

# Smádýralíf í afrennslisvatni frá háhitasvæðunum við Kröflu, Ölkelduháls og í Miðdal í Henglinum

Jón S. Ólafsson, Gróa Valgerður Ingimundardóttir,  
Iris Hansen og Sesselja Guðrún Sigurðardóttir



*Forsíðumynd: Hlíðardalslækur (Dallækur), neðan Kröfluvirkjunar.  
Ljósmynd: Jón S. Ólafsson.*

Smádýralíf í afrennslisvatni frá  
háhitasvæðunum við Kröflu,  
Ölkelduháls  
og í Miðdal í Henglinum

Jón S. Ólafsson<sup>1,4</sup>, Gróa Valgerður Ingimundardóttir<sup>2,4</sup>,  
Iris Hansen<sup>1,4</sup> og Sesselja Guðrún Sigurðardóttir<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Veiðimálastofnun, Keldnaholti, 112 Reykjavík, <sup>2</sup>Náttúrufræðistofnun Íslands,  
Hlemmi 3, 105 Reykjavík, <sup>3</sup>Náttúrustofa Norðausturlands,  
Hafnarstétt 3, 640 Húsavík og <sup>4</sup>Líffræðistofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101  
Reykjavík.

Reykjavík, mars 2010



# Efnisyfirlit

Myndaskrá.....	ii
Töfluskrá .....	ii
Ágrip .....	iii
Summary .....	v
Inngangur .....	1
Flokkun og útbreiðsla jarðhitasvæða á Íslandi.....	1
Lífríki jarðhitasvæða .....	2
Nýting jarðhitasvæða .....	4
Efnistaka og orkuvinnsla.....	5
Ferðamennska .....	5
Náttúruvernd, friðun og endurheimt .....	5
Markmið rannsóknarinnar.....	6
Rannsóknarsvæði .....	7
Kröflusvæðið.....	7
Hengilssvæðið .....	10
Ölkelduháls .....	10
Miðdalur.....	13
Aðferðir .....	19
Sýnataka og mælingar .....	19
Flugnagildrur.....	20
Botnsýni .....	21
Töluleg úrvinnsla .....	22
Niðurstöður .....	23
Hiti .....	23
Krafla.....	23
Ölkelduháls .....	26
Miðdalur.....	27
Leiðni .....	27
Sýrustig .....	28
Rennsli .....	28
Flugnagildrur.....	29
Botndýr.....	31
Fjölbreytni .....	31
Þéttleiki .....	34
Samfélög botndýra og áhrif umhverfisþátta.....	37
Umræða.....	47
Útbreiðsla lífvera.....	47
Líffræðileg fjölbreytni og aðlögun að hita .....	48
Fæðuvefir .....	50
Efnastyrkur og botngerð.....	50
Lífsferlar.....	51
Ályktanir .....	53
Þakkir .....	54
Heimildir .....	55

## Myndaskrá

1. mynd. Heitur lækur neðan við Hveragil (við stöð KR1-1).
2. mynd. Yfirlitskort af rannsóknarsvæðinu við Kröflu.
3. mynd. Sýnatökustöðvar í heitu lækjunum (KR1) við Kröflu.
4. mynd. Sýnatökustöðvar í kalda læknum (KR2) við Kröflu.
5. mynd. Yfirlitskort af rannsóknarsvæðinu við Ölkelduháls.
6. mynd. Upptök heita lækjarins (OH1) við Ölkelduháls.
7. mynd. Sýnatökustöðvar í heita læknum (OH1) við Ölkelduháls.
8. mynd. Sýnatökustöðvar í kalda læknum (OH2) við Ölkelduháls.
9. mynd. Yfirlitskort af rannsóknarsvæðinu í Miðdal.
10. mynd. Yfirlitsmynd úr Miðdal.
11. mynd. Sýnatökustöðvar í heita læknum (MD1) í Miðdal.
12. mynd. Sýnatökustöðvar í kalda læknum (MD2) í Miðdal.
13. mynd. Flugnagildra við sýnatökustöð KR2-2 við Kröflu.
14. mynd. Vatnshiti í afrennislækjum við Kröflu, Ölkelduháls og í Miðdal.
15. mynd. Meðalhiti afrennislækja við Kröflu, Ölkelduháls og í Miðdal.
16. mynd. Tegundafjöldi skordýra sem veiddust í flugnagildrum.
17. mynd. Fjöldi botndýrategunda/hópa í lækjum við Kröflu, Ölkelduháls og í Miðdal.
18. mynd. Þéttleiki botndýra í lækjum við Kröflu, Ölkelduháls og í Miðdal.
19. mynd. Niðurstöður DCA hnitunar botndýra úr heitum og köldum lækjum við Kröflu, Ölkelduháls og í Miðdal.
20. mynd. Niðurstöður CCA hnitunar botndýra þar sem tekið er tillit til umhverfispátta.
21. mynd. Samband þéttleika botndýra og vatnshita.

## Töfluskrá

1. tafla. Meðalvatnshiti yfir vetrar- og sumarmánuði í lækjunum við Kröflu, Ölkelduháls og í Miðdal 2002–2004.
2. tafla. Helstu umhverfisbreytur í lækjunum við Kröflu.
3. tafla. Helstu umhverfisbreytur í lækjunum við Ölkelduháls.
4. tafla. Helstu umhverfisbreytur í lækjunum í Miðdal.
5. tafla. Listi yfir tegundir skordýra úr flugnagildrum.
6. tafla. Fjöldi tegunda skordýra úr flugnagildrum, skörun og  $\beta$ -fjölbreytni.
7. tafla. Tegundir/hópar botndýra í lækjum við Kröflu, Ölkelduháls og í Miðdal.
8. tafla. Fjöldi botndýrategunda/hópa úr botndýrasýnum, skörun og  $\beta$ -fjölbreytni.
9. tafla. Þéttleiki mismunandi botndýrahópa í lækjunum við Kröflu.
10. tafla. Þéttleiki mismunandi botndýrahópa í lækjunum við Ölkelduháls.
11. tafla. Þéttleiki mismunandi botndýrahópa í lækjunum í Miðdal.
12. tafla. Hlutföll (%) mismunandi fæðuöflunarhópa botndýra.

## Ágrip

Gerð er grein fyrir niðurstöðum rannsóknar á dýralífi í afrennslisvatni á þremur háhitasvæðum hérlendis. Rannsóknin fór fram árin 2002–2003 og var styrkt af Orkusjóði. Svæðin voru valin m.t.t. náttúrulegs breytileika jarðhitavatns á háhitasvæðum, einkum hvað varðaði hita og sýrustig auk hugsanlegra áhrifa vegna orkuvinnslu jarðvarma. Á hverju svæði var vatnalíf borið saman milli heitra og kaldra lækja, en þeir síðarnefndu voru notaðir til viðmiðunar. Rannsóknarsvæðin voru Krafla, Ölkelduháls og Miðdalur í vestanverðum Henglinum, sem eru í 320–520 hæð yfir sjávarmáli. Meginmarkmið rannsóknarinnar var að afla grunnupplýsinga um lífríki afrennslisvatns háhitasvæða til að auka skilning á vistkerfum þeirra og þeim þáttum sem móta þau.

Til að ná settum markmiðum voru notaðar flugnagildir, botnsýni tekin og efna- og edlisþættir mældir. Tvær flugnagildir voru settar upp á hverju svæði, ein við heitan læk og önnur við kalda læk. Botndýrasýni voru tekin á 1–4 stöðvum í hverjum læk. Botngerð var metin og hiti, rennsli, sýrustig og leiðni mæld á hverri sýnatökustöð, auk þess sem síritandi hitamælum var komið fyrir á völdum stöðvum í lækjunum. Allar sýnatökur og mælingar voru gerðar snemm- og síðsumars 2002 og endurteknar snemmsumars 2003. Síritandi hitamælar og flugnagildir voru látnir standa í eitt ár frá ágúst 2002.

Rennsli í öllum lækjunum var af svipaðri stærðargráðu. Vatnið í heitu lækjunum var oftast vel yfir 10°C en að jafnaði lægra en 10°C í þeim köldu, þrátt fyrir að vatnshitinn væri lítið eitt hærra yfir sumarið. Leiðni og sýrustig var nokkuð mismunandi milli heitu og köldu lækjanna. Minni munur milli landshluta var á leiðni og sýrustigi köldu lækjanna en þeirra heitu. Í heita læknum við Ölkelduháls var leiðni mjög há og sýrustig lágt. Við Kröflu var leiðni sömuleiðis nokkuð há en sýrustig nálægt hlutlausu. Sýrustig heita lækjarins í Miðdal var einnig nálægt hlutlausu en með nokkru lægri leiðni en mældist á hinum svæðunum.

Í flugnagildrurnar veiddust alls 43 tegundir skordýra sem dvelja a.m.k. hluta lífsferils síns í vatni. Af þeim voru flestar tegundir við köldu lækina við Kröflu og Ölkelduháls. Mun færri tegundir veiddust við heitu lækina á þessum sömu stöðum. Munurinn á tegundafjölda við heita og kalda lækinn í Miðdal var hins vegar hverfandi.

Alls fundust 59 tegundir/hópar botndýra. Líkt og fyrir veiði flugnagildranna var fjölbreytni botndýrafánunnar mun minni í heitu lækjunum en þeim köldu, bæði við Kröflu og Ölkelduháls. Hins vegar var lítill munur á fjölda botndýrategunda/hópa milli kalda og heita lækjarins í Miðdal. Sama má segja um þéttleika botndýra, hann var yfirleitt mun minni í heitu lækjunum við Kröflu og Ölkelduháls en í þeim köldu á sömu svæðum. Þéttleiki botndýra reyndist mestur í lækjunum í Miðdal. Í heitu lækjunum voru rykmýslirfur, vatnabobbar, vatnamaurar og bitmýslirfur algengustu hópar botndýra en í þeim köldu voru það rykmýslirfur og krabbadýr. Hvað varðar þéttleika einstakra botndýrahópa skáru vatnabobbar, bitmý og rykmýstegundin *Cricotopus sylvestris* sig frá öðrum hópum á þann hátt að þeir voru í mestum mæli í vatni yfir 10°C. Flestar aðrar tegundir eða hópar voru algengari við lægri hita en 10°C. Breytileiki í

tegundasamsetningu botndýra skýrðist fyrst og fremst af hita og leiðni. Hiti og leiðni skýrðu samtals tæp 30% breytileikans.

Lítill fjölbreytni og þéttleiki dýra í heitu lækjunum við Ölkelduháls verður helst skýrð með því hve súrt vatnið var í þeim lækjum. Hið sama á vart við um heitu lækina við Kröflu en þar voru hins vegar töluverðar sveiflur í hita og leiðni sem gætu gefið til kynna sveiflur í magni uppleystra efna í vatninu. Eins var botngerð lækjanna einsleitari þar og gætu m.a. þessir þættir skýrt lítinn þéttleika og fjölbreytni fánunnar í lækjunum við Kröflu. Í Miðdal var fánan í heita læknum bæði fjölbreyttari og auðugari en á hinum rannsóknarsvæðunum.



## Summary

### Macroinvertebrate assemblages in effluent water from the high temperature geothermal areas of Krafla, Ölkelduháls and Miðdalur in Hengill, Iceland

This report presents a basic study on the freshwater invertebrates in effluent streams from three high temperature geothermal areas in Iceland. The study was carried out in 2002–2003 and funded by Orkusjóður (Iceland Energy Fund). The selection of the study sites was based on the criteria that they would cover the diversity of water originating from high temperature geothermal areas in respect of temperature, pH, chemistry and anthropogenic impact. At each study site, a comparative study was carried out on the biota within warm and cold streams. The latter ones were used as control sites. The study sites were in the following geothermal areas: Krafla in North-East Iceland; Ölkelduháls and Miðdalur in South-West Iceland. The main objectives of the study was to gather information on the invertebrate assemblages of streams originating in high temperature geothermal areas to enhance our knowledge of those ecosystems and determine the dominating environmental factors which structure these freshwater ecosystems. To obtain these goals, we used insect fly traps, and benthic samples as well as measurements of selected physical and chemical variables. Two fly traps were located at each research area, one by a warm stream and one by a cold stream. Benthic samples were collected at between 1 and 4 sampling stations within each stream. The stream bed characteristics were assessed and temperature, discharge, pH and conductivity was measured at each sampling location. Temperature data loggers were also placed in some of the sampling sites. All measurements and sampling were carried out early and late summer 2002 and repeated early summer 2003. The temperature data loggers and the fly traps were left for one year, August 2002–August 2003.

All three study sites were situated at an altitude of 320–520 m a.s.l. and the discharge was comparable in all the streams studied. The temperature in the warm streams was usually well above 10°C and the cold streams were below 10°C with the exception during warm summer days when the stream temperature was higher than 10°C. Both the conductivity and pH was considerably different between the warm and cold streams. A geographical difference in conductivity and pH was less prominent for the cold streams than the warmer ones. The warm stream in Ölkelduháls had a very high conductivity but very low pH. In Krafla, the warm streams also had high conductivity but the pH was near neutral. The warm stream in Miðdalur had rather high conductivity and pH near neutral.

A total of 43 aquatic insect species were collected in the fly traps, with the highest number caught in the traps beside the cold streams in Krafla and Ölkelduháls. Noticeably less insect species were caught in the fly traps near the warm streams at those same study sites. On the other hand little difference was found in the diversity of insects caught in the traps beside the warm and cold streams in Miðdalur.

A total of 59 benthic invertebrate taxa were recorded. Generally, the same pattern was seen for the diversity of the macro-benthos, as was seen for the catch of the fly traps in Krafla and Ölkelduháls, where diversities were much lower in the warm streams than in the cold ones. The difference was less profound between streams of different temperatures in Miðdalur. The densities of stream invertebrates were usually lower in the warm streams than in the cold streams. This was very prominent both in Krafla and Ölkelduháls. The highest densities of stream invertebrates were recorded in the cold stream in Krafla and the warm and cold streams in Miðdalur. Chironomid larvae, gastropods, acarina and black fly larvae characterized the benthos of the warm streams, whereas chironomids and crustaceans characterized the cold streams. This reflected the association between densities and stream temperature, where gastropods, black fly larvae and the chironomid species *Cricotopus sylvestris* showed a distinct pattern compared to other invertebrates by having their peak densities at a temperature above 10°C. Most other taxa had a peak in their densities in streams with temperature lower than 10°C. The variance in composition of the stream invertebrate taxa was mainly explained by gradient in temperature and conductivity. The temperature and conductivity explained nearly 30% of the variance in species composition.

Low diversities and densities of stream invertebrates in the warm streams in Ölkelduháls can be explained by the low pH of the warm stream there. The same explanation for low diversities and densities in the warm streams in Krafla can possibly be explained by geothermal utilization which involves discharges from bore holes, cooling towers and great fluctuations in temperature. In the warm stream of Miðdalur, the stream fauna was both more diverse and of higher density than in the warm streams of the other high temperature geothermal areas that were studied.

# Inngangur

Jarðhitinn er einn af sérkennum náttúru Íslands sem á fáar hliðstæður annars staðar á jarðarkringlunni. Þrátt fyrir að jarðhita sé allvíða að finna í öðrum löndum eru þau svæði um margt frábrugðin þeim sem finnast hér á landi, einkum vegna þess hve hitaúlstreymi frá háhitasvæðum landsins er samanlagt mikið og hve fjölbreytt svæðin eru (Sigurður Þórarinsson 1978a). Hliðstæð svæði er einna helst að finna í Bandaríkjunum og á suðurhveli jarðar, m.a. í Chile, Argentínu og á Nýja-Sjálandi. Jarðhitasvæði hérlendis hafa um aldir vakið undrun og jafnframt ótta þeirra sem þau hafa séð og ferðasögur útlendinga sem hingað lögðu leið sína fyrr á öldum innihalda margar hverjar magnaðar lýsingar á þessum náttúruyfyrirbærum (Sigurður Þórarinsson 1978a, Guðmundur Pálmason 2005).

## *Flokkun og útbreiðsla jarðhitasvæða á Íslandi*

Jarðhiti telst vera þar sem heitt vatn eða gufa kemur upp á yfirborðið. Lofthitinn þar er að jafnaði yfir meðallofthita viðkomandi svæðis og afrennslisvatnið oftast yfir 10°C og ríkt af uppleystum efnum (Tuxen 1944, Castenholz og Wickstorm 1975, Stefán Arnórsson o.fl. 1980, Pritchard 1991, Stefán Arnórsson 1993).

Flokkun jarðhitasvæða í lág- og háhitasvæði byggði í fyrstu á ásýnd svæðanna. Síðar var farið að flokka þau út frá sýrustigi þ.e. hvort vatn væri basískt eða súrt (sjá: Guðmundur Pálmason 2005). Samfara auknum borunum var farið að flokka svæðin eftir hita borholuvatns á 1000 m dýpi: á lághitasvæðum væri vatnið kaldara en 150°C en heitara en 200°C á háhitasvæðum (Gunnar Böðvarsson 1961). Í dag hefur flokkunin verið einfölduð og mörkin eingöngu dregin við 200°C á umræddu dýpi (Guðmundur Pálmason 1980). Á yfirborði er útlit jarðhitasvæða mjög mismunandi, háhitasvæðin einkennast oftast af miklu litaskrúði, ummynduðum jarðvegi og gufu- eða leirhverum. Ummyndun á yfirborði lághitasvæða er hins vegar mun minni (Stefán Arnórsson 1980, Kristján Sæmundsson og Ingvar Birgir Friðleifsson 1980). Umhverfi lághitasvæða einkennist gjarnan af grósku í gróðurfari og dýralífi. Þar sem eru lindir, volgrur eða volg jörð, getur bæði flóra og fána verið allfrábrugðin því sem gerist á nærliggjandi köldum svæðum (Áskell Löve 1977, Bergþór Jóhannsson 1989–2003, Hörður Kristinsson 1986, Tryggvi Þórðarson 1981).

Háhitasvæði landsins eru talin vera rúmlega 20 en nokkurrar óvissu gætir um fáein svæði til viðbótar (Helgi Torfason 1998, 2003). Flest háhitasvæðin eru á hálendinu innan virku gosbeltanna en tvö þeirra eru á mörkum beltanna, það er Geysis- og Hveragerðissvæðið (Kristján Sæmundsson og Ingvar Birgir Friðleifsson 1980). Háhitasvæðin eru mjög mismunandi að stærð, allt frá því að vera um 1 km<sup>2</sup> upp í 140 km<sup>2</sup>. Tvö svæði bera af hvað víðfeðmi varðar, Torfajökulssvæðið (140 km<sup>2</sup>) og Hengilssvæðið (100 km<sup>2</sup>) (Helgi Torfason 1998). Efnainnihald gufu og jarðvatns sem rennur af háhitasvæðum er á margan hátt frábrugðið því sem er á lághitasvæðum. Hár styrkur kísils og brennisteins, auk annarra efna sem oft geta verið skaðleg lífverum, og lágt sýrustig vatns eru þættir sem yfirleitt einkenna háhitasvæði (Cushman o.fl. 1977, Stefán Arnórsson o.fl. 1980, Lamberti og Resh 1983, Resh o.fl. 1983, Helgi Torfason 1998).

Lághitasvæðin eru flokkuð eftir vatnshita í hverri (>70°C), laugar (25–70°C) og volgrur (10–25°C). Frekari flokkun má sjá t.d. á jarðhitakorti af

Íslandi (Helgi Torfason 2003). Lághitasvæðin er að finna mun víðar en háhitasvæðin og eru flest utan gliðnunarbelta. Sigurður Þórarinnsson (1978a) taldi laugasvæði vera um 300 á landinu og einstakar laugar ríflega tvöfalt fleiri. Helgi Torfason (1998) taldi fjölda einstakra lauga vera a.m.k. 1.000 á landinu öllu. Vatnsmestu hverirnir eru á jöðrum gliðnunarbelta í Árnæssýslu, Borgarfjarðarsýslu og á Norðurlandi. Deildartunguhver í Borgarfirði er þeirra vatnsmestur með rennsli upp á 150–180 L/sek. (Sigurður Þórarinnsson 1978a, Ingvar Birgir Friðleifsson 1979). Athyglisvert er að lághitasvæði eru nokkuð algeng á Vestfjarðakjálkanum, þrátt fyrir að sá landshluti sé langt frá núverandi gliðnunarbelta (Helgi Torfason 2003). Hins vegar er lítið um lághitasvæði á Austur- og Suðausturlandi (Stefán Arnórsson 1993, Guðmundur Pálmason 2005, Helgi Torfason 2003). Auk þessa er jarðhita víða að finna við sjó, bæði í flæðarmálinu og á grunnsævi (Jón Benjamínsson 1988).

Háhitasvæði eru talin vera bundin við megineldstöðvar og myndist þannig að heit kvika í kvikuþrómi á litlu dýpi hiti upp grunnvatnið (Ingvar Birgir Friðleifsson 1979, Stefán Arnórsson 1993). Uppruni lághitasvæða er ögn flóknari, flestir jarðvísindamenn eru þó sammála um að jarðhitavatnið sé að uppruna regnvatn sem seytilað hefur niður í jarðskorpuna og kemur annars staðar upp sem hver eða laug (Axel Björnsson o.fl. 1990). Stefán Arnórsson og Sigurður Reynir Gíslason (1990) bentu á að héraendis tengdist lághitinn líklega hræringum í ungum sprungum og þannig hitni vatn við að komast nálægt þessum leku sprungukerfum sem allt eins geta legið utan gliðnunarbelta.

### ***Lífríki jarðhitasvæða***

Rannsóknir á lífríki jarðhitasvæða héraendis voru fremur fátæklegar framan af. Það kann að virðast einkennilegt í ljósi þess hve vistkerfi sem finna má á jarðhitasvæðum eru fágæt á heimsvísu og væntanlega sérstæð fyrir Ísland. Á fyrri hluta síðustu aldar voru það einkum erlendir fræðimenn sem sinntu rannsóknum á jarðhitasvæðum hér á landi, m.a. með rannsóknum á þörungum og bakteríum (Schwabe 1933, 1936). Þó að Schwabe (1933, 1936) hafi í ritum sínum sérstaklega beint athyglinni að brennisteinsbakteríum og bláþörungum, útbjó hann jafnframt yfirlit yfir helstu tegundir plantna og dýra á hverasvæðum hér á landi, einkum á Suðvesturlandi og við Reykjanes í Ísafjarðardjúpi. Dýralíf var hins vegar lítið rannsakað fyrr en snemma á fjórða áratugi síðustu aldar að Sören L. Tuxen (1944) rannsakaði ítarlega dýralíf í jarðhitavatni, einkum í Skagafirði. Þar var um að ræða grundvallarrannsókn á dýrasamfélögum í jarðhitavatni, sem enn þann dag í dag er stuðst við og víða vitnað í. Síðar meir bættust við upplýsingar um flóru og fánu landsins almennt, þar á meðal jarðhitasvæða. Upplýsingar um gróður á jarðhitasvæðum hafa m.a. birst í bókum um háplöntuflóru Íslands (t.d. Steindór Steindórsson 1964, Áskell Löve 1977, Hörður Kristinnsson 1986) auk fjölríta Náttúrufræðistofnunar Íslands um mosaflóru Íslands (Bergþór Jóhannsson 1989-2003). Gert var yfirlit yfir mosa, einkum ættkvíslina *Sphagnum* (barnamosar, burar), við hveru víða um land upp úr miðri síðustu öld (Lange 1973) og nokkru síðar voru gerðar rannsóknir á þörungum við hveru sem einkum voru bundnar við suðurhluta landsins (Sperling 1975). Sigurður Pétursson (1958), sem kannaði m.a. þörunga og bakteríur á jarðhitasvæðum, sagði áhrif jarðhita á gróðurfar landsins vera „hverfandi lítil og þau gróðurfélög, sem talizt geta sérkennandi fyrir jarðhitasvæðin, eru fáskrúðug og lítt áberandi.“ Hann taldi

ástæðu þess m.a. vera að meginhluti varmans kæmi fram sem sjóðheit gufa eða vatn sem er heitara en 80°C og kólni snögglega vegna lofthita eða við það að blandast lækjum og ám. Þannig sé aðeins um mjög staðbundin áhrif hitans að ræða.

Á síðari árum hafa rannsóknir á lífríki jarðhitasvæða aukist allverulega hér á landi. Þar hafa rannsóknir á örverum vegið þungt, t.d. með tilliti til notkunar örvera við rannsóknir í lífefnafræði og líftækni (t.d. Jakob K. Kristjánsson og Guðni Alfreðsson 1986); og síðar með vistfræðilegum og flokkunarfræðilegum nálgunum (Tryggvi Þórðarson og Sólveig K. Pétursdóttir 2002, Viggó Þór Marteinsson o.fl. 2004, Sólveig K. Pétursdóttir o.fl. 2006). Rannsóknir á plöntum hafa sömuleiðis aukist mikið á undanförunum áratug, bæði í tengslum við mat á umhverfisáhrifum (t.d. Rannveig Thoroddsen 2002, Guðmundur Guðjónsson o.fl. 2005, Guðmundur Guðjónsson og Kristbjörn Egilsson 2006) og í tengslum við rammaáætlun um nýtingu vatnsfalla og jarðvarma (Ásrún Elmarsdóttir o.fl. 2003, 2005, 2009; Ásrún Elmarsdóttir og Olga Kolbrún Vilmundardóttir 2007, 2009; Kristján Jónasson og Sigmundur Einarsson 2009, Olga Kolbrún Vilmundardóttir o.fl. 2006, Trausti Baldursson o.fl. 2009).

Núverandi vitneskja okkar um dýralíf á jarðhitasvæðum er töluvert minni en um örverur og gróður. Lítið bættist við þekkingu á fínu jarðhitasvæða hér á landi frá því sem Tuxen (1944) birti fyrir en undir lok síðustu aldar. Gísli Már Gíslason (1980) rannsakaði ásamt nemendum við Háskóla Íslands, dýralíf í tveimur varmám, Varmá í Mosfellssveit og Varmá í Ölfusi, einkum m.t.t. mengunarálags. Tryggvi Þórðarson (1981) vann að flokkun varmalinda í Borgarfirði (Hvítársíðu, Hálsasveit og Reykholtisdal) fyrir Náttúruverndarráð, með áherslu á lífríki lindanna ásamt umhverfi þeirra og efnasamsetningu vatnsins. Í skýrslunni var enn fremur gerð tillaga að verndun linda. Tryggvi kannaði 47 lindir, þar af 9 volgrur (14–39°C), 21 laug (30–70°C) og 19 vatnshveri (70–100°C). Ein helsta niðurstaða könnunarinnar var að dýralíf væri fjölbreyttast í vatnsmiklum lindum.

Undanfarin ár hafa rannsóknir á dýralífi jarðhitasvæða aukist til muna, m.a. vegna mats á umhverfisáhrifum. Þar ber fyrst að nefna rannsóknir á smádýrum á þurrlendi. Þær hafa einkum verið bundnar við háhitasvæði á borð við Bjarnarflag, Námafjall, Hengilssvæðið og Þjórsárver (María Ingimarsdóttir 2000, Erling Ólafsson 2000, Iris Hansen og Jón S. Ólafsson 2002); og í vatnavistkerfum í Sleggjubeinsskarði og Hengladalsá svo dæmi séu tekin (Jón S. Ólafsson og Gísli Már Gíslason 2002). Þá ber að nefna nokkur námsverkefni er tengjast dýralífi á jarðhitasvæðum: Tryggvi Þórðarson rannsakaði snigla í Opnunum í Ölfusi (1983) og María Ingimarsdóttir (2004) landliðdýr á háhitasvæðum á Ölkelduhálsi og Reykjanesskaga. Hafsteinn Gunnarsson (2003) rannsakaði áhrif jarðhita og jarðvarmavirkjunar á dýralíf í austanverðum Henglinum, Þverá og Ölfusvatnsá. Niðurstöður Hafsteins bentu til að Þverá væri undir verulegum áhrifum frá jarðhita en þau áhrif dvíni eftir að kemur niður í Ölfusvatnsá. Greinileg áhrif jarðhitans á samfélagsgerðir smádýra komu í ljós í efri hluta Þverár, þar sem m.a. vatnabobbar voru áberandi. Til viðbótar má nefna að Líffræðistofnun Háskólans og Náttúrufræðistofnun Íslands gerðu á árunum 2001–2002 samanburð á dýralífi nokkurra háhitasvæða á landinu. Þar var áhersla lögð á áhrif hita á gróðurfar og útbreiðslu dýra (Ásrún Elmarsdóttir o.fl. 2003). Síðsumars 2003 var gerð úttekt á

áhrifum afrennslis frá Nesjavallavirkjun á þörunga og smádyralíf í Þingvallavatni (Sigurður Snorrason o.fl. sent til birtingar).

Vorið 2002 fór af stað samanburðarrannsókn á lífríki lækja sem eiga upptök sín á nokkrum háhitasvæðum á landinu. Markmið þeirrar rannsóknar var að varpa ljósi á vistfræði smádyra í heitum lækjum sem renna af háhitasvæðum og leggja mat á sérstöðu mismunandi jarðhitavistkerfa. Um var að ræða paraða rannsókn, með mælingum og sýnatökum úr heitum og köldum lækjum á hverju svæði. Rannsóknin var gerð með nokkrum endurteknum athugunum, bæði innan árs og á milli ára. Í framhaldi af þessari athugun hófust frekari rannsóknir á vistfræði lækja í Miðdal og Innstadal á Hengilssvæðinu árið 2004. Þær rannsóknir tengjast áhrifum loftslagsbreytinga á vistkerfi straumvatna. Upplýsingar um lífríki heitra lækja voru notaðar til samanburðar við kalda lækki á sömu svæðum, til að spá fyrir um hugsanleg áhrif loftslagshlúnunar (Christensen 2006, Woodward o.fl. 2010). Auk þess voru gerðar tilraunir þar sem áhrif aukinnar næringarefnaauðgunar á vistkerfi lækjanna voru könnuð (Friberg o.fl. 2009) en líkleg afleiðing loftslagshlúnunar er m.a. aukning á áburðarefnum sem skolast af landi út í vatnavistkerfi. Hér er um að ræða samvinnuverkefni milli fjölda innlendra og erlendra rannsóknastofnana sem styrkt var af 6. rammaáætlun ESB (Friberg o.fl. 2009, Woodward o.fl. 2010, Rakel Guðmundsdóttir o.fl. í handriti) og ætlað var að spá fyrir um áhrif loftslagsbreytinga á ferskvatnavistkerfi. Í því ljósi má nefna að víða hefur verið bent á hve afrennslis frá hverum sé vel til þess fallið að rannsaka áhrif hitastiguls á lífverusamfélög í straumvötnum (Brock og Brock 1966) og þar með áhrif loftslagsbreytinga (t.d. Lamberti og Resh 1985, Hogg og Williams 1996).

Ekki má ljúka yfirliti þessu um lífríki jarðhitasvæða án þess að minnst á eitt það dularfyllsta fyrirbæri sem hefur fylgt alþýðu manna um árhundruð, hina svokölluðu hverafugla. Í Morgunblaðinu 19. mars 1916 birtist grein eftir Halldór Guðjónsson, sem síðar tók sér nafnið Halldór Kiljan Laxness, og var þá 13 ára gamall. Grein sína nefndi hann *Hverasilungar og hverafuglar*. Halldór hóf greinina þannig: „Hverasilungur. Þennan einkennilega fisk hafa margir heyrt nefndan en færri hafa víst lagt trúnað á að hann væri til. En svo mun þó vera.“ Þar á hann væntanlega við urriða sem finna má í heitum laugum og lækjum. Um hverafugla segir Halldór: „Hverafuglar. Sagan um hverafugla virðist en merkilegri en sagan af silungnum, enda mun þó mörgum mönnum hafa verið um það kunnugt að þeir væru til, og það frá löngu liðnum tímum.“ Í lok greinar sinnar segir Halldór síðan: „Þetta er nú það sem eg veit um dýralíf í sjóðandi hverum, en eg þori að ábyrgjast að sögur þær eru sannar, og gaman væri að fá fleiri.“

### ***Nýting jarðhitasvæða***

Öldum saman hafa jarðhitasvæði verið nýtt enda hin mesta auðlind þar sem hennar nýtur við. Rómverjar nýttu heitar uppsprettur víða í Evrópu nokkru fyrir Kristsburð m.a. þar sem borgin Bath í suður Englandi stendur. Í Reykholti í Borgarfirði hafa menn nýtt sér jarðhitann til baða frá því á Sturlungaöld í laug þeirri sem kennd er við Snorra Sturluson. Segja má að jarðhitinn, einkum vatnið sem vellur sjóðheitt úr iðrum jarðar, hafi alls staðar verið nýtt, hvort heldur af maórum á Nýja-Sjálandi eða víkingum á Íslandi. Jarðir þar sem jarðhita gætir hafa löngum verið meðal ríkustu býla hér á landi, nægir þar að nefna Reykhóla sem dæmi.

## **Efnistaka og orkuvinnsla**

Brennisteinn, sem er einn af einkennum háhitasvæða, var nýttur í talsverðum mæli á miðöldum og allt fram á 18. öld. Vinnslan var einkum á háhitasvæðum norðaustanlands, við Kröflu, Námafjall og Fremrináma (Guðmundur Pálmason 2005).

Jarðhita var farið að nýta til húshitunar í byrjun 20. aldar og ylræktar á þriðja áratug síðustu aldar. Síðar hefur jarðhitinn verið nýttur í tengslum við iðnað, s.s. kísilgúrvinnslu úr Mývatni, saltvinnslu á Reykjanesskaga og þörungavinnslu á Reykhólum. Hér á landi hófst nýting jarðhita til orkuvinnslu ekki fyrr en á síðari hluta 20. aldar (Jón Steinar Guðmundsson 1980, Guðmundur Pálmason 2005). Nokkru fyrr höfðu Nýsjálendingar hafið beislun jarðhita til orkuvinnslu (Boothroyd 2009).

Nú er svo komið hér á landi að ásókn hefur aukist til muna í nýtingu jarðhitasvæða til raforkuframleiðslu. Fimm háhitasvæði, af þeim u.þ.b. 20 sem hér finnast, hafa verið nýtt til raforkuvinnslu og fimm til viðbótar hefur verið raskað vegna borana. Eitt þessara tíu svæða, Köldukvíslarbotnar, er undir uppistöðulóni vatnsaflsvirkjunar (Helgi Torfason og Kristján Jónasson 2006, Kristján Jónasson og Sigmundur Einarsson 2009).

## **Ferðamennska**

Aðdráttarafl jarðhitasvæða fyrir ferðafólk er ótvírætt. Margir af fjölsóttustu ferðamannastöðum landsins eru háhitasvæði, s.s. Geysir, Askja, Kerlingarfjöll, Krafla og Námaskarð. Aðdráttarafl lághitasvæða er minna, einkum vegna þess að yfirborðsvirkni á þeim svæðum er ekki eins mikil. Þó eru nokkur lághitasvæði sem draga til sín nokkurn fjölda ferðamanna árlega m.a. vegna heitra lauga sem hægt er að nýta til baða, hvort heldur það eru manngerðar eða náttúrulegar laugar.

## **Náttúruvernd, friðun og endurheimt**

Jón Jónsson (1980) segir í grein sinni Verndun jarðhitasvæða: „Engum dettur í hug að amast við nýtingu jarðvarma, sem er meðal mestu verðmæta þessa lands. Hins vegar hefur oft viljað brenna við að umgengni á jarðhitasvæðum sé ábótavant.“ Jón Steinar Guðmundsson (1980) segir í grein í sama riti: „Samfara nýtingu náttúrulegs jarðhita og við boranir verður gjarnan jarðrask sem allt of sjaldan er lagfært. Algengt er að sjá ónýt rör og annan búnað skilinn eftir við jarðhitastaði og borholur.“ Hann nefnir að á lághitasvæðum hafi víða verið borað þar sem náttúrulegur jarðhiti hafi áður verið nýttur. Þannig hafi notkun á hverum og laugum lagst af en þess í stað komið borholur. Jón sagði enn fremur að „Við slíkar aðstæður ætti skilyrðislaust að koma náttúrulega jarðhitnum í fyrra horf og fjarlægja öll mannvirki og búnað sem ekki er lengur þörf fyrir.“ Þar með lagði hann beinlínis til að farið yrði í að endurheimta jarðhitasvæði og þ.m.t. vistkerfi þeirra. Þrátt fyrir að endurheimt vistkerfa hafi verið nokkuð til umræðu hér á landi á síðustu árum hefur sú umræða sjaldnast beinst að jarðhitasvæðum. Slík umræða er þörf og jafnframt brýnt að farið sé að leggja drög að því hvernig standa meggi að slíkri endurheimt. Helgi Torfason (1998) hefur tekið í sama streng og Jón Jónsson, Helgi ræddi verndargildi jarðhitasvæða og hvernig umgengni um þau svæði sé allvíða ekki til fyrirmyndar. Á Nýja-Sjálandi hefur töluvert verið rætt um óhóflega nýtingu jarðhitasvæða og hvort og hvernig sé hægt að minnka neikvæð áhrif nýtingar við yfirborðsvirkni hvera (Houghton o.fl. 1980, Barrick 2007). Þar hefur

meðal annars verið reynt að stýra nýtingu við bæinn Rotorua þannig að hveravirkni hefur aukist samfara því að dregið hefur verið úr uppþælingu í námunda við goshveri (Barrick 2007).

Fyrir um þrjátíu árum lét Náttúruverndarráð vinna yfirlit um hveru, laugar, ölkeldur og kaldavermsl ásamt verndarflokkun þeirra (Sigurður Þórarinnsson 1978a). Sama ár og skýrsla Náttúruverndarráðs kom út skrifaði Sigurður Þórarinnsson (1978b) grein í Týli um sama efni. Þar segir m.a.: „Um hveru, laugar og ölkeldur gildir, að gera þarf spjaldskrá yfir þessi fyrirbæri, sem ná til alls landsins, og virkja til þess starfs náttúruverndarnefndirnar og landsfjórðungasamtökin. Með því móti fæst æskileg yfirsýn yfir það, hvað friða þyrfti og hvað hægt er að friða. Hvað laugunum sérstaklega viðvíkur þurfa líffræðingar að skera úr því, hvort einhverjar laugar þyrfti sérstaklega að vernda vegna lífríkis þeirra.“ Segja má að það sé ekki fyrr en nú rúmum þrjátíu árum síðar að kerfisbundnar athuganir á náttúrufari og verndargildi jarðhitasvæða hefjist og unnar hafa verið í tengslum við annan áfanga rammaáætlunar. Náttúrufræðistofnun Íslands hefur að mestu haft umsjón með framkvæmd þessarar úttektar og gerði grein fyrir þeim nálgunum sem hafðar eru til viðmiðunar (Ásrún Elmarsdóttir o.fl. 2005, 2009; Ásrún Elmarsdóttir og Olga Kolbrún Vilmundardóttir 2009). Fleiri skýrslur með yfirlitum um flokkun og verndargildi jarðminja hafa komið út (t.d. Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 2005, Helgi Torfason og Kristján Jónasson 2006, Kristján Jónasson og Sigmundur Einarsson 2009, Trausti Baldursson o.fl. 2009).

### ***Markmið rannsóknarinnar***

Meginmarkmið þessarar rannsóknar var að afla grunnþekkingar á lífríki í heitu afrennslisvatni á völdum háhitasvæðum landsins og auka þar með skilning á þeim þáttum er móta þau lífverusamfélög sem þar hafa þróast. Þeir þættir sem helst var rýnt í voru hiti og sýrustig en einnig landfræðileg staðsetning viðkomandi svæða.

Til að ná settum markmiðum voru þrjú háhitasvæði valin til rannsóknarinnar og reynt að ná utan um náttúrulegan breytileika með endurtekinni sýnatöku bæði innan árs (snem- og síðsumars) og á milli ára. Beindist rannsóknin að heitum lækjum með kalda læki á sömu svæðum til viðmiðunar. Nauðsynlegt er að styðjast við slíka viðmiðun m.a. til að einangra áhrif hitans á vistkerfi lækjanna. Tvö svæðanna voru óröskuð, annað með súru vatni (Ölkelduháls) og hitt með lítið eitt basísku vatni (Miðdalur) og þriðja svæðið var töluvert raskað vegna virkjunar (Krafla).



# Rannsóknarsvæði

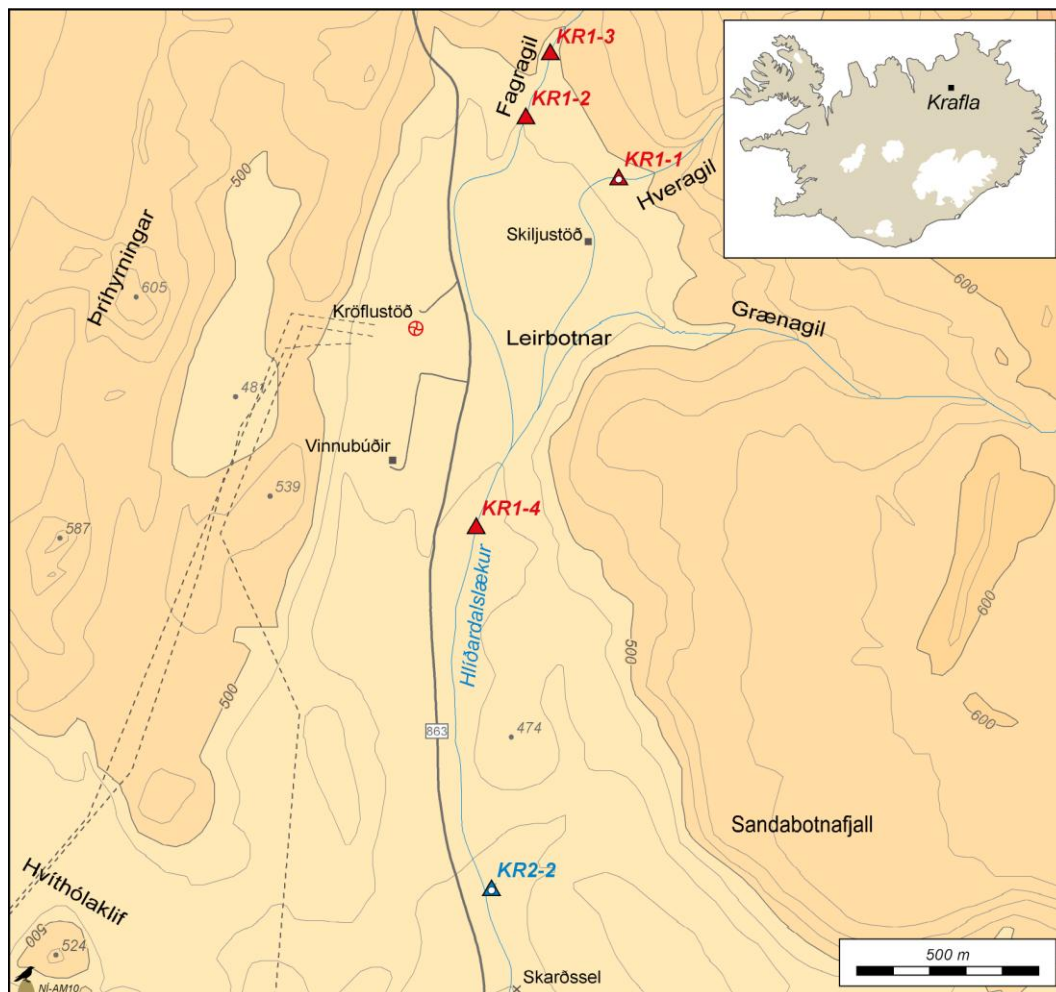
## *Kröflusvæðið*

Á Kröflusvæðinu er megineldstöð og í því miðju er 8–10 km víð askja. Innan öskjunnar er háhitasvæði með 5–10 km breiðum sprungusveim, annað háhitasvæði er síðan við Námafjall um 8 km SSV af Kröflu (Kristján Sæmundsson 1991). Rannsóknarsvæðið afmarkast af heitum lækjum sem eiga upptök sín í Hveragili (1. mynd) og gili vestan við það sem eftirleiðis verður nefnt Fagragil m.a. vegna litaskrúðs; og af köldum læk sem kemur úr uppsprettu ofan við Skarðssel (2 mynd). Lítið er um rennandi vatn á svæðinu fyrir utan þá lækj sem rannsóknin náði til en töluvert er um lækj sem spretta fram í vorleysingum. Í gegnum Hveragil liggur gossprungu sem er líklega frá síðjökultíma en gilið er í raun um 800 m löng röð sprengigíga sem skarast (Kristján Sæmundsson 1991).



*1. mynd. Heitur lækur neðan við Hveragil (við stöð KR1-1), í bakgrunni er blásandi borhola. Horft er til norðausturs. Ljósmynd: Jón S. Ólafsson.*

Heitu lækirnir tveir (KR1) á rannsóknarsvæðinu sameinast neðan við stöðvarhús Kröfluvirkjunar og mynda Hlíðardalslæk sem einnig er kallaður Dallækur (Halldór Ármannsson 2003) (2. mynd). Ein sýnatökustöð var í læknum sem rennur úr Hveragili (KR1-1), tvær sýnatökustöðvar voru í læknum í Fagragili (KR1-2 og KR1-3) og ein (KR1-4) neðan Kröfluvirkjunar eftir að lækirnir hafa sameinast (3. mynd).



2. mynd. Yfirlitskort af rannsóknarsvæðinu við Kröflu. Sýnatökustöðvarnar eru merktar inn á kortið með rauðum (heitir lækir) og bláum (kaldur lækur) þríhyrningum. Ath. að útlínur lækjanna eru að mestu dregnar fríhendis. Eins skal þess getið að kaldi lækurinn (KR2) var mjög stuttur og rann út í Hlíðardalslæk.

Heitu lækirnir eiga að mestu upptök í gufuaugum og heitum lindum, en auk þess bætist í þá rigningarvatn og grunnvatn sem seytlar úr hlíðum giljanna. Lækur úr Grænagili bætist í Hlíðardalslækinn, auk skiljuvatns frá skiljustöð Kröfluvirkjunar, og síðar bætist í hann þéttivatn frá Kröfluvirkjun. Hlíðardalslækur rennur um sléttlendi austan Kröfluvirkjunar þar sem neðsta sýnatökustöðin (KR1-4) var staðsett (3. mynd d). Upphaflega voru tveir kaldir lækir valdir til rannsóknarinnar, með eina sýnatökustöð í hvorum læk (KR2-1 og KR2-2). Annar lækurinn (KR2-1) þornaði upp á milli fyrstu og annarrar sýnatöku og var því ekki hafður með í rannsókninni og er því aðeins um að ræða gögn frá einum köldum læk við Kröflu (4. mynd). Kaldi lækurinn sameinast Hlíðardalslæk, rétt áður en þeir renna fram af nokkrum bratta og niður í Hlíðardal. Hlíðardalslækur rennur um flatlendi dalsins, um Dalleiru og suður fyrir þjóðveg uns hann rennur út í allstóra tjörn í Búrfellshrauni u.þ.b. 3 km sunnan við þjóðveginn.



3. mynd. Heitir lækir (KR1) við Kröflu: (a) við sýnatökustöð KR1-1 í Hveragili, (b) við sýnatökustöð KR1-2 í Fagragili, (c) við sýnatökustöð KR1-3, sem er ofan við KR1-2, í Fagragili og (d) við sýnatökustöð KR1-4, neðan við Kröflustöð. Ljósmyndir: Jón S. Ólafsson.

Nánasta umhverfi lækjanna einkenndist af mosa, lyngi og grösom. Í flestum tilfellum voru bakkar lækjanna vel grónir, nema við sýnatökustöð KR1-1 (3. mynd a) en þar voru greinileg merki um miklar sveiflur í vatnsrennsli. Botn heitu lækjanna var mjög víða þakinn útfellingum, líkt og þunnfljótandi steypa hefði verið losuð í þá. Líklega var um kísilútfellingar að ræða (Tobler o.fl. 2008, Stefán Arnórsson munnl. uppl.) en hluti þessara útfellinga gæti þó verið vegna leirframburðar (Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson 1976). Í kalda læknum bar ekkert á útfellingum, botn hans var grýttur og með töluverðum mosagróðri, a.m.k. á stærsta grjótinu (4. mynd).

Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson (1976) ákvörðuðu stærð vatnasviðs Hlíðardalslækjar og töldu það vera 21–41 km<sup>2</sup> sé miðað við svæðið ofan Skarðssels (2. mynd) en lækurinn er í eðli sínu dragá með aðalupptök í Hveragili og vesturhlíðum Kröflu. Þessu til viðbótar má benda á að töluvert rennsli er úr volgum lindum í Fagragili. Í september 1975 mældu Stefán og Einar rennsli lækjarins 87 L/sek. en það er náttúrulegt rennsli úr lindum sem sameinast í Hlíðardalslæk. Efnasamsetning vatnsins benti til að um blöndu af grunnvatni og háhitavatni hafi verið að ræða.



**4. mynd.** Kaldi lækurinn: (a) sýnatökustöð KR2-2 og (b) neðan við sýnatökustöð KR2-1 sem er í læknum til hægri á myndinni; fyrir miðri myndinni sést flugnagildra. Ljósmyndir: Jón S. Ólafsson.

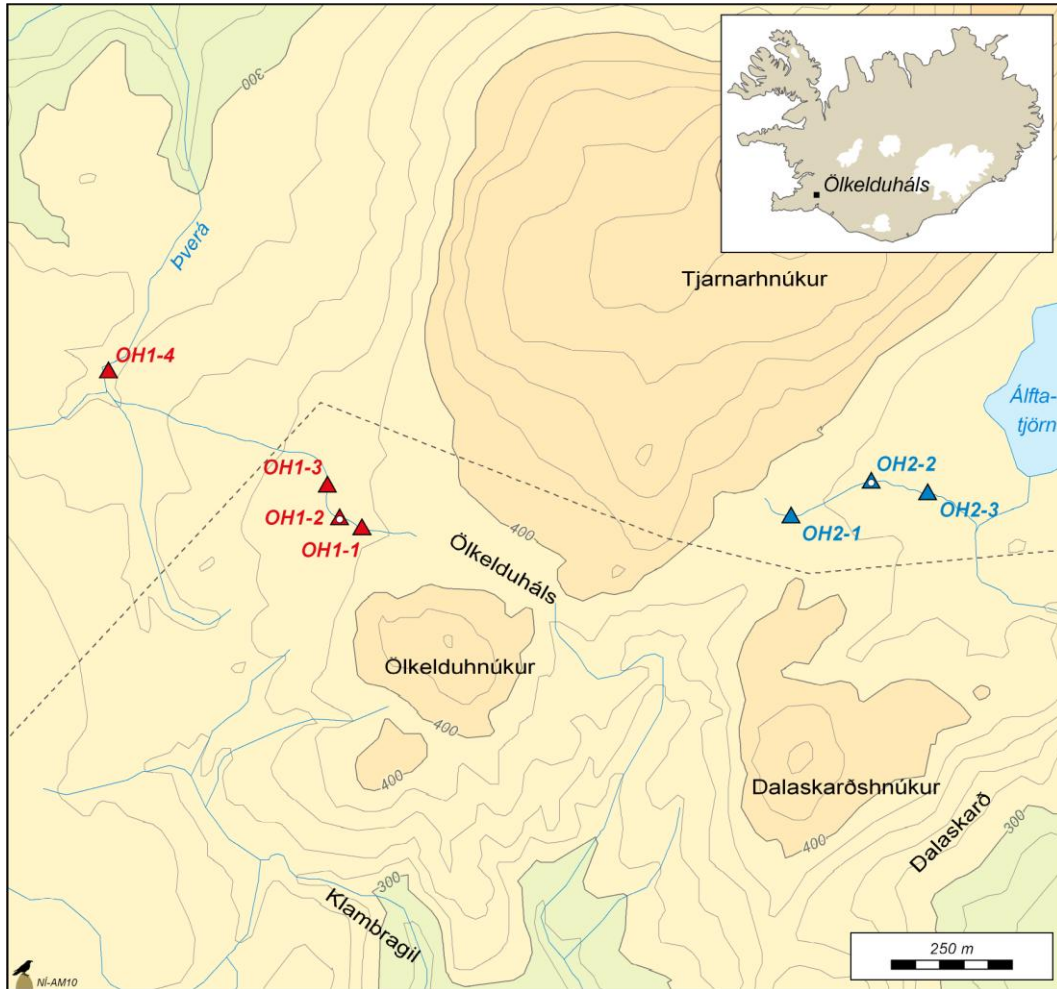
### **Hengilssvæðið**

Hengilssvæðið er á náttúruminjaskrá fyrir stórbrotið landslag svæðisins og mikla fjölbreytni í jarðfræði þess (Náttúruverndarráð 1996). Á svæðinu eru þrjú eldstöðvakerfi, hvert með sína megineldstöð. Á öllum kerfunum er jarðhitasvæði með hverum og laugum (Gylfi Páll Hersir o.fl. 1990).

### **Ölkelduháls**

Rannsóknarsvæðið afmarkaðist af heitum læk (OH1) sem á upptök sín í ölkeldum norðvestan við Ölkelduhnúk og köldum læk (OH2) sem sprettur fram úr lind við sunnanverðar rætur Tjarnarhnúks (5. mynd). Á jarðhitasvæðinu við Ölkelduháls eru víða hverir og önnur ummerki jarðhita. Um er að ræða hveramýrar, heita læki, gufuaugu, vatns-, leir- og gufuhveri. Hitakærar plöntutegundir á borð við laugasef, laugadeplu og blákollu finnast á rannsóknarsvæðinu (Guðmundur Guðjónsson og Kristbjörn Egilsson 2006). Í kringum hverina er jarðvegurinn ummyndaður og nokkuð um útfellingar, m.a. brennisteinsútfellingar. Á þeim svæðum vex lítil sem enginn gróður en á bökkum vatnshveranna er víða gróskulegt, þar er stinnastör og hálingresi ríkjandi. Við volga læki og uppsprettur eru mosar ríkjandi en af háplöntum eru skriðlíngresi og laugasef mest áberandi. Á svæðinu hefur verið nokkuð um framkvæmdir en þar má finna borholur, háspennulínu og rask eftir vegaframkvæmdir (Ásrún Elmarsdóttir o.fl. 2005).

Upptök heita lækjarins (OH1) voru í einni af nokkrum keldum sem einkenna svæðið (6. mynd). Ofan til var farvegur lækjarins breiður og hélt þannig þar til kom að nokkrum bratta, 240 m frá upptökum (7. mynd). Þaðan rann lækurinn í töluverðum halla þar til hann sameinaðist öðrum læk og rann loks saman við Þverá (7. mynd e). Farvegur lækjarins var að mestu grýttur en leir var á milli steina. Á neðstu sýnatökustöðinni (OH1-4) einkenndist botninn af mól, sandi og klöpp. Gróður var víða nokkuð áberandi ofan til í læknum, mest áberandi voru grænþörungadræsur og bakteríuskán á grjóti. Ofan til voru þessar dræsur gráleitar, væntanlega litaðar af leirblönduðu lækjarvatninu (7. mynd e), en þegar neðar dró voru þær dökkgrænar.



5. mynd. Yfirlitskort af rannsóknarsvæðinu við Ölkelduháls, sýnatökustöðvar eru merktar inn á kortið með rauðum (heitur lækur) og bláum (kaldur lækur) þríhyrningum. Ath. að útlínur lækjanna eru að mestu dregnar fríhendis.



6. mynd. Upptök heita lækjarins við Ölkelduháls. Ljósmynd: Jón S. Ólafsson.



**7. mynd.** Heitur lækur (OH1) við Ölkelduhmúk: (a) rétt neðan ölkeldu við sýnatökustöð OH1-1, (b) við sýnatökustöð OH1-2, (c) við sýnatökustöð OH1-3, (d) við sýnatökustöð OH1-4 og (e) horft yfir uppþök Þverár þar sem volgur lækur (t.v.) sameinast OH1 (t.h.), rétt ofan við sýnatökustöð OH1-4. Takið eftir mjólkurlituðu vatninu í læknum til hægri (OH1). Ljósmyndir: Jón S. Ólafsson.

Farvegur kalda lækjarins var í fremur litlum halla á því svæði sem sýnatökur náðu til en sýnatökusvæðið var á um 300 m löngum kafla í læknum. Hæðarmunur á efstu og neðstu sýnatökustöð var um 15 m. Upptök lækjarins voru 5–10 m ofan við efstu sýnatökustöð (8. mynd a og b). Lækurinn rann um vel gróið mólendi niður fyrir neðstu sýnatökustöðina (OH2-3), þar tók við flatlendi með mýraflákum þar sem lækurinn sameinast læk sem rennur úr Álftatjörn. Þaðan rennur hann niður gil og loks niður í Grændal. Lækjarkakkarnir voru grasigrónir að mestum hluta. Botngerð lækjarins einkenndist af steinvölum og sandi; og klöppum af og til. Botngróður var lítt áberandi nema þar sem brún slikja þakti steina og klappir, líklega var um kísilþörungaskán að ræða.



