

Vinnsla og vörupróun
Processing and Product
Development

Líftækni
Biotechnology



Matvælaöryggi
Food Safety



Lífríki í hverum við Kröflu og Námafjall

Unnið fyrir Orkustofnun vegna Rammaáætlunar

Sólveig K. Pétursdóttir
Snædís Björnsdóttir
Sólveig Ólafsdóttir
Guðmundur Óli Hreggviðsson

Líftækni

Skýrsla Matís 02-08
Febrúar 2007

ISSN 1670-7192

Titill / Title	Lífriki í hverum við Kröflu og Námafjall		
Höfundar / Authors	Sólveig K. Pétursdóttir, Snædis Björnsdóttir, Sólveig Ólafsdóttir og Guðmundur Óli Hreggviðsson		
Skýrsla / Report no.	02 - 08	Útgáfudagur / Date:	Febrúar 2008
Verknr. / project no.	23131016		
Styrktaraðilar / funding:	Orkustofnun vegna Rammaáætlunar / National Energy Authority		
Ágríp á íslensku:	<p>Þessi rannsókn á lífríki í hverum á hverasvæðunum við Kröflu og Námafjall er fjórði áfangi verkefnisins um lífríki á hverasvæðum á Íslandi sem er hluti af Rammaáætlun um nýtingu á vatnsafla og jarðvarma á háhitasvæðum. Þegar hefur verið skilað niðurstöðum úr sambærilegum rannsóknum á Hengilssvæði (2005), Torfajökulssvæði (2006) og Krisuvík (2007).</p> <p>Alls voru tekin um 20 sýni af vökva, jarðvegi eða lífmassa og tókst að greina tegundasamsetningu í 13 þeirra með hlutaraðgreiningu á 16S rRNA. Ríkjandi tegundir í Kröflusýnum voru frumbjarga og efnatillífandi af fylkingum <i>Aquificae</i> og β-<i>Proteobacteria</i>. Sýni úr Jarðbaðshólum voru fjölbreyttari og greindust til fylkinga <i>Actinobacteria</i>, <i>Acidobacteria</i>, <i>Firmicutes</i>, ljóstillífandi <i>Cyanobacteria</i> og <i>Deinococcus-Thermus</i>. Í ljósi þess hve gerð sýna og sýnatökustaðir voru fjölbreyttir kom ekki á óvart að tegundasamsetning væri mismunandi. Flestar tegundir sem fundust er einnig að finna á öðrum hverasvæðum í heiminum.</p> <p>Nýjar bakteríutegundir fundust í nokkrum sýnum, m.a. frumbjarga <i>Hydrogenobacter</i> tegund í sýni úr afrennsli frá skiljustöð við Kröflu. Ennfremur fundust tvær nýjar tegundir β-<i>Proteobacteria</i>. Þrjár nýjar tegundir γ-<i>Proteobacteria</i> fundust, ein í Grjótagjá, önnur í jarðvegssýni við gufuauga í Jarðbaðshólum og sú þriðja í afrennislæk í Kröflu. Ný tegund af <i>Meiothermus</i> ættkvísl fannst í Jarðbaðshólum og að lokum ein fjarskyld (92%) <i>Thermus</i> tegund. Einn stofn náskyldur ($\geq 98\%$) tegundinni <i>Thermus aquaticus</i> fannst í sýni af Kröflusvæðinu, en þessi tegund hefur verið talin einlend í Bandaríkjunum.</p> <p>Líffræðilegur fjölbreytileiki í sýnunum var áætlaður á bilinu 1,0 - 5,8 á skalanum 1-10, en algengt er að gildið sé á bilinu 1-2 í sýnum úr jaðarvistkerfum þar sem umhverfisálag er mikið. Gildið var afar lágt í nokkrum sýnum í rannsókninni, eða 1,04 í jarðvegssýni úr Suðurhlíðum Kröflu, 1,2 í vökvasýni úr afrennislæk í Kröflu, 1,0 í leirhver við Víti og 1,1 í vökvasýni úr Bláa lóninu í Bjarnarflagi. Líffræðilegur fjölbreytileiki var talsvert hærri í sýnum úr Grjótagjá (3,4) og Jarðbaðshólum (4,8-5,2) sem kemur ekki á óvart þar sem umhverfisáðstæður voru hagstæðari fleiri tegundum.</p> <p>Vatnssýni úr hverum voru skönnuð fyrir 72 frumefnum (ICP_MS). Vonir eru bundnar við að í framtíðinni verði hægt að tengja saman frumefnamælingar við niðurstöður úr tegundasamsetningu í sýnum.</p>		
Lykilorð á íslensku:	lífríki í hverumi, tegundasamsetning, ríkjandi tegundir, nýjar tegundir, líffræðilegur fjölbreytileiki, frumefnamælingar.		

Summary in English:

This project on microbial diversity in hot springs in the Krafla and Namafjall geothermal areas is within the Framework of Utilization of Geothermal power of high temperature geothermal areas in Iceland. Other areas studied so far are the Hengill area (2005), Torfajökull area (2006) and Krísuvík area (2007).

Twenty samples were taken from liquid, soil or biomass. Partial sequencing of 16S rRNA genes from the samples was used to estimate species composition in the samples. Species composition was estimated in 13 samples. Dominating species within the Krafla samples were chemolithoautotrophic species of *Aquificae* and β -*Proteobacteria* phyla. In Jarðbaðshólar samples, the species were more diverse and belonged to the *Actinobacteria*, *Acidobacteria*, *Firmicutes*, *Cyanobacteria* and *Deinococcus-Thermus* phyla. This was not surprising as sample types and sample sites were diverse in character. Most species found in this study were known from other geothermal areas in the world.

Novel species were found in several samples: A chemolithoautotrophic *Hydrogenobacter* species was found in an effluent from the powerplant in Krafla. Two new species of β -*Proteobacteria* were also found in the samples. Three novel species of γ -*Proteobacteria* were found, one in Grjótagjá, one in Jarðbaðshólar and one in the Krafla effluent. A novel species of the genus of *Meiothermus* was found in Jarðbaðshólar. Finally one species, a distant (92%) relative of *Thermus spp.* A close ($\geq 98\%$) relative of *Thermus aquaticus* was found in one sample from the Krafla area, but this species has hitherto been confined to the USA.

A biodiversity index of the samples was calculated between 1,0-5,8, but a value of 1-2 is common in samples from extreme ecosystems where environmental pressure is high. This value was quite low in several samples i.e. 1,04 in a soil sample from the southern hills of Krafla, 1,2 in a liquid sample from the Krafla effluent, 1,0 in a geothermal mudsample from Víti and 1,1 from a liquid sample from the Blue Lagoon in Bjarnarflag. Calculated biodiversity index in samples from Grjótagja and Jarðbaðshólar was considerably higher which is not surprising as environmental conditions were favourable to a higher number of species.

Water samples from hot springs were scanned semi quantitatively for 72 elements and analyzed with ICP-MS. In the future we hope to be able to connect data from element analysis to results of species composition.

English keywords:

Microbial diversity, species composition, dominating species, new species, biodiversity index, elements analysis.

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	1
2. FRAMKVÆMD	3
2.1 Sýnataka	3
2.2 Mælingar á sýnum.	3
2.2.1 Frumefnamælingar á vökvásýnum.	3
2.3 Einangrun á DNA	3
2.3.1 Lífmassasýni	3
2.3.2 Jarðvegssýni	3
2.3.3 Sýni af vökva og yfirborðsbrák	4
2.4 PCR á 16S rRNA geninu	4
2.5 Klónun og raðgreining	4
2.6 Ákvörðun á tegundasamsetningu í sýnum	4
2.7 Skyldleikatré	5
2.8 Líffræðilegur fjölbreytileiki	5
2.9 Ræktun, einangrun og tegundagreining baktería úr Jarðbaðshólasýnum.	5
3. NIÐURSTÖÐUR	6
3.1 Sýnataka á Kröflusvæðinu	6
3.1.1 Lækur – affall frá skiljustöð	7
3.1.2 Suðurhlíðar Kröflu (SH)	8
3.1.3 Hvítur lækur – afrennsli frá kæliturnum (HL)	8
3.1.4 Víti (V)	9
3.2 Sýnataka við Námafjall og Bjarnarflag	10
3.2.1 Hverir (HV)	11
3.2.2 Bjarnarflag lón	12
3.2.3 Brennisteinsflag	13
3.2.4 Jarðbaðshólar	13
3.2.5 Grjótagjá og Stóragjá	15
3.3 Mælingar	16
3.4 Niðurstöður erfðagreininga á sýnum	18

3.5.1 Aquificae	27
3.5.2 β -Proteobakteriur	28
3.5.3 γ -Proteobakteriur	29
3.5.4 Deinococcus-Thermus	30
3.6 Líffræðilegur fjölbreytileiki	31
4. UMRÆÐA OG ÁLYKTANIR	33
5. ÞAKKARORÐ	35
6. HEIMILDIR	36

1. INNGANGUR

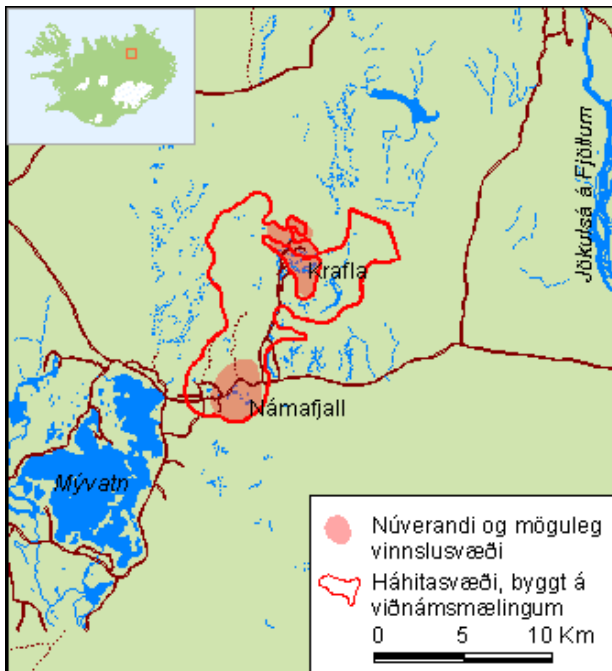
Samkvæmt verkefnissamningi milli Orkustofnunar og Mátis-Prokaria sem undirritaður var sumarið 2007 er nú unnið að fjórða áfanga verkefnisins um lífríki á hverasvæðum á Íslandi, en verkefnið er hluti af Rammaáætlun um nýtingu á vatnsafla og jarðvarma. Fyrsti áfangi fól í sér greiningu á lífríki hvera á Hengilssvæðinu og var skýrslu skilað þar um árið 2005 (Viggó Þór Marteinsson o.fl., 2005). Annar áfangi fól í sér greiningu á lífríki hvera á Torfajökulssvæði og var skýrslu skilað þar um í janúar 2006 (Sólveig K. Pétursdóttir o.fl. 2006). Þriðji áfangi fól í sér samskonar greiningu á lífríki hvera á Krisuvíkursvæðinu (Sólveig K. Pétursdóttir o.fl. 2007). Núverandi áfangi felur í sér sambærilega rannsókn á lífríki hvera á háhitasvæðunum í Kröflu og Námafjalli. Fyrirhugað er að taka fyrir eitt jarðhitasvæði til viðbótar á árinu 2008 og hefur Vonarskarð verið nefnt í því sambandi. Í lok Rammaáætlunar, árið 2009 er ætlunin að taka saman þau gögn sem aflað hefur verið í ofangreindum og sambærilegum verkefnum og freista þess að greina nokkra heildarmynd af lífríki í hverum á Íslandi.

Almennt hefur verið talið að hitastig og sýrustig ráði mestu um það hvaða tegundir geti lifað á hverjum stað. Á síðari árum hefur þó verið bent á að fleiri þættir kunni að ráða talsverðu um tegundasamsetningu í hverum. Rannsókn var gerð á hverum með áþekka eiginleika hvað varðaði sýrustig og hitastig í þjóðgarðinum Yellowstone í Bandaríkjunum og kom í ljós að tegundabreytileiki milli „samskonar“ hvera var umtalsverður. Þar bentu menn því á nauðsyn þess að mæla aðra jarðefnafræðilega þætti (Blank, C.E. og félagar, 2002). Í reynd má segja að þessi nálgun eigi vaxandi fylgi að fagna víða um heim og má sjá þess merki í nýlegum greinum um tegundasamsetningu og vistfræði hvera sérstaklega í Yellowstone þjóðgarðinum en einnig víðar. Aukin vitneskja um efni og efnasambönd í nánasta umhverfi hveraörveranna eykur líkur á að hægt verði að einangra og rækta fleiri tegundir á kerfisbundinn hátt. Í ljósi þessa og í samráði við Hákon Aðalsteinsson á Orkustofnun, sem er verkefnisstjóri verkefna sem unnin eru fyrir Orkustofnun vegna Rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma, var höfð nokkur samvinna við jarðefnafræðinga á Jarðvísindastofnun í Krisuvíkurvefningu á síðasta ári. Markmiðið var að nálgast viðfangsefnið á þverfaglegan hátt og reyna að sjá hvaða jarðefnaþættir hafa áhrif á tegundasamsetningu í hverunum og hvaða ferlar eru þar í gangi, lífrænir og ólífrænir. Samvinnan er þó enn á frumstigi og verður gerð grein fyrir niðurstöðum og túlkunum þar um sérstaklega í lok verkefnisins. Þess ber að geta að Mátis hefur nú yfir að ráða tæki til að mæla frumefni í vatnssýnum og eru vonir bundnar við að innan tíðar megi tengja saman niðurstöður mælinga á frumefnum í vatnshverum og tegundasamsetningu í þeim.

Dreifkjarna örverur eru einu lífverurnar sem geta lifað í heitum hverum. Hámarksvaxtarhitastig heilkjarna örvera er talið vera um 57°C (*Cyanidium caldarium*), en dreifkjarna örvera 113°C. Dreifkjarna örverur flokkast til tveggja ríkja lífheimsins þ.e. til raunbaktería (*Eubacteria*) og fornbaktería (*Archaea*). Þær síðarnefndu eru almennt séð hita- og sýruþolnari en þær fyrrnefndu. Innan beggja hópa er fjöldi tegunda sem gegna mismunandi hlutverki í vistkerfum hvera. Frumbjarga tegundir leggja grunninn að öðru lífi sem finnst í vistkerfinu. Þessar tegundir eru ýmist ljóstíllífandi blágrænar bakteríur sem nýta sólarorku til að binda kolefni úr koldíoxíði eða efnatíllífandi bakteríur sem fá orku úr oxun á vetni eða brennisteinsvetni og geta bundið ólífrænt kolefni. Aðrar tegundir vistkerfisins eru ófrumbjarga og þurfa því lífrænt kolefni sem frumbjarga tegundir sjá þeim fyrir.

Notkun sameindalíffræðilegra aðferða við greiningar á tegundasamsetningu mismunandi vistkerfa hefur fleygt fram á síðustu árum. Í dag er hægt að greina tegundasamsetningu í blönduðum sýnum án þess að undangengin ræktun sé skilyrði. Sífelld þróaðri tækjakostur gerir kleift að greina tegundasamsetningu í sýni á tiltölulega skömmum tíma. Í ljós hefur komið að lífheimur örveranna er miklum mun fjölbreyttari en talið var. Urmull af áður óþekktum tegundum hefur komið í ljós, en jafnframt hefur fengist staðfesting á því að einungis hefur tekist að rækta örlítið brot af þeim örverutegundum sem raunverulega finnast í lífheiminum. Þróun nýrra ræktunaraðferða og vaxandi þekking á mismunandi lífsferlum auka þó líkurnar á því að með tímanum takist að einangra og greina fleiri tegundir. Sameindalíffræðilegu aðferðirnar fela í sér raðgreiningu á tegundagreinanderi geni -16S rRNA. Á síðustu árum hafa menn raðgreint genið bæði úr ræktuðum örverum og blönduðum lífmassa. Vísindamenn víða um heim hafa með tímanum myndað gríðarlega stóran gagnagrunn sem hýsir 16S rRNA genaraðir víðsvegar að. Þessi grunnur “Genbank” hefur nýst sérlega vel til viðmiðunar þegar greina á bakteríu til tegundar, eða tegundasamsetningu baktería í sýni.

Jarðhitasvæðið í Kröflu er í gamalli öskju sem er klofin í tvo helminga. Jarðhiti og jarðhitamerki eru á beltum sem liggur þvert á, í öskjunni miðri. Hverir eru í eystri helmingi öskjunnar og gjástykkinn. Helsta einkenni jarðhitasvæðisins eru sprengigígarnir, t.d. Víti. Kröflusvæðið er háhitasvæði með kröftug gufuaugu, bullandi leirhverir og brennisteinsútfellingar (www.os.is).



Námafjallssvæðið er um 4 km sunnan við Kröflu-öskjuna. Austan við Námafjall eru leir- og gufuhverir þar sem heitir Hverarönd, eða Hverir. Sunnan Kröflu dregur úr virkninni, en hún tekur sig upp aftur með gossprungum í umhverfi Bjarnarflags og í Námafjalli að vestan. Vestur og suður frá Bjarnarflagi gufar víða upp úr hraununum. Þar leggur eim upp af heitum grunnvatnsstraumi sem liggur til Mývatns (www.os.is). Mynd 1 sýnir yfirlitskort af Kröflu og Námafjalli.

Mynd 1. Yfirlitskort sem sýnir Kröflu og Námafjall (www.os.is)

Í þessari rannsókn voru sýni tekin víða af jarðhitasvæðum við Kröflu og Námafjall og einnig úr manngerðum lækjum við Kröflu sem þóttu áhugaverðir út frá sjónarhóli hveralíffræðinnar, þar sem þar eru aðstæður sem finnast yfirleitt ekki við náttúrulegar aðstæður. Frumefnamælingar voru gerðar á vökvásýnum, en þær eru hinar fyrstu sem gerðar eru á hveravatni á vegum Matís. Tegundasamsetning var ákvörðuð í sýnunum með sameindalíffræðilegum aðferðum. Samanburður var gerður á tegundasamsetningu og hlutföllum einstakra tegunda milli sýna og greint frá áður óþekktum tegundum. Líkur voru leiddar að vistfræðilegu hlutverki helstu tegunda eða hópa.

2. FRAMKVÆMD

2.1 Sýnataka

Sýni voru tekin víðsvegar á Kröflusvæðinu og einnig í Jarðbaðshólum, Bjarnarflagi og Grjótagjá. Sýnin voru bæði af náttúrulegum og manngerðum sýnatökustöðum. Reynt var að ná sem fjölbreyttustum sýnagerðum, þ.e. af jarðvegi, vökva og sýnilegum lífmassa. Einnig var reynt að ná sýnum af stöðum með mismunandi hitastig og sýrustig. Sýnin voru tekin í dauðhreinsuð ílát og komið fyrir í kæli eins fljótt og unnt var. Vinna hófst við sýnin daginn eftir að sýnatökuferð lauk.

2.2 Mælingar á sýnum.

Mælingar voru gerðar á sýrustigi og hitastigi. Mælingar voru endurteknar á sýrustigi á rannsóknastofunni. Leiðni var mæld í vökvasýnum á rannsóknastofu Matís.

2.2.1 Frumefnamælingar á vökvasýnum.

Mælingar voru gerðar á 72 frumefnum í vökvasýnum sem tekin voru. Kranavatn frá Matís var haft til samanburðar. Sýnin voru skönnuð í ICP-MS greini með aðferð sem er hálfmagnbundin (semi-quantitative). Aðferðin gefur fyrsta mat á frumefnasamsetningu í óþekktu sýni. Hér er þó lögð áhersla á að niðurstöðum verður að taka með fyrirvara um skekkju allt að +/- 25%.

2.3 Einangrun á DNA

2.3.1 Lífmassasýni

Lífmassinn var „homogeniseraður“ með því að hrista og hræra sýnið. Því næst voru teknir u.þ.b. 2 mL af lífmassasýni og leystir upp í sama rúmmáli af TE buffer. Því næst var DNA einangrað úr sýninu með phenol-chloroform aðferð (4 mL Phenol settir út í, hrist rólega í 5 mín, og spunnið í skilvindu í 5 mín við 4.500 rpm. Vatnsfasi hirtur ofan af og phenol hreinsun endurtekin, spunnið og vatnsfasi hirtur. Sama rúmmál af blöndu af Chloroform – isoamylalcohol (24:1 vol:vol) sett út í, blandað rólega og spunnið í 5 mín við 4500 rpm. Þá var 1/10 vol af 3M Natrium Acetati sett saman við ásamt 2 x rúmmáli af 96% ísköldu ethanoli, spunnið við 13000 rpm í 30 mín. Floti var hellt af og botnfallið skolað með 1ml af 70% EtOH og síðan spunnið aftur við 13000 rpm í 20 mín. Floti hellt af, þurrkað og pellett leystur upp í 100 µL af Te buffer.).

2.3.2 Jarðvegssýni

Jarðvegssýni (ca 100mL) voru skoluð í 200mL 0,9% NaCl lausn, hrist duglega nokkrum sinnum og látin standa yfir nótt. Þá var floti hellt ofan af botnfalli, það spunnið (1000 rpm 10 mín), flot hirt og spunnið aftur við 8000 rpm í 20 mín. Botnfallið, - bakteríurnar voru þá hirtar og leystar upp í sama rúmmáli af TE buffer. Síðan var phenol – chloroform aðferð (sjá í 2.3.1) notuð til að einangra DNA úr sýninu.

2.3.3 Sýni af vökva og yfirborðsbrák

Sýni af vökva og yfirborðsbrák voru spunnin beint við 8000 rpm. Botnfallið var hirt og það síðan leyst upp í sama rúmmáli af TE buffer og DNA einangrað með phenol chloroform aðferð (2.3.1) eins og áður.

2.4 PCR á 16S rRNA geninu

Algengast er að nota 16S rRNA gen baktería til tegundaákvörðunar og var það gert hér. Þynningarröð var gerð af hverju sýni (óþynnt, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}) og voru allar þynningar prófaðar við kjarnsýrumögnun (PCR) á geninu. Mögnun var reynd með sérvirkum 16S endavísium fyrir raunbakteríur (F27 og R1544) og fornbakteríur (F23 og R1391). PCR hvarfið (4 μ l 10x polymerasa buffer; 3,3 μ l dNTP (10 μ M), 0,7 μ l Teg polymerasi (0,5U), 1,0 μ l af hvorum vísi (20 μ M) og 27,7 μ l sterilt vatn og 2,0 μ l af sýni úr hverri þynningu) var gert í tvíriti, þar sem PCR mögnunin fór fram við tvö mismunandi þörunarhitastig vísis og DNA móts, þ.e. við 42°C og 52°C. Hitiferillinn í PCR var 94°C í 4 min, (94°C í 50 sek, 42/52°C í 50 sek., 72°C í 2min) x 35 hringir; og 72°C í 7min, kælt (4°C) í lokin. Afurðirnar voru síðan rafdrengar á 1% agarosa geli með ethidium bromíð og DNA bönd af réttri stærð (~1500bp) klippt úr gelinu. Ef engin afurð fékkst úr sýninu, var endurtekið með því að nota ”gradient PCR” þar sem þörunarhitastig vísis og móts var breytilegt á bilinu milli 42 og 56°C.

2.5 Klónun og raðgreining

DNA var hreinsað úr gelbútunum með GFX aðferð skv. leiðbeiningum frá framleiðanda (Amersham Biosciences). Klónun var gerð inn í Topo plasmíð og ferjað í Top10 frumur skv. leiðbeiningum frá framleiðanda (Invitrogen). Ræktað var á skálum með LB æti með ampicillini y/n og reynt að fá ca 50 - 100 klóna alls (raunbakteríur og fornbakteríur) úr hverju sýni. Síðan var ræktað í vökvaæti y/n. Gengið var úr skugga um að genið væri á plasmíðinu með PCR hvarfi þar sem M13 F og R vísar sem parast beggja vegna innskots á plasmíðinu voru notaðir. PCR afurðin var því næst hreinsuð með Exo/Sap skv. leiðbeiningum frá framleiðanda (USB) og raðgreiningarhvarf framkvæmt með Big Dye hvarflausn. Því næst voru raðirnar greindar í Applied Biosystems 3730 raðgreini. Raðirnar voru svo yfirfarnar og flokkaðar við 98% innbyrðis samsvörun í Sequencher forritinu.

2.6 Ákvörðun á tegundasamsetningu í sýnum

Flokkar eins raða ($\geq 98\%$ skyldleiki) og stakar raðir voru bornar saman við þekktar raðir í NCBI Genbank með BLAST forriti á veraldarvefnum. Þannig fengust nánustu ættingjar hvernar raðar og jafnframt skyldleikaprósenta óþekktu raðarinnar við nánasta þekkta ættingja. Á þennan hátt fékkst yfirlit um tegundasamsetningu í hverju sýni.

2.7 Skyldleikatré

Ættartré yfir 16S rDNA raðir úr helstu fylkingum raunbaktería og fornbaktería sem fundust í sýnunum voru gerð. Röðunum var samraðað í Bioedit og Clustal tölvuforritunum og skyldleiki hverra tveggja raða metinn (Neighbour Joining) og túlkaður í svokölluðu ættartré þar sem nánir ættingjar mynda nálægar greinar. Viðmiðunarraðir voru fengnar úr Genbank. Útraðir voru valdar úr öðrum fylkingum eða ættbálkum, en þær gegna því hlutverki að sýna rót trésins. Á þennan hátt fékkst yfirlitsmynd af því að hvaða marki sýnin voru lík eða ólík innbyrðis m.t.t. tegundasamsetningar og einnig gleggri mynd af því hvort áður óþekktar tegundir eða hópar væru til staðar í sýnunum.

2.8 Líffræðilegur fjölbreytileiki

Líffræðilegur fjölbreytileiki var metinn í sýnunum með aðferð Curtis og féлага (2002) sem gefur einnig mat á áreiðanleika á greiningu sýnis, þ.e. hvort nægilega margir klónar hafi verið greindir til að gefa mynd af raunverulegum tegundafjölbreytileika og hlutföllum í sýni.

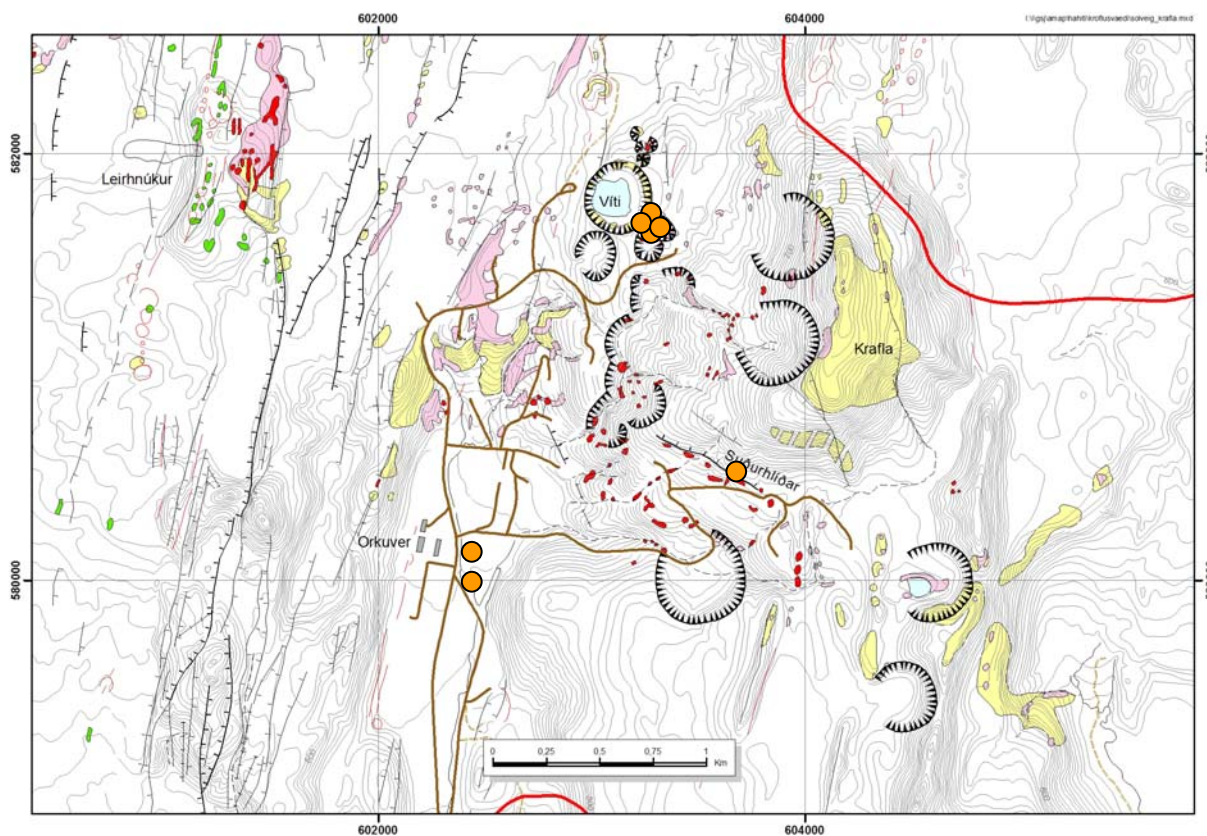
2.9 Ræktun, einangrun og tegundagreining baktería úr Jarðbaðshólasýnum.

Tilraunir voru gerðar til að rækta bakteríur úr Jarðbaðshólasýnum. Örlítið af jarðvegi var dreift á ætisskálar með 166 æti og R2A æti og ræktað við 60, 65 og 70 í 1-3 sólarhringa. Kóloníum var þá endurstrikað á samskonar æti og ræktað við sömu aðstæður. Nokkrar kóloníur voru valdar til tegundagreiningar með erfðagreiningu sem var framkvæmd með PCR á 16S rRNA geninu, og hlutaraðgreiningu á því.

3. NIÐURSTÖÐUR

3.1 Sýnataka á Kröflusvæðinu

Í sýnatökuferð sem farin var 11. september 2007 voru tekin 23 sýni alls á Kröflusvæðinu og svæðinu við Námafjall. Sýnatökustaðir á Kröflusvæðinu eru merktir inn á mynd 2. Helstu staðirnir voru gufuaugu í Suðrhliðum Kröflu, hverir suðaustan við Víti og manngerðir lækir annars vegar frá skiljustöð og hins vegar frá kæliturnum við Orkuverið í Kröflu. Ákveðið var að taka sýni úr þessum lækjum þar sem aðstaður í þeim þóttu óvenjulegar og því spennandi frá sjónarhóli hveralíffræðinnar. Lækurinn frá skiljustöðinni inniheldur efnaríkt vatn sem rennur síðan saman við náttúrulegt afrennsli í Hlíðardalslækinn (Magnús Ólafsson, munnl. uppl.). Sýrustigið er tiltölulega hátt eða pH 8-9. Lækurinn sem myndaður er úr afrennsli frá kæliturnunum einkennist af miklum kísilútfellingum. Á mynd 2 sést að ekkert sýni var tekið af svæðinu við Leirhnúk. Ætlunin er að ráða bót á þessu í heildarúttekt og samantekt sem gerð verður árið 2009.



Mynd 2. Sýnatökustaðir við Kröflu eru merktir inn á kortið með fylltum hringjum. Sýnatökustaðir í lækjunum tveimur eru sýndir sem punktar suðaustan við Orkuverið. (Kort frá ÍSOR)

3.1.1 Lækur – affall frá skiljustöð

Örverugróður hefur náð sér verulega á strik í læk sem myndast hefur úr affalli frá skiljustöðinni í Kröflu. Aðgengi að læknum er ekki auðvelt við Orkuverið, en hitastig lækjarins mældist um 84°C þar sem aðgengi var fyrst mögulegt. Hitastigið lækkar þegar neðar dregur. Sýrustig lækjarins er tiltölulega hátt eða á bilinu pH 8,5 - 9. Gróðurmottur voru vel sýnilegar við bakkana. Grænn þörungagróður virtist vaxa allt að 46°C og gulleitur gróður sem óx neðan við græna gróðurinn nær læknum við allt að 54°C (mynd 3).



Mynd 3.

Sýni var tekið úr afrennislæk frá Orkuverinu í Kröflu (L1). Við bakkana óx grænn þörungamassi við allt að 46°C en gulleitur neðar við allt að 54°C.



Mynd 4. Grá gróðurmotta undir yfirborði í læk. Sýni L2 var tekið af þessari mottu. Jafnframt var tekið vökvasýni (L3).



Mynd 5. Lækur. Sýni L4 og L5 voru tekin af hvítri mottu undir vatnsyfirborðinu (L4) og vökva (L5).

Vökvasýni (L1) var tekið úr þessum læk við 84°C. Neðar í læknum, þar sem hann er kaldari, verða gróðurmottur sýnilegar undir vatnsyfirborðinu. Sýni L2 var tekið af slíkri mottu við 65°C og sýni L3 úr vökva á sama stað (mynd 4). Sýrustigið mældist 8.5-9. Enn neðar í læknum, þar sem hitastigið

mældist um 41-43°C voru hvítar mottudræsur sýnilegar undir yfirborðinu. Sýni L4 var tekið af þessum gróðri og L5 af vökva (mynd 5).

3.1.2 Suðurhlíðar Kröflu (SH)

Suðurhlíðar Kröflu einkennast af gufuaugum og brennisteinsútfellingum sem mynda víða gulleita fláka. Sýrustigið er afar lágt þarna eða pH 1-2. Sýni voru tekin úr brennisteinsríkum gufuaugum við og ofan við um 69°C hita og reynt að ná sæmilega rakri leðju sem kynni að hafa skapað þolanlegar aðstæður lífs (mynd 6).



Mynd 6. Sýni voru tekin úr brennisteinsgufuaugum í Suðurhlíðum í Kröflu (SH1).

3.1.3 Hvítur lækur – afrennsli frá kæliturnum (HL)

Hvítur lækur er annað manngert fyrirbæri á Kröflusvæðinu (mynd 7). Þessi lækur er afrennsli frá kæliturnum í Kröflu. Vatnið frá kæliturnunum er að uppistöðu þétt gufa, þéttivatn, og því mjög efnasnautt (uppl. frá Magnúsi Ólafssyni jarðfræðingi). Hitastigið í læknum var um 44°C og sýrustig pH 5. Vökvasýni var tekið úr þessum læk (mynd 8).



Mynd 7. Hvítur lækur við Kröflu. Yfirlitsmynd



Mynd 8. Vökvasýni var tekið úr hvítum læk við 44°C .

3.1.4 Víti (V)

Víti er vatn í stórum sprengigíg 2-3 km norðan við Orkuverið í Kröflu (mynd 9). Vatnið þarna er mjög súrt eða um pH 2. Hverirnir við Víti þóttu þó áhugaverðari og voru tekin nokkur sýni úr þeim.



Mynd 9.
Hverasvæðið við
Víti. Yfirlitsmynd.

Sýni voru tekin úr hvítleitum hver við Víti þar sem hitastig mældist 63,5°C og sýrustig pH 3-3,5. (mynd 10). Sýni V1 var tekið af hvítri yfirborðsskán í hvernum en sýni V2 af vökvanum. Sýni V3 var tekið úr svartri yfirborðsbrák úr rennsli frá öðrum nálægum hver þar sem hitastigið var um 60°C en sýrustigið pH 2-3 (mynd 11). Að lokum var eitt sýni (V4) svo tekið af grænni yfirborðsskán jarðvegs, - þörungaskán (mynd 10). Þarna var hitastigið aðeins um 18°C, en sýrustigið mjög lágt og líklegt að *Cyanidium* þörungurinn, sem sést víða á súrum hverjarðvegi sé þarna á ferð.



Mynd 10. Sýni (V1) var tekið af yfirborðsskán og af vökva (V2) úr þessum hvíta, súra hver við Víti.



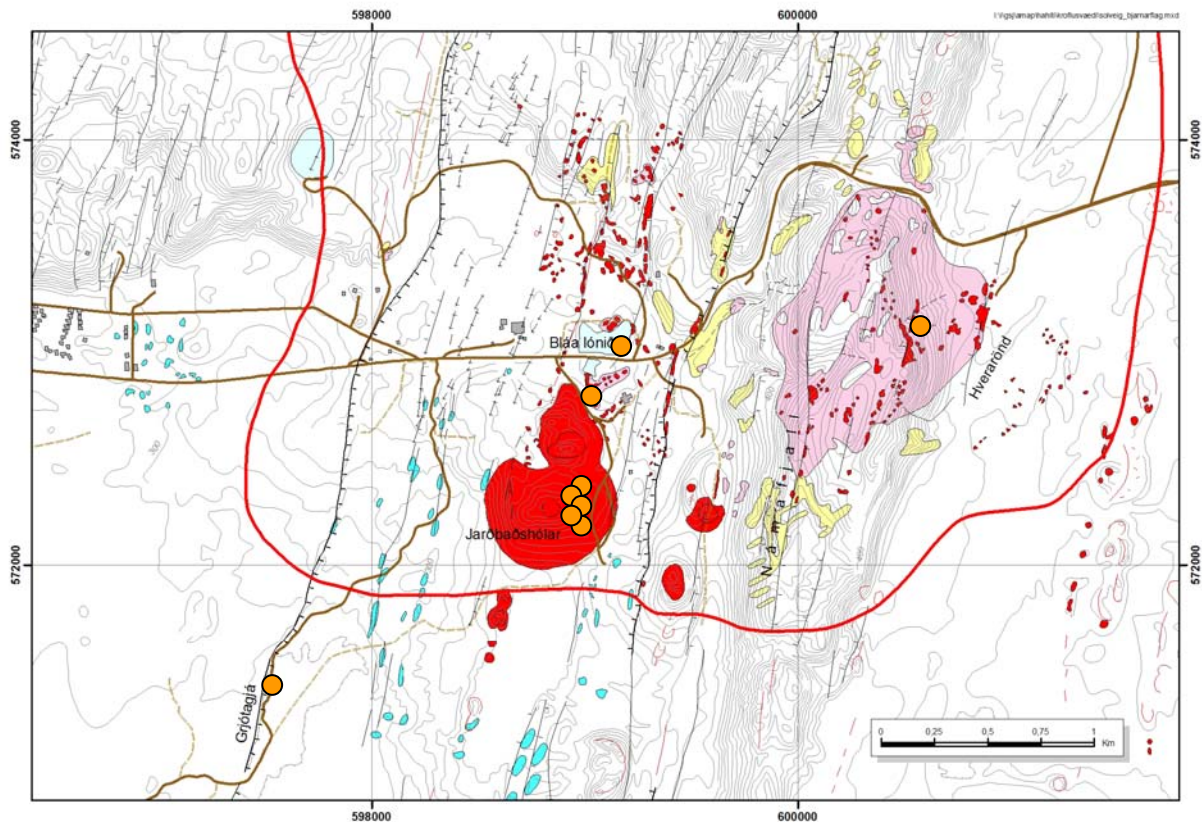
Mynd 11. Sýni (V3) var tekið af svartri yfirborðsbrák úr þessum hver við Víti.



Mynd 12. Sýni (V4) var tekið af grænleitri þörungaskán á yfirborði á súrum jarðvegi við Víti.

3.2 Sýnataka við Námafjall og Bjarnarflag

Sýnatökustaðir á svæðinu við Námafjall og Bjarnarflag eru merktir inn á kortið á mynd 13. Helstu sýnatökustaðirnir voru úr Hverum (Hverarönd), Bláa lóninu, brennisteinsflagi sunnan Bláa lónsins, Jarðbaðshólum og Grjótagjá. Jarðbaðshólar þóttu sérlega áhugaverðir þar sem tiltölulega lágt hitastig og herra sýrustig en gengur og gerist á svæðinu og mikill raki einkennir þá. Þessar aðstæður eru vænlegar til lífs og þótti því fýslegt að taka þar nokkur sýni. Af þessu svæði vantar þó enn sýni úr brennisteinsþúfum við Námafjall sem verður að bíða heildarúttektar og lokaskýrslu árið 2009.



Mynd 13. Sýnatökustaðir á svæðinu við Námafjall og Bjarnarflag. Flest sýni voru tekin í Jarðbaðshólum. (Kort frá ÍSOR)

Sýnin sem voru tekin á sýnatökusvæðunum við Kröflu og Námafjall voru fjölbreytt að gerð, þ.e. vökvasýni, lífmassasýni og jarðvegssýni. Þau voru einnig fjölbreytt hvað varðar hitastig og sýrustig.

3.2.1 Hverir (HV)

Neðan Námafjalls, rétt við þjóðveginn austur um Mývatnsöræfi, er stórt háhitasvæði, sem heitir Hverir eða Hverarönd. Svæðið er allt, eins og Námafjall, ummyndað af jarðhita, kísil, gipsi og brennisteinsúrfellingum og einkennist mjög af vatnsríkum, bullandi leirhverum. Svæðið hefur mikið aðdráttarafl fyrir ferðamenn og hefur tréstígum verið komið fyrir víðsvegar í öryggisskyni. Sýni var tekið úr leðju úr hver á svæðinu og réð aðgengið vali hversins (mynd 14). Hitastigið var hátt eða 90-93°C og sýrustig lágt eða pH 3.



Mynd 14.
Hverir (Hverarönd).
Bullandi vatnsríkir
leirhverir eru ein-
kennandi fyrir
hverasvæðið.

3.2.2 Bjarnarflag lón

Lónið í Bjarnarflagi er myndað úr affalli frá skiljustöðinni (mynd 15). Innrennslið er í NA horni lónsins og síðan rennur úr því ofan í opna sprungu vestanmegin. Lónið naut talsverðra vinsælda sem baðstaður um árabíl og þótti minna um margt á Bláa lónið á Reykjanesi sem er myndað á svipaðan hátt. Meginmunurinn liggur þó í mismunandi seltu þessara lóna. Mývetningar opnuðu baðstað ofan við Jarðbaðshóla fyrir nokkrum árum og hefur neðra lónið því mun minna aðdráttarafl nú. Sýni var tekið úr vatninu í lóninu í Bjarnarflagi. Hitastigið mældist 32°C þar sem sýnið var tekið og sýrustig pH 5.



Mynd 15. Vökvasýni var tekið úr lóninu í Bjarnarflagi. Hitastigið mældist um 32°C.

3.2.3 Brennisteinsflag

Þegar lagt er af stað eftir afleggjaranum að Jarðböðunum í Mývatnssveit sjást gulleitir flákar, eða brennisteinsflag neðan vegar. Tvö sýni voru tekin neðan vegarins, annars vegar yfirborðssýni af útfellingum (B2) við 43,5°C og pH 2 (mynd 16) og hins vegar af gulum brennisteinsútfellingum (B3) á u.þ.b. 10cm dýpi þar sem hitastigið var um 72°C og pH 2 (mynd 16).



Mynd 16. Sýni B2 var tekið af útfellingum á yfirborði og sýni B3 af jarðvegi (brennisteinsútfellingum) á um. 10cm dýpi.

3.2.4 Jarðbaðshólar

Jarðbaðshólar eru sunnan og suðvestan við Bjarnarflag. Jarðbaðshólar eru úr gjalli og leitar gufan upp úr sprungum upp í gljúpt gjallið (mynd 17). Svona fyrirbæri sjást víðar á Íslandi, t.d. á Námafjallssvæðinu (Rauðaborg), í Leirhnjúki, Fremrinámum og Eldvörpum á Reykjanesi (allt gjallhólar) og einnig við efstu uppvörpin í Laugahrauni (gljúpt hraun). Svona fyrirbæri finnast líka erlendis t.d. í Kenya (Magnús Ólafsson, munnl. uppl.).



Mynd 17.
Frá Jarðbaðshólum.
Gufstrókar líða upp úr jarðveginum.

Sýni JB1-JB6 voru tekin víðs vegar af yfirborði þar sem gufan virtist stíga upp. Öll þessi sýni voru jarðvegssýni, nema JB4 sem var tekið af lífmassa. Sýni JB1 var tekið þar sem hitastigið mældist um 56°C og pH 5-6 (mynd 18).



Mynd 18. Sýnatökustaður JB1 í Jarðbaðshólum.

Sýni JB 2 var tekið af jarðvegi umhverfis gufuauga þar sem hitastigið var á bilinu 60-84°C (mynd 16). Sýni JB3 var tekið af jarðvegi við 83.3°C og pH 5-6 (mynd 19). Sýni JB4 var tekið af þörungaskán við gufuauga þar sem hitastigið var á bilinu 40-55°C (mynd 20). Sýni JB5 var tekið af jarðvegi við gufuauga þar sem hitastig mældist á bilinu 35-55°C (mynd 21). Þarna var þörungaskán sýnileg og mikill raki. Sýrustigið á JB5 mældist pH 4-5. Sýni JB6 var tekið við gufuauga ofarlega í hlið þar sem hitastigið mældist 71.7°C og pH 5 (mynd 22).



Mynd 16. Sýni JB2 var tekið af jarðvegi við 60-84°C



Mynd 17. Sýni JB3 var tekið úr jarðvegi við gufuuppstreymi í Jarðbaðshólum



Mynd 18. Sýni JB4 var af grænni þörungaskán við gufuauga í Jarðbaðshólum. Hitastigið var um 40°C.



Mynd 19. Sýni JB5 var tekið af jarðvegi við gufuauga.



Mynd 20. Sýni JB6 var tekið við gufuauga ofarlega í hlíð í Jarðbaðshólum.

3.2.5 Grjótagjá og Stóragjá

Nær allir hverir á Kröflusvæðinu eru leirhverir. Frá þeim renna ekki heitir lækir nema neðanjarðar og er Grjótagjá frægt dæmi um slíkan læk. Segja má að Grjótagjá nái inn í Bjarnarflag. Stóragjá er hins vegar langt frá Bjarnarflagi. Gömlu baðstaðirnir í Grjótagjá eru talsvert sunnan við Bjarnarflag. Það þótti áhugavert að kanna lífríki Grjótagjár og var tekið sýni úr henni. Einnig var tekið sýni til frumefnamælinga úr Stórugjá.

3.3 Mælingar

Tafla 1 gefur yfirlit um sýnatökustaði, hitastigs- sýrustigs- og leiðnimælingar á vökvasýnum, gerðir sýna og athugasemdir. Eins og sjá má mældist hitastig á sýnatökustöðunum á bilinu 28°C – 93°C og sýrustig pH 1-9.

TAFLA 1. Sýni, sýnatökustaðir og helstu mælingar.

Staður	Sýni	Númer	T°C	pH	Leiðni µS/ cm ²	Gerð sýnis	Nánar um sýni
Lækur-1	L1	9	46-54	8,5-9		Vökvi	Síað 0,45µ. Frumefnamæling.
Lækur-2	L2	10	65°C	8,5-9		Lífmassi	Grá gróðurhula við lækjarbakka.
Lækur-3	L3	8	65	8,5-9	5800	Vökvi	Síað 0,45µ. Frumefnamæling.
Lækur-4	L4	2	41	8-9		Lífmassi	Hvít motta undir yfirborði.
Lækur-5	L5	3	43	8-9	3000	Vökvi	Frumefnamæling.
Suðurhlíðar	SH1	11	69,5	2-4		Jarðvegur	Brennisteinsleðja.
Hvítur lækur	HVL	1	44	5	3900	Vökvi	Spunnið . Frumefnamæling.
Víti-1	V1	12	63°C	2-3		Yfirborðsskán	Hvítur pollur – hvít skán.
Víti-2	V2	4	63	3-3,5	3300	Vökvi	Spunnið. Frumefnamæling.
Víti-3	V3	13	60	2-3		Yfirborðsskán	Grábrúnn lækur, svört brák
Víti-4	V4	14	18	2-3		Jarðvegur	Græn yfirborðsskán, - Cyanidium?
Hverir-1	HV	15	90-93	3		Leðja	Grár bullandi hver.
Bjarnarflag lón	BFL	5	32	5	2100	Vökvi	Frumefnamæling.
Brennisteinsflag	B2	16	43,5	2		Útfellingar	Brennisteinsjarðvegur.
Brennisteinsflag	B3	17	71,9	2		Jarðvegur	Brennisteinsjarðvegur 10cm dýpi.
Jarðbaðshólar 1	JB1	18	56	5-6		Jarðvegur	Við gufuop.
Jarðbaðshólar 2	JB2	19	60-84	5-6		Jarðvegur	Við gufuop.
Jarðbaðshólar 3	JB3	20	83,3	5-6		Jarðvegur	Við gufuop.
Jarðbaðshólar 4	JB4	21	40-55	5-6		Lífmassi	Græn skán við gufuauga.
Jarðbaðshólar 5	JB5	22	35-55,5	4-5		Jarðvegur	Þörungaskán, mikill raki.
Jarðbaðshólar 6	JB6	23	71,7	5		Jarðvegur	Gufuauga ofarlega í hlið.
Gtjóttagjá	GG	6	46-47	6,5-7	3600	Vökvi	Frumefnamæling.
Stóragjá	SG	7	28	6-6,5	450	Vökvi	Frumefnamæling.

Frumefnamælingar (ICP-MS) voru gerðar á vökvasýnunum. Gildin í töflu 2 sýna niðurstöður þessara mælinga. Það skal tekið fram að þessar niðurstöður gefa aðeins gróft mat á frumefnasamsetningu í óþekktu sýni og að gera má ráð fyrir skekkju upp á +/- 25%.

TAFLA 2. Frumefnamælingar í vökvasýnum úr Lækjum við Kröflu, Bláa lónið í Bjarnarflagi, Grjótagjá og Stórugjá.

Frum-efni	HVL Sýni 1	L5 Sýni 2	V2 Sýni 4	BFL Sýni 5	GG Sýni 6	SG Sýni 7	L3 Sýni 8	Krani Kontrol
Li	2.3 µg/l	29.7 µg/l	1.0 µg/l	29.3 µg/l	3.8 µg/l	2.1 µg/l	50.7 µg/l	32.3 ng/l
Be	<28 ng/l	<28 ng/l	260.0 ng/l	<28 ng/l	<28 ng/l	<5.6 ng/l	<56 ng/l	<2.8 ng/l
B	24.7 µg/l	180.0 µg/l	6.3 µg/l	383.3 µg/l	94.0 µg/l	42.7 µg/l	303.3 µg/l	2.1 µg/l
C	16.3 mg/l	13.0 mg/l	13.7 mg/l	10.3 mg/l	12.0 mg/l	7.8 mg/l	21.7 mg/l	3.9 mg/l
Na	4.9 mg/l	38.3 mg/l	1.2 mg/l	24.7 mg/l	19.0 mg/l	15.7 mg/l	66.0 mg/l	3.7 mg/l
Mg	1.2 mg/l	780.0 µg/l	9.0 mg/l	436.7 µg/l	780.0 µg/l	1.5 mg/l	406.7 µg/l	273.3 µg/l
Al	7.9 µg/l	186.7 µg/l	8.3 mg/l	553.3 µg/l	12.0 µg/l	2.1 µg/l	353.3 µg/l	3.6 µg/l
P	30.7 µg/l	22.7 µg/l	73.0 µg/l	20.0 µg/l	21.7 µg/l	4.0 µg/l	34.3 µg/l	6.1 µg/l
S	15.0 mg/l	28.3 mg/l	90.0 mg/l	32.7 mg/l	10.0 mg/l	10.0 mg/l	38.3 mg/l	0.95 mg/l
Cl	1.9 mg/l	10.0 mg/l	736.7 µg/l	10.3 mg/l	4.5 mg/l	2.7 mg/l	16.3 mg/l	3.2 mg/l
K	416.7 µg/l	3.5 mg/l	186.7 µg/l	3.2 mg/l	1.4 mg/l	1.0 mg/l	6.1 mg/l	89.3 µg/l
Sc	1.6 µg/l	8.9 µg/l	10.0 µg/l	15.0 µg/l	4.1 µg/l	2.3 µg/l	12.3 µg/l	673.3 ng/l
Ti	1.1 µg/l	5.6 µg/l	24.0 µg/l	9.6 µg/l	3.2 µg/l	1.8 µg/l	8.2 µg/l	430.0 ng/l
V	3.2 µg/l	1.8 µg/l	99.3 µg/l	1.3 µg/l	136.7 ng/l	8.5 µg/l	523.3 ng/l	5.0 µg/l
Mn	400.0 ng/l	2.2 µg/l	540.0 µg/l	7.6 µg/l	8.9 µg/l	1.0 µg/l	5.0 µg/l	826.7 ng/l
Fe	213.3 µg/l	200.0 µg/l	44.0 mg/l	473.3 µg/l	180.0 µg/l	34.7 µg/l	380.0 µg/l	123.3 µg/l
Co	17.3 ng/l	17.7 ng/l	6.1 µg/l	52.3 ng/l	17.0 ng/l	36.7 ng/l	26.7 ng/l	16.0 ng/l
Ni	1.1 µg/l	666.7 ng/l	28.7 µg/l	626.7 ng/l	616.7 ng/l	246.7 ng/l	1.2 µg/l	106.7 ng/l
Cu	543.3 ng/l	616.7 ng/l	3.6 µg/l	520.0 ng/l	540.0 ng/l	256.7 ng/l	1.0 µg/l	120.0 ng/l
Zn	6.2 µg/l	4.8 µg/l	47.3 µg/l	8.1 µg/l	4.0 µg/l	1.3 µg/l	4.9 µg/l	95.7 µg/l
Ga	170.0 ng/l	1.0 µg/l	1.5 µg/l	2.3 µg/l	203.3 ng/l	133.3 ng/l	2.1 µg/l	123.3 ng/l
Ge	656.7 ng/l	8.5 µg/l	4.6 µg/l	10.0 µg/l	5.2 µg/l	1.9 µg/l	14.0 µg/l	36.3 µg/l
As	2.3 µg/l	5.1 µg/l	633.3 ng/l	29.3 µg/l	526.7 ng/l	290.0 ng/l	11.3 µg/l	42.3 ng/l
Se	1.6 µg/l	1.7 µg/l	1.8 µg/l	1.5 µg/l	1.2 µg/l	566.7 ng/l	2.8 µg/l	233.3 ng/l
Br	13.7 µg/l	59.0 µg/l	7.3 µg/l	77.3 µg/l	32.7 µg/l	20.0 µg/l	99.3 µg/l	18.3 µg/l
Rb	9.3 µg/l	45.7 µg/l	1.0 µg/l	28.3 µg/l	7.6 µg/l	3.9 µg/l	83.0 µg/l	203.3 ng/l
Sr	4.6 µg/l	10.0 µg/l	40.3 µg/l	5.2 µg/l	9.1 µg/l	17.7 µg/l	15.0 µg/l	1.7 µg/l
Y	<3 ng/l	7.3 ng/l	12.7 µg/l	41.7 ng/l	7.9 ng/l	3.9 ng/l	18.3 ng/l	0.4 ng/l
Zr	7.0 ng/l	<6.2 ng/l	293.3 ng/l	13.0 ng/l	<6.2 ng/l	7.2 ng/l	14.0 ng/l	<0.62 ng/l
Nb	<3.6 ng/l	<3.6 ng/l	19.7 ng/l	<3.6 ng/l	<3.6 ng/l	<0.73 ng/l	<7.3 ng/l	<0.36 ng/l
Mo	41.0 ng/l	826.7 ng/l	72.0 ng/l	820.0 ng/l	72.7 ng/l	393.3 ng/l	1.8 µg/l	34.7 µg/l
Ru	<19 ng/l	<19 ng/l	<19 ng/l	<19 ng/l	<1.9 ng/l	<3.9 ng/l	<39 ng/l	<1.9 ng/l
Rh	<3.5 ng/l	<3.5 ng/l	<3.5 ng/l	<3.5 ng/l	<3.5 ng/l	<0.71 ng/l	<7.1 ng/l	<0.35 ng/l
Pd	<16 ng/l	<16 ng/l	370.0 ng/l	<16 ng/l	<16 ng/l	14.0 ng/l	<33 ng/l	3.4 ng/l
Ag	<8.4 ng/l	13.0 ng/l	10.7 ng/l	69.3 ng/l	<10 ng/l	4.3 ng/l	20.7 ng/l	1.4 ng/l
Cd	<37 ng/l	<37 ng/l	<37 ng/l	<37 ng/l	<3.7 ng/l	<7.5 ng/l	<75 ng/l	7.3 ng/l
Sn	72.7 ng/l	52.3 ng/l	57.0 ng/l	55.0 ng/l	45.3 ng/l	12.7 ng/l	135.7 ng/l	5.5 ng/l
Sb	15.0 ng/l	166.7 ng/l	15.5 ng/l	270.0 ng/l	<12 ng/l	8.5 ng/l	220.0 ng/l	3.2 ng/l
Te	<210 ng/l	<210 ng/l	<210 ng/l	<210 ng/l	<210 ng/l	<43 ng/l	<430 ng/l	<21 ng/l
I	1.9 µg/l	3.4 µg/l	1.8 µg/l	4.0 µg/l	2.0 µg/l	1.1 µg/l	5.8 µg/l	283.3 ng/l
Cs	143.3 ng/l	2.3 µg/l	54.7 ng/l	943.3 ng/l	54.7 ng/l	19.0 ng/l	4.2 µg/l	1.4 ng/l
Ba	3.9 µg/l	4.5 µg/l	46.3 µg/l	8.9 µg/l	5.5 µg/l	4.9 µg/l	5.9 µg/l	433.3 ng/l
La	74.3 ng/l	440.0 ng/l	4.6 µg/l	110.0 ng/l	96.3 ng/l	37.7 ng/l	129.7 ng/l	9.8 ng/l
Ce	<3.4 ng/l	6.7 ng/l	12.0 µg/l	34.0 ng/l	11.3 ng/l	<0.68 ng/l	14.3 ng/l	<0.34 ng/l
Pr	<2.8 ng/l	<2.8 ng/l	2.0 µg/l	5.1 ng/l	<2.8 ng/l	<0.56 ng/l	<5.6 ng/l	<0.28 ng/l
Nd	<16 ng/l	<16 ng/l	10.3 µg/l	28.3 ng/l	<16 ng/l	<3.3 ng/l	<33 ng/l	<1.6 ng/l
Sm	<20 ng/l	<20 ng/l	3.4 µg/l	<20 ng/l	<20 ng/l	<4 ng/l	<40 ng/l	<2 ng/l
Eu	<5.6 ng/l	<5.6 ng/l	1.3 µg/l	<5.6 ng/l	<5.6 ng/l	<1.1 ng/l	<11 ng/l	<0.56 ng/l
Gd	<18 ng/l	<18 ng/l	4.1 µg/l	<18 ng/l	<18 ng/l	<3.6 ng/l	<36 ng/l	<1.8 ng/l
Tb	<3 ng/l	<3 ng/l	703.3 ng/l	<3 ng/l	<3 ng/l	<0.6 ng/l	<6 ng/l	<0.3 ng/l
Dy	<12 ng/l	<12 ng/l	4.4 µg/l	<12 ng/l	<12 ng/l	<2.5 ng/l	<25 ng/l	<1.2 ng/l
Ho	<3.2 ng/l	<3.2 ng/l	880.0 ng/l	<3.2 ng/l	<3.2 ng/l	<0.64 ng/l	<6.4 ng/l	<0.32 ng/l
Er	<9.6 ng/l	<9.6 ng/l	2.5 µg/l	<9.6 ng/l	<9.6 ng/l	<1.9 ng/l	<19 ng/l	<0.96 ng/l
Tm	<3.2 ng/l	<3.2 ng/l	346.7 ng/l	<3.2 ng/l	<3.2 ng/l	<0.64 ng/l	<6.4 ng/l	<0.32 ng/l
Yb	<14 ng/l	<14 ng/l	2.2 µg/l	<14 ng/l	<14 ng/l	<2.9 ng/l	<29 ng/l	<1.4 ng/l
Lu	<3.3 ng/l	<3.3 ng/l	336.7 ng/l	<3.3 ng/l	<3.3 ng/l	<0.67 ng/l	<6.7 ng/l	<0.33 ng/l
Hf	<12 ng/l	<12 ng/l	36.3 ng/l	<12 ng/l	<12 ng/l	<2.4 ng/l	<24 ng/l	<1.2 ng/l
Ta	<3.8 ng/l	<3.8 ng/l	7.6 ng/l	<3.8 ng/l	<3.8 ng/l	<0.76 ng/l	<7.6 ng/l	<0.38 ng/l
W	81.0 ng/l	1.8 µg/l	48.7 µg/l	1.1 µg/l	610.0 ng/l	346.7 ng/l	3.4 µg/l	20.3 ng/l
Re	<10 ng/l	<10 ng/l	<10 ng/l	<10 ng/l	<10 ng/l	<2.1 ng/l	<21 ng/l	<1 ng/l
Os	<22 ng/l	<22 ng/l	<22 ng/l	<22 ng/l	<22 ng/l	<4.4 ng/l	<44 ng/l	<2.2 ng/l
Ir	<7.9 ng/l	<7.9 ng/l	<7.9 ng/l	<7.9 ng/l	<7.9 ng/l	<1.5 ng/l	<15 ng/l	<0.79 ng/l
Pt	43 ng/l	<21 ng/l	105.3 ng/l	<21 ng/l	<21 ng/l	<4.2 ng/l	<42 ng/l	<2.1 ng/l
Au	<13 ng/l	26.3 ng/l	<13 ng/l	32.3 ng/l	<13 ng/l	<2.7 ng/l	<27 ng/l	<1.3 ng/l
Hg	133.3 ng/l	120.0 ng/l	143.3 ng/l	183.3 ng/l	69.7 ng/l	14.3 ng/l	193.3 ng/l	12.2 ng/l
Tl	<6.5 ng/l	13.3 ng/l	<6.5 ng/l	9.6 ng/l	<6.5 ng/l	<1.3 ng/l	35.0 ng/l	<0.65 ng/l
Pb	326.7 ng/l	103.3 ng/l	1.0 µg/l	99.0 ng/l	140.0 ng/l	9.7 ng/l	136.7 ng/l	39.0 ng/l
Bi	<5.9 ng/l	<5.9 ng/l	<5.9 ng/l	<5.9 ng/l	<5.9 ng/l	<1.1 ng/l	<11 ng/l	<0.59 ng/l
Th	<5 ng/l	<5 ng/l	20.0 ng/l	<5 ng/l	<5 ng/l	<1 ng/l	<10 ng/l	<0.5 ng/l
U	<5.1 ng/l	<5.1 ng/l	60.3 ng/l	<5.1 ng/l	<5.1 ng/l	80.7 ng/l	<10 ng/l	11.0 ng/l
Si	5.0 mg/l	38.0 mg/l	36.3 mg/l	70.0 mg/l	19.0 mg/l	10.0 mg/l	61.7 mg/l	2.1 mg/l
Ca	1.2 mg/l	1.3 mg/l	6.7 mg/l	0.48 mg/l	1.7 mg/l	3.5 mg/l	1.4 mg/l	0.8 mg/l

Gildin í töflunni eru meðaltalsgildi þriggja endurtekinnna mælinga. Niðurstöður eru sýndar í mismunandi einingum sem eru auðkenndar með lit (mg/l, µg/l, ng/l). Kranavatn frá Matís var notað til samanburðar. (Ni í Hvítum læk (HVL) er sýnt sem oxíð; í Hver við Viti (V2) er Cl sýnt sem hydrið, Ca, Se, Pd og Ta sem oxíð og Hf sem dimer. Í Bláu lóni (BFL) eru Ca og Ni sýnd sem oxíð og Zr sem dimer. Í Grjótagjá (GG) er Ni sýnt sem oxíð. Í Stórugjá (SG) eru Ni og Eu sýnd sem oxíð. Í læk (L5) eru Mg, Ni og Zr sýnd sem hydrið, oxíð og dimer; Ni & Se í kranavatni eru sýnd sem oxíð.)

Efnin sem mælast í umtalsverðu magni ($\geq 1,0$ mg/l) í flestum sýnum eru C, Na, Mg, S, Cl, K, Fe, Si og Ca. Frumefnainnihald sýnisins sem tekið var í hver við Víti er aðeins frábrugðið hinum að því leyti að þar mælist aðeins minna af Cl og K, en talsvert meira af Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er og Yb.

3.4 Niðurstöður erfðagreininga á sýnum

Tafla 3 sýnir árangur úr DNA einangrun og kjarnsýrumögnun á 16S tegundagreiningandi geni raunbaktería og fornbaktería úr DNA úr sýnunum. Eins og sjá má gekk tiltölulega vel að einangra DNA úr sýnunum eða í 16 tilvikum af 23. PCR á 16S geni raunbaktería gekk einnig vel en einungis tókst að magna samsvarandi gen fornbaktería úr einu sýni, sem kom á óvart. (Áætlað er að fá nýja fornbakteríuvísa og endurtaka í heildarsamantekt 2009).

TAFLA 3. Árangur af DNA einangrun og PCR úr sýnum sem tekin voru í verkefninu.

Sýnatökustaður	Sýni númer	DNA einangrun	PCR raunbakteríur	PCR fornbakteríur
Lækur-1	L1	-	-	-
Lækur-2	L2	+	+	-
Lækur-3	L3	+	+	-
Lækur-4	L4	+	+	-
Lækur-5	L5	+	+	-
Suðurhliðar Kröflu	SH	+	+	-
Hvítur lækur	HL	+	+	-
Víti-1	V1	-	-	-
Víti-2	V2	+	+	-
Víti-3	V3	-	-	-
Víti-4	V4	-	-	-
Hverir-1	HV1	+	+	-
Bjarnarflag lón	BFL	+	+	-
Brennisteinsflag	B2	-	-	-
Brennisteinsflag	B3	+	+	-
Jarðbaðshólar	JB1	+	+	+
Jarðbaðshólar	JB2	+	-	-
Jarðbaðshólar	JB3	+	-	-
Jarðbaðshólar	JB4	+	-	-
Jarðbaðshólar	JB5	+	+	-
Jarðbaðshólar	JB6	-	-	-
Grjótagjá	GG	+	+	-
Stóragjá	SG	-	-	-

Táknin + og – tákna hvort árangur náðist eða ekki í viðkomandi verkþætti.

Hér á eftir má sjá niðurstöður og umfjöllun úr erfðagreiningum fyrir einstök sýni í töflum og texta.

Ríkjandi tegundir í gróðurrottunni í sýni L2 í töflu 4 eru af ættkvíslum *Hydrogenobacter* og *Nitrospira*. *Hydrogenobacter* flokkast til fylkingar *Aquificae* sem eru algengar frumbjarga efnatillífandi súlfíð- og vetnisoxandi bakteríur í hverum. *Nitrospira* tegundin fannst fyrst í súlfíðríkum hver í Grænsdal (Skírnisdóttir et.al. 2000), en tegundir af ættkvísl *Nitrospira* geta oxað nítrít og tekið upp ólífrænt kolefni á formi HCO_3^- og CO_2 . Skyldleikaprósenta sýnir að ríkjandi tegundir í hvernum eru þekktar ($\geq 98\%$ skyldleiki). Þar sést einnig að nokkrar tegundir eru nýjar af nálinni: L2-2-1 sem er aðeins 94% skyld *Hydrogenobacter subterranea*, L2-8-2 sem er aðeins 96% skyld *Thermus* tegund B70, L2-1-1 sem er fjarskyld (88%) öllu því sem finnst í Genbank en flokkast að öllum líkindum til fylkingar *Firmicutes* fylkingarinnar og að lokum L2-9-1 sem sýnir mestan skyldleika við tegund úr Yellowstone, en greinist enn ekki til fylkingar.

TAFLA 4: Lækur 2 (L2). Grá gróðurrotta úr læk við 65°C, pH 8,5-9

Sýni-fj. ^{a)}	Nánasti ættingi í Genbank ^{b)}	Fundarstaður ^{c)}	Skyldl. ^{d)}	Fylking	Heimild
L2-2-1	<i>Hydrogenobacter subterranea</i> (AB026268)	Jarðhitavatn Japan	94%	<i>Aquificae</i>	Takai 2001
L2-5-19	<i>Hydrogenobacter</i> sp. (AM259501)	Kamchaka Geysir	100%	<i>Aquificae</i>	Ferrera 2006
L2-6-3	Unidentified <i>Thermus</i> OPB19 (AF027019)	Yellowstone	99%	<i>Deinoc-Thermus</i>	Hughenoltz 1998
L2-7-2	<i>Thermus</i> sp. SRI-96 (AF255590)	Sulfíðhver Ísland	98%	<i>Deinoc-Thermus</i>	Skírnisd. 2000
L2-8-2	<i>Thermus</i> sp. B70-05 (AF407742)	Ástralía basin	96%	<i>Deinoc-Thermus</i>	Spanevello 2001
L2-3-17	<i>Nitrospira</i> sp. SRI-9 (AF255603)	Súlfíðