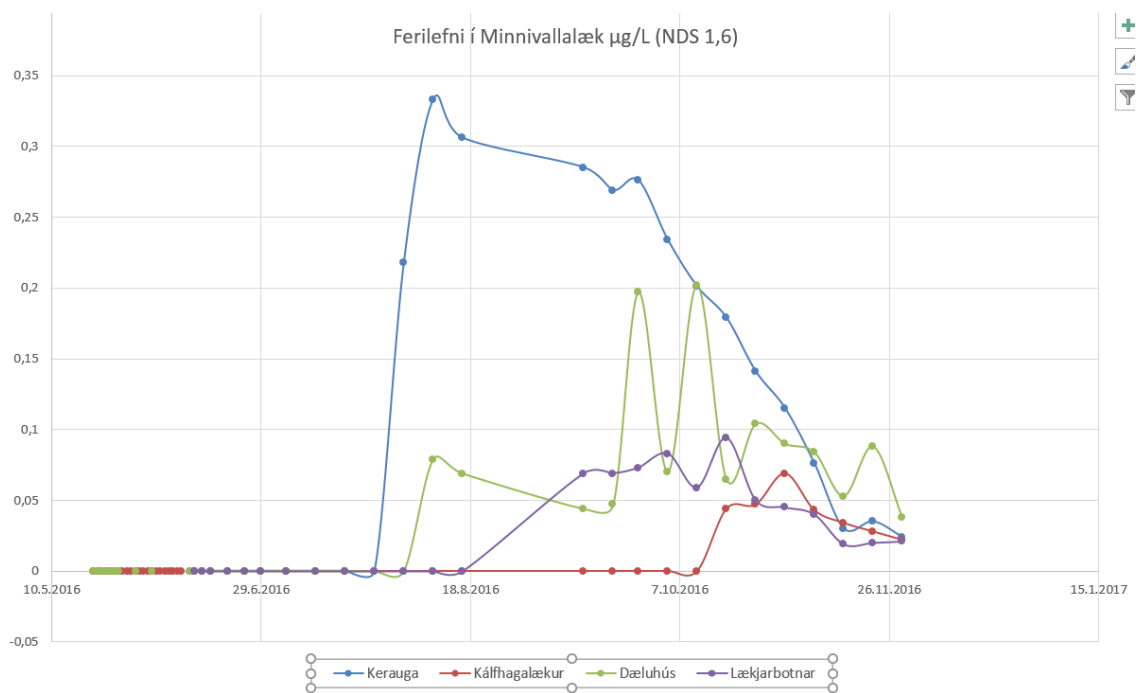
Í dæluhúsinu við Tvíbytnulæk tók að örla á efninu þann 9. ágúst viku eftir að það kom fram í Kerauga og 77 dögum eftir niðurstetningu. Það var í afar lágum styrk fyrst í stað og í raun á mörkum þess að greinast. Í sýni sem tekið var þann 27. sept. var það hins vegar komið vel yfir greiningarmörkin, dalaði svo aftur og sveiflaðist í styrk milli mælinga. Ekki er ljóst hvað veldur þessum sveiflum en líklega eru þær af tæknilegum ástæðum. Skemmsta vegalengd frá vatnbólsholunum við Tvíbytnulæk og að Minnivallalæk er 4,1 km.

Í Lækjarbotnum sást efnið þann 14. september í fyrsta sýninu eftir hléið sem var við sýnatökuna. Líklega hefur það í reynd verið komið allmörgum dögum fyrr. Hér er reiknað með 100 daga ferðatíma. Það var í mjög lágum styrk. Skemmsta vegalengd frá Lækjarbotnalindum og í Minnivallalæk er 4,6 km.

Í Kálfhagalæk við Bjalla kom efnið ekki fram fyrr en 18. október, eða 144 dögum eftir niðurstetningu. Styrkur efnisins var mjög lágur. Vegalengdin milli Minnivallalækjar og lindar er 5,2 km, eða sú sama og milli Kerauga og lækjarins.

Mynd 5 sýnir hvernig ferilefnið NDS 1,6, sem sett var í Minnivallalæk, birtist í efnagreiningum frá sýnatökustöðum. Greiningarmörk tækisins, sem notað var á efnarannsóknarstofunni, eru sett við 0,1 µg/L en í raun er greiningartækið þó næmara. Styrkur ferilefnisins er mjög lágur og er oftast mjög nálægt greiningarmörkunum. Sveiflurnar sem koma fram í styrk efnisins

stafa vafalítið af tæknilegum ástæðum því nákvæmni tækisins er orðin lítil við þessi lágu gildi. Í töflu 3 eru ofangreindar tölur um aðrennslistíma og vegalengdir sýndar og rennslis hraði grunnvatnsins reiknaður út, það er að segja bæði hraði þess vatns sem hraðast fer en einnig meðalhraðinn. Í þessu dæmi er það mesti hraðinn sem skiptir máli. Stærð grannsvæðis miðast við hann. Það er athyglisvert hve meðalrennslis hraðinn er svipaður í þremur tilfellum af fjórum í töflu 3. Kerauga eitt sker sig úr en það stafar af áhrifum hellisins. Meðalhraðinn í tilfellunum þremur er sem næst 32 m/dag. Þetta meiri hraði en fyrri útreikningar hafa gefið til kynna (Árni Hjartarson, 2004). Ef miðað er við að halli grunnvatnsborðsins í hrauninu sé 1/500 og grop bergsins sé 15% má reikna út að lektin sé $1,2 \times 10^{-2}$ m/s. Þetta er í þokkalegu samræmi við áætlaðar tölur í vatnafarslíkönunum sem gera ráð fyrir lektinni 10^{-2} m/s í Þjórsárhrauni á þessum slóðum (Árni Hjartarson og Freysteinn Sigurðsson, 2000).