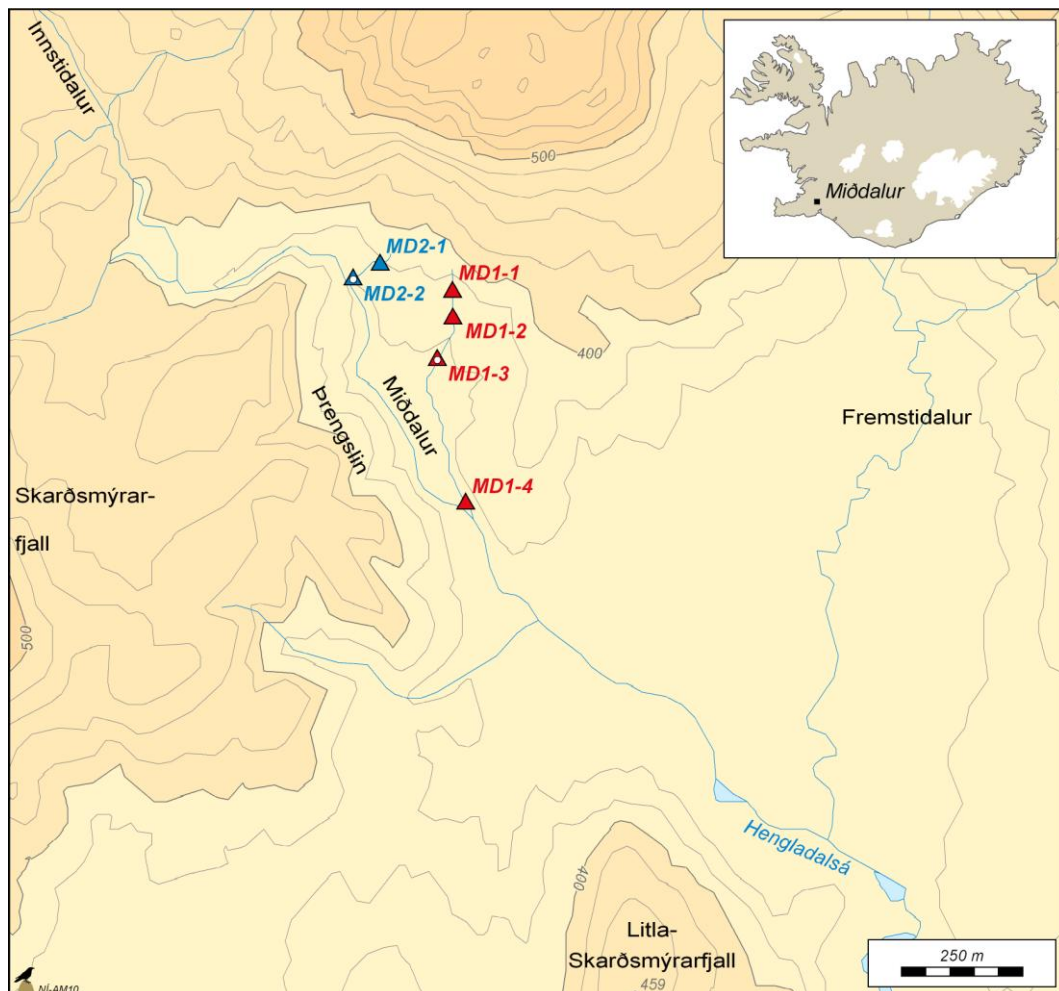
8. mynd. Kaldur lækur (OH2) við sunnanverðan Tjarnarhnúk: (a) við upptök lækjarins, (b) við sýnatökustöð OH2-1, (c) við sýnatökustöð OH2-2 og (d) við sýnatökustöð OH2-3. Ljósmyndir: Jón S. Ólafsson.

## Miðdalur

Rannsóknarsvæðið var innst í Miðdal, sem er í vestanverðum Henglinum á milli Innstadals og Fremstadals (9. mynd). Við Þrengsli, innst í Miðdal, rennur Hengladalsá fram í klettóttum farvegi niður allmarga fossa. Áin rennur síðan um vestanverðan Miðdal og fram í Fremstadal þar sem hún liðast um sléttlendi austan Litla-Skarðsmýrarfjalls.

Miðdalur er lítill dalur, umlukinn bröttum hlíðum, með tiltölulega flatlendum dalbotni. Votlendi er áberandi, bæði flatar mýrar og hallamýrar (Guðmundur Guðjónsson og Kristbjörn Egilsson 2006). Jarðvegur er þykkur, yfirborðsvatn mikið og gróður gróskumikill. Jarðhiti er auðsýnilegur á svæðinu en þarna má finna bæði heita læk, hveramýrar, vatns-, leir- og gufuhveri. Lækirnir

sem renna um dalinn eru allt að 50°C þó flestir séu þeir rétt volgir. Næst leirhverunum vaxa mosar en fjær þeim tekur við graslendi eða hveramýrar með klóffu og mýrastór (Ásrún Elmarsdóttir o.fl. 2005, Ásrún Elmarsdóttir og Olga Kolbrún Vilmundardóttir 2007). Á svæðinu má finna nokkrar tegundir hitakærra plantna: laugadeplu, laugabrúðu, blákollu og naðurtungu (Guðmundur Guðjónsson og Kristbjörn Egilsson 2006). Í lækjunum er laugabrúða og laugadepla í nokkrum mæli en laugadepla er skráð í yfirvofandi hættu (flokkur VU) á válista Náttúrufræðistofnunar Íslands. Hún finnst aðeins á örfáum jarðhitasvæðum á Suðvesturlandi og í Bjarnarfirði í Strandasýslu en talið er að mest sé af henni á Hengilssvæðinu. Naðurtunga finnst hvergi nema í volgum jarðvegi og telst í nokkurri hættu (flokkur LR) á fyrrnefndum válista (Hörður Kristinsson o.fl. 2007). Laugadepla og blákolla eru ekki bundnar við jarðhitasvæði og finnast nokkuð víða, sérlega í hlýrri sveitum landsins. Í dalnum má víða sjá ummerki eftir vélknúin ökutæki, m.a. í dalbotninum þar sem sjá má ljót för eftir umferð jeppa. Uppi í hlíðum má enn fremur sjá að farið hefur verið um á mótorhjólum og allvíða má sjá för eftir fjórhjól.



**9. mynd.** Yfirlitskort af rannsóknarsvæðinu í Miðdal, sýnatökustöðvarnar eru merktar inn á kortið með rauðum (heitur lækur) og bláum (kaldur lækur) þríhyrningum. Ath. að útlínur lækjanna eru að mestu dregnar fríhendis.



Fjöldi lindarlækja eiga upptök sín í suðurhlíðum Miðdals og renna síðan einn af öðrum saman við Hengladalsá þar sem hún rennur til suðurs í Fremstadal (10. mynd). Í lækina bætist vatn sem upprunnið er úr gufuaugum en vatn úr leirpyttum blandast líklega aðeins að litlu leyti við lækjarvatnið. Tveir lækir voru valdir til rannsóknarinnar, annars vegar kaldur lækur innst í Miðdal og hins vegar heitur lækur utar í dalnum.



*10. mynd. Miðdalur, heiti lækurinn MD1 liðast um sléttlendi dalsins. Fyrir miðjum sjóndeildarhring er Litla-Skarðsmýrarfjall og syðsti hluti Skarðsmýrarfjalls er til hægri á myndinni. Hengladalsá liðast meðfram þeim til suðurs inn í Fremstadal. Ljósmynd: Jón S. Ólafsson.*

Heiti lækurinn (MD1) kemur úr lind sem er sunnanmegin í Miðdal, í svipaðri hæð og kaldi lækurinn (MD2). Í fyrstu rennur heiti lækurinn í allnokkrum halla en liðast síðan um jafnslétta grundu í dalbotninum þar sem fleiri lækir sameinast honum ásamt því sem vatn úr gufuaugum rennur út í lækinn (10. og 11. mynd). Bakkar efsta hluta heita lækjarins voru grasi grónir en við næstefstu sýnatökustöðina (MD1-2) voru bakkarnir heldur gróskuminni, einkum í kringum hverina (11. mynd b). Við neðri sýnatökustöðvarnar (MD1-3 og MD1-4) voru lækjarbakkarnir hins vegar vel grónir. Botngerð efsta hluta lækjarins einkenndist af grjóti og klöppum, þar var jafnframt mestur halli lækjarfarvegarins og því mestur straumur.



**11. mynd.** Heitur lækur í Miðdal (MD1): (a) nálægt upptökum lækjarins við efstu sýnatökustöðina (MD1-1), (b) við sýnatökustöð MD1-2, þar rann vatn úr hverum sem eru lengst til hægri á myndinni; (c) við sýnatökustöð MD1-3 á flatlendi í Miðdal, horft er upp með læknum; og (d) við sýnatökustöð MD1-4 rétt áður en lækurinn rennur út í Hengladalsá, sem sést í bakgrunni. Ljósmyndir: Jón S. Ólafsson.

Um leið og komið var niður á jafnsléttu var lækjarbotninn fremur sendinn. Botngróðurinn var mjög þéttur í efsta hluta lækjarins og bar þar mest á mosa. Neðri hluti lækjarins einkenndist hins vegar af laugadeplu og laugabrúðu en einnig af nokkrum mosategundum. Uppspretta lækjarins var í um 380 m y.s. og hann rann út í Hengladalsá í um 350 m y.s. Mestur var hallinn á milli tveggja efstu sýnatökustöðvanna (MD1-1 og MD1-2). Frá næstefstu sýnatökustöðinni (MD1-2) og niður að Hengladalsá var hæðarmunurinn mun minni.

Kaldi lækurinn (MD2) kom úr uppsprettu sem var nokkuð ofarlega í hlíðinni (um 385 m y.s.) og rann í nokkrum halla uns hann rann út í Hengladalsá (12. mynd). Lækjarfarvegurinn var í töluverðum halla mestalla leiðina frá upptökum þar til hann sameinaðist Hengladalsá og nánast ekkert vatn blandaðist út í lækinn á leið hans. Bakkar hans voru grasi grónir og botninn einkenndist af steinvölum og sandi, en klappir komu fyrir á nokkrum stöðum, einkum ofarlega í læknum. Botngróður var lítt áberandi að öðru leyti en því að brún þörungaskán þakti steina.



**12. mynd.** Kaldur lækur (MD2) innarlega í Miðdal: (a) sýnatökustöð MD2-1, rétt neðan við upptök lækjarins, (b) sýnatökustöð MD2-2 og (c) sýnatökustöð MD2-2 (t.v.) og heitur lækur (20°C) við hlið þess kalda, í bakgrunni er Hengladalsá. Einungis 1,5 m skilur lækina að þar sem styst er á milli þeirra. Ljósmyndir: Jón S. Ólafsson.



# Aðferðir

## *Sýnataka og mælingar*

Við val á lækjum til rannsóknarinnar var miðað við að þeir væru svipaðir hvað rennsli og straumhraða varðaði, auk þess sem hitastig, annars vegar heitra lækja og hins vegar kaldra lækja, væri sambærilegt. Í hverjum læk voru sýnatökustöðvar valdar með tilliti til hitafallanda og fjarlægðar frá upptökum. Í heitu lækjunum voru fjórar sýnatökustöðvar. Við Kröflu var þó ein sýnatökustöð í heitum læk sem rann úr Hveragili, tvær í heitum læk sem rann úr Fagragili og ein þar sem lækir þessir höfðu sameinast. Í köldu lækjunum, sem hafðir voru til viðmiðunar, voru sýnatökustöðvarnar ein til þrjár og réðst fjöldi stöðva m.a. af lengd lækja. Á hverjum sýnatökustað var botngróður skráður og nánasta umhverfi og botngerð lýst. Hnattstaða hvernar sýnatökustöðvar var ákvörðuð með GPS (Global Position System) staðsetningartæki miðað við WGS-84. Hæð yfir sjávarmáli var lesin af GPS og gildin borin saman við hæðarlínur á kortum í kvörðunum 1:25.000 (Hengilssvæðið) og 1:100.000 (Kröflusvæðið). Í þeim tilfellum sem munur var meiri en 5 eða 10 m var notast við hæð lesna af kortum. Hiti, sýrustig og leiðni var mæld við hverja sýnatöku með Hanna™ mælum í hverri sýnatökuferð. Þó var pH ekki mælt 9. og 10. júní 2003 við Ölkelduháls og í Miðdal en þess í stað var það mælt ásamt hita og leiðni þann 20. júní 2003 á þeim stöðum. Mæligildi fyrir leiðni og pH voru leiðrétt miðað við 25°C. Auk þess var síritandi hitamælum (TidbiT™) komið fyrir á völdum sýnatökustöðvum í ágúst 2002: þremur í heitu lækjunum og einum í köldu lækjunum. Mælarnir voru síðan teknir upp í september 2003 við Kröflu og júní 2004 í Miðdal og á Ölkelduhálsi. Hitinn var mældur á 4 klst. fresti yfir tímabilið.

Botnsýni voru tekin þannig að 20x20 cm stálramma var varpað tilviljanakennt út í lækina á hverri sýnatökustöð, háfi var komið fyrir neðan við rammann og síðan rótað með fingrunum innan úr rammanum í 30 sek. Upprótið flaut niður og lenti í háfnum. Fimm slík sýni voru tekin á hverri stöð, þess var gætt að fyrsta sýnið væri tekið neðst innan hvernar stöðvar og það fimmta efst. Með því móti var komið í veg fyrir að botninn yrði fyrir röskun áður en sýnataka færi fram. Í fyrstu sýnatökunni (maí og júní 2002) var notaður háfur með 63 µm möskvastærð en í þeim síðari var notaður háfur með 125 µm möskvastærð. Sá grófari reyndist betur þar sem möskvar finni háfsins stífluðust stundum af fínu seti áður en sýnatöku lauk og var þá hætta á að einhver hluti sýnisins flyti fram hjá opi háfsins. Hverju sýni var síðan skolað úr háfnum í krukku og varðveitt í 70% etanóli.

Breidd, dýpi og straumhraði var mæld á sniði þvert yfir hvern læk á sýnatökustöðvunum. Vatnsrennsli á hverjum stað var síðan reiknað út frá áðurnefndum breytum. Straumhraðinn var mældur með TSK (Tsurumi-Seiki-Kosakusho) straumhraðamæli sem er 8,5 cm í þvermál (The Tsurumi-Seiki Co., Ltd. Japan). Rétt er að taka mælingar á straumhraða og þar með útreikninga á rennsli með fyrirvara þar sem víða var svo grunnt að ekki tókst að koma mælinum niður nema að hluta (sjá mælt dýpi í töflum 2–4).

## ***Flugnagildirur***

Flugnagildirur voru settar upp í maí og júní 2002. Þær voru tæmdar í ágúst eða september sama ár og eru þau gögn notuð í þessari skýrslu. Gildirurnar voru látnar standa áfram yfir veturinn með það að markmiði að fá upplýsingar um fljúgandi skordýr fram á vorið 2003. Voru gildirurnar því tæmdar aftur í júní 2003 og þá teknar niður. Gildirurnar við Kröflu voru þó látnar standa fram í september 2003. Vegna þess að ein gildran hafði verið skemmd yfir veturinn og allt farið úr henni var ákveðið að styðjast eingöngu við samanburðarhæf gögn sem ná yfir sumarið 2002. Tvær gildirur voru á hverju rannsóknarsvæði, ein við kaldan læk og önnur við heitan læk. Yfirleitt voru gildirurnar staðsettar við lækjarbakkana með einni undantekningu en það var gildran sem stóð við heita lækinn við Kröflu (KR1-1). Þar var gildran uppi á hæð í ca. 3 m hæð yfir læknum og í 5–10 m fjarlægð frá honum. Gildirurnar voru af hliðstæðri gerð (13. mynd) og notaðar hafa verið við vöktunarrannsóknir við Mývatn og Laxá. Gildirurnar voru gerðar úr 1 m löngum og 20 cm víðum frárennslisrörum með tappa í botni og þrengingu í efra opi. Í opið að ofan var komið fyrir 7 mm þykkri, glærri plexigler plötu sem var 15,5 cm breið og 27 cm löng. Platan var fest í þrengingu á efra opi rörsins og myndaði þá glugga sem fljúgandi skordýr vankast við að fljúga á og detta niður í rörið. Í frárennslisrörið var sett vatn blandað frostlegi þannig að styrkur frostlagarins væri um 50-60% af heildarrúmmáli vökvans í hverju röri. Með því móti var komið í veg fyrir að vökvinn frysí, gufaði upp eða aflinn rotnaði. Til að minnka yfirborðsspennu vökvans voru settir fáeinir dropar af sápu út í vökvann. Gluggi gildiranna var yfirleitt í 1,5 m hæð frá jörðu.

Gildrunum var ætlað að veiða fljúgandi skordýr sem voru á ferð á söfnunartímabilinu. Því er hér um samansafn upplýsinga um magn og tegundasamsetningu skordýra yfir ákveðið tímabil að ræða. Öll skordýr sem veiddust í gildirurnar voru greind til tegunda ef unnt var en einungis skordýr sem eyða hluta lífsferils síns í vatni eru til umræðu í skýrslu þessari. Allar greiningar voru gerðar undir vísðsjá við 50–100 falda stækkun. Til ákvörðunar var stuðst við greiningarlykla um vorflugur (Gísli Már Gíslason 1978) og rykmý (Pinder 1978, Widerholm 1989).



13. mynd. Flugnagildra við kaldan læk ofan við Skarðssel, við sýnatökustöð KR2-2. Ljósmynd: Jón S. Ólafsson.

### **Botnsýni**

Úrvinnslu botnsýna var skipt í frumúrvinnslu og rykmýslirfugreiningar. Frumúrvinnslan fólst í að allar lífverur voru tíndar úr hverju sýni, flokkaðar niður (t.d. í tegundir, ættkvíslir eða fylkingar) og taldar. Þetta fór fram undir víðsjá við 50-100 falda stækkun. Við flokkunina var stuðst við eftirfarandi greiningarlykla um vatnahryggleysingja: Macan (1959), Mellanby (1963), Fitter og Manuel (1986), Helga Hallgrímsson (1990), Streble og Krauter (2002; til greininga á vorflugulirfum: Gísli Már Gíslason (1979); bjöllum: Gísli Már Gíslason (1977); til greininga á tvívængjulirfum öðrum en rykmýslirfum: Tuxen (1944), Smith (1989) og Erling Ólafsson (1991); og púpuhami rykmýs: Wilson og McGill (1982), Langton (1991) og Wilson (1996). Síðara stig úrvinnslunnar fólst í að greina rykmýslirfurnar. Ef fjöldi rykmýslirfa var meiri en 100 í hverju sýni var tekið hlutsýni af lirfunum en að öðrum kosti voru allir einstaklingar sýnisins greindir til tegunda eða hópa. Fyrir hlutsýnatöku var lirfunum dreift sem jafnast yfir botn Petriskálar. Botni skálarinnar hafði áður verið skipt upp í jafnstóra reiti (um 0,5x0,5 cm), lirfur voru síðan fjarlægðar úr reitunum sem valdir voru af handahófi samkvæmt númeraðri röð. Miðað var við að hvert úrtakssýni næði a.m.k. 40 lirfum og hreinsað var úr hverjum reit sem lirfur voru teknar úr. Því gat úrtakið farið nokkuð yfir 40. Lirfurnar voru því næst steypdar í Hoyer's steypiefni (Anderson 1954) á smásjargleri og 10 mm þekjugler sett yfir hverja þeirra. Passað var upp á að kviðlæg hlið lirfuhúsanna sneri upp áður en þekjuglerinu var þrýst

gætilega niður. Greining lírfanna til ættkvísla eða tegunda var gerð í smásjá við 200–1000 falda stækkun. Notast var við eftirfarandi heimildir við greiningar á rykmýslirfunum: Cranston (1982), Ferrarese og Rossaro (1981), Oliver og Roussel (1983), Rossaro (1980, 1982), Schmid (1993), Saponis (1977, 1987), Widerholm (1983) og Moller Pillot (1984).

### ***Töluleg úrvinnsla***

Við tölulega úrvinnslu gagna var athyglinni einkum beint að fjölbreytni og þéttleika fánunnar í og við lækina. Notast var við óparametrísk próf, Mann-Whitney og Kruskal-Wallis, eða samsvarandi parametrísk próf, t-próf og fervikagreiningu (ANOVA) að undangenginni prófun á hvort gögnin væru normaldreifð.

Fjölbreytni dýrasamfélaga innan lækja var metin út frá tegundafjölda. Samanburður á milli lækja eða svæða var borin saman með því að reikna út  $\beta$ -fjölbreytni með aðferð kenndri við Sørensen (Magurran 2004). Sú aðferð byggir á að bera saman fjölbreytni á milli mismunandi vistkerfa ( $\beta$ -fjölbreytni) þar sem lagt er til grundvallar hversu margar tegundir hafi verið til staðar í hvoru vistkerfi og hversu margar séu sameiginlegar í þeim tveimur vistkerfum sem verið er að bera saman. Því hærri sem útkoman er (0–1) því meiri er skörun tegunda á milli vistkerfa.

$$\beta = \frac{2c}{S_1 + S_2}$$

$S_1$  = fjöldi tegunda á stað 1,

$S_2$  = fjöldi tegunda á stað 2,

$c$  = fjöldi tegunda sem finnast á báðum stöðum

Til að meta skyldleika einstakra svæða eða sýnatökustöðva m.t.t. tegunda sem þar fundust var notast við DCA-hnitun (*Detrended Correspondence Analyses*) og notað til þess tölfræðiforritið CANOCO 4.5 (ter Braak og Šmilauer 1998). Hnitunin gerir okkur kleift að prófa tilgátur um hvaða umhverfisbreytur gætu verið ráðandi í samfélagsgerðum lífvera á hverju svæði. Slíkt er gert með þvingaðri hnitunargreiningu (e. *constrained ordination*) en þá er stuðst við CCA hnitun (*Canonical Correspondence Analyses*) þar sem hnitunin er gerð m.t.t. valinna umhverfispátta (Lěps og Šmilauer 2003).

Útbreiðsla einstakra dýrahópa m.t.t. hita var sérstaklega skoðuð. Stuðst var við óparametrískar aðhvarfsgreiningar sem byggja ekki á línulegum forsendum og eru frekar notaðar til að sýna leitnina í gögnunum fremur en að prófa hversu vel gögnin falla að fyrirfram gefnum líkönum (Legendre og Legendre 1998, Quinn og Keough 2002). Notast var við LOESS síun (e. *Locally weighed scatter plot smooth*) í forritinu SigmaPlot 8.0. Um er að ræða aðhvarfsgreiningu sem byggir á að besta lína sé teiknuð þannig að á línunni sé hver punktur reiknaður út frá ákveðnu hlutfalli gilda innan skilgreinds svæðis á grafinu. Hér var tekið tillit til 30% gildanna hverju sinni ( $\alpha=0,3$ ). Aðferðin er lítt næm á útgildi.

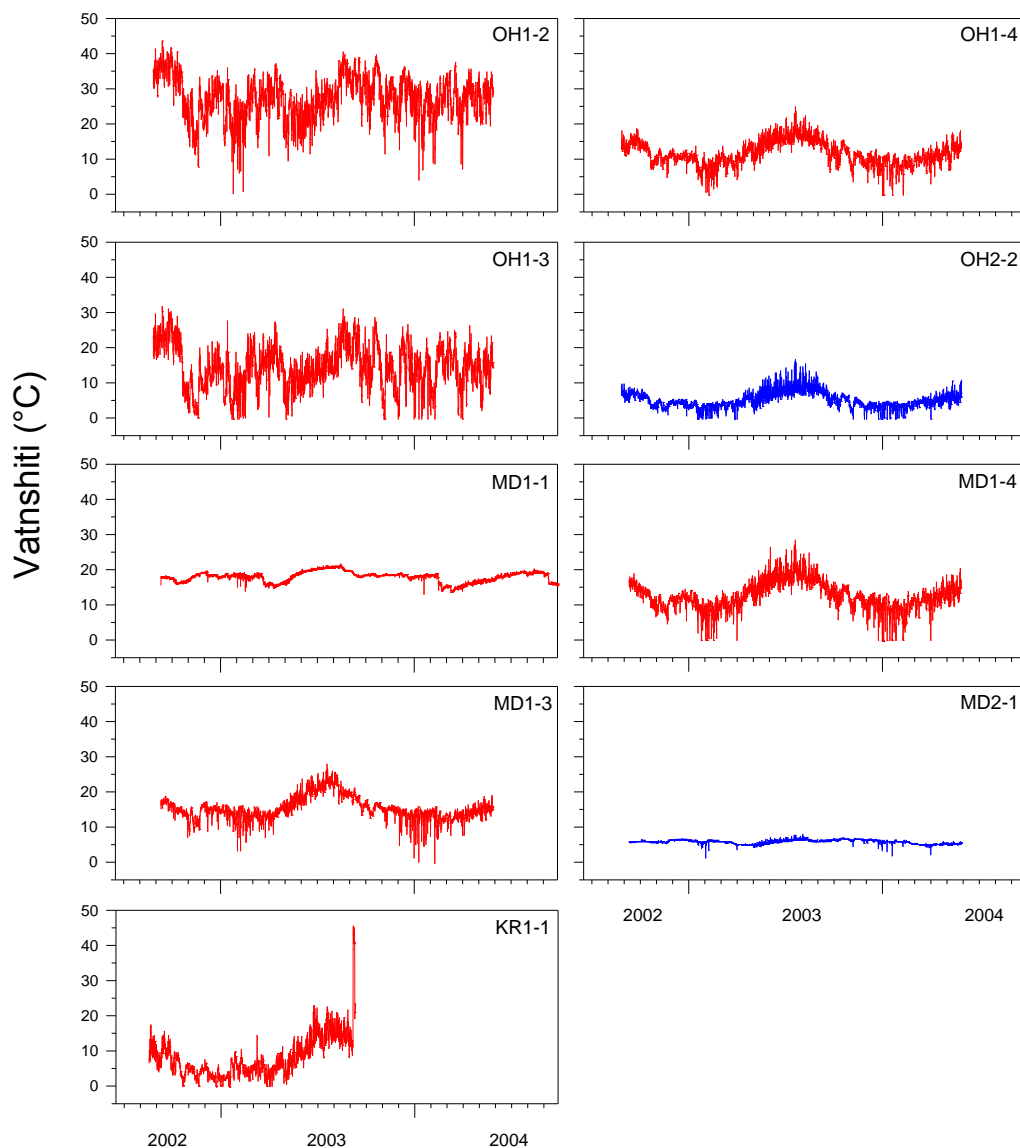


# Niðurstöður

## Hiti

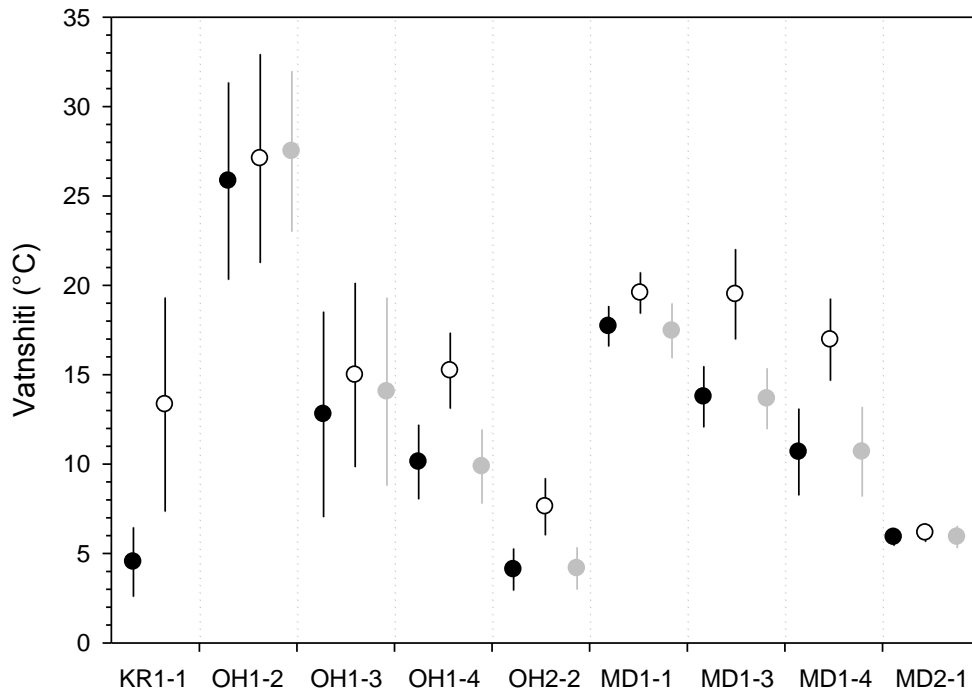
### Krafla

Af fjórum síritandi hitamælum sem settir voru í lækina við Kröflu, týndust tveir og einn bilaði. eru því einungis tiltækar upplýsingar um dægur- og árstíðabreytingar í vatnshita frá einni sýnatökustöð, KR1-1.



**14. mynd.** Vatnshiti lækjanna á rannsóknarsvæðunum þremur 2002–2004. Rauðu gröfin eru fyrir heita læk en bláu gröfin eru fyrir kalda læk. Mælingarnar voru gerðar á 4 klst. fresti. Skýringar við tákni: OH: Ölkelduháls, MD: Miðdalur og KR: Krafla; tölugildi aftan við bókstafi vísa til þess hvort haft verið um heitan (1) eða kaldan læk (2) að ræða og tölugildin afan við bandstrikni tákna sýnatökustöðvar innan hvers lækjar.

Þær mælingar sýndu greinilegar árstíðabreytingar í vatnshita þar sem hitinn var að meðaltali 4,5°C yfir vetrarmánuðina (október til apríl) en 13,3°C yfir sumarmánuðina (maí til september) (14.-15. mynd og 1. tafla) og var munurinn þar á marktækur (Mann-Whitney:  $P=0,003$ ).



15. mynd. Meðalhiti lækja við Kröflu, Ölkelduháls og í Miðdal veturinn 2002–2003 (svartir hringir), sumarið 2003 (hvítir hringir) og veturinn 2003-2004 (gráir hringir). Allar mælingarnar voru gerðar með síritandi hitamælum. Lóðrétt lína í gegnum hvern hring sýnir staðalfrávik hvers meðaltals. Skýringar við tákni: OH: Ölkelduháls, MD: Miðdalur og KR: Krafla; tölugildi aftan við bókstafi vísa til þess hvort hafi verið um heitan (1) eða kalda læk (2) að ræða og tölugildin aftan við bandstrikinn tákna sýnatökustöðvar innan hvers lækjar.

Athygli vekur að í lok mælitímabilsins rauk hitinn í læknum úr tæpum 12°C í rúmlega 40°C þann 4. september 2003, en var kominn niður í 23°C þegar mælingum lauk þann 8. september sama ár. Samkvæmt upplýsingum frá Birki Fanndal Haraldssyni, yfirvélfraeðings Kröfluvirkjunar, fór borvökvi í lækinn frá borholu nr. 13, sem „hleypt var upp“ eftir sumarstopp. Borvökvinn rann í lækinn 4.–15. september 2003 (tölvupóstur frá Birki Fanndal Haraldssyni 19.12.2007).

Hitastigsmælingar á sýnatökudögum sýndu að hiti heitu lækjanna við Kröflu var einna breytilegastur af þeim þremur svæðum sem voru borin saman, bæði milli sýnatökustöðva og milli sýnatökudaga. Í júníbyrjun 2002 var mikil snjóbráð við Kröflu en þá var lækjarvatnið 12–18 °C. Í ágúst sama ár voru heitu lækirnir 25–40°C, heitast var vatnið á neðstu sýnatökustöðinni, neðan Kröfluvirkjunar. Í júní 2003 var hitinn 25–28°C, nema á sýnatökustöð KR1-1 þar sem hitinn var 14°C (2. tafla). Hitinn í kalda læknum var mun jafnari en í þeim heitu, 12,6–14,5°C.

1. tafla. Meðalvatnshiti (°C) heitra og kaldra lækja yfir vetrar- (okt.-apríl) og sumarmánuði (maí-sept.) við Kröflu (KR), Ölkelduháls (OH) og í Miðdal (MD) 2002–2004; fenginn með sírtandi hitamælum (mælingar á 4 klst. fresti). Staðalfrávik meðaltalanna eru gefin upp innan sviga. Heitir lækir eru ritaðir með rauðu letri og kaldir með bláu letri).

Krafla	KR1-1	KR1-2	KR1-3	KR2-2
1.10.'02–30.04.'03	<b>4,52</b> (1,94)	Mælir tapaðist	Mælir tapaðist	Mælir bilaði
1.05.'03–30.09.'03	<b>13,33</b> (5,99)	Mælir tapaðist	Mælir tapaðist	Mælir bilaði
Ölkelduháls	OH1-2	OH1-3	OH1-4	OH2-2
1.10.'02–30.04.'03	<b>25,83</b> (5,52)	<b>12,78</b> (5,74)	<b>10,12</b> (2,08)	<b>4,11</b> (1,18)
1.05.'03–30.09.'03	<b>27,09</b> (5,84)	<b>14,99</b> (5,15)	<b>15,22</b> (2,12)	<b>7,62</b> (1,60)
1.10.'03–30.04.'04	<b>27,50</b> (4,49)	<b>14,05</b> (5,25)	<b>9,86</b> (2,07)	<b>4,16</b> (1,18)
Miðdalur	MD1-1	MD1-3	MD1-4	MD2-1
1.10.'02–30.04.'03	<b>17,71</b> (1,13)	<b>13,77</b> (1,71)	<b>10,68</b> (2,43)	<b>5,91</b> (0,47)
1.05.'03–30.09.'03	<b>19,57</b> (1,16)	<b>19,50</b> (2,53)	<b>16,96</b> (2,30)	<b>6,16</b> (0,50)
1.10.'03–30.04.'04	<b>17,45</b> (1,54)	<b>13,66</b> (1,70)	<b>10,69</b> (2,50)	<b>5,92</b> (0,62)

2. tafla. Yfirlit yfir helstu umhverfisbreytur sem mældar voru í lækjunum við Kröflu. Athugið að straumhraða og rennsli er sleppt þar sem meðaldýpi var innan við 8,5 cm vegna þess hversu óáreiðanleg þau gildi kunna að vera. Skýringar við tákna: KR: Krafla; tölugildi aftan við bókstafi vísa til þess hvort hafi verið um heitan (1) eða kaldan læk (2) að ræða og tölugildin aftan við bandstrikinn tákna sýnatökustöðvar innan hvers lækjar.

Lækur - sýnatökustöð	KR1-1			KR1-2			KR1-3			KR1-4		
Hnit N° (WGS 84)	65°42,410			65°42,505			65°42,600			65°41,819		
Hnit V° (WGS 84)	16°45,695			16°46,023			16°45,927			16°46,224		
Hæð y. s. (m)	495			500			520			461		
Gróður á bakka	ógróið			gras/lyng			gras			gras/lyng		
Gróður á botni	þörungur			grænþörungur			þörungur/mosi			þörungur		
Botngerð	grjót/sandur			útfelling (klöpp)			klöpp/grjót			sandur/möl/útfelling		
Dagsetning	6/6 '02	12/8 '02	13/6 '03	6/6 '02	12/8 '02	13/6 '03	6/6 '02	12/8 '02	13/6 '03	6/6 '02	12/8 '02	13/6 '03
Vatnshiti (°C)	12,2	33,1	14,0	18,9	28,4	26,8	14,1	25,4	25,4	14,4	40,0	28,0
Leiðni (µS/cm við 25°C)	551	1630	1270	1446	>1999	>1999	930	>1999	>1999	318	969	620
pH	8,3	9,1	8,8	7,8	7,4	7,2	7,5	7,8	8,1	7,8	9,1	7,8
Meðaldýpi (cm)	8,4	3,8		7,7	8,2		6,3	4,8		9,2	10,1	
Mesta dýpi (cm)	10	7		9	13		10	6		15	14	
Breidd (cm)	116	113		60	34		100	40		540	550	
Straumhraði (m/sek.)										0,477	0,498	
Rennsli (m³/sek.)										0,216	0,300	
Lækur - sýnatökustöð	KR2-2											
Hnit N° (WGS 84)	65°41,358											
Hnit V° (WGS 84)	16°46,245											
Hæð y. s. (m)	433											
Gróður á bakka	gras											
Gróður á botni	þörungur/mosi											
Botngerð	sandur/grjót											
Dagsetning	6/6 '02	12/8 '02	13/6 '03									
Vatnshiti (°C)	12,6	14,5	14,0									
Leiðni (µS/cm við 25°C)	235	307	315									
pH	7,8	7,9	8,2									
Meðaldýpi (cm)	9,8	8,7										
Mesta dýpi (cm)	16	10										
Breidd (cm)	120	100										
Straumhraði (m/sek.)	0,442	0,313										
Rennsli (m³/sek.)	0,050	0,028										

## Ölkelduháls

Niðurstöður síritandi hitamælinga sýndu að ekki var ýkja mikill munur á meðalhita heita lækjarins yfir vetrarmánuðina (október–apríl) annars vegar og sumarmánuðina (maí–september) hins vegar, byggt á mánaðameðaltölum (1. tafla og 15. mynd) og var sá munur ekki tölfræðilega marktækur nema á neðstu stöðinni (t-próf:  $P < 0,001$ ). Hitinn var á bilinu 25,8–27,5 °C á næstefstu stöðinni, 12,8–14,9 °C á næstu stöð þar fyrir neðan og 9,9–10,1 °C yfir veturinn og 15,2 °C yfir sumarið á neðstu stöðinni. Í kalda læknum var munur á meðaltalsgildum vatnshita milli árstíða 3,4–3,5°C, eða 4,1–4,2 °C yfir vetrarmánuðina og 7,6 °C yfir sumarmánuðina (1. tafla og 15. mynd) og var marktækur munur á mánaðameðaltölum milli árstíða (Mann-Whitney:  $P = 0,001$ ).

Vatnshiti heita lækjarins við Ölkelduháls þá daga sem sýni voru tekin var á bilinu 31,7–46,0°C á efstu sýnatökustöðinni (OH1-1), 20,6–35,2°C á þeirri næstefstu (OH1-2), 15,6–29,7°C á næstu stöð þar neðan við (OH1-3) og 18,0–19,5°C á þeirri neðstu (OH1-4) (3. tafla). Umtalsverður munur var á vatnshita milli daga á sýnatökustöðvum OH1-2 og OH1-3, en þær voru mun minni á neðstu sýnatökustöðinni (OH1-4) (3. tafla, 14.-15. mynd). Hiti í kalda læknum var nokkuð stöðugur milli sýnatökudaga og var hann að jafnaði lægstur næst upptökunum (OH2-1), 7,2–7,7°C og fór hækkandi eftir því sem fjær henni dró (3. tafla).

**3. tafla.** Yfirlit yfir helstu umhverfisbreytur sem mældar voru í lækjunum við Ölkelduháls. Athugið að straumhraða og rennsli er sleppt þar sem meðaldýpi var innan við 8,5 cm vegna þess hversu óáreiðanleg þau gildi kunna að vera. Viðbótarmælingar á hita, leiðni og sýrustigi voru gerðar 20. júní 2003. Skýringar við tákna: OH: Ölkelduháls; tölugildi aftan við bókstafi vísa til þess hvort hafi verið um heitan (1) eða kaldan læk (2) að ræða og tölugildin aftan við bandstrikín tákna sýnatökustöðvar innan hvers lækjar.

Lækur - sýnatökustöð	OH1-1				OH1-2				OH1-3				OH1-4			
	30/5 '02	7/8 '02	10/6 '03	20/6 '03	30/5 '02	7/8 '02	10/6 '03	20/6 '03	30/5 '02	7/8 '02	10/6 '03	20/6 '03	30/5 '02	7/8 '02	10/6 '03	20/6 '03
Hnit N° (WGS 84)	64°03,486				64°03,496				64°03,533				64°03,651			
Hnit V° (WGS 84)	21°13,924				21°13,981				21°14,115				21°14,585			
Hæð y.s. (m)	379				374				371				320			
Gróður á bakka	gras				gras				gras				að mestu ógrórir			
Gróður á botni	bakteríuskán				grænþörungaskán				grænþörungaskán				grænþörungur (dræsur)			
Botngerð	grjót/leir				grjót/leir				grjót				grjót/möl/sandur			
Dagsetning	30/5 '02	7/8 '02	10/6 '03	20/6 '03	30/5 '02	7/8 '02	10/6 '03	20/6 '03	30/5 '02	7/8 '02	10/6 '03	20/6 '03	30/5 '02	7/8 '02	10/6 '03	20/6 '03
Vatnshiti (°C)	39,3	46,0	31,9	31,7	30,0	35,2	20,6	21,5	20,5	29,7	17,4	15,6	19,5	18,0	19,1	19,2
Leiðni (µS/cm við 25°C)	1770	614	>1999	>1999	1870	571	>1999	>1999	1905	620	>1999	>1999	414	284	393	402
pH	2,2	2,1		1,9	2,3	2,9		2,2	2,3	2,9		2,2	7,3	6,7		7,5
Meðaldýpi (cm)	8,5				6,2				7,6				7,2			
Mesta dýpi (cm)	16				13				10				9			
Breidd (cm)	87				92				78				200			
Straumhraði (m/sek.)	0,175															
Rennsli (m³/sek.)	0,019															

Lækur - sýnatökustöð	OH2-1				OH2-2				OH2-3			
	30/5 '02	7/8 '02	10/6 '03	20/6 '03	30/5 '02	7/8 '02	10/6 '03	20/6 '03	30/5 '02	7/8 '02	10/6 '03	20/6 '03
Hnit N° (WGS 84)	64°03,516				64°03,558				64°03,548			
Hnit V° (WGS 84)	21°12,828				21°12,627				21°12,480			
Hæð y.s. (m)	393				378				372			
Gróður á bakka	gras				gras/gulvíðir				gras/gulvíðir			
Gróður á botni	þörungur				þörungur				þörungur			
Botngerð	sandur/möl				sandur/klöpp				sandur/möl			
Dagsetning	30/5 '02	7/8 '02	10/6 '03	20/6 '03	30/5 '02	7/8 '02	10/6 '03	20/6 '03	30/5 '02	7/8 '02	10/6 '03	20/6 '03
Vatnshiti (°C)	7,7	7,2	7,4	7,7	10,8	10,8	12,6	13,2	12,6	12,0	14,6	15,0
Leiðni (µS/cm við 25°C)	74	76	74	81	79	80	80	81	89	87	89	93
pH	6,7	7		8,3	7,4	7,6		8,1	7,5	7,5		8,3
Meðaldýpi (cm)					6							
Mesta dýpi (cm)	7*				8				8*			
Breidd (cm)	90				90				80			
Straumhraði (m/sek.)												
Rennsli (m³/sek.)												

## Miðdalur

Munur á mánaðameðaltölum vatnshita á milli árstíða var tölfræðilega marktækur fyrir allar þrjár mælistöðvarnar þar sem siritandi hitamæli var komð fyrir (Mann-Whitney:  $P=0,014$  (MD1-1),  $P=0,001$  (MD1-3) og  $P=0,001$  (MD1-4)) (15. mynd). Í kalda læknum var hins vegar ekki marktækur munur á hita yfir sumar og vetur (t-próf:  $P=0,380$ ). Var hitinn yfir vetrarmánuðina  $10,7 - 17,7$  °C og yfir sumarmánuðina  $16,9 - 19,6$  °C, í öllum tilfellum var hann hæstur efst og lægstur neðst.

Þá daga sem sýnatökur fóru fram var hiti í heita læknum jafnastur á efstu sýnatökustöðinni ( $19,3-22,4$ °C) en aðeins meiri breytileiki var á neðri stöðvunum milli sýnatökudaga:  $19,3-25,6$ °C (MD1-2),  $18,5-28,0$ °C (MD1-3) og  $18,0-27,1$ °C (MD1-4) (1. tafla). Í kalda læknum hitinn mjög svipaður á milli sýnatökudaga:  $6,0-7,9$ °C á efri stöðinni og  $6,3-11,5$ °C á þeirri neðri (4. tafla).

**4. tafla.** Yfirlit yfir helstu umhverfisbreytur sem mældar voru í lækjunum í Miðdal. Athugið að straumhraða og rennsli er sleppt þar sem meðaldýpi var innan við 8,5 cm vegna þess hversu óáreiðanleg þau gildi kunna að vera. Viðbótarmælingar á hita, leiðni og sýrustigi voru gerðar 20. júní 2003. Skýringar við tákni: MD: Miðdalur; tölugildi aftan við bókstafi vísa til þess hvort hafi verið um heitan (1) eða kalda læk (2) að ræða og tölugildin aftan við bandstrikin tákna sýnatökustöðvar innan hvers lækjar.

Lækur - sýnatökustöð	MD1-1				MD1-2				MD1-3				MD1-4			
Hnit N° (WGS 84)	64°03,379				64°03,360				64°03,304				64°03,144			
Hnit V° (WGS 84)	21°18,215				21°18,212				21°18,248				21°18,165			
Hæð y.s. (m)	379				372				360				354			
Gróður á bakka	gras				litt gróið				gras/lyng				gras			
Gróður á botni	þörungar/mosi				þörungar/mosi				þörungar/mosi				gras mosi			
Botngerð	grjót				grjót/sandur				möl/sandur				sandur/steinar			
Dagsetning	13/6 '02	8/8 '02	9/6 '03	20/6 '03	13/6 '02	8/8 '02	9/6 '03	20/6 '03	13/6 '02	8/8 '02	9/6 '03	20/6 '03	13/6 '02	8/8 '02	9/6 '03	20/6 '03
Vatnshiti (°C)	22,4	19,3	19,3	20,9	25,6	20,0	19,3	23,1	28,0	18,5	19,6	25,3	27,1	18,5	18,0	23,8
Leiðni (µS/cm við 25°C)	272	229	284	283	285	227	289	297	281	208	263	285	281	222	248	300
pH	8,2	8,1		8,1	7,2	7,5		7,5	7,2	7,4		7,6	8,2	7,8		8,1
Mesta dýpi (cm)	9*	19		12	8*	11			14*	24			17*	25		18
Meðaldýpi (cm)		16		7,8		6				9,2				13,1		13,5
Breidd (cm)		40		60		60				90				130		
Straumhraði (m/sek.)		0,313								0,141				0,173		
Rennsli (m³/sek.)		0,022								0,019				0,044		

Lækur - sýnatökustöð	MD2-1				MD2-2			
Hnit N° (WGS 84)	64°03,406				64°03,389			
Hnit V° (WGS 84)	21°18,404				21°18,471			
Hæð y.s. (m)	380				360			
Gróður á bakka	gras				gras			
Gróður á botni	mosi				mosi (vottur)			
Botngerð	klöpp/steinar				steinar/sandur			
Dagsetning	13/6 '02	8/8 '02	9/6 '03	20/6 '03	13/6 '02	8/8 '02	9/6 '03	20/6 '03
Vatnshiti (°C)	7,2	6,0	6,6	7,9	11,5	6,3	7,3	10,5
Leiðni (µS/cm við 25°C)	89	90	77	90	93	89	86	93
pH	8,2	7,7		5,7	8,1	7,8		6,2
Mesta dýpi (cm)	12*	6			5*	7		
Meðaldýpi (cm)		5				4,5		
Breidd (cm)		95				90		
Straumhraði (m/sek.)								
Rennsli (m³/sek.)								

## Leiðni

Í heitu lækjunum við Kröflu var leiðnin lægst í fyrstu sýnatökunni, þann 6. júní 2002 ( $318-1446$  µS/cm), en mun hærri í seinni sýnatökunum ( $620-1999$  µS/cm). Svipað munstur sást í kalda læknum en leiðnin var þó mun lægri í honum ( $235-315$  µS/cm) (2. tafla).

Heiti lækurinn við Ölkelduháls skar sig frá öðrum heitum lækjum í rannsókninni vegna hárrar leiðni vatnsins (571→1999  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Þessi háa leiðni var þó bundin við þrjár efstu sýnatökustöðvarnar (OH1-1 til OH1-3), á neðstu stöðinni (OH1-4) fór leiðnin hæst upp í 414  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Í kalda læknum var leiðnin mun lægri (74–93  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en fór lítillaga hækkandi eftir því sem neðar dró í læknum, munur á efstu og neðstu stöð var þó aldrei meiri en 15  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sem er mun minni munur en var á milli stöðva í heita læknum (3. tafla).

Í Miðdal var leiðni heitu lækjanna mjög svipuð milli einstakra mældinga og á milli sýnatökustöðva innan hvors lækjar. Í heita læknum var leiðnin á bilinu 208–300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  og 77–93  $\mu\text{S}/\text{cm}$  í þeim kalda (4. tafla). Leiðni kalda lækjarins var ekki ósvipuð og hún var í kalda læknum við Ölkelduháls en töluvert lægri en í kalda læknum við Kröflu.

### **Sýrustig**

Við Kröflu var sýrustig að jafnaði hæst í heita læknum sem rann úr Hveragili 8,3–9,1 á KR1-1, en mun lægra í læknum sem rann úr Fagragili (KR1-2 og KR1-3) en þar var það á bilinu 7,2 og 8,1. Sveiflur á sýrustigi voru mestar á neðstu sýnatökustöðinni (KR1-4) sem var neðan Kröfluvirkjunar. Þar var sýrustig vatnsins á bilinu 7,8 og 9,1 (2. tafla). Í kalda læknum við Kröflu voru litlar sveiflur á sýrustigi milli sýnatökudaga og var það á bilinu 7,8 og 8,2 (2. tafla).

Sýrustig vatnsins í heita læknum við Ölkelduháls var á bilinu 1,9–2,9 á efstu þremur sýnatökustöðvunum. Á neðstu sýnatökustöðinni (OH1-4) var sýrustig vatnsins 6,7–7,5 (3. tafla). Sýrustig kalda lækjarins var á bilinu 6,7–8,3 og hækkadi eftir því sem neðar dró.

Í Miðdal var sýrustig heita lækjarins mjög svipað á milli sýnatökudaga, þó eilítið herra á efstu og neðstu sýnatökustöðvunum en þeim sem voru þar á milli (MD1-2 og MD1-3) (4. tafla). Á milli sýnatökustöðva MD1-1 og MD1-3 blandaðist vatn frá nokkrum gufuhverum í lækinn og allnokkrir hliðarlækir sameinuðust honum á milli tveggja neðstu stöðvanna (MD1-3 og MD1-4).

Í kalda læknum í Miðdal var sýrustigið 5,7–8,2. Lág gildi mældust þann 20. júní 2003: 5,7 á efri stöðinni og 6,2 á þeirri neðri en hina mældagana var sýrustigið 7,7–8,2.

### **Rennsli**

Eins og fyrr er sagt ber að taka upplýsingar um rennsli með fyrirvara þar sem oft voru lækirnir það grunnir að mælirinn var ekki allur í kafi. Öllum mælingum þar sem meðaldýpið var minna en þvermál mælisins (8,5 cm) er því sleppt.

Rennslismælingar í lækjunum við Kröflu voru einungis marktækar á neðstu sýnatökustöðinni í Hlíðardalslæk og í kalda læknum. Á neðstu sýnatökustöðinni, neðan Kröfluvirkjunar, var rennslið mun minna í júní 2002 (0,216  $\text{m}^3/\text{sek.}$ ) en það var síðar um sumarið (0,300  $\text{m}^3/\text{sek.}$ ). Þessu var hins vegar öfugt farið í kalda læknum, þar var rennslið mun meira í júní 2002 (0,050  $\text{m}^3/\text{sek.}$ ) en í ágúst sama ár (0,028  $\text{m}^3/\text{sek.}$ ) (2. tafla). Rennsli á hinum sýnatökustöðvunum var áætlað nokkru minna en mældist í kalda læknum KR2.

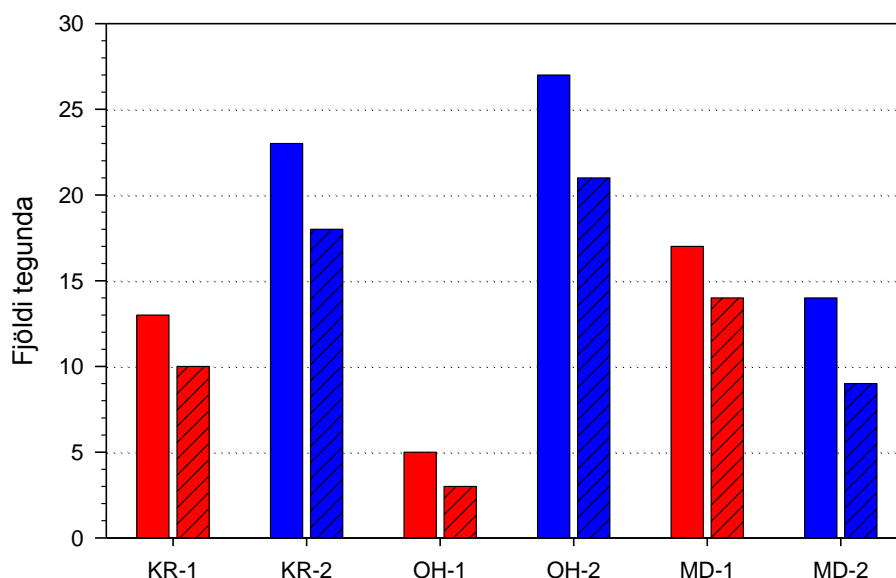
Við Ölkelduháls var rennslið aðeins mælt í ágúst 2002, einungis mælingar af efstu stöðinni í heita læknum voru nothæfar en þar var rennsli lækjarins 0,019  $\text{m}^3/\text{sek.}$  (3. tafla).

Rennslið í heita læknum í Miðdal í ágúst 2002 var 0,022 m<sup>3</sup>/sek. á efstu sýnatökustöðinni, 0,019 á MD1-3 og 0,044 m<sup>3</sup>/sek. á neðstu sýnatökustöðinni (4. tafla). Rennsli kalda lækjarins var áætlað mun minna.

### Flugnagildir

Af þeim 67 tegundum skordýra sem veiddust í gildrunar voru 43 skordýrategundir sem lifa hluta lífsferils síns í vatni og verður eingöngu fjallað um þann hluta veiðinnar hér. Vert er að hafa hugfast að veiði flugnagilda afmarkast ekki einungis við skordýr úr þeim lækjum sem gildrunar standa við heldur má ætla að nokkuð berist af skordýrum annars staðar frá. Því má ætla að einhver flutningur skordýra geti hafa átt sér stað á milli heitra og kaldra lækja, en síður að mikið af skordýrum hafi flust á milli rannsóknasvæða.

Mestur var fjöldi tegunda við kalda lækinn við Ölkelduháls, þar veiddust alls 27 tegundir á tímabilinu 30. maí til 24. ágúst 2002. Samtals 23 tegundir veiddust við kalda lækinn við Kröflu (6. júní–11. september 2002) og 14 tegundir við kalda lækinn í Miðdal (13. júní–8. september 2002). Aðeins í Miðdal var tegundafjöldi skordýra meiri við heita lækinn en við þann kalda (16. mynd og 5. tafla).



**16. mynd.** Tegundafjöldi skordýra úr flugnagildrum við heita og kalda læk: Við Kröflu (6. 6.–11.9.'02), Ölkelduháls (30.5.–24.8.'02) og í Miðdal (13.6.–8.9.'02). Rauðu súlurnar tákna heita læk og bláar kalda læk. Allar tegundir skordýra eru táknaðar með óskyggðum súlum, strikuðu súlurnar sýna fjölda rykmýstegunda sem veiddust í flugnagildrunar. Skýringar við tákn: OH: Ölkelduháls, MD: Miðdalur og KR: Krafla; tölugildi aftan við bókstafi vísa til þess hvort hafi verið um heitan (1) eða kaldan læk (2) að ræða.

Af þeim 43 tegundum skordýra sem veiddust í gildrunar voru tiltölulega fáar tegundir sem fundust bæði við heita og kalda læk innan hvers svæðis. Í Miðdal voru 7 af 24 tegundum (29%) skordýra sameiginlegar í heitu og köldu lækjunum, 3 af 28 tegundum (11%) við Ölkelduháls og 9 af 27 (33%) við Kröflu (6. tafla). Við samanburð á fjölbreytni skordýra milli heitra og kaldra lækja ( $\beta$ -fjölbreytni) innan hvers svæðis sést að skörunin var minnst milli lækja við Ölkelduháls

( $\beta=0,19$ ), en mun meiri í Miðdal ( $\beta=0,45$ ) og við Kröflu ( $\beta=0,50$ ) (6. tafla). Í samanburði milli svæða annars vegar fyrir köldu lækina og hins vegar fyrir heitu lækina kom í ljós að skörunin var mun meiri milli landsvæða meðal þeirra köldu ( $\beta=0,43-0,64$ ) en þeirra heitu ( $\beta=0,27-0,33$ ) (6. tafla).

**5. tafla.** Listi yfir tegundir skordýra úr flugnagildrum sumarið 2002: Í Miðdal (MD1 og MD2), við Ölkelduháls (OH1 og OH2) og Kröflu (KR1 og KR2). Aðeins karflugur rykmýsins voru greindar til tegunda.

Staðsetning Gildra nr.	Miðdalur		Ölkelduháls		Krafla	
	MD-1	MD-2	OH-1	OH-2	KR-1	KR-2
Dagsetning uppsetningar	13.06.'02	13.06.'02	30.05.'02	30.05.'02	6.06.'02	6.06.'02
Dagsetning tæmingar	8.09.'02	8.09.'02	24.08.'02	24.08.'02	11.09.'02	11.09.'02
Fjöldi veiddaga	87	87	87	87	98	98
<b>TRICHOPTERA - vorflugur</b>						
<i>Apatania zonella</i> (Zetterstedt)	0	0	0	1	0	0
<i>Limnephilus affinis</i> Curtis	0	1	0	0	0	0
<i>Limnephilus griseus</i> (Linnaeus)	0	0	0	0	1	1
<i>Limnephilus fenestratus</i> (Zetterstedt)	0	0	0	0	0	2
<i>Limnephilus sparsus</i> Curtis	0	0	0	1	0	0
<i>Potamophylax cingulatus</i> (Stephens)	0	4	0	7	0	0
<b>DIPTERA - tvívængjur</b>						
Empididae - breddur						
<i>Clinocera stagnalis</i> (Haliday)	1	0	0	1	0	1
Simuliidae - bitmý						
<i>Prosimulium ursinum</i> (Edwards)	0	1	0	0	0	0
<i>Simulium vittatum</i> Zetterstedt	543	28	106	61	49	215
Ceratopogonidae - lúsmý	14	17	11	23	2	11
Chironomidae - rykmý						
Ógreindar kvenflugur	101	43	64	226	96	276
<i>Campocladius stercorarius</i> (DeGeer)	0	0	0	2	0	0
<i>Chaetocladius</i> cf. <i>dissipatus</i> (Edwards)	0	0	0	1	0	0
<i>Chaetocladius</i> cf. <i>melaleucus</i> (Meigen)	84	2	1	13	19	24
<i>Chaetocladius</i> cf. <i>suecicus</i> (Kieffer)	0	0	0	0	1	0
<i>Chaetocladius</i> cf. <i>laminatus</i> Brundin	0	0	0	1	0	0
<i>Cricotopus</i> ( <i>Isocladius</i> ) <i>sylvestris</i> (Fabricius)	46	4	0	0	0	0
<i>Cricotopus</i> ( <i>Cricotopus</i> ) <i>tibialis</i> (Meigen)	0	0	0	0	0	1
<i>Diamesa bertrami</i> Edwards	0	0	0	1	0	0
<i>Diamesa bohemani</i> Goetghebuer	0	2	0	1	2	4
<i>Diamesa incallida</i> (Walker)	1	0	0	0	0	0
<i>Diamesa latitarsis</i> (Goetghebuer)	1	1	0	0	0	1
<i>Diamesa lindrothi</i> Goetghebuer	1	0	0	0	0	0
<i>Diamesa zernyi</i> Edwards	0	0	1	0	0	0
<i>Eukiefferiella claripennis</i> (Lundbeck)	7	6	0	1	0	1
<i>Eukiefferiella minor</i> (Edwards)	1	0	3	6	2	17
<i>Limnophyes</i> spp. Eaton	0	0	0	15	0	4
<i>Metriocnemus eurynotus</i> (Holmgren)	74	0	0	6	9	158
<i>Metriocnemus fuscipes</i> (Meigen)	1	0	0	1	0	8
<i>Micropsectra atrofasciata</i> Kieffer	11	0	0	0	0	4
<i>Micropsectra recurvata</i> (Goetghebuer)	0	0	0	1	0	0
<i>Orthocladus</i> ( <i>Eudactylocladius</i> ) <i>fuscimanus</i> (Kieffer)	0	1	0	2	3	0
<i>Orthocladus</i> ( <i>Eudactylocladius</i> ) <i>suppletorum</i> Cranston	1	0	0	5	0	1
<i>Orthocladus</i> ( <i>Orthocladus</i> ) <i>frigidus</i> (Zetterstedt)	0	0	0	1	0	1
<i>Orthocladus</i> ( <i>Orthocladus</i> ) <i>oblidens</i> (Walker)	1	0	0	1	0	1
<i>Orthocladus</i> ( <i>Pogonocladus</i> ) <i>consobrinus</i> (Holmgren)	0	0	0	1	1	1
<i>Paraphaenocladus impensus</i> (Walker)	1	0	0	2	0	2
<i>Paraphaenocladus irritus</i> (Walker)	0	2	0	1	0	1
<i>Parochlus kiefferi</i> (Garrett)	0	0	0	0	1	0
<i>Procladius islandicus</i> (Goetghebuer)	0	0	0	4	0	0
<i>Rheocricotopus</i> ( <i>Rheocricotopus</i> ) <i>effusus</i> (Walker)	0	1	0	0	0	6
<i>Smittia aterrima</i> (Meigen)	0	0	0	0	1	1
<i>Smittia</i> sp. Holmgren	0	0	0	0	1	0
<i>Thienemanniella</i> sp. Kieffer	1	7	0	29	0	0
Heildarfjöldi tegunda	17	14	5	27	13	23
Heildarfjöldi rykmýstegunda	14	9	3	21	10	18
Heildarfjöldi flugna	907	134	191	442	201	765



**6. tafla.** Fjöldi tegunda skordýra sem veiddust í flugnagildir við Ölkelduháls (OH), Kröflu (KR) og í Miðdal (MD) sumarið 2002. Gefnar eru upplýsingar um skörun tegunda og  $\beta$ -fjölbreytni fyrir mismunandi gildir. 1: Heitir lækir, 2: Kaldir lækir.

Flugnagildir		Fjöldi tegunda		Fjölbreytni
Stöð	Stöð	Alls	Skörun	$\beta$
OH1	OH2	28	3	0.19
KR1	KR2	27	9	0.50
MD1	MD2	24	7	0.45
OH1	KR1	14	3	0.33
OH1	MD1	18	3	0.27
KR1	MD1	25	5	0.33
OH2	KR2	34	16	0.64
OH2	MD2	32	9	0.44
KR2	MD2	29	8	0.43

Alls veiddust 33 rykmýstegundir yfir söfnunartímabilið, flestar þeirra veiddust við kalda lækni eða alls 27 tegundir en 22 tegundir veiddust við heitu lækina. Við Kröflu og Ölkelduháls voru snöggtum fleiri tegundir í gildrunum við köldu lækina en þá heitu; annars vegar 18 tegundir á móti 10 við Kröflu og hins vegar 21 á móti 3 við Ölkelduháls. Í Miðdal veiddust aftur á móti aðeins 9 tegundir við kalda lækinn en 14 við þann heita (16. mynd). Við heitu lækina í Miðdal og við Ölkelduháls var rykmý ríkjandi hópur en við heitu lækina og kalda lækinn við Kröflu var bitmý ríkjandi (5. tafla).

## Botndýr

### Fjölbreytni

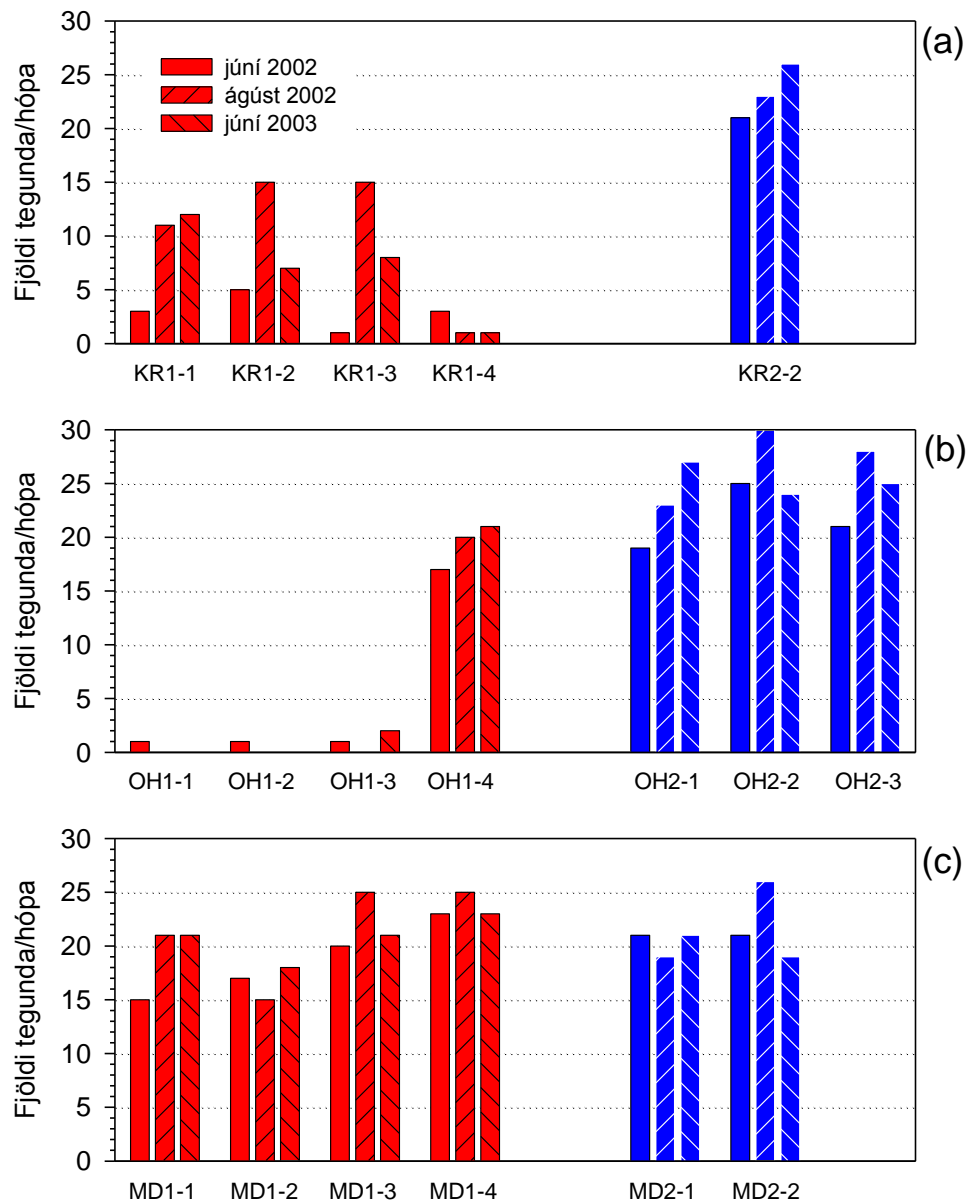
Samanlagður fjöldi tegunda eða dýrahópa á botni lækjanna var 59 (7. tafla). Suma hópa var ekki unnt að greina til tegunda t.d. liðorma, sum krabbadýr og nokkra hópa rykmýs. Má því gera ráð fyrir að nokkru fleiri tegundir hafi verið til staðar en hér kemur fram.

Við Kröflu og Ölkelduháls var fjöldi tegunda/hópa marktækt meiri í köldu lækjunum en þeim heitu (Mann-Whitney:  $P < 0,001$  (OH),  $P = 0,012$  (KR)) en svo var ekki í Miðdal (Mann-Whitney:  $P = 0,708$ ).

Í heitu lækjunum við Kröflu var samanlagður fjöldi botndýrategunda/hópa á efri stöðvunum í heitu lækjunum 19–20 en mun færri fundust á neðstu sýnatökustöðinni (KR1-4), 5 tegundir/hópar. Almennt voru mun færri tegundir/hópar í fyrstu sýnatökunni þann 6. júní 2002 en í síðari sýnatökunum (1–5 tegundir/hópar) í heitu lækjunum. Á efstu þremur sýnatökustöðvunum var fjöldi botndýrategunda/hópa 11–15 í ágúst 2002 og 7–12 í júní 2003 (17. mynd a). Í samanburði var aðeins 1 tegund/hópur á neðstu sýnatökustöðinni 1 bæði í ágúst 2002 og júní 2003 (17. mynd a). Í kalda læknum við Kröflu var heildarfjöldi botndýrategunda/hópa 34 eða á bilinu 21–26 þá þrjú daga sem botnsýni voru tekin.

7. tafla. Listi yfir tegundir/hópa botndýra sem fundust í lækjum við Ölkelduháls, Kröflu og í Miðdal 2002 og 2003. Rautt tákna heita læk og blátt tákna kalda læk; l: lirfur, p: púpur og ad: fullorðin dýr. X tákna að tegund/hópur hafi fundist og bandstrik (-) að tegund/hópur hafi ekki fundist.

Flokkunareining	OH1-1	OH1-2	OH1-3	OH1-4	OH2-1	OH2-2	OH2-3	KR1-1	KR1-2	KR1-3	KR1-4	KR2-2	MD1-1	MD1-2	MD1-3	MD1-4	MD2-1	MD2-2
COLEENTERATA - holdýr																		
<i>Hydra</i> spp. - armslóngur	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-
ANNELIDA - liðormar																		
<i>Chaetogaster</i> spp. - kvíðburstungar	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hirudiea - blóðsugur	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-
MOLLUSCA - lindýr																		
<i>Lymnaea peregra</i> - vatnabobbi	-	-	x	x	x	x	-	-	x	x	-	x	x	x	x	x	-	-
<i>Lymnaea truncatula</i> - tjarnabobbi	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	x	-	-	-	-	-
TARDIGRADA - bessadýr	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	-	x	x	x	x
ARTHROPODA - liðdýr																		
Crustacea - krabbadýr																		
Cyclopoida - augndlí	-	-	-	x	-	x	x	x	-	-	-	-	-	x	x	x	-	x
Canthcamptidae - ormdlí	-	-	-	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x
Ostracoda - skelkrebbs	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x
<i>Alona</i> sp. - mánafló	-	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	-	-
<i>Alona guttata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	-	-
Acarina - áttfætlumaurar																		
Hydrachnellae - vatnamaurar	-	-	x	x	x	x	x	x	-	x	-	x	x	x	x	x	x	x
Insecta - skordýr																		
<i>Capnia vidua</i> (l) - steinfluga	-	-	-	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x
Coleoptera (l) - ógr. vatnabjöllur	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hydroporus nigrita</i> (l, ad) - lækjaklukka	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-
Trichoptera (l) - vorflugur	-	-	-	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Diptera (l, p, ad) - tvívængjur	-	-	-	x	x	x	x	-	x	-	-	x	x	x	x	x	-	x
Tipulidae (l) - hrossaflugnaætt	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	x
<i>Limnophora riparia</i> (l, p) - lækjarfluga	-	-	-	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x
<i>Clinocera stagnalis</i> (l, p) - strandfluga	-	-	-	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x
<i>Dicranota</i> sp. (l)	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Empitidae (p) - bredduætt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
<i>Scatella</i> sp. (l, p) - hverafluga	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-
Ceratopogonidae (l, p) - lúsmýsætt	-	-	-	-	x	x	x	-	-	-	-	-	x	-	x	x	x	x
Simuliidae (l, p) - bitmýsætt	-	-	-	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x
Chironomidae (l, p) - rykmýsætt	-	x	-	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x
<i>Parochlus</i> sp. (l, p)	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
Tanypodinae (l) - ránmý	-	-	-	-	x	x	x	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-
<i>Diamesa</i> spp. (l, p) - kulmý	-	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x	-	-	x	x	x
<i>Diamesa bertrami</i> (l)	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	x
<i>Diamesa bohemani/zernyi</i>	-	-	-	-	x	x	x	x	-	x	-	x	x	-	-	x	x	x
Orthoclaadiinae (l) - bogmý/vatnsmý	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x
Orthoclaadiinae sp. A	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	x	x	x	-	-	-	x
Orthoclaadiinae sp. B	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	x	-	-	x	x	-	-
Orthoclaadiinae sp. D	-	-	-	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x
<i>Bryophaenocladus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chaetocladus</i> sp. (l, p)	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Corynoneura</i> sp. (l)	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	x	-	-
<i>Cricotopus (Isocladus) sylvestris</i> (l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	x	x	x	-	-
<i>Cricotopus</i> sp. (p)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-
<i>Eukiefferiella</i> sp. (p)	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eukiefferiella claripennis</i> (l, p)	-	-	-	x	x	x	x	x	-	x	-	x	x	x	x	x	x	x
<i>Eukiefferiella minor</i> (l, p)	x	-	-	x	x	x	x	x	-	x	-	x	x	x	x	x	x	x
<i>Metriocnemus fuscipes</i> hópur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-
<i>Metriocnemus hygropetricus</i> hópur	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	x	-	x
<i>Metriocnemus</i> sp. (p)	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Orthocladus</i> spp. (l, p)	-	-	-	x	x	x	x	-	-	x	-	x	-	x	x	x	x	x
<i>Orthocladus (Euorthocladus)</i> sp.	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Orthocladus (Orthocladus) frigidus</i>	-	-	-	x	x	x	x	-	-	-	-	x	-	-	-	x	x	x
<i>Orthocladus (Orthocladus) oblidens</i>	-	-	-	x	-	x	x	-	-	-	-	x	-	-	x	x	x	-
<i>Orthocladus (Pogonocladus) consobrinus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paraphaenocladus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-
<i>Rheocricotopus</i> sp. (l, p)	-	-	-	x	x	x	x	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	x
<i>Thienemanniella</i> sp. (l, p)	-	-	-	x	x	x	x	-	-	-	-	-	x	-	x	x	x	x
Chironominae (l, p) - beymý	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-	x	-	-	-
<i>Chironomus</i> sp. (l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-
Tanytarsini (l, p) - slæðumý	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x
<i>Micropsectra</i> sp. (l, p)	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x
<i>Paratanytarsus</i> sp. (l)	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-
Heildarfjöldi tegunda/hópa	1	1	2	29	33	37	35	19	20	19	5	34	27	23	30	34	27	31



17. mynd. Fjöldi botndýrategunda/hópa í lækjum við (a) Kröflu, (b) Ölkelduháls og (c) í Miðdal í maí/júní 2002, ágúst 2002 og júní 2003. Rauðar súlur tákna heita læki og bláar súlur þá köldu. Skýringar við tákn: OH: Ölkelduháls, MD: Miðdalur og KR: Krafla; tölugildi aftan við bókstafi vísa til þess hvort hafi verið um heitan (1) eða kalda læk (2) að ræða og tölugildin afan við bandstrikinn tákna sýnatökustöðvar innan hvers lækjar.

Við Ölkelduháls var fjöldi botndýrategunda/hópa mjög lítill á þremur efstu sýnatökustöðvunum í heita læknum (OH1-1, OH1-2 og OH1-3) og oftar en ekki fundust engin dýr á þessum stöðvum. Á neðstu sýnatökustöðinni í heita læknum (OH1-4) var heildarfjöldi botndýrategunda/hópa 29 og nokkru hærri í kalda læknum, þar sem heildarfjöldinn var 42 (17. mynd b). Munur á fjölda milli sýnatökudaga á neðstu stöðinni í heita læknum var lítill, 17–21 tegund/hópur.

Heldur meiri munur var á milli sýnatökudaga í kalda læknum við Ölkelduháls en á neðstu stöðinni í heita læknum, einnig var nokkur munur á milli sýnatökustöðva (17. mynd b). Á efstu stöðinni voru 19–25 tegundir/hópar, 23–30 á miðstöðinni og 24–27 á þeirri neðstu.

Í Miðdal var sem fyrr segir ekki marktækur munur á fjölda botndýrategunda/hópa milli heita og kalda lækjarins, enn fremur var lítill munur á fjölda tegunda/hópa á milli einstakra sýnatökudaga (17. mynd c). Alls fundust 42 tegundir/hópar í heita læknum eða á bilinu 15–24 tegundir/hópar hvern sýnatökudag. Örlítið færri tegundir/hópar voru á efstu tveimur stöðvunum (MD1-1 og MD1-2) en á þeim neðri í heita læknum. Heildarfjöldi tegunda/hópa botndýra í kalda læknum í Miðdal var 33; 19–21 á efri stöðinni og 19–26 á þeirri neðri (17 mynd c).

Pegar  $\beta$ -fjölbreytni er skoðuð milli heitra og kaldra lækja innan rannsóknasvæða sést að skörunin var mest við Kröflu ( $\beta=0,83$ ), en minni við Ölkelduháls ( $\beta=0,73$ ) og í Miðdal ( $\beta=0,75$ ). Skörun tegunda/hópa var heldur meiri milli rannsóknasvæða fyrir köldu lækina ( $\beta=0,71-0,83$ ) en fyrir þá heitu ( $\beta=0,58-0,69$ ) (8. tafla).

**8. tafla.** Fjöldi botndýrategunda/hópa í heitum (1) og köldum (2) lækjum við Ölkelduháls (OH), Kröflu (KR) og í Miðdal (MD). Auk þess eru gefnar upplýsingar um skörun tegunda og  $\beta$ -fjölbreytni fyrir mismunandi svæði.

Botnsýni		Fjöldi tegunda		Fjölbreytni
Stöð	Stöð	Alls	Skörun	$\beta$
OH1	OH2	45	26	0.73
KR1	KR2	41	29	0.83
MD1	MD2	47	28	0.75
OH1	KR1	46	19	0.58
OH1	MD1	47	24	0.68
KR1	MD1	51	27	0.69
OH2	KR2	49	27	0.71
OH2	MD2	44	31	0.83
KR2	MD2	43	24	0.72

## Þéttleiki

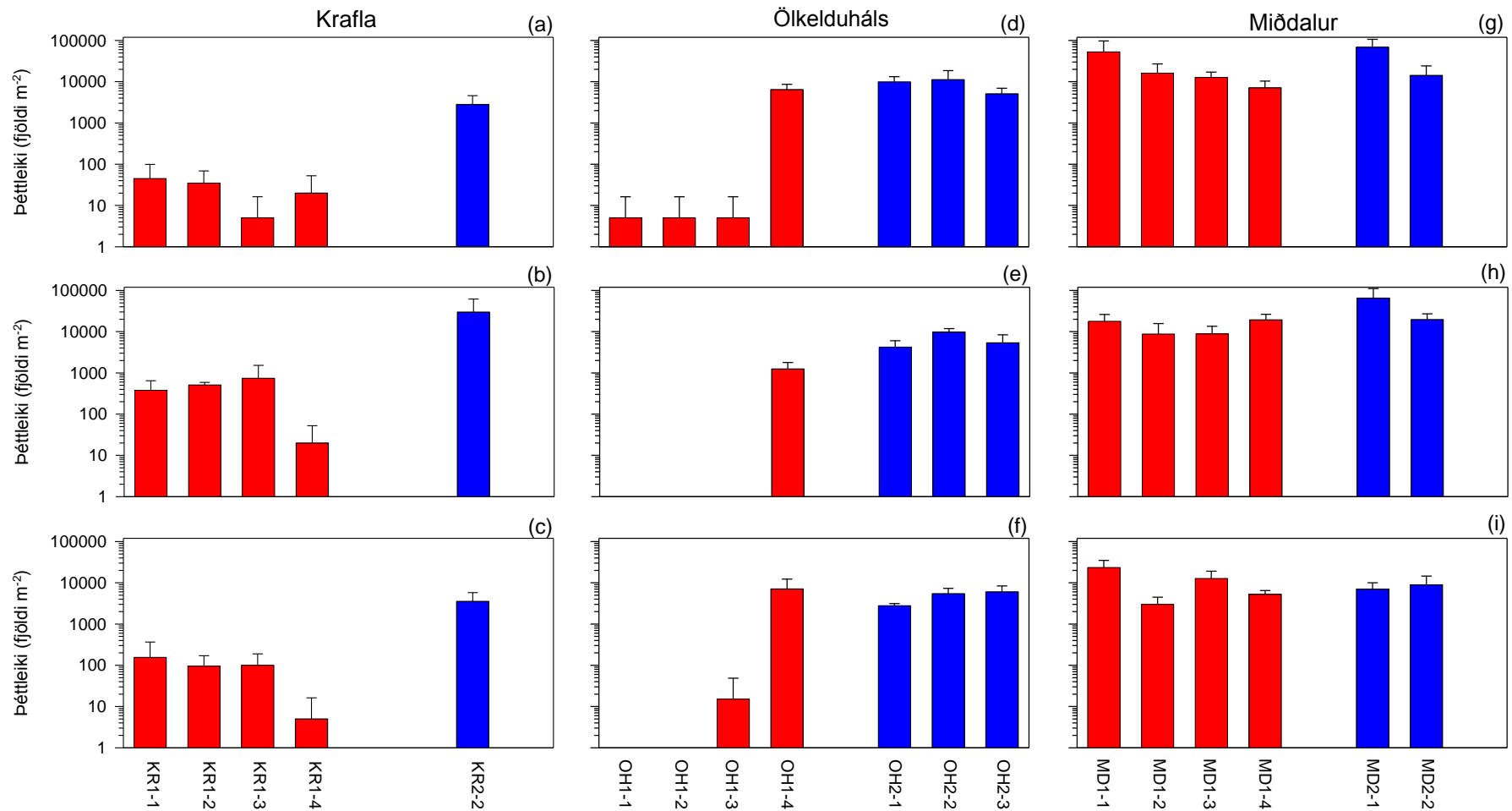
Verulegur munur var á þéttleika botndýra í þeim lækjum sem kannaðir voru og var þéttleiki dýra oftast meiri í köldu lækjunum en þeim heitu (18. mynd). Við Kröflu var þéttleiki botndýra í heitu lækjunum 5–740 dýr/m<sup>2</sup>. Var hann mestur í ágúst 2002 (20–740 dýr/m<sup>2</sup>), nokkru minni í júní 2003 (5–155 dýr/m<sup>2</sup>) og mun minni í júní 2002 (5–45 dýr/m<sup>2</sup>) (18. mynd a–c, 9. tafla). Munur á þéttleika botndýra á milli sýnatökudaga var tölfræðilega marktækur fyrir allar sýnatökustöðvarnar nema þá neðstu (Kruskal-Wallis:  $P=0,027$  (KR1-1),  $P<0,001$  (KR1-2),  $P=0,007$  (KR1-3) og  $P=0,679$  (KR1-4)). Þéttleiki botndýra var mun minni í heitu lækjunum en þeim kalda og gildi það fyrir alla þrjá sýnatökudagana (Kruskal-Wallis:  $P=0,006$  (júní 2002),  $P<0,001$  (ágúst 2002) og  $P=0,003$  (júní 2003)). Minnstur var þéttleiki botndýra á neðstu sýnatökustöðinni (KR1-4) en þar var þéttleiki botndýra á bilinu 5-20 dýr/m<sup>2</sup> (9. tafla). Í kalda læknum við Kröflu

var þéttleiki botndýra mestur í ágúst 2002 (29.595 dýr/m<sup>2</sup>) en var aðeins tíundi hluti þess í júní 2002 og 2003 (18. mynd a–c).

Við Ölkelduháls voru niðurstöðurnar hliðstæðar því sem var við Kröflu, þ.e. lítill þéttleiki botndýra í heita læknum. Neðsta sýnatökustöðin (OH1-4) skar sig frá þeim efri (18. mynd d–f) að því leyti að þar var þéttleiki botndýra nokkrum stærðargráðum meiri en hann var ofar í læknum. Á neðstu sýnatökustöðinni (OH1-4) var þéttleiki botndýra marktækt meiri í júní 2002 og 2003 heldur en hann var í ágúst 2002 (Kruskal-Wallis:  $P=0,009$ ). Á efri stöðvunum (OH1-1, OH1-2 og OH1-3) var ekki marktækur munur á þéttleika botndýra milli einstakra sýnatökudaga. Mikill munur var á þéttleika botndýra á milli heita og kalda lækjarins við Ölkelduháls og var sá munur marktækur í öllum þremur sýnatökunum (Kruskal-Wallis:  $P<0,001$ ). Munaði þar mestu um hve lítill þéttleiki botndýra var á efstu þremur sýnatökustöðvunum í heita læknum. Ekki var marktækur munur á þéttleika botndýra á neðstu sýnatökustöðinni í heita læknum (OH1-4) og þéttleika botndýra í kalda læknum (OH2) í fyrstu sýnatökunni (Kruskal-Wallis:  $P=0,146$ ). Í ágúst sama ár var þéttleiki botndýra marktækt meiri í kalda læknum (Kruskal-Wallis:  $P=0,003$ ) og því öfugt farið í júní 2003 (Kruskal-Wallis:  $P=0,013$ ).

Þéttleiki botndýra í lækjunum í Miðdal var oftast mestur í samanburði við hin rannsóknasvæðin tvö og átti það bæði við heita og kalda lækinn (18. mynd g–i, 11. tafla). Í heita læknum (MD1) var þéttleiki dýra á bilinu 3.015–53.075 dýr/m<sup>2</sup>. Hann var mestur á efstu sýnatökustöðinni í júní 2002 og 2003 en í ágúst 2002 var þéttleiki botndýra örlítið meiri á neðstu sýnatökustöðinni. Marktækur munur var á þéttleika dýra á milli sýnatökudaga á næstefstu og neðstu sýnatökustöðinni í heita læknum. Á næstefstu stöðinni var þéttleikinn langmestur í júní 2002 en mun minni hina sýnatökudagana (Kruskal-Wallis:  $P=0,018$ ). Á neðstu stöðinni var þéttleiki botndýra mestur í ágúst 2002 en mun minni hina dagana (Kruskal-Wallis:  $P=0,009$ ). Á efri sýnatökustöðinni í kalda læknum (MD2-1) var marktækt minni þéttleiki botndýra í júní 2003 en árið áður (Kruskal-Wallis:  $P=0,009$ ). Þéttleikinn var álíka fyrir báðar sýnatökurnar 2002 (í júní 2002 68.730 dýr/m<sup>2</sup> og í ágúst 64.804 dýr/m<sup>2</sup>) en aðeins tíundi hluti þess í júní 2003 (7.000 dýr/m<sup>2</sup>) (18. mynd g–i). Ekki var marktækur munur á þéttleika botndýra milli sýnatökudaga á neðri stöðinni í kalda læknum (MD2-2). Þéttleiki botndýra var áberandi meiri á efri sýnatökustöðinni en þeirri neðri, einkum í fyrstu sýnatökunni en þá var um marktækan mun að ræða á milli stöðva (Mann-Whitney:  $P=0,016$ ). Munurinn var hins vegar ekki marktækur hina dagana.

Breytileiki milli einstakra botnsýna á mismunandi sýnatökustöðum var mikill í þeim tilvikum þar sem þéttleiki botndýra var lítill. Hins vegar var mun minni breytileiki á milli þeirra fimm botnsýna þar sem þéttleiki botndýra var mikill (18. mynd).



**18. mynd.** Péttleiki botndýra í lækjum við Kröflu (a) 6. júní 2002, (b) 12. ágúst 2002 og (c) 13. júní 2003; við Ölkelduháls (d) 30. maí 2002, (e) 7. ágúst 2002 og (f) 10. júní 2003; í Miðdal (g) 13. júní 2002, (h) 8. ágúst 2002 og (i) 9. júní 2003. Hver súla sýnir meðalpéttleika auk staðalfráviks. Rauðar súlur tákna heita læk og bláar súlur kalda. Athugið að kvarðinn á lóðréttu ásunum er lógaritmískur. Skýringar við tákn: OH: Ölkelduháls, MD: Miðdalur og KR: Krafla; tölugildi aftan við bókstafi vísa til þess hvort hafi verið um heitan (1) eða kaldan læk (2) að ræða og tölugildin aftan við bandstrikin tákna sýnatökustöðvar innan hvers lækjar.

### ***Samfélög botndýra og áhrif umhverfisþátta***

Mýlirfur (bitmý og rykmý) voru algengustu botndýrin í vel flestum lækjanna sem rannsóknin náði til. Auk mýsins voru krabbadýr og vatnamaurar áberandi hluti botndýrafánunnar (9.–11. tafla).

Í heitu lækjunum við Kröflu voru bogmýs- og slæðumýslirfur (Orthoclaadiinae og Tanytarsini) ríkjandi. Vatnabobbar voru nokkuð algengir á sýnatökustöðvunum KR1-2 og KR1-3 í ágúst 2002 og júní 2003. Lækjarflugulirfu (*Limnophora riparia*) varð fyrst og fremst vart í ágúst 2002 á stöðvum KR1-2 og KR1-3. Í kalda læknum við Kröflu voru rykmýslirfur (Chironomidae), skelkrebbs (Ostracoda), árfætlur (Copepoda) og vatnamaurar (Hydrachnellae) algengustu hóparnir (9. tafla). Í júní 2002 voru það fyrst og fremst kulmýs- og bogmýslirfur (*Diamesa* og Orthoclaadiinae) sem einkenndu fánu kalda lækjarins. Hlutdeild þeymýs (Chironominae) (52%) og árfætlna var nokkru meiri í ágúst en í júní 2002. Árfætlurnar voru að mestu ormdíli (Canthocamptidae). Árið eftir voru árfætlur og skelkrebbs enn mjög áberandi botndýrahópur í kalda læknum (32%), auk bogmýs- og slæðumýslirfa, vatnabobba og vatnamaura (9. tafla).

Á efstu þremur sýnatökustöðvunum við Ölkelduháls (OH1-1, OH1-2 og OH1-3) voru mjög fá og oft engin dýr í sýnunum (10. tafla). Þéttleiki botndýra á neðstu sýnatökustöðinni (OH1-4) var hins vegar 6.465 (maí 2002), 1.240 (ágúst 2002) og 7.090 (júní 2003) dýr/m<sup>2</sup>. Þar voru rykmýslirfur ríkjandi botndýr í júní 2002, einkum bogmýslirfur af ættkvíslinni *Eukiefferiella*. Í ágúst 2002 var rykmý áfram algengasti botndýrahópurinn, einkum ættkvíslirnar *Chaetocladius* og *Eukiefferiella*, en auk þess var hlutfall bitmýslirfa nokkuð hátt (25%). Í júní 2003 voru bitmýslirfur allsráðandi hópur (63%) auk bogmýslirfa (15,3%), einkum ættkvíslarinnar *Eukiefferiella* (10. tafla). Í kalda læknum við Ölkelduháls var rykmý algengasti botndýrahópurinn á öllum sýnatökustöðvunum í júní 2002, var þar einkum um að ræða bogmýsættkvíslirnar *Thienemanniella*, *Eukiefferiella* og *Orthocladius* ásamt nokkrum tegundum kulmýs (10. tafla). Samsetning fánunnar breyttist allnokkuð í síðari sýnatökunni 2002. Þá var rykmý aðeins ríkjandi á efstu sýnatökustöðinni (OH2-1) en bitmý var ríkjandi á neðri stöðvunum (OH2-2 og OH2-3). Á öllum stöðvum kalda lækjarins við Ölkelduháls voru skelkrebbs í töluverðum þéttleika í ágúst 2002. Í júní árið eftir voru rykmýslirfur ríkjandi á efstu sýnatökustöðinni (OH2-1) og voru ættkvíslirnar *Eukiefferiella* og *Diamesa* mest áberandi. Á neðri stöðvunum voru hins vegar skelkrebbs ríkjandi (10. tafla).

Í Miðdal var hlutfall einstakra botndýrahópa töluvert frábrugðið því sem var annars staðar að því leyti að vatnamaurar, vatnabobbar og skelkrebbs voru í mun meira mæli þar en minna var af rykmýi (11. tafla). Í heita læknum voru vatnamaurar ríkjandi botndýr á efstu og neðstu sýnatökustöðinni (MD1-1 og MD1-4) í júní 2002 en bogmýstegundin *Cricotopus sylvestris* var ríkjandi á stöðvunum þar á milli (MD1-2 og MD1-3). Vatnamaurar voru ríkjandi botndýr á öllum stöðvum í heita læknum í ágúst 2002 en aðeins á neðstu tveimur stöðvunum í júní 2003. Í kalda læknum í Miðdal (MD2) voru skelkrebbs ríkjandi og auk þeirra var bogmý og kulmý í töluverðum þéttleika alla sýnatökudagana (11. tafla).

9. tafla. Þéttleiki mismunandi botndýrategunda/hópa í lækjum við Kröflu (KR). Heitir lækir (KR1) eru táknadír með rauðu letri og kaldur lækur (KR2) með bláu.

KRAFLA	6.6.2002					12.8.2002					13.6.2003				
	KR1-1	KR1-2	KR1-3	KR1-4	KR2-2	KR1-1	KR1-2	KR1-3	KR1-4	KR2-2	KR1-1	KR1-2	KR1-3	KR1-4	KR2-2
Botndýrahópar	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>
<i>Limnaea</i> spp. - vatnabobbar	0	0	0	0	5	0	20	125	0	280	0	30	25	0	255
Copepoda - árfætlur	0	0	0	0	35	0	0	0	0	9920	10	0	0	0	690
Ostracoda - skelkrebbs	0	0	0	0	10	0	0	0	0	465	5	0	0	0	430
Cladocera - vatnsflær	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tardigrada - bessadýr	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
Hydrachnellae - vatnamaurar	0	0	0	0	120	0	0	0	0	900	10	0	5	0	300
<i>Capnia vidua</i> - steinfluga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trichoptera - vorflugur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Limnophora riparia</i> - lækjarfluga	0	0	0	0	5	0	170	165	0	895	0	0	5	0	20
<i>Clinocera stagnalis</i> - strandfluga	0	0	0	0	0	5	0	0	0	295	10	10	0	0	100
<i>Dicranonta</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
Empitidae - breddur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scatella</i> sp.(l, p) - hverafluga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Simulium</i> spp. - bitmý	0	0	0	0	0	0	20	20	0	495	0	0	0	0	0
Chironomidae - rykmý	0	0	0	0	5	5	25	45	0	55	0	5	25	0	5
<i>Parochlus kiefferi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	10
Tanypodinae - ránmý	0	0	0	0	0	0	0	5	0	45	0	0	0	0	5
<i>Diamesa</i> spp.	5	0	0	0	115	0	0	0	0	5	5	0	0	0	5
<i>Diamesa bertrami</i>	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
<i>Diamesa bohemani/zernyi</i>	15	3	5	0	1824	20	0	0	0	120	50	0	0	0	205
Orthoclaadiinae - bogmý/vatnsmý	25	10	0	20	288	290	130	290	20	360	10	20	30	0	540
<i>Cricotopus (l.) sylvestris</i>	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eukiefferiella minor</i>	0	0	0	0	0	5	0	0	0	195	25	0	5	0	325
<i>Eukiefferiella claripennis</i>	0	0	0	0	0	5	0	0	0	150	5	0	5	0	85
<i>Orthocladus</i> spp.	0	0	0	0	101	0	0	10	0	55	0	0	0	5	45
<i>Thienemanniella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tanytarsini	0	23	0	0	270	50	140	50	0	15350	0	5	0	0	490
Chironominae - þeymý	0	0	0	0	0	0	5	25	0	5	0	0	0	0	0
Önnur vatnadýr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	5
<b>Samtals</b>	<b>45</b>	<b>35</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>2805</b>	<b>380</b>	<b>510</b>	<b>740</b>	<b>20</b>	<b>29595</b>	<b>155</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>3515</b>



10. tafla. Þéttleiki mismunandi botndýrategunda/hópa í lækjum við Ölkelduháls (OH). Heitur lækur (OH1) er táknadur með rauðu letri og kaldur (OH2) með bláu.

ÖLKELDUHÁLS	30. maí 2002							7. ágúst 2002							10. júní 2003						
	OH1-1	OH1-2	OH1-3	OH1-4	OH2-1	OH2-2	OH2-3	OH1-1	OH1-2	OH1-3	OH1-4	OH2-1	OH2-2	OH2-3	OH1-1	OH1-2	OH1-3	OH1-4	OH2-1	OH2-2	OH2-3
Botndýrahópar	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>
<i>Lymnaea</i> spp. - vatnabobbar	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	5	20	15	5	0
Copepoda - árfætlur	0	0	0	5	0	25	50	0	0	0	35	30	275	80	0	0	0	190	40	60	70
Ostracoda - skelkrebbs	0	0	0	10	75	265	300	0	0	0	15	900	2555	1325	0	0	0	295	440	2985	3740
Cladocera - vatnsflær	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0
Tardigrada - bessadýr	0	0	0	0	0	75	35	0	0	0	0	10	25	15	0	0	0	25	65	165	240
Hydrachnellae - vatnamaurar	0	0	5	110	525	640	435	0	0	0	60	200	655	210	0	0	10	640	260	815	610
<i>Capnia vidua</i> - steinfluga	0	0	0	0	15	30	0	0	0	0	0	165	10	150	0	0	0	0	5	0	5
Trichoptera - vorflugur	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	5	20	5	15	0	0	0	0	0	0	0
<i>Limnophora riparia</i> - lækjarfluga	0	0	0	0	50	30	10	0	0	0	15	0	20	15	0	0	0	30	0	10	0
<i>Clinocera stagnalis</i> - strandfluga	0	0	0	280	0	0	0	0	0	0	5	145	35	20	0	0	0	185	35	60	65
<i>Dicranonta</i> sp.	0	0	0	0	0	45	5	0	0	0	0	145	40	35	0	0	0	0	170	45	90
Empitidae - breddur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scatella</i> sp.(l, p) - hverafluga	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Simulium</i> spp. - bitmý	0	0	0	155	5	30	0	0	0	0	315	15	3550	1990	0	0	0	4480	15	45	5
Chironomidae - rykmý	0	5	0	143	95	100	33	0	0	0	0	30	160	30	0	0	0	0	10	0	5
<i>Parochlus kiefferi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Tanypodinae - ránmý	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diamesa</i> spp.	0	0	0	0	488	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	455	25	5
<i>Diamesa bertrami</i>	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	55	25	5	0	0	0	0	465	30	15
<i>Diamesa bohemani/zernyi</i>	0	0	0	0	2233	74	0	0	0	0	0	0	45	5	0	0	0	0	75	55	10
Orthocladiinae - bogmý/vatnsmý	0	0	0	156	201	1083	920	0	0	0	265	40	135	115	0	0	0	125	60	135	145
<i>Cricotopus (l.) sylvestris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eukiefferiella minor</i>	5	0	0	3476	1643	802	487	0	0	0	150	655	255	330	0	0	0	650	520	455	585
<i>Eukiefferiella claripennis</i>	0	0	0	1933	127	31	41	0	0	0	90	5	10	0	0	0	0	210	5	10	15
<i>Orthocladus</i> spp.	0	0	0	57	2108	444	303	0	0	0	30	15	10	50	0	0	0	95	50	130	205
<i>Thienemanniella</i> sp.	0	0	0	20	2069	7469	2435	0	0	0	0	1750	1720	815	0	0	0	5	55	215	105
Tanytarsini	0	0	0	60	266	87	16	0	0	0	190	20	175	135	0	0	0	95	5	50	20
Chironominae - þeymý	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Önnur vatnadýr	0	0	0	5	0	5	5	0	0	0	5	0	75	25	0	0	0	40	40	155	100
<b>Samtals</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6465</b>	<b>9910</b>	<b>11240</b>	<b>5080</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1240</b>	<b>4205</b>	<b>9795</b>	<b>5370</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>7090</b>	<b>2790</b>	<b>5450</b>	<b>6035</b>

11. tafla. Þéttleiki mismunandi botndýrategunda/hópa í lækjum í Miðdal (MD). Heitur lækur (MD1) er táknaður með rauðu letri og kaldur (MD2) með bláu.

MIÐDALUR	13. júní 2002						8. ágúst 2002						9. júní 2003					
	MD1-1	MD1-2	MD1-3	MD1-4	MD2-1	MD2-2	MD1-1	MD1-2	MD1-3	MD1-4	MD2-1	MD2-2	MD1-1	MD1-2	MD1-3	MD1-4	MD2-1	MD2-2
Botndýrahópar	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>	fj/m <sup>2</sup>
<i>Lymnaea</i> spp. - vatnabobbar	4805	735	120	265	0	0	5055	1495	485	3010	0	0	3300	645	4550	120	0	0
Copepoda - árfætlur	91	20	680	115	565	33	25	120	1100	590	4016	128	10295	95	1905	135	230	150
Ostracoda - skelkrebbs	0	0	40	55	29225	10001	60	0	600	490	48933	17335	20	310	455	20	1625	6019
Cladocera - vatnsflær	0	10	155	25	0	0	0	5	40	35	0	0	10	50	270	20	0	0
Tardigrada - bessadýr	5	0	0	5	9155	723	5	0	5	0	2609	199	5	0	0	40	180	681
Hydrachnellae - vatnamaurar	36920	4745	3060	2325	345	138	12120	5120	3410	11515	338	109	5300	535	2700	3195	295	169
<i>Capnia vidua</i> - steinfluga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0
Trichoptera - vorflugur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	56	0	0	0	0	0	0
<i>Limnophora riparia</i> - lækjarfluga	95	70	0	0	0	5	15	25	35	10	0	23	95	40	35	0	10	0
<i>Clinocera stagnalis</i> - strandfluga	0	25	160	115	55	5	5	0	35	20	275	70	0	5	45	35	35	6
<i>Dicranonta</i> sp.	0	0	0	0	80	128	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	135	69
Empitidae - breddur	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scatella</i> sp.(l, p) - hverafluga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	10	0	0
<i>Simulium</i> spp. - bitmý	264	75	100	1200	5	10	320	420	575	2620	53	416	3180	65	285	385	20	31
Chironomidae - rykmý	74	15	20	19	265	50	0	10	0	25	5	15	0	10	0	0	0	175
<i>Parochlus kiefferi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tanypodinae - ránmý	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
<i>Diamesa</i> spp.	0	0	0	0	883	8	0	0	0	0	20	0	5	0	0	5	795	406
<i>Diamesa bertrami</i>	0	0	0	0	461	8	0	0	0	0	40	15	0	0	0	0	115	100
<i>Diamesa bohemani/zernyi</i>	0	0	0	5	11551	146	5	0	0	0	10	60	5	0	0	0	145	169
Orthoclaadiinae - bogmý/vatnsmý	2587	65	54	568	509	371	150	175	145	170	460	125	85	25	15	65	30	69
<i>Cricotopus (l.) sylvestris</i>	918	7970	6443	29	0	0	25	1035	605	15	0	0	0	90	95	0	0	0
<i>Eukiefferiella minor</i>	4259	74	153	176	6594	1415	35	0	60	10	764	572	365	65	15	225	1460	369
<i>Eukiefferiella claripennis</i>	336	390	187	594	0	8	20	45	170	5	5	10	465	835	260	295	0	0
<i>Orthocladus</i> spp.	0	5	21	138	747	191	0	0	5	20	0	215	0	0	20	245	1005	281
<i>Thienemanniella</i> sp.	0	0	21	1123	4324	743	10	0	85	40	6260	176	10	0	0	155	830	225
Tanytarsini	2722	1866	1442	368	3946	162	10	270	1385	630	930	15	245	215	1095	245	40	13
Chironominae - þeymý	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0
Önnur vatnadýr	0	5	10	10	15	0	10	0	85	115	0	19	15	25	960	45	50	6
<b>Samtals</b>	<b>53075</b>	<b>16070</b>	<b>12665</b>	<b>7135</b>	<b>68730</b>	<b>14144</b>	<b>17875</b>	<b>8720</b>	<b>8825</b>	<b>19325</b>	<b>64804</b>	<b>19566</b>	<b>23405</b>	<b>3015</b>	<b>12710</b>	<b>5240</b>	<b>7000</b>	<b>8938</b>

Mögulegt er að flokka einstaka dýrahópa í fæðuöflunarhópa (e. *functional feeding groups*) eftir því hver aðalfæða þeirra er (Cummins 1973, Cummins og Klug 1979). Hópar þessir eru: Safnarar (grot- og þörungætur), rándýr, skraparar (þörungætur) og tætarar (jurtaætur). Í sumum tilvikum er fyrsta flokknum skipt enn frekar í yfirborðsætur og síara (Lakly og McArthur 2000). Flokkarnir sem stuðst verður við hér eru: yfirborðsætur, síarar, rándýr og skraparar.

Í lækjunum við Kröflu voru yfirborðsætur og rándýr ríkjandi hópar í heitu lækjunum en aðeins yfirborðsætur voru ríkjandi í þeim kalda (12. tafla). Mun meira var um rándýr í heitu lækjunum (KR1-2 og KR1-2) en í þeim kalda (KR2-2).

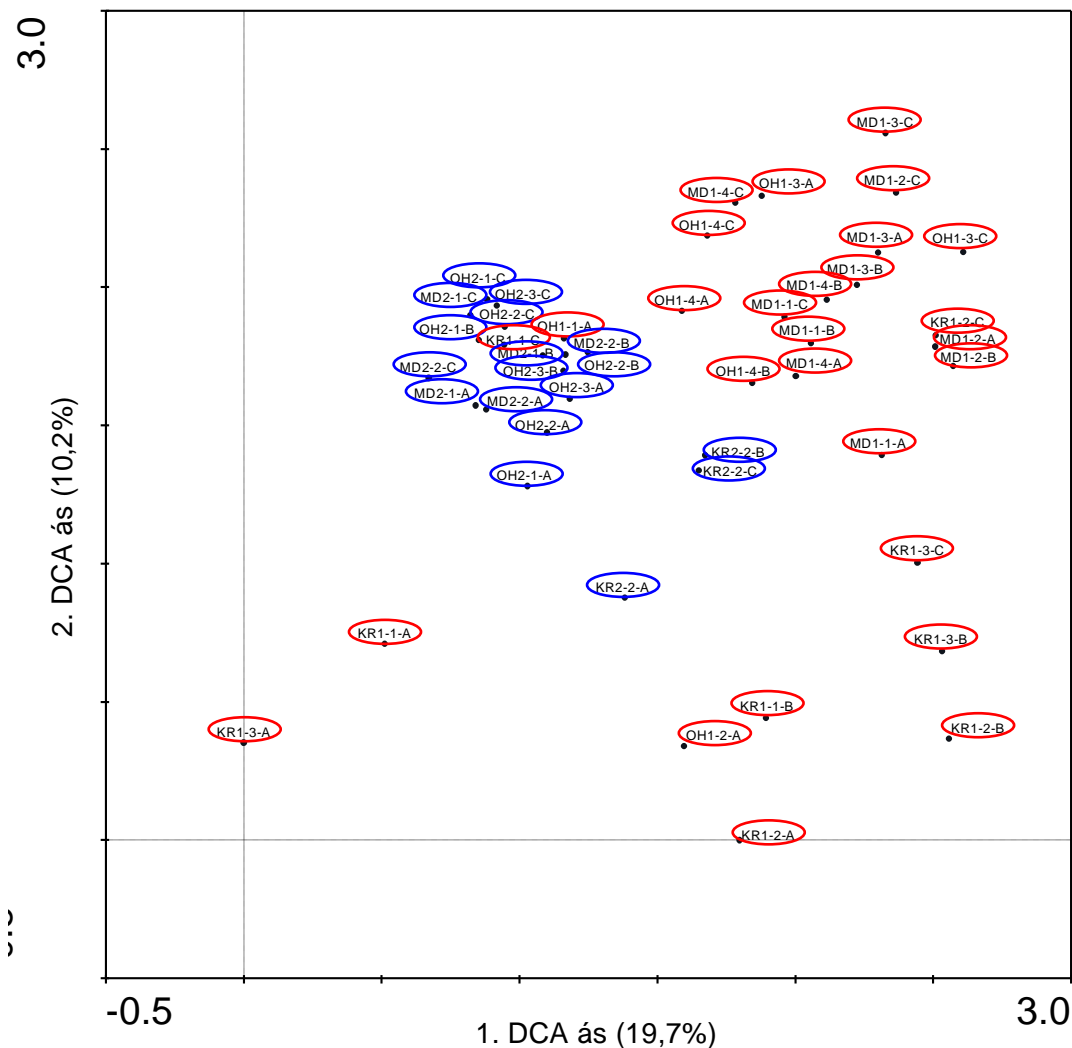
**12. tafla.** Hlutföll (%) mismunandi fæðuöflunarhópa botndýra í lækjum við Ölkelduháls (OH), Kröflu (KR) og í Miðdal (MD). Heitir lækir eru táknadír með rauðu letri og kaldir lækir með bláu. Stjarna táknar að of fáir einstaklingar hafi verið í sýninu til að byggja útreikninga á.

	KR1-1	KR1-2	KR1-3	KR1-4	KR2-2		
Yfirborðsætur	*	52,3	50,3	*	89,4		
Síarar	*	3,1	2,4	*	1,4		
Rándýr	*	28,1	21,3	*	7,5		
Skraparar	*	7,8	17,8	*	1,5		
	OH1-1	OH1-2	OH1-3	OH1-4	OH2-1	OH2-2	OH2-3
Yfirborðsætur	*	*	*	55,5	89,4	75,3	77,5
Síarar	*	*	*	33,5	0,2	13,7	12,1
Rándýr	*	*	*	9,0	9,1	9,1	9,1
Skraparar	*	*	*	0,7	0,1	0	0
	MD1-1	MD1-2	MD1-3	MD1-4	MD2-1	MD2-2	
Yfirborðsætur	24,1	49,4	51,3	21,0	98,5	96,5	
Síarar	4,0	2,0	2,8	13,3	0,1	1,1	
Rándýr	57,8	38,0	27,7	54,4	1,1	1,7	
Skraparar	13,9	10,3	15,1	10,7	0	0	

Í heita læknum við Ölkelduháls var einungis hægt að styðjast við neðstu sýnatökustöðina (OH1-4) til að fá marktæka mynd af samsetningu fánunnar vegna þess hve fáir einstaklingar fundust á efri stöðvunum. Á neðstu stöðinni voru yfirborðsætur ásamt síurum ríkjandi fæðuöflunarhópur. Í kalda læknum voru yfirborðsætur ríkjandi, einkum á efstu sýnatökustöðinni (OH2-1) en síarar voru í allnokkrum mæli á neðri tveimur stöðvunum.

Rándýr voru allsráðandi á efstu sýnatökustöðvunum í heita læknum í Miðdal (MD1-1) en eftir því sem neðar dró jókst hlutur yfirborðsæta. Á neðstu stöðinni (MD1-4) var myndin mjög hliðstæð því sem var á efstu stöðinni (12. tafla). Í kalda læknum (MD2) voru yfirborðsætur ráðandi.

Breytileiki í tegundasamsetningu botndýra á mismunandi stöðvum kemur skýrar fram hvað varðar heitu lækina sem m.a. sést af niðurstöðum DCA hnitunargreiningar. Í hnituninni röðuðust sýnatökustöðvar í köldu lækjunum í þyrpingu en stöðvar í heitu lækjunum voru mun dreifðari þó flestar hafi myndað hóp til hliðar við köldu lækina (19. mynd).



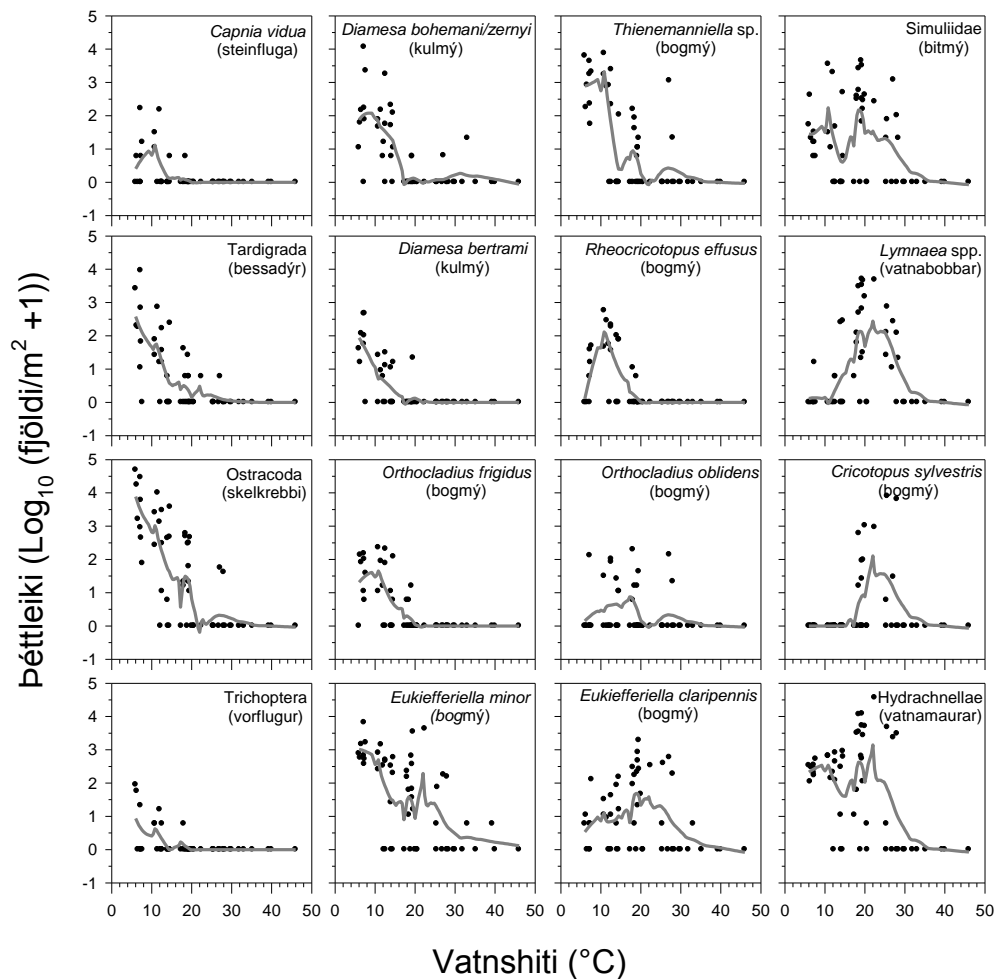
19. mynd. Niðurstöður hnitunargreiningar (Detrended Correspondence Analyses). Sýnatökustöðvarnar raðast með tilliti til tegundasamsetningar botndýra. Við hvorn ás er gefið upp hversu mikinn hluta (%) fallandans samsíða viðkomandi ás má skýra út frá tegundasamsetningunni. Skýringar tákna: OH: Ölkelduháls, KR: Krafla og MD: Miðdalur; rauðir hringir eru dregnir utan um stöðvaheiti í heitum lækjum og bláir hringir utan um stöðvar í köldum, tölugildin til hægri við bandstrikinn gefa til kynna sýnatökustöð innan hvers lækjar; bókstafirnir aftast gefa til kynna sýnatökutíma: A: maí/júní 2002, B: ágúst 2002 og C: júní 2003.

Stöðvar í heitu lækjunum við Kröflu (KR-1) aðskildust frá stöðvunum við Ölkelduháls og í Miðdal við hnitunargreininguna en mikil skörun var á heitu lækjunum á síðarnefndu svæðunum. Ekki voru eins skörp skil hvað köldu lækina varðar en þó skar kaldri lækurinn við Kröflu sig örlítið frá köldu lækjunum á Hengilssvæðinu (19. mynd). Fallandinn samsíða lárétta ásnum á hnitunarmyndinni (1. DCA ás) skýrði 19,7% breytileikans í tegundasamsetningu botndýra á milli mismunandi sýnatökustöðva en fallandinn samsíða lóðrétta ásnum skýrði 10,2% af breytileikanum. Hvaða þættir það eru í umhverfinu sem ráða mestu þar um fæst svarað með því að beita þvingaðri hnitunargreiningu, CCA hnitun (e: *Canonical Correspondence Analyses*). Einungis voru prófaðir þrír umhverfisþættir, þeir sömu og alltaf voru mældir, þ. e. sýrustig (pH-gildi), leiðni



Vatnabobbar, vatnamaurar, bitmýslirfur, rykmýstegundirnar *Cricotopus sylvestris* og *Eukiefferiella claripennis* var helst að finna í lækjum þar sem vatnshiti var á bilinu 10–20°C (21. mynd). Aðrar tegundir voru hins vegar frekar bundnar við köldu lækina, s.s. steinfluga, bessadýr og rykmý af ættkvíslinni *Diamesa* (*D. bohemani/zernyi* og *D. bertrami*).

Vatnabobbar voru mest áberandi á neðstu stöðinni í heita læknum við Ölkelduháls (OH1-4), í Miðdal (MD1) og við Kröflu (KR1). Vatnamaurar voru sömuleiðis hlutfallslega algengari á neðstu sýnatökustöðinni við Ölkelduháls og í heita læknum í Miðdal. Hverafluga fannst eingöngu á neðstu stöðinni í heita læknum við Ölkelduháls og á tveimur stöðvum í heita læknum í Miðdal (7. tafla).



21. mynd. Samband þéttleika mismunandi botndýra og vatnshita. Línurnar gefa til kynna leitni miðað við staðbundin vægi gildanna (LOESS; Locally weighed scatter plot smooth). Hver punktur er meðalþéttleiki viðkomandi tegundar eða dýrahóps á hverri sýnatökustöð fyrir þrjú mismunandi sýnatökudaga. Á hverri mynd er nafn tegundar eða hóps getið. Eftirtaldar tegundir og ættkvíslir tilheyra rykmý af undirætt bogmýs: *C. sylvestris*, *E. minor*, *E. claripennis*, *R. effusus*, *Thienemanniella*, *O. frigidus* og *O. oblidens* og af undirætt kulmýs: *D. bohemani/zernyi* og *D. bertrami*. Athugið að gögnunum fyrir þéttleika hefur verið umbreytt á lógaritmískan kvarða.

Bitmýslirfur var helst að finna í heitu lækjunum, t.d. í Miðdal þar sem þær voru mjög áberandi (11. tafla). Bitmýslirfur fundust einnig í töluverðum mæli í köldu lækjunum við Ölkelduháls (OH2) og Kröflu (KR2). Rykmýstegundin *Cricotopus*

*sylvestris* kom aðeins fyrir í heita læknum í Miðdal og rykmýsættkvíslin *Paratanytarsus* fannst aðeins á tveimur stöðum í lækjunum við Kröflu (7. tafla). Steinfluga fannst eingöngu í kalda læknum við Ölkelduháls og í Miðdal. Bessadýr fundust í köldum lækjum á öllum rannsóknarsvæðunum. Rykmýstegundir af undirætt kulmýs (*Diamesa* tegundir) fundust sömuleiðis helst í köldu lækjunum, auk *Thienemanniella* og *Orthocladius frigidus* sem fundust nær eingöngu í köldu lækjunum.





## Um ræða

Jarðhiti skapar á margan hátt einstakar aðstæður þar sem þróast hafa sérstæð lífverusamfélög og fágætar jarðmyndanir. Það fyrsta sem fangar athyglina er litadýrðin og landslagið. Slíkt á einkum við um háhitasvæðin. Ummerki á yfirborði eru ekki eins afgerandi á lághitasvæðum þótt þar finnist oft gróskumikill gróður og fjölbreytt dýralíf. Sé litið nánar á lífríki þeirra svæða sem jarðhitinn hefur áhrif á, sést sérstaða þeirra enn frekar, hvort heldur um háhita- eða lághitasvæði er að ræða.

### Útbreiðsla lífvera

Á jarðhitasvæðum finnast fjölmargar lífverur sem eru sérstaklega aðlagðar að því umhverfi sem jarðhitinum fylgir og eru þar með háðar því, hvort sem það er hitinn sjálfur eða sérstæðir eðlis- og efnafræðilegir þættir svæðanna sem um ræðir. Dæmi um slíkt eru laugakönguló (*Pirata piraticus*) og afbrigði hveraflugu (*Scatella tenuicosta* f. *thermarum*) sem finnast einkum á jarðhitasvæðum eins og nöfnin benda til (Erling Ólafsson 1991, Ingi Agnarsson 1996). Auk þess getur jarðhitinn haft áhrif á útbreiðslumörk lífvera á þann hátt að tegundir sem að öllu jöfnu finnast aðeins á láglandi eða í landshlutum þar sem loftslag er milt finnast að auki á jarðhitasvæðum á hálendi landsins eða í kaldari landshlutum (Erling Ólafsson 2000, María Ingimarsdóttir 2000). Jafnframt geta sumar tegundir vel lifað við kaldar aðstæður en blómstra er þær komast í yl á jarðhitasvæðum. Margar tegundir örvera er eingöngu að finna í eða við hveru eða eru alfarið bundnar við jarðhitasvæði (Jakob Kristjánsson og Guðni Á. Alfreðsson 1986, Sólveig K. Pétursdóttir o.fl. 2006).

Vel flest háhitasvæði Íslands eru inn til landsins og oft í töluverðri hæð yfir sjávarmáli (Kristján Sæmundsson og Ingvar Birgir Friðleifsson 1980). Rannsókn Erlings Ólafssonar (2000) á landliðdýrum í Þjórsárverum náði m.a til fimm afmarkaðra staða þar sem jarðhiti nær upp á yfirborð. Hann dró þær ályktanir að á þeim svæðum þrífust ýmsar þær tegundir sem annars ættu erfitt uppdráttar ef jarðhitans gætti ekki og sagði: „Ýmsar tegundir sem annars finnast víða í verunum eru mun algengari á þessum slóðum [jarðhitasvæðum] en þar sem kaldara er og vegna þess að aðstæður eru láglandislegri þarna en annars bjóðast svo langt inni í landi, eiga þar athvarf nokkrar tegundir láglandisins sem annars ættu sennilega litla sem enga lífsmöguleika inni á hálendinu.” Margfætlutegundin *Lamyctes fulvicornis* er dæmi um tegund sem hefur víkkað út útbreiðslusvæði sitt, hún er tiltölulega algeng á sunnan- og vestanverðu landinu en norðanlands er tegundin alfarið bundin við jarðhitasvæði (María Ingimarsdóttir 2000). Á öllum svæðum sem rannsókn okkar náði til var þéttleiki vatnabobba (*Lymnaea peregra*) marktækt meiri í heitu lækjunum en þeim köldu, en tegundin er meðal algengustu vatnadýra hérlendis og finnst mjög víða um land (Mandahl-Barth 1938, Helgi Hallgrímsson 1990). Auk þeirra voru vatnamaurar (Hydrachnellae) í marktækt meiri þéttleika í heitu lækjunum við Kröflu og í Miðdal en í þeim köldu. Af þeim átta tegundum vatnamaura (Hydrachnellae) sem þekktar eru hérlendis lifa fjórar þeirra í volgu vatni (Motaş 1961). Tvær tegundir rykmýs fundust frekar í heitu lækjunum en þeim köldu. Við Ölkelduháls og í Miðdal var tegundin *Eukiefferiella claripennis* í marktækt meiri þéttleika í heitu lækjunum og tegundin *Cricotopus*

*sylvestris* fannst eingöngu í heita læknum í Miðdal en ekki þeim kalda. Báðar tegundirnar má samt finna mjög víða utan jarðhitasvæða, bæði á láglandi sem hálendi (Thora Hrafnisdóttir 2005). Auk þess er vert að nefna að hverafluga (*Scatella tenuicosta*) fannst eingöngu í heitu lækjunum í Miðdal og við Ölkelduháls.

Því má líta á jarðhitasvæði og vistkerfi sem þar hafa þróast sem tiltölulega einangruð fyrirbæri, svipað og eyjar (Halloy 1991), sem geta því virkað sem uppsprettur tegunda fyrir nærliggjandi vistkerfi (MacArthur og Wilson 2001). Þannig geti stofnar lífvera sem þróast hafa um langt skeið innan afmarkaðra svæða breiðst þaðan út t.d. við hlýnun loftslags.

### **Líffræðileg fjölbreytni og aðlögun að hita**

Rykmýstegundin *Cricotopus sylvestris* fannst á öllum stöðvunum í heita læknum í Miðdal (18–28 °C) og á annarri stöðinni í heita læknum í Fagragili við Kröflu (14–25 °C). Tuxen (1944) fann þessa sömu tegund í 16–41°C heitu vatni hér á landi. Það er ekki einsdæmi fyrir skordýralirfur, þó fátítt sé, að þær finnast í vatni sem er heitara en 40 °C. Hveraflugulirfur hafa fundist við 42 °C og þær eru jafnvel taldar þola allt að 47,7 °C heitt vatn (Schwabe 1936, Erling Ólafsson 1991). Í afrennsli hvera á Nýja-Sjálandi fannst tegund af ætt Ephydriidae, *Ephydrella thermarum*, við 34–43°C og rykmýstegundin *Cladopelma curtivalva* (misgreind sem *Chironomus cylindricus*, sjá: Cranston og Martin 2007) við 39–41°C, en báðar tegundirnar lifa í þétu þörungabelti sem myndast á botni afrennislækja (Winterbourn 1968, 1969).

Þrátt fyrir að jarðhiti geti skapað skilyrði svo að þéttleiki lífvera aukist er ekki þar með sagt að líffræðileg fjölbreytni aukist að sama skapi. Í lækjunum við Kröflu og Ölkelduháls var fjöldi smádyrategunda/hópa að jafnaði meiri í köldu lækjunum en þeim heitu en í Miðdal var fjöldinn svipaður í báðum lækjunum. Við samanburð á veiði flugnagildra milli lækja og svæða kom í ljós að fjöldi skordýrategunda var meiri við köldu lækina, bæði við Kröflu og Ölkelduháls. Við mat á fjölbreytni milli mismunandi vistkerfa reyndust mælingar með flugnagildrum yfirleitt gefa töluvert minni skörun, lægra β-gildi, en botndýrasýnin. Hafa ber í huga að hér er um töluvert ólíkar nálganir að ræða þar sem flugnagildrunar gefa upplýsingar um þær skordýrategundir sem klekjast út og fljúga upp úr lækjunum eða úr nánasta umhverfi þeirra yfir ákveðið tímabil. Hins vegar gefa botnsýnin aðeins upplýsingar um þær tegundir/hópa sem eru til staðar á þeim tíma sem sýnin eru tekin. Auk þess ná botnsýnin til fleiri hópa en skordýra. Skörun tegunda milli heitra og kaldra lækja var mest við Kröflu. Væri hins vegar miðað við samanburð milli landshluta annars vegar fyrir heita lækni og hins vegar kalda kom í ljós að skörun tegunda var yfirleitt minni (lægra β-gildi) fyrir heitu lækina en þá köldu. Sem gefur til kynna að landfræðileg sérstaða fánunnar sé meiri í heitu lækjunum en þeim köldu.

Rannsóknir á vistkerfum jarðhitasvæða hafa leitt í ljós að líffræðileg fjölbreytni jarðhitasvæða er oft á tíðum lág og getur verið mun lægri en í nærliggjandi vistkerfum þar sem jarðhita gætir ekki (Lamberti og Resh 1985, Vincent og Forstyth 1987, Pritchard 1991). Að vissu leyti má segja að lífverur á jarðhitasvæðum lifi við eins konar jaðarskilyrði t.d. hvað varðar hita og remmu efna í vatni eða gufu (Pritchard 1991). Hitinn er yfirleitt sá þáttur sem talinn er ráðandi umhverfisbreyta við að skýra útbreiðslu og tegundasamsetningu lífvera á

jarðhitasvæðum (Pritchard 1991). Ásamt hitanum hafa uppleyst efni sem berast upp á yfirborðið með gufu eða vatni einnig marktæk áhrif á mótun þeirra lífverusamfélaga sem finna má á jarðhitasvæðum (Robinson og Turner 1985, Lamberti og Resh 1985, James 1985, Duggan o.fl. 2007). Í rannsókn okkar fengust hliðstæðar niðurstöður að því leyti að hiti og leiðni (styrkur jóna í vatninu) skýrðu samtals 28% af þeim breytileika í tegundasamsetningu botndýra sem var á milli einstakra rannsóknarsvæða, sýnatökustöðva og sýnatökudaga.

Á efstu þremur sýnatökustöðvunum í heita læknum við Ölkelduháls komu áhrif súra vatnsins bersýnilega í ljós en þar var fjöldi dýra lítill eða enginn og fánan að sama skapi mjög fábreytt. Það var ekki fyrr en vatn úr hliðarlæk hafði blandast saman við heita lækinn að sýrustig vatnsins hækkaði og leiðni lækkaði. Samfara þessum breytingum jókst þéttleiki og fjöldi botndýrategunda/hópa og var fjöldi þeirra aðeins minni en í kalda læknum sem hafður var til viðmiðunar og átti það sama við um þéttleika botndýra.

Mikill hiti eða hitasveiflur geta leitt til þess að fjölbreytni lífvera á jarðhitasvæðum sé minni en t.d. í köldum nærliggjandi vistkerfum. Duggan og samstarfsaðilar (2007) fundu út að samfara auknum hita í afrennislislækjum frá jarðhitasvæðum á Nýja-Sjálandi minnkaði fjölbreytni fánunnar. Þetta er í samræmi við niðurstöður rannsóknar okkar að því leyti að hitinn var sá umhverfispáttur sem hafði mest áhrif hvað varðar útbreiðslu og tegundasamsetningu dýra í lækjunum. Fæstum ætti að koma á óvart að hitinn sé sá umhverfispáttur sem skýri mikinn hluta þess breytileika sem fram kemur í tegundasamsetningu botndýra í lækjum á þeim háhitasvæðunum sem rannsökuð voru. Hiti lækjanna var nokkuð mismunandi milli rannsóknarsvæða. Meðalhitinn yfir vetrarmánuðina (október–apríl) var 4,5°C í öðrum af heitu lækjunum við Kröflu en var oftast vel yfir 10°C í heitu lækjunum á Hengilssvæðinu. Sumarhiti lækjanna var mun hærri eða rúmar 13°C við Kröflu og á bilinu 15–27°C við Ölkelduháls og í Miðdal. Mun minni árstíðabreytingar voru á hita í köldu viðmiðunarlækjunum. Í heita læknum við Kröflu fór hitinn í lok rannsóknartímabilsins úr tæpum 12°C í rúmlega 40°C á örskömmum tíma. Ámóta hitasveiflur geta haft neikvæð áhrif á viðkomandi vistkerfi (t.d. Langford 1990, Wellborn og Robinson 1996, Caissie 2006).

Við rannsókn á áhrifum hita á fjölbreytni, þéttleika og lífmassa smádýra í Little Geysers í Kaliforníu sást að þéttleiki botndýra var mestur við 34°C, lífmassi þeirra var mestur við 23°C og flestar tegundir voru við 27°C. Tegundum botndýra fór fækkandi eftir því sem hitinn jókst, þeim fækkaði úr 15 í 0 við hitaaukningu úr 27 í 45°C (Lamberti og Resh 1985). Hliðstæð niðurstaða fékkst við rannsókn á útbreiðslu rykmýslirfa í afrennislislæk úr heitri laug í Colorado í Bandaríkjunum (Hayford o.fl. 1995). Þar jókst bæði þéttleiki og lífmassi skordýralirfa eftir því sem vatnið kólnaði úr rúmlega 40°C í tæplega 30°C. María Ingimarsdóttir (2004) og Ásrún Elmarsdóttir o.fl. (2003) sýndu að tegundum háplantna, fléttna og margra smádýrahópa fækkaði samfara auknum hita á nokkrum háhitasvæðum hérlendis. Svipaðar niðurstöður fengust við samanburð á fjölbreytileika landliðdýra m.t.t. hitafallanda á lækjarbökkum við heitan og kaldan læk í Miðdal (í Hengladölum). Fjöldi dýra á lækjarbökkunum var ekki frábrugðinn milli heita og kalda lækjarins en tegundafjöldinn var marktækt minni við þann heita auk þess sem tegundasamsetning smádýra var nokkuð frábrugðin milli bakka heita og kalda lækjarins (Guðjón Már Sigurðsson 2007). Í þessu sambandi er rétt að benda á að

þar sem hita gætir við lækjarbakka kviknar líf fyrr af vetrardvala og má því gera ráð fyrir að það komi fram í breyttum lífsferlum lífvera vegna hitans (Jón S. Ólafsson óbirt athugun).

Rykmý af ættkvísslinni *Paratanytarsus* fannst á tveimur stöðum í heitu lækjunum við Kröflu og er það í þriðja skipti sem rykmý þessarar ættkvíslar finnst hér á landi. Áður hafði þessi ættkvísl fundist í Víti við Kröflu (Bergþóra Kristjánsdóttir 2004) og í Varmagjá í Þingvallavatni, þar sem heitt affallsvatn frá Nesjavallavirkjun kemur undan hrauninu í vatnið (Wetang'ula 2004, Sigurður S. Snorrason o.fl. í prentun). Sumar tegundir þessarar ættkvíslar fjölga sér með meyfæðingu og geta náð miklum þéttleika á skömmum tíma (Pinder og Reiss 1983).

### ***Fæðuvefir***

Bent hefur verið á að jarðhitasvæði séu frekar tegundafátæk og fæðuvefir þeirra séu tiltölulega einfaldir (Brock 1970). Mestur hluti botndýra sem fundust í heitu lækjunum við Kröflu og Ölkelduháls flokkast sem grot- og þörungagætur (yfirborðsætur). Þar var þó einnig töluvert um síara, rándýr og skrapara. Það sem einkennir fánú straumvatna hérlendis er að hún samanstendur að mestu af grot- og þörungagætum auk rándýra, en þau dýr sem tæta niður gróft efni s.s. laufblöð finnast hér í litlum mæli (Petersen o.fl. 1995). Í rannsókn sem nú stendur yfir á fæðuvefjum í heitum og köldum lækjum í Miðdal hefur komið í ljós að fæðukeðjur í köldu lækjunum eru mun styttri en að sama skapi flóknari en í heitum lækjunum (Doris Pichler óbirt gögn úr doktorsverkefni við Queen Mary, University of London). Við hærri hita en gerist í þeim lækjum sem við rannsökuðum virðast sum skordýr einkum lifa á örverum og þörungum (Tuxen 1944, Brock 1967, Collins o.fl. 1976) og flokkast lifur þeirra þar með sem yfirborðsætur (grot- og þörungagætur).

### ***Efnastyrkur og botngerð***

Auk hitans var leiðni vatnsins sá umhverfispáttur sem skýrði stóran hluta breytileikans í tegundasamsetningu á milli mismunandi stöðva. Í heita læknum við Ölkelduháls var leiðni vatnsins mjög há og sýrustig vatnsins lágt. Það er líklegt að lágt sýrustig og hár hiti valdi því að mikið af steinefnum losni úr berginu og blandist vatni eða gufu á leið upp á yfirborðið (Stefán Arnórsson o.fl. 1980) og þannig sé há leiðni vatnsins tilkomin. Leiðnin var einnig há í heitu lækjunum við Kröflu en þar var sýrustig vatnsins nálægt hlutlausu gildi. Má leiða líkum að því að þar geti verið um áhrif frá virkjun jarðvarmans að ræða að því leyti að borholuvökvi auki remmu vatnsins en þekkt er að styrkur uppleystra efna í borholuvatni er hár (Stefán Arnórsson o.fl. 1980). Leiðni vatnsins í heita læknum í Miðdal var mun lægri en í hinum heitu lækjunum og var sýrustigið svipað og í heitu lækjunum við Kröflu. Almenn var leiðnin mun lægri í köldu lækjunum og pH gildi vatnsins um eða yfir 7.

Botngerð lækjanna sem rannsóknin náði til einkenndist af lausu efni, sandi og mól, með einstaka grjóti eða klöppum. Undantekning frá þessu var botn heitu lækjanna við Kröflu sem var þakinn hörðum útfellingum, líklega kísilútfellingum (Stefán Arnórsson munnl. upplýsingar), líkt og þunnfljótandi steypu hefði verið hellt í þá. Það gerir botninn mun einsleitari en ella og ekki ólíklegt að

hryggleysingjar eigi erfiðara með að taka sér þar bólfestu heldur en þar sem um fjölbreyttara undirlag er að ræða líkt og sást í lækjunum á Hengilssvæðinu.

### ***Lífsferlar***

Lífverur á jarðhitasvæðum sem eru nálægt pólsvæðunum, þurfa að búa við árstíðabundinn birtuskort sem getur komið sér illa þar sem árstíðabreytingar í hita eru að sama skapi litlar (15. mynd). Getur þetta leitt til þess að verulega hægi á frumframleiðslu (Stockner 1968, Sperling 1975). Þetta getur leitt til fæðuskorts hjá þörungaætum og rándýrum sem á þeim lifa. Slíkt getur verið óhagstætt dýrum því efnaskiptahraðinn er hár vegna hitans, sem getur síðan leitt til þess að þau „brenni upp“ við slíkar kringumstæður. Leiða má líkur að því að botndýr sem fundust í heitu lækjunum við Kröflu, Ölkelduháls og í Miðdal geti að hluta haldið sér við yfir vetrarmánuðina með því að éta grot (rotnandi jurta og dýraleifar). Þau fá þannig nægjanlega orku til að fleyta sér yfir veturinn. Síðla vetrar, þegar þörungavöxtur eykst aftur (Rakel Guðmundsdóttir o.fl. handrit), má ætla að botndýrin taki vaxtarkipp. Rannsóknir á rykmýslirfum á jarðhitasvæðum á Nýja-Sjálandi sýndu bein tengsl hita og fæðu við kynslóðatíma tegundarinnar *Chironomus zealandicus*, við 20°C var hann 35 dagar en 20 dagar við 22°C (Forsyth 1971 í Scarsbrook 2000). Hliðstæðar rannsóknir standa nú yfir í heitum og köldum lækjum í Hengladölum. Þar er athyglinni beint að framvindu frum- og síðframleiðenda, lífsferlum og fæðuvef (Christensen 2006, Elísabet R. Hannesdóttir o.fl. 2007, Rakel Guðmundsdóttir o.fl. 2007, Friberg o.fl. 2009, Woodward o.fl. 2010).



## Ályktanir

Vatnalíf á jarðhitasvæðum er um margt áhugavert, einkum í ljósi þess hve útbreiðsla jarðhitasvæða er staðbundin og þau því lík einangruðum eyjum á hafi úti. Niðurstöður rannsókna á vatnavistkerfum á háhitasvæðunum við Kröflu og á Hengilssvæðinu sýna að áhrif hitans skýra mestan hluta þess breytileika sem var á tegundasamsetningu botndýra. Í ljós kom að í heitu lækjunum við Kröflu og Ölkelduháls var bæði fjölbreytni og þéttleiki fánunnar mun minni en í köldu lækjunum sem hafðir voru til viðmiðunar innan hvers svæðis. Aftur á móti var bæði þéttleiki og fjölbreytni botndýra í lækjunum í Miðdal nánast eins í kalda og heita læknum. Lækirnir sem rannsóknin náði til voru svipaðir að grunngerð, t.d. hvað varðaði rennsli, botngerð og hæð yfir sjávarmáli. Hins vegar var sýrustig vatnsins í heita læknum við Ölkelduháls mjög lágt og að því leyti var sá lækur allfrábrugðin hinum heitu lækjunum. Lækirnir við Kröflu og í Miðdal voru svipaðir hvað varðar flesta þætti sem mældir voru. Hins vegar var bæði fjölbreytni og þéttleiki fánunnar mun minni í lækjunum við Kröflu en í Miðdal. Í ljós kom að hitasveiflur voru mun meiri í heitu lækjunum við Kröflu en annars staðar, auk þess sem leiðni vatnsins breyttist nokkuð milli sýnatökudaga. Þá vaknar óhjákvæmilega sú spurning hvort það sé vegna orkuvinnslu við Kröflu. Að rannsókn þessari lokinni hefur aðeins örlitlu broti verið bætt við þann þekkingarbrunn sem því miður er enn full rýr og er ljóst að mikil þörf er að bæta enn frekar þekkingu okkar á þeim náttúrufyrirbærum sem jarðhitasvæði landsins búa yfir.

„Þetta og margt annað í náttúrunni þarf rannsóknar við.“

Halldór Guðjónsson, Morgunblaðið 19. marz 1916

## Þakkir

Haraldur Rafn Ingvason aðstoðaði okkur við sýnatökur og undirbúning þeirra, Þorbjörg Gísladóttir og Sigríður Birna Jónsdóttir aðstoðuðu við sýnatökur og mælingar. Þóra Katrín Hrafnadóttir og Gísli Már Gíslason liðsinntu við greiningar á rykmýi og vorflugum. Árni Einarsson veitti okkur góðfúslegt leyfi til að nýta aðstöðu í Náttúrurannsóknastöðinni við Mývatn á meðan sýnatökur við Kröflu stóðu yfir. Anette Theresia Meier hjá Náttúrufræðistofnun Íslands sá um gerð korta af rannsóknarsvæðunum. Birkir Fanndal Haraldsson veitti upplýsingar um örnefni og hita í lækjunum við Kröflu. Veiðimálastofnun, Náttúrufræðistofnun Íslands og Náttúrustofa Norðausturlands hafa gefið höfundum svigrúm og sýnt þeim þolinmæði til að ljúka þessari vinnu sem hófst á Líffræðistofnun Háskólans fyrir margt löngu þar sem allir höfundar störfuðu þá. Hilmar J. Malmquist og Þóra Katrín Hrafnadóttir lásu skýrsluna yfir í handriti, komu með margar efnislegar og málfarslegar ábendingar sem bættu verkið mikið. Caroline Nicholson lagfærði enskan texta skýrslunnar. Þórólfur Antonsson og Þorkell Lindberg Þórarinsson lásu skýrsluna yfir á lokastigi. Öllum þessum aðilum eru færðar hinar bestu þakkir og óhætt er að segja að ef margir leggjast á árárnar tekst að koma fleyinu í höfn. Orkusjóður styrkti rannsóknina, sá sem þar stendur í brúnni, Jakob Björnsson, á þakkir skildar fyrir lipurð og skilning við frágang skýrslu þessarar.



## Heimildir

- Anderson, L.E. 1954. Hoyer's solution as a rapid permanent mounting medium for bryophytes. *The Bryologist* 57:242-243.
- Axel Björnsson, Guðni Axelsson og Ólafur G. Flóvenz 1990. Uppruni hvera og lauga á Íslandi. *Náttúrufræðingurinn* 60:15-38.
- Áskell Löve 1977. *Jurtabók AB. Íslensk ferðaflóra. 2. útgáfa. Almenna bókafélagið.* 186 bls.
- Ásrún Elmarsdóttir, María Ingimarsdóttir, Iris Hansen, Jón S. Ólafsson og Sigurður H. Magnússon 2003. Gróður og smádýr á sex háhitasvæðum. *Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-03015*, 73 bls.
- Ásrún Elmarsdóttir, Borgþór Magnússon, Lovísa Ásbjörnsdóttir og Sigurður H. Magnússon 2005. Þrjú háhitasvæði á Suðvesturlandi. Undirbúningur að mati á náttúrufari og verndargildi háhitasvæða. *Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-05003*, 23 bls.
- Ásrún Elmarsdóttir og Olga Kolbrún Vilmundardóttir 2007. Gróðurfar á háhitasvæðum. *Áfangaskýrsla 2006. Unnið fyrir Orkustofnun. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-07001*, 59 bls.
- Ásrún Elmarsdóttir, Erling Ólafsson, Guðmundur Guðjónsson, Hörður Kristinnson, Kristinn Haukur Skarphéðinsson, Olga Kolbrún Vilmundardóttir og Rannveig Thoroddsen 2009. Gróður, fuglar og smádýr á 18 háhitasvæðum. Samantekt fyrirbyggjandi gagna. *Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-09015*, 171 bls.
- Ásrún Elmarsdóttir og Olga Kolbrún Vilmundardóttir 2009. Flokkun landgerða og gróðurs á háhitasvæðum Íslands. *Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-09013*, 137 bls.
- Barrick, K.A. 2007. Geyser decline and extinction in New Zealand – Energy development impacts and implications for environmental management. *Environmental Management* 39:783-805.
- Bergþór Jóhannsson 1989–2003. Íslenskir mosar. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar nr. 12, 13, 15, 16, 19, 20-22, 24, 27, 29, 30, 33, 34, 36, 38, 41-44. *Náttúrufræðistofnun Íslands, Reykjavík.*
- Bergþóra Kristjánsdóttir 2004. Lífið í Víti; botnlífverur. 6 eininga rannsóknarverkefni til BS prófs. Háskóli Íslands, líffræðiskor. 36 bls.
- Boothroyd, I.K.G. 2009. Ecological characteristics and management of geothermal systems of the Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Geothermics* 38:200-209.
- Brock, T.D. 1967. Relationship between standing crop and primary productivity along hot spring thermal gradient. *Ecology* 48:566-571.
- Brock, T.D. 1970. High temperature systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 1:191-220.

- Brock, T.D. og L. Brock 1966. Temperature optima for algal development in Yellowstone and Iceland hot springs. *Nature* 209:733-734.
- Caissie, D. 2006. The thermal regime of rivers: A review. *Freshwater Biology* 51:1389-1406.
- Castenholz, R.W. og C.E. Wickstorm 1975. Thermal streams. Í: *River ecology, studies in ecology*, vol. 2, ritstj. B.A. Whitton. Blackwell Scientific Publication, Oxford. Bls. 264-285.
- Christensen, J.B. 2006. Biologisk struktur i vandløb med varierende geotermisk indflydelse. Implikationer af global Warming. Meistararitgerð við háskólann í Árósum, Danmörku. 69 bls. + viðaukar.
- Collins, N.C., R. Mitchell og R.G. Wiegert 1976. Functional analysis of a thermal spring ecosystem, with an evaluation of the role of consumers. *Ecology* 57:1221-1232.
- Cranston, P.S. 1982. A key to the larvae of the British Orthocladiinae (Chironomidae). Freshwater Biological Association, Scientific publication No. 45. Freshwater Biological Association, Windermere Laboratory, Cumbria, England. 152 bls.
- Cranston, P.S. og J. Martin 2007 Family Chironomidae. Í: *Catalog of the Diptera of the Australasian and Oceanian Regions*. (vefútgáfa), ritstj. Evenhuis, N.L. Aðgengilegt á vefsíðunni <http://hbs.bishopmuseum.org/aocat/hybotidae.html>. Síðan var síðast heimsótt 29. maí 2009.
- Cummins, K.W. 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology* 18:183-206.
- Cummins, K.W. og M.J. Klug 1979. Feeding ecology of stream invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics* 10:147-172.
- Cushman, R.M., S.G. Hildebrand og R.W. Brocksen 1977. The potential impacts on aquatic ecosystems from the release of trace elements in geothermal fluids. Environmental Science Division, publication no. 1097. Oak Ridge National Laboratory ORNL/TM-6057, 18 bls.
- Duggan, I.C., I.K.G. Boothroyd og D.A. Speirs 2007. Factors affecting the distribution of stream macroinvertebrates in geothermal areas: Taupo volcanic zone, New Zealand. *Hydrobiologia* 592:235-247.
- Elísabet Ragna Hannesdóttir, Gísli Már Gíslason, Jón S. Ólafsson og Nikolai Friberg 2007. Macrobenthos of geothermally affected mountain streams. Veggspjald á 30. ráðstefnu alþjóðlega vatnalíffræðifélagsins (Societas Internationale Limnologiae XXX Congress (SIL)), í Montreal, Kanada, 12.-18. ágúst 2007.
- Erling Ólafsson 1991. Taxonomic revision of western Palaearctic species of the genera *Scatella* R.-D. and *Lamproscatella* Hendel, and studies on their phylogenetic position within the subfamily Ephydrinae (Diptera, Ephydridae). *Entomologica scandinavica*, Suppl. 37:1-100.

Erling Ólafsson 2000. Landliðdýr í Þjórsárverum. Rannsóknir 1972-1973. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar 40, 159 bls.

Ferrarese, U. og B. Rossaro 1981. Chironomidi, 1 (Diptera, Chironomidae: Generalità, Diamesinae, Prodiamesinae). Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne Italiane. Consiglio Nazionale Delle Ricerche, AQ/1/129. Verona, Ítalía. 97 bls.

Fitter, R. og R. Manuel 1986. Field guide to the freshwater life of Britain and North-West Europe. William Collins Sons & Co. Ltd, London, England. 382 bls.

Friberg, N., J.B. Christensen, J.S. Ólafsson, G.M. Gíslason, S.E. Larsen og T.L. Lauridsen 2009. Relationships between structure and function in streams contrasting in temperature. *Freshwater Biology* 54:2051-2068.

Gísli Már Gíslason 1977. Íslenskar vatnabjöllur. *Náttúrufræðingurinn* 47:154-159.

Gísli Már Gíslason 1978. Íslenskar vorflugur (Trichoptera). *Náttúrufræðingurinn*. 48:62-72.

Gísli Már Gíslason 1979. Identification of Icelandic caddis larvae, with descriptions of *Limnephilus fenestratus* (Zett.) and *L. picturatus* McL. (Trichoptera: Limnephilidae, Phryganeidae). *Ent. scand.* 10:161-176.

Gísli Már Gíslason 1980. Áhrif mengunar á dýralíf í varmám. *Náttúrufræðingurinn* 50:35-45.

Guðjón Már Sigurðsson 2007. Smádýr við læki á háhitasvæðinu í Miðdal, Henglinum. 6 eininga ritgerð til BS prófs. Háskóli Íslands, líffræðiskor, 13 bls.

Guðmundur Guðjónsson, Kristbjörn Egilsson og Kristinn Haukur Skarphéðinsson 2005. Gróður og fuglar á Hengilssvæðinu og Hellisheiði. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-05008, 49 bls.

Guðmundur Guðjónsson og Kristbjörn Egilsson 2006. Gróðurkort af fjórum svæðum á Hellisheiði og nágrenni. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-06017, 30 bls.

Guðmundur Pálmason 1980. Jarðhitinn sem orkulind. *Náttúrufræðingurinn* 50:147-156.

Guðmundur Pálmason 2005. Jarðhitabók. Eðli og nýting auðlindar. Hið íslenska bókmenntafélag, Reykjavík, 298 bls.

Gunnar Böðvarsson 1961. Physical characteristics of natural heat resources in Iceland. *Jökull* 11:29-38.

Gylfi Páll Hersir, Grímur Björnsson og Axel Björnsson 1990. Eldstöðvar og jarðhiti á Hengilssvæðinu. Jarðeðlisfræðileg könnun. Orkustofnun OS-90031/JHD-06, Reykjavík, 93 bls.

Hafsteinn Gunnarsson 2003. Vistfræðileg könnun á lífríki Þverár og Ölfusvatnsár. Fjórða árs ritgerð við líffræðiskor Háskóla Íslands, 70 bls.

- Halldór Ármannsson 2003. Förgun affallsvatns frá Kröflu- og Bjarnarflagsvirkjunum. Orkustofnun, OS-2003/032, 32 bls.
- Halldór Guðjónsson 1916. Hverasilungur og hverafuglar. Morgunblaðið 19. mars 1916.
- Halloy, S. 1991. Islands of life at 6000 m altitude: The environment of the highest autotrophic communities on Earth (Socompa volcano, Andes). *Arctic and Alpine Research* 23:247-262.
- Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 2005. Flokkun jarðhitafyrirbæra á háhitasvæðum. Íslenskar Orkurannsóknir, ÍSOR-2005/023, 22 bls.
- Hayford, B.L., J.E. Sublette og S.J. Herrmann 1995. Distribution of chironomids (Diptera: Chironomidae) and ceratopogonids (Diptera: Ceratopogonidae) along a Colorado thermal spring effluent. *Journal of the Kansas entomological society* 68(2) suppl. 77-92.
- Helgi Hallgrímsson 1990. Veröldin í Vatninu. Handbók um vatnalíf á Íslandi. 2. útgáfa. Námsgagnastofnun, Reykjavík. 231 bls.
- Helgi Torfason 1998. Jarðhitasvæði. Í: Íslensk votlendi, verndun og nýting, ritstj. Jón S. Ólafsson, Háskólaútgáfan, Reykjavík. Bls. 89-101.
- Helgi Torfason 2003. Jarðhitakort af Íslandi og gagnasafn um jarðhita. Orkustofnun og Náttúrufræðistofnun Íslands, OS-2003/062 og NÍ-03016, 168 bls.
- Helgi Torfason og Kristján Jónasson 2006. Mat á verndargildi jarðminja á háhitasvæðum. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-0610, 33 bls.
- Hogg, I.D. og D.D. Williams 1996. Response of stream invertebrates to a global-warming thermal regime: An ecosystem-level manipulation. *Ecology* 77:395-407.
- Houghton, B.F., E.F. Lloyd og R.F. Keam 1980. The preservation of hydrothermal system features of scientific and other interest – A report to the Geological Society of New Zealand, 29 bls.
- Hörður Kristinsson 1986. Plöntuhandbókin. Blómplöntur og byrkningar. Örn og Örlygur, Reykjavík, 304 bls.
- Hörður Kristinsson, Eva G. Þorvaldsdóttir og Björgvin Steindórsson 2007. Vöktun válistaplantna 2002-2006. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar 50, 86 bls.
- Ingvar Birgir Friðleifsson 1979. Geothermal activity in Iceland. *Jökull* 29:47-56.
- Ingi Agnarsson 1996. Íslenskar köngulær. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar 31, 175 bls.
- Iris Hansen og Jón S. Ólafsson 2002. Smádýralíf á Hellisheiði; við Stóra Reykjafell, Skarðsmýrarfjall, í Hellisskarði og Sleggjubeinsskarði. Könnun sumarið 2002. Líffræðistofnun Háskólans, fjölrit nr. 60, 30 bls.
- Jakob K. Kristjánsson og Guðni Á. Alfreðsson 1986. Lífríki hveranna. Náttúrufræðingurinn 56:49-68.

- James, M. 1985. Changes in the faunal composition of two thermal streams near Taupo, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 19:439-443.
- Jón Benjamínsson 1988. Jarðhiti í sjó og flæðarmáli við Ísland. *Náttúrufræðingurinn* 58:153-169.
- Jón Jónsson 1980. Verndun jarðhitasvæða. *Náttúrufræðingurinn* 50:309-313.
- Jón S. Ólafsson og Gísli Már Gíslason 2002. Smádýralíf í vötnum á Hellisheiði, könnun í júlí 2001. Líffræðistofnun Háskólans, fjölrit nr. 59. 28 bls.
- Jón Steinar Guðmundsson 1980. Umhverfisáhrif jarðhitanýtingar. *Náttúrufræðingurinn* 50:294-308.
- Kristján Jónasson og Sigmundur Einarsson 2009. Jarðminjar á háhitasvæðum Íslands. Jarðfræði, landmótun og yfirborðsummerki jarðhita. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-09012, 151 bls.
- Kristján Sæmundsson 1991. Jarðfræði Kröflukerfisins. Í: Náttúra Mývatns, ritstj. Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson. Hið íslenska náttúrufræðifélag, Reykjavík, bls. 25-95.
- Kristján Sæmundsson og Ingvar Birgir Friðleifsson 1980. Jarðhiti og jarðfræðirannsóknir. *Náttúrufræðingurinn* 50:157-188.
- Lakly, M.B. og J.V. McArthur 2000. Macroinvertebrate recovery of a post-thermal stream: habitat structure and biotic function. *Ecological engineering* 15:87-100.
- Lamberti, G.A. og V.H. Resh 1983. Geothermal effects on stream benthos: Separate influences of thermal and chemical components on periphyton and macroinvertebrates. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40:1995-2009.
- Lamberti, G.A. og V.H. Resh 1985. Distribution of benthic algae and macroinvertebrates along a thermal stream gradient. *Hydrobiologia* 128:13-21.
- Lange, B. 1973. The *Sphagnum* flora of hot springs in Iceland. *Lindbergia* 2:81-93.
- Langford, T.E. 1990. Ecological effects of thermal discharges. Elsevier applied Science Publisher, England, 468 bls.
- Langton, P.H. 1991. A key to pupal exuviae of West Palaearctic Chironomidae. P.H. Langton, Cambridgeshire, England. 386 bls.
- Legendre, P. og L. Legendre 1998. Numerical ecology. Second English edition. Elsevier Science, 853 bls.
- Lěps, J. og P. Šmilauer 2003. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge University Press, Cambridge, 269 bls.
- Macan, T.T. 1959. A guide to freshwater invertebrate animals. Longman, Essex, England. 118 bls.

- MacArthur R.H. og E.O. Wilson 2001. The theory of island biogeography, with a new preface by Edward O. Wilson. Princeton Landmarks in Biology, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Magurran, A.E. 2004. Measuring biological diversity. Blackwell Publishing, Oxford, 256 bls.
- Mandahl-Barth, G. 1938. Land and freshwater Mollusca. Í: The Zoology of Iceland IV, Part 65. Ejnar Munksgaard, Kaupmannahöfn. 31 bls.
- María Ingimarsdóttir 2000. Smádýralíf á jarðhitasvæðum á Námafjalli og Jarðbaðshólum í Mývatnssveit. Ritgerð fimm eininga rannsóknaverkefnis við Háskóla Íslands, líffræðiskor, 80 bls.
- María Ingimarsdóttir 2004. Áhrif hitafallanda á smádýralíf háhitasvæða á Reykjanesi og við Ölkelduháls. Meistararitgerð við líffræðiskor Háskóla Íslands, 60 bls.
- Mellanby, H. 1963. Animal life in fresh water, sixth edition. Redwood Press, Throwbridge & London, England. 308 bls.
- Moller Pillot, H.K.M. 1984. De larven der Nederlandse Chironomidae (Diptera) (Orthocladinae sensu lato). Nederlanse Faunistische Mededelingen 1B. Rijksmuseum van Natuurlijke Historie, Leiden, Holland. 176 bls.
- Motaş, C. 1961. Hydrachnellae. Í: The Zoology of Iceland, III, part 56. Ejnar Munksgaard, Kaupmannahöfn. 26 bls.
- Náttúruverndarráð 1996. Náttúruminjaskrá. Skrá um friðlýst svæði og aðrar náttúruminjar. Náttúruverndarráð, Reykjavík. 64 bls.
- Olga Kolbrún Vilmundardóttir, Ásrún Elmarsdóttir, Sigurður H. Magnússon og Borgþór Magnússon 2006. Gróður á háhitasvæðum í Krýsuvík, Grændal og á Hveravöllum. Náttúrufræðistofnun Íslands, fjölrít NÍ-06007, 77 bls. + kort.
- Oliver, D.R. og M.E. Roussel 1983. The genera of larvae midges of Canada. The insects and arachnids of Canada, part 11. Publication 1746. Agriculture Canada. 263 bls.
- Petersen, R.C., Gísli Már Gíslason og L.B.M. Vought 1995. Rivers of the Nordic countries. Í: Ecosystems of the World 22, ritstj. C.E. Cushing, K.W. Cummins og G.W. Minshall. Elsevier, Amsterdam, bls. 295-341.
- Pinder, L.C.V. 1978. A key to the adult males of the British Chironomidae (Diptera) the non biting midges. Freshwater Biological Association, Scientific publication No. 37., Freshwater Biological Association, Windermere Laboratory, Cumbria, England. Tvö bindi: Volume 1, The key, 169 bls. og Volume 2, Illustrations of the Hypopygia (Figures 77-189).
- Pinder, L.C.V. og F. Reiss 1983. 10. The larvae of Chironominae (Diptera: Chironomidae) of the Holarctic region. – Keys and diagnoses. Ent. scand. Suppl. 19:293-435.
- Pritchard, G. 1991. Insects in thermal springs. Mem. ent. Soc. Can. 155:89-106.

Quinn, G.P. og M.J. Keough 2002. Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge University Press, Cambridge, 537 bls.

Rakel Guðmundsdóttir, Gísli Már Gíslason, Brian Moss og Jón S. Ólafsson 2007. The influence of geothermal activity on diatom production in mountain streams. Veggspjald á 30. Ráðstefnu alþjóðlega vatnalíffræðifélagsins (Societas Internationale Limnologiae XXX Congress (SIL)), í Montreal, Kanada, 12.-18. ágúst 2007.

Rannveig Thoroddsen 2002. Flóra og gróður á völdum stöðum á Hellsheiði og Hengilssvæði. Líffræðistofnun Háskólans, fjölrit nr. 62, 39 bls. + kort.

Resh, V., G.A. Lamberti, E.P. McElravy og J.R. Wood 1983. The separation of thermal and chemical effects in evaluating geothermal influences on aquatic biota. University of California, Water Resource Center. Technical Completion Reports, paper 612, 47 bls. + myndir.

Robinson, W.H. og E.C. Turner Jr. 1985. Insect fauna of some Virginia thermal streams. Proceedings of the Entomological Society of Washington 77:391-389.

Rossaro, B. 1980. Description of some unknown larvae of *Diamesa* genus and corrections to previous descriptions (Diptera, Chironomidae). Arch. Hydrobiol. 90:298-308.

Rossaro, B. 1982. Chironomidi, 2 (Diptera Chironomidae: Orthoclaadiinae). Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne Italiane. Consiglio Nazionale Delle Ricerche, AQ/1/171. Verona, Ítalía. 80 bls.

Scarsbrook, M.R. 2000. Life-histories. Í: New Zealand stream invertebrates: Ecology and implications for management, ritstj. Collier, K.J. og M.J. Winterbourn. New Zealand Limnological Society, bls. 76-99.

Schmid, P.E. 1993. A key to the larval Chironomidae and their instars from Austrian Danube region, streams and rivers with particular reference to a numerical taxonomic approach. Part I, Diamesinae, Prodiamesinae and Orthoclaadiinae. Wasser und Abwasser, suppl. 3/93. Federal Institute for water quality in Wien – Kaisermühlen. 514 bls.

Schwabe, G.H. 1933. Beobachtungen über thermischen Schichtungen in Thermalgewässern auf Island. Arch. f. Hydrobiol. 26:187-96.

Schwabe, G.H. 1936. Beiträge zur Kenntnis isländischer Thermalbiotope. Arch. Hydrobiol. Suppl. 6:161-352.

Sigurður Pétursson 1958. Hveragróður. Náttúrufræðingurinn 28:141-151.

Sigurður S. Snorrason, Hilmar J. Malmquist, Hrefna B. Ingólfssdóttir, Þórey Ingimundardóttir og Jón S. Ólafsson 2009. Influence of elevated water temperature on community structure and life history traits of benthic invertebrates in Lake Thingvallavatn, Iceland. Ver. Int. Verein. Limnol. 30 (í prentun).

Sigurður Þórarinnsson 1978a. Hverir og laugar, ölkeldur og kaldavermsl. Fjölrit Náttúruverndarráðs nr. 3. Náttúruverndarráð, Reykjavík, 14 bls.

Sigurður Þórarinnsson 1978b. Hverir og laugar, ölkeldur og kaldavermsl á Íslandi og verndun þeirra. Týli 8:41-50.

Smith, K.G.V. 1989. An introduction to the immature stages of British flies. Diptera larvae, with notes on eggs, puparia and pupae. Handbooks for the Identification of British Insects. Vol 10, Part 14. Royal Entomological Society of London, British Museum (Natural History), London, England. 280 bls.

Soponis, A.R. 1977. A revision of the Nearctic species of *Orthocladius* (*Orthocladius*) van der Wulp (Diptera: Chironomidae). Memoris of the entomological society of Canada – No.102. The Entomological Society of Canada, Ottawa. 187 bls.

Soponis, A.R. 1987. Notes on *Orthocladius* (*Orthocladius*) *frigidus* (Zetterstedt) with a redescription of the species (Diptera: Chironomidae). Ent. scand. Suppl. 29:123-131.

Sólveig K. Pétursdóttir, Tryggvi Þórðarson, Steinunn Magnúsdóttir og Guðmundur Óli Hreggviðsson 2006. Mat á umhverfisáhrifum jarðvarmavirkjana í Hverahlíð og við Ölkelduháls. Athugun á lífríki hvera. Prokaria og Háskólasetrið í Hveragerði, 115 bls.

Sperling, J.A. 1975. Algal ecology of southern Icelandic hot springs in winter. Ecology 56:183-190.

Stefán Arnórsson 1980. Jarðefnafræði og jarðhitarannsóknir. Náttúrufræðingurinn 50:206-221.

Stefán Arnórsson 1993. Jarðhiti. Náttúrufræðingurinn 63:39-55.

Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson 1976. Vatnasvið Hlíðardalslækjar og affallsvatn frá Kröfluvirkjun. Orkustofnun, jarðhitadeild, OS-JHD-7602, 13 bls.

Stefán Arnórsson og Sigurður R. Gíslason 1990. Um uppruna lághitasvæða á Íslandi. Náttúrufræðingurinn 60:39-56.

Stefán Arnórsson, Einar Gunnlaugsson og Hörður Svavarsson 1980. Uppleyst efni í jarðhitavatni og ummyndun. Náttúrufræðingurinn 50:189-205.

Steindór Steindórsson 1964. Gróður á Íslandi. Almenna bókafélagið, 186 bls.

Stockner, J.G. 1968. Algal growth and primary productivity in a thermal stream. J. Fish. Res. Bd. Canada 25:2037-2058.

Streble, H. og D. Krauter 2002. Das Leben im Wassertropfen, Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers. Ein Bestimmungsbuch. 9. Auflage. Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart, Þýskaland. 428 bls.

ter Braak, C. J. F. og P. Šmilauer 1998. Canoco reference manual and user's guide to Canoco for Windows, software for canonical community ordination (version 4.5), Centre for Biometry, Wageningen, Holland, 95 bls.

Thora Hrafnisdóttir 2005. Diptera 2 (Chironomidae). Í: The Zoology of Iceland III, 48b. Einar Munksgaard, Kaupmannahöfn. 169 bls.



Tobler, D.J., Andri Stfánsson og L.G.Benning 2008. *In-situ* grown silica sinters in Icelandic geothermal areas. *Geobiology* 6:481-502.

Trausti Baldursson, Ásrún Elmarsdóttir, Kristján Jónasson, Olga Kolbrún Vilmundardóttir og Sigmundur Einarsson 2009. Mat á verndargildi 18 háhitasvæða. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-09014, 55 bls.

Tryggvi Þórðarson 1981. Varmalindir. Hvítársíða, Hálsasveit og innanverður Reykholtisdalur, náttúruverndarkönnun. Náttúruverndarráð, fjölrit nr. 10, Reykjavík, 77 bls.

Tryggvi Þórðarson 1983. Ækologien til ferskvannssneglene *Lymnaea peregra* (Müller) og *Gyraulus laevis* (Alder) i to eutrofe varme kilder på Island. Cand. real. verkefni. Biologisk institutt, Avdeling for limnologi. Oslo, Universitetet i Oslo. 198 bls.

Tryggvi Þórðarson og Sólveig K. Pétursdóttir 2002. Mat á umhverfisáhrifum jarðvarmavirkjunar á Helligheiði. Athugun á lífríki. Rannsókn- og fræðasetur Háskóla Íslands í Hveragerði, 38 bls.

Tuxen, S.L. 1944. The hot springs of Iceland, their animal communities and their zoogeographical significance. Í: The Zoology of Iceland I, part 11. Einar Munksgaard, Kaupmannahöfn. 206 bls + myndir og töflur.

Viggó Þór Marteinsson, Sólveig K. Pétursdóttir og Steinunn Magnúsdóttir 2004. Líffræðileg fjölbreytni í hverum og laugum á Hengilssvæðinu. Prokaria, Reykjavík, 32 bls.

Vincent, W.F. og D.J. Forsyth 1987. Geothermally influenced waters. Í: Inland Waters of New Zealand, ritstj. Viner, A.B. New Zealand Department of Scientific and Industrial Research Bulletin 241:349-377.

Wetang'ula, G. N. 2004. Assessment of geothermal wastewater disposal effects case studies: Nesjavellir (Iceland) and Olkaria (Kenya) fields. Ritgerð til meistaraáráðu við Háskóla Íslands, líffræðiskor. 76 bls.

Wellborn, G.A. og J.V. Robinson 1996. Effects of a thermal effluent on macroinvertebrates in a central Texas reservoir. *Am. Midl. Nat.* 136:110-120.

Widerholm, T.(ritstj.) 1983. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part 1 – Larvae. *Ent. scand. Suppl.* 19:1-457.

Widerholm, T.(ritstj.) 1989. The adult males of Chironomidae (Diptera) of the Holarctic region – Keys and diagnoses. *Ent. scand. Suppl.* 34:1-532.

Wilson, R.S. 1996. A practical key to the genera of pupal exuviae of the British Chironomidae (Diptera: Insecta). Fully revised February 1996 with an account of the CPET method of water quality monitoring. R.S. Wilson, Wedmore, Sommerset, England. 98 bls.

Wilson, R.S. og J.D. McGill 1982. A practical key to the genera of pupal exuviae of the British Chironomidae (Diptera. Insecta). University of Bristol, Bristol, England. 62 bls.

Winterbourn, M.J. 1968. The faunas of thermal waters in New Zealand. *Tuatara* 16:111-122.

Winterbourn, M.J. 1969. The distribution of algae and insects in hot spring thermal gradients at Waimangu, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 3:459-465.

Woodward, G., J.B. Christensen, J.S. Ólafsson, G.M. Gíslason, E.R. Hannesdóttir og N. Friberg 2010. Sentinel systems on the razor's edge: effects of warming on Arctic geothermal stream ecosystems. *Global Change Biology* (í prentun). doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02052.x