Mynd 5. Línurit sem sýnir hvernig ferilefnið NDS 1,6, sem sett var í Minnivallalæk, birtist á sýnatökustöðum. Það kom fyrst fram í Kerauga og náði fljótt hámarki en fór svo dvinandi fram eftir hausti og fram á vetur. Sama efnið kom seinna fram í dæluhúsinu við Tvíbytnulæk, við Lækjarbotna og loks í Kálfhagalæk við Bjalla og í lægri styrk eins og sjá má.

Tafla 3. Aðrennslistími og rennslis hraði grunnvatns.

Sýnatökustaður	Fjarlægð frá Minnivallalæk (m)	Skemmsti aðrennslistími (dagar)	Meðal aðrennslistími (dagar)	Mesti rennslis hraði (m/dag)	Meðal - rennslis hraði (m/dag)
Kerauga	5200	70	104	74	50
Dæluhús	4100	77	129	53	32
Lækjarbotnar	4600	100	139	46	33
Kálfhagalækur	5200	144	165	36	32



Mynd 6. Á fyrri öldum hvarf Minnivallalækur í hraunið milli Stóruvalla og Minnivalla en var veitt í núverandi farveg og beint til Þjórsár um miðja 19. öld. Aðgerðin var liður í baráttu Landmanna við uppblástur og jarðvegseyðingu. Myndin sýnir svæðið þar sem lækurinn hvarf. (Mynd úr ritgerð Claesson og Collett, 2016.)

5 Umræða

Það er athyglisvert að ferilefnið skuli koma fyrst fram í Kerauga þótt vegalengdin milli lindar og lækjar sé heilum kílómetra lengri en t.d. í tilfelli vatnsbólsins við Tvíbytnulæk. Það er ekki síður eftirtektarvert að það tekur efnið helmingi lengri tíma að ná til Kálfhagalækjar en Kerauga þótt vegalengdin sé sú sama. Ljóst er að vatnið á með einhverjum hætti greiðari leið til Keraugans en hinna staðanna. Hellirinn sem gengur inn undir hraunið við Kerauga og vatnið streymir um hefur örugglega sín áhrif. Hellakafarar hafa komist 200–300 m inn í hann og telja að hann geti náð miklu lengra inn undir hraunið (Chowdhury, 1996; Bear, 2013). Ef grunnvatnið rennur álíka hratt fram á leið sinni til hellisins og það gerir á leið sinni að lindum Kálfhagalækjar má reikna út að hellisgöngin séu 2600 m löng. Sprungur í hrauninu geta einnig valdið hraðari framrás vatnsins. Þær sprungur sjást þó ekki á yfirborði. Algengasta stefna jarðskjálftasprungna á svæðinu er til norðurs og norð-norðausturs en það er einmitt stefnan frá Kerauga og í Minnivallalæk.

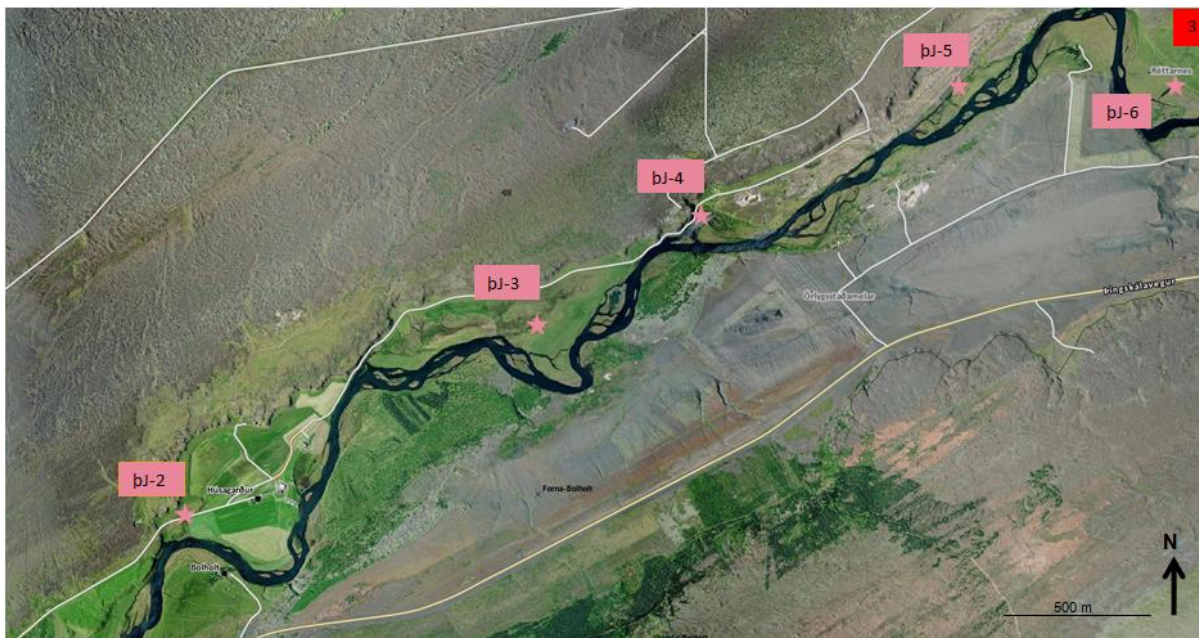
Á fyrri öldum hvarf Minnivallalækur í hraunið á milli bæjanna að Stóruvöllum og Minnivöllum (mynd 6). Um miðja 19. öld var læknum beint frá niðurrennsliðinu og veitt til norðvesturs í átt að Vindási og hefur síðan runnið til Þjórsár um Vindásós. Þessar vatna-veitingar voru liður í baráttu Landmanna gegn uppblæstri og jarðvegseyðingu sem hjó stór skörð í byggðina á 19. öld (Jón Árnason, 1967). Svo virðist sem hraunið sé mjög gropið og lekt

á því svæði þar sem lækurinn hvarf áður en vatnaveitingarnar áttu sér stað. Vel má hugsa sér að aðallekasvæðið við lækinn sé enn á þessum stað.

Það kom á óvart að ferilefnið sem sett var í Minnivallalæk skyldi koma fram í lindum en ekki þau efni sem sett voru niður á hina staðina. Þetta er það efni sem verður fyrir mestri þýnningu. Því var hellt í læk sem er yfir 1500 l/s, einungis 20% efnisins skilar sér til grunnvatnsins en blöndunin við grunnvatnið á sér stað á löngum kafla í lækjarfarveginum. Allt eykur þetta á þýnninguna. Fyrirfram talið hefði þetta efni þótt ólíklegast til að skila sér.

Niðurstöðurnar breyta þeim hugmyndum sem menn höfðu áður um grunnvatnsstreymi og grunnvatnsskil á svæðinu. Þá var gert ráð fyrir því að vatnið, sem hverfur úr Tjarnalæk niður í hraunið, og grunnvatnsstraumar þaðan myndu skila sér í lindirnar við Kerauga og Kálfhagalæk við Bjalla og að vatnið sem hverfur úr Minnivallalæk myndi skila sér í lindir við Tvíbytnulæk og Lækjarbotna. Vatnsmagnið sem hvarf úr lækjunum var svipað því sem birtist í lindunum. Það studdi þessa hugmynd (Claesson og Collett, 2016). Þeir sem skilgreindu grannsvæðin upp af lindunum á sínum tíma hafa líka sýnilega gert ráð fyrir þessu. Hraunið rann í þessa sömu stefnu þegar það flæddi niður Landsveitina endur fyrir löngu, landslagið undir því beindi því í þá átt. Menn hugsuðu sér að grunnvatnið færi svipaða leið.

Ferilefnaprófunin gefur aðra mynd af grunnvatnsstraumunum. Ferilefnin sýna að vatn sem sigur niður í hraunið úr Minnivallalæk berst með grunnvatnsstraumum til sýnatökustaðanna í Kerauga, Kálfhagalæk, Tvíbytnulæk og Lækjarbotnum. Ferilefnin sem sett voru niður á hinum stöðunum, þ.e. í hraunið í landi Jarlsstaða og í Tjarnalæk, birtast ekki á þessum stöðum. Þau efni virðast berast til suðurs, í átt að Rangá milli Jarlsstaða og Hrólfsstaðahellis. Þar eru lindir á nokkrum stöðum við hraunjaðarinn (mynd 7). Allar þessar lindir eru smáar.



Mynd 7. Lindir við Ytri-Rangá á svæðinu frá Húsagarði til Réttarness. Vatnsból Húsagarðs er í grennd við lindina sem merkt er ÞJ-3 (Claesson og Collett, 2016).

Þær stærstu eru nokkru innan við Húsagarð og eru vatnsból bæjarins. Samanlagt rennsli þeirra er innan við 200 l/s (tafla 4). Þær samsvara því ekki þeim 1300–1400 l/s sem hverfa úr Tjarnalæk ofan í hraunið. Stærri lindir gætu leynst í farvegi Rangár án þess að eftir þeim hafi verið tekið. Einnig er hugsanlegt að grunnvatnsstraumurinn leiti lengra til suðurs.

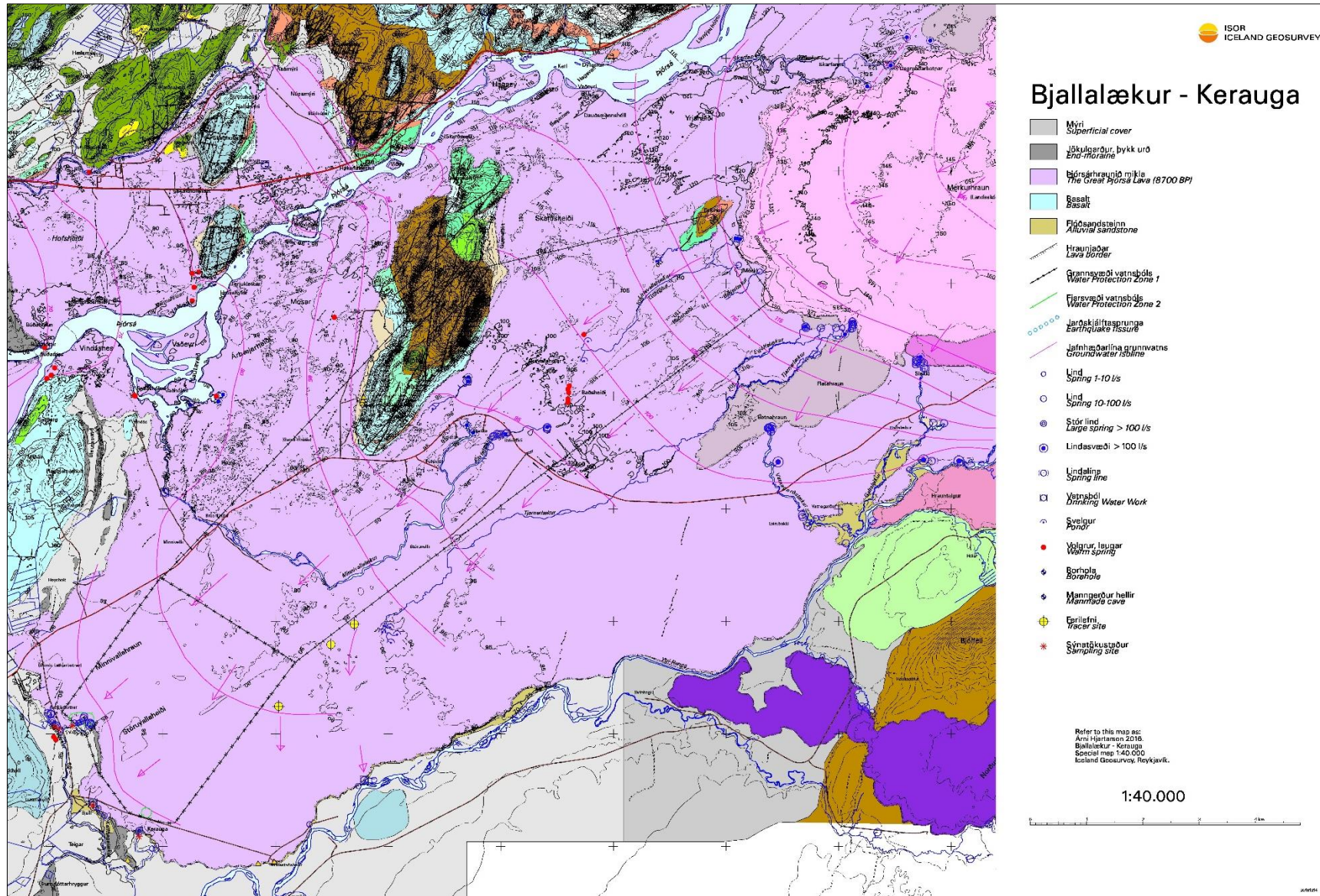
Sýni voru tekin úr lindinni norðan Húsagarðs í október og nóvember en engra ferilefna varð vart (lind ÞJ-3 á mynd 7). Hugsanlegt þótti að ná mætti í skottið á ferilefninu sem sett var niður í Tjarnalæk. Annaðhvort berst það ekki í lindina eða að það hafi verið runnið hjá þegar sýnatakan hófst og þannig sloppið óséð á braut. Landslagið undir hrauninu virðist ekki hafa nema takmörkuð áhrif á stefnu grunnvatnsstraumanna, jarðskjálftasprungur virðast ráða meiru um afdrif þeirra.

6 Afmörkun vatnsverndarsvæða

Í ljósi þeirra upplýsinga og vitneskju sem fengist hafa í ferilefnaprófuninni virðist full ástæða til að endurmeta vatnsverndarsvæðið við Tvíbytnulæk og Kerauga. Aðrennslistími grunnvatns að vatnsbóli þarf að vera það langur að mengandi gerlar lifi hann ekki af. Í reglugerð um neysluvatn nr. 536 frá 28. júní 2001 er ekki tiltekinn neinn tími í þessu efni en á síðari árum hefur ÍSOR miðað við 50 daga í sinni ráðgjöf (fyrir árið 2005 var oft miðað við 40 daga aðrennslistíma). Meðal nágrannapjóða eru mismunandi viðmið og þar sjást tölur frá 50 dögum og upp í 400 daga (Páll Stefánsson, 2004). Í nýrri samþykkt um vatnsvernd á höfuðborgarsvæðinu er miðað við 400 daga aðrennslistíma (Samþykkt nr. 555, 2015). Aðrennslistími grunnvatns frá Minnivallalæk til Kerauga er 70 dagar og til vatnsbólanna við Tvíbytnulæk er hann 77 dagar. Þá er átt við það grunnvatn sem hraðast streymir fram. Ferilefnaprófunin bendir eindregið til þess að stefna grunnvatnsrennslisins sé suðlægari en áður var reiknað með. Stefnan virðist vera á milli suðurs og suð-suðvesturs. Áður var gert ráð fyrir því að stefnan væri nálægt suðvestri og lögun grannsvæðisins endurspeglar það.

Það hefur alltaf verið vitað að ofangreindar lindir eru viðkvæmar fyrir mengun og grannsvæðið er þröngt. Einkum hefur Kerauga verið nefnt í því sambandi (Árni Hjartarson, 2015). Ferilefnaprófunin staðfestir það og leiðir í ljós að lindin er á mörkum þess að standast kröfur. Það þyrfti að flytja grannsvæðismörkin til norðurs. Aðrennslistíminn er að vísu nógu langur ef miðað er við Minnivallalæk en hér þarf að miða við frístundabyggð sem er í hrauninu sunnan við lækinn. Syðstu húsin eru aðeins 200–300 m frá núverandi grannsvæðismörkum. Raunar er ekki víst að húsin séu á vatnasviði Keraugans en það verður þó að teljast líklegt.

Á mynd 8 er sett fram hugmynd að nýrri afmörkun grannsvæðis. Þar er enn miðað við brunnsvæði ofan við Kerauga og við Tvíbytnulæk. Sameiginlegt grannsvæði teygir sig síðan til norð-norðausturs með stefnu á Minnivallalæk. Það er um 10 km² að flatarmáli. Norðurjaðar svæðisins er nokkru norðar en jaðar núverandi grannsvæðis og miðast við 50 daga aðrennslistíma. Fjarsvæði er síðan skilgreint áfram til norðausturs. Mörk þess teygjast frá norðvesturhorni grannsvæðisins um hátind Skarðsfjalls og þaðan í Eskiholt og svo til suðausturs að Gloppubrún vestan Eyjólfslækjar. Mörkin eru svo þaðan í beinni sjónhending í norðausturhorn grannsvæðisins, um 1,5 km norður af Mýrarvörðu.



Mynd 8. Jarðfræðikort sem sýnir lindir, vatnsból, staði sem ferilefni voru sett niður, sýnatökustaði, vatnsverndarsvæði og margt fleira.

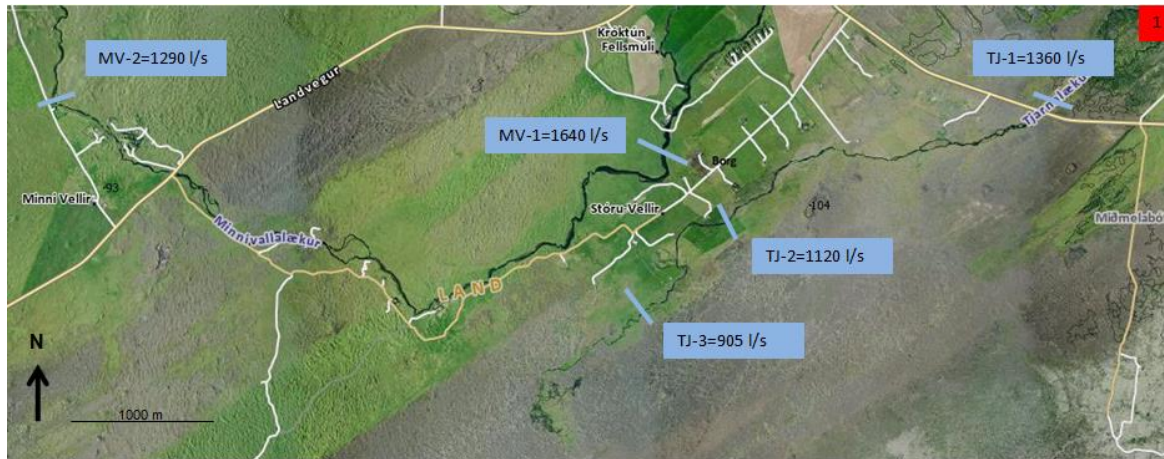
7 Vatnafarsrannsóknir

Í apríl 2016 voru gerðar athuganir á vatnafari á verndarsvæðinu við Kerauga og þar í grennd. Þær gerðu tveir stúdentar við Gautaborgarháskóla, Andrea Claesson og Nathalie Jonasson Collett, en undir stjórn Jónasar Ketilssonar, yfirverkefnisstjóra á Orkustofnun og stundakennara við HR. Niðurstöðurnar birtust í prófritgerð þeirra (Claesson og Collett, 2016) og að hluta í grein í ráðstefnuriti frá Orkuþingi 2016 (Jónas Ketilsson o.fl., 2016). Meðal annars var mælt rennsli í lindum og lækjum, hitastig vatnsins, rafleiðni og fleiri þættir. Ritin eru á ensku en niðurstöður þeirra verða settar fram í sérstakri skýrslu til Vatnsveitu Rangárbings ytra og Ásahrepps. Af þeim sökum verður ekki fjölýrt um þær. Hér verða einungis helstu mæliniðurstöður sýndar.

Útkoma rennslismælinganna er sýnd í töflu 4 og hita og rafleiðnimælingarnar eru sýndar í töflu 5. Athugunar- og mælistaði má sjá á myndum 7 og 9–11. Þessum rannsóknum verður ekki lýst nánar hér enda stendur skýrsla þeirra stallsystra fyrir sínu í því efni.

Tafla 4. Rennslismælingar í lindum og lækjum í apríl 2016 (Claesson og Collett, 2016).

Location	ID	Coordinates	Discharge [l/s]
Tjarnalækur north of Landsveit road (Road 26)	TJ-1	N63°59.636' W020°03.705'	1360
Tjarnalækur near Borgarbæli	TJ-2	N63°59.103' W020°06.821'	1120
Tjarnalækur downstream above Sikisjaðar	TJ-3	N63°58.563' W020°08.106'	905
Minnivallalækur at Stóruvellir	MV-1	N63°59.435' W020°07.485'	1640
Minnivallalækur at Ósbotnar	MV-2	N63°59.589' W020°13.556'	1290
Bjallalækur above the left tributary Tvíbytnulækur	BJ-1	N63°57.281' W020°14.177'	316
Bjallalækur above left tributary Kálfhagalækur	BJ-2	N63°56.295' W020°14.775'	793
Bjallalækur above the right tributary Grófarlækur	BJ-3	N63°56.055' W020°14.730'	1010
Bjallalækur below the left tributary Tjörfastaðalækur	BJ-5	N63°55.884' W020°14.177'	1830
Tvíbytnulækur left tributary of Bjallalækur	TB-1	N63°57.327' W020°15.048'	332
Kálfhagabotnar spring into Kálfhagalækur	KA-1	N63°56.612' W020°14.951'	66
Kálfhagabotnar spring into Kálfhagalækur	KA-2	N63°56.583' W020°14.952'	66
Kálfhagabotnar spring into Kálfhagalækur	KA-3	N63°56.532' W020°14.867'	109
Kálfhagalækur left tributary of Bjallalækur	KA-4	N63°56.323' W020°14.693'	152
Spring below Kerauga into Tjörfastaðalækur	TS-2	N63°56.155' W020°13.640'	60
Spring below Kerauga into Tjörfastaðalækur	TS-3	N63°56.141' W020°13.576'	79
Tjörfastaðalækur left tributary of Bjallalækur	TS-5	N63°55.932' W020°14.054'	602
Spring nearby Hrólfstaðahellir into Ytri-Rangá	ÞJ-1	N63°55.984' W020°12.040'	68
Spring west of Húsagarður into Ytri-Rangá	ÞJ-2	N63°56.398' W020°10.096'	21
Spring near Jarlsstaðir into Ytri-Rangá	ÞJ-4	N63°57.230' W020°07.134'	2
Spring near Jarlsstaðir into Ytri-Rangá	ÞJ-5	N63°57.614' W020°05.494'	20
Grófarlækur right tributary of Bjallalækur	GR-1	N63°56.012' W020°14.482'	89
Bakkalækur right tributary of Bjallalækur	BA-1	N63°57.211' W020°15.589'	20
Veitustokkur right tributary of Bjallalækur	VE-1	N63°57.136' W020°15.427'	30



Mynd 9. Mælistaðir í Minnivallalæk og Tjarnalæk og rennsli á hverjum stað. Athyglisvert er að rennslið minnkar eftir því sem neðar dregur með lækjunum. Það stafar af leka úr þeim niður í hraunið (Claesson og Collett, 2016).

Tafla 5. Mælingar á hitastigi og rafleiðni í lindum, lækjum og ám í Landsveit í apríl 2016. (Úr BS-ritgerð Claesson og Collett, 2016).

Location	ID	Coordinates	C ($\mu\text{S/cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)
Tjarnalækur north of Landsveit road (Road 26)	TJ-1	N63°59.636' W020°03.705'	140,7	9,3
Tjarnalækur downstream above Síkisjaðar	TJ-3	N63°58.563' W020°08.106'	141,4	6,6
Minnivallalækur at Stóruvellir	MV-1	N63°59.435' W020°07.485'	130,2	8,7
Minnivallalækur at Ósbotnar	MV-2	N63°59.589' W020°13.556'	130,9	5,3
Bjallalækur above the left tributary Tvíbytnulækur	BJ-1	N63°57.281' W020°14.177'	147,1	6,2
Bjallalækur above left tributary Kálfhagalækur	BJ-2	N63°56.295' W020°14.775'	143,7	6,1
Bjallalækur above the right tributary Grófarlækur	BJ-3	N63°56.055' W020°14.730'	142,7	6,3
Bjallalækur above the left tributary Tjörfastaðalækur	BJ-4	N63°55.951' W020°14.192'	146,7	6,8
Bjallalækur below the left tributary Tjörfastaðalækur	BJ-5	N63°55.884' W020°14.177'	144,4	7,2
Tvíbytnulækur left tributary of Bjallalækur	TB-1	N63°57.327' W020°15.048'	131	5,7
Tvíbytnulækur left tributary of Bjallalækur	TB-2	N63°57.385' W020°15.167'	131,2	6,2
Tvíbytnulækur left tributary of Bjallalækur	TB-3	-	-	7,6
Kálfhagabotnar spring into Kálfhagalækur	KA-1	N63°56.612' W020°14.951'	130,2	5,4
Kálfhagabotnar spring into Kálfhagalækur	KA-2	N63°56.583' W020°14.952'	132,6	5,8
Kálfhagabotnar spring into Kálfhagalækur	KA-3	N63°56.532' W020°14.867'	132,7	7,5
Kerauga spring into Tjörfastaðalækur	TS-1	-	135,4	5,3
Spring below Kerauga into Tjörfastaðalækur	TS-2	N63°56.155' W020°13.640'	126,4	4,9
Spring below Kerauga into Tjörfastaðalækur	TS-3	N63°56.141' W020°13.576'	123	4,9
Spring below Kerauga into Tjörfastaðalækur	TS-4	-	-	8,1
Spring nearby Hrófsstaðahellir into Ytri-Rangá	ÞJ-1	N63°55.984' W020°12.040'	122,5	4,8
Spring west of Húsagarður into Ytri-Rangá	ÞJ-2	N63°56.398' W020°10.096'	125,3	5,3
Spring west of Húsagarður into Ytri-Rangá	ÞJ-3	N63°56.921' W020°08.148'	116,1	8,4
Spring near Jarlsstaðir into Ytri-Rangá	ÞJ-4	N63°57.230' W020°07.134'	124,3	5,3
Spring near Jarlsstaðir into Ytri-Rangá	ÞJ-5	N63°57.614' W020°05.494'	122,3	5,2
Spring near Jarlsstaðir into Ytri-Rangá	ÞJ-6	-	-	7,9
Grófarlækur right tributary of Bjallalækur	GR-1	N63°56.012' W020°14.482'	275	6,7



Mynd 10. Rennslismælistaðir í grennd við Kerauga (Claesson og Collett, 2016).



Mynd 11. Lindir í grennd við Kerauga (Claesson og Collett, 2016).

8 Niðurstöður ferilefnaprófunar

Eitt ferilefnanna, sem sett voru niður í Landsveit í febrúar og maí 2016, hefur skilað sér í sýnatöku. Þetta er efni sem sett var í Minnivallalæk þann 20 maí. Það tók að birtast í sýnum frá Kerauga þann 3. ágúst og kom svo síðar fram í mjög lágum styrk í dæluhúsi vatnsveitunnar við Tvíbytnulæk, í Lækjarbotnalindum og loks í lindum Kálfhagalækjar hjá Bjalla. Prófunin sýnir að vatn sem hripar úr Minnivallalæk ofan í hraunið kemur fram í lindinni í Kerauga um 70 dögum síðar. Í dæluhúsinu birtist vatnið 77 dögum síðar. Þó er vegalengdin þangað mun skemmri en til Kerauga. Í Kálfhagalæk sést það ekki fyrr en eftir 144 daga. Ferilefnin, sem sett voru í hraunið í landi Jarlsstaða og í Tjarnalæk, komu ekki fram á sýnatökustöðunum. Þetta sýnir að þau berast ekki með grunnvatni í þá átt heldur fara þau aðra leið. Vatnaskil virðast vera í grunnvatninu á milli Minnivallalækjar og Tjarnalækjar og að efnin sem sett voru í hraunið í landi Jarlsstaða og í Tjarnalæk leiti til suðurs, í átt að Rangá. Önnur skýringin er að ferilefnin hafi orðið fyrir svo mikilli þynningu að þau greinist ekki. Í ljósi þess að ferilefnið sem sett var í Minnivallalæk hefur skilað sér í mælanlegu magni á sýnatökustað verður þynningarskýringin að teljast afar ólíkleg.

Af þessu leiðir að lindum og vatnsbólum innan vatnsverndarsvæðisins virðist ekki stafa hætta af mengun frá alifuglabúi sem staðsett yrði í landi Jarlsstaða í hrauninu upp af verndarsvæðinu. Grannsvæðið umhverfis vatnsbólin við Tvíbytnulæk og Kerauga virðist hins vegar tæplega nógu stórt til að tryggja tilskilda síun grunnvatnsins sem um það streymir. Það hefur raunar verið vitað að ofangreindar lindir, einkum Kerauga, eru viðkvæmar fyrir mengun og grannsvæðið er þröngt (Árni Hjartarson, 2015). Ferilefnaprófunin leiðir í ljós að Kerauga er á mörkum þess að standast kröfur sem framtíðarvatnsból. Það þyrfti að flytja grannsvæðismörkin til norðurs. Aðrennslistíminn er að vísu nógu langur ef miðað er við Minnivallalæk en hér þarf að miða við frístundabyggð í hrauninu sunnan við lækinn. Syðstu húsin eru aðeins 200–300 m frá núverandi grannsvæðismörkum. Raunar er ekki víst að húsin séu á vatnasviði Keraugans en það er líklegt.

Í heild skila þessar rannsóknir af sér nytsömum upplýsingum um rennslishraða, vatnaskil og rennslisleiðir grunnvatns í hrauninum á vatnsverndarsvæðinu upp af Kerauga og Tvíbytnulæk. Þær breyta þeirri mynd sem menn höfðu áður gert sér af aðstæðum og leiða til þess að endurmeta þarf grannsvæði vatnsbólanna.

9 Samandregnir punktar

- ❖ Tilraunin hófst 9. febrúar 2016. Ferilefni voru sett í jarðvegsgryfjur á hrauninu 9. og 19. febrúar. Einnig voru sett ferilefni í Minnivallalæk og Tjarnalæk þann 20. maí.
- ❖ Sýni hafa verið tekin úr Kerauga, vatnsbóli við Tvíbytnulæk, Kálfhagalæk við Bjalla og úr Lækjarbotnalæk ofan við lækjarmót Tvíbytnulækjar. Einnig hafa verið tekin nokkur sýni úr lind við Rangá ofan Húsagarðs.
- ❖ Sýni frá 9. febrúar til 29. nóvember hafa verið greind á efnarannsóknarstofu ÍSOR.
- ❖ Eitt ferilefnanna hefur skilað sér á sýnatökustaði. Það er efnið sem sett var í Minnivallalæk þann 20. maí 2016.
- ❖ Það skilaði sér 70 dögum eftir niðursetningu í Kerauga og síðan í mjög lágum styrk 77 dögum eftir niðursetningu í Dæluhúsinu við Tvíbytnulæk og í Lækjarbotnalindum sem þó eru mun nær Minnivallalæk. Síðast birtist það í Kálfhagalæk.
- ❖ Ferilefnin sem sett voru niður í landi Jarlsstaða og í Tjarnalæk komu ekki fram á sýnatökustöðunum. Grunnvatn streymir því ekki þaðan í átt að Kerauga eða Tvíbytnulæk heldur að öllum líkindum til suðurs í átt að Rangá.
- ❖ Breyta þarf grannsvæðinu umhverfis vatnsbólin við Tvíbytnulæk og teygja það lítið eitt lengra til norðurs til að tryggja tilskilda síun grunnvatnsins sem um það streymir ef miðað er við 50 daga aðrennslistíma.
- ❖ Varðandi staðsetningu alifuglabús er niðurstaðan sú að lindum og vatnsbólum innan vatnsverndarsvæðisins virðist ekki stafa hættu af mengun frá því.
- ❖ Nýjar upplýsingar liggja fyrir um rennslisraða, vatnaskil og rennslisleiðir grunnvatns í hraununum á vatnsverndarsvæðinu upp af Kerauga og Tvíbytnulæk.

10 Heimildaskrá

- Árni Hjartarson (2004) *Verndarsvæði við Bjallalæk á Landi*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-04104, 4 bls.
- Árni Hjartarson (2015). *Athugasemd vegna fyrirspurnar um nýframkvæmdir við mörk vatnsverndarsvæðis upp af Kerauga í Landsveit*. Íslenskar orkurannsóknir, minnisblað, 22. nóv. 2015.
- Árni Hjartarson (2016). *Alifuglabú á Jarlsstöðum og vatnsvernd við Kerauga og Tvíbytnulæk á Landi*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-16-0003, 6 bls.
- Árni Hjartarson og Freysteinn Sigurðsson (2000). *Neðri-Bjósá, grunnvatnslíkan*. Orkustofnun, ÁH/FS-2000/01, 5 bls.
- Bear, M. (2013) An Interview with Bernie Chowdhury: Author of "The Last Dive". *California Diver Magazine* 4.
- Chowdhury, B. (1996). Iceland's Caves. *Imersed, the International Technical Diving Magazine* 1, 16–22.
- Claesson, A. og Collett, N.J. (2016). *Hydrological investigations of the Kerauga aquifer. A study in geology and hydrogeology in the Southern Lowlands of Iceland*. BSc.-ritgerð, University of Gothenburg, 97 bls.
- Guðni Axelsson (1999). *Ferilprófanir í Mývatnssveit. Túlkun á endurheimtu jodíðs*. Orkustofnun, GAx-99/02, 11 bls.
- Jón Árnason (1967). Þegar Stóruvallalækur var skorinn fram. *Goðasteinn* 6, 35–38.
- Jónas Ketilsson, Sigríður Magnea Óskarsdóttir, Andrea Claesson og Nathalie Jonasson Collett (2016). The Kerauga Cave and Lækjarbotnaveita in South Iceland - Groundwater Safety and Hydrogeology. *Journal of Water Security. Special Edition for the Proc. of the 11th Nordic Drinking Water Conference. September 28–30, 2016*. Harpa, Reykjavík, Iceland.
- Páll Stefánsson (2004). *Framkvæmd vatnsverndar og stjórnun vatnsauðlindar á höfuðborgarsvæðinu*. M.Sc.-ritgerð. Orkuveita Reykjavíkur, 139 bls. + kort.
- Reglugerð um neysluvatn nr. 536 frá 28. júní 2001.*
- Samþykkt um verndarsvæði vatnsbóla innan lögsagnarumdæma Mosfellsbæjar, Reykjavíkurborgar, Seltjarnarnesbæjar, Kópavogsbæjar, Garðabæjar og Hafnarfjarðarkaupstaðar nr. 555. 19. júní 2015.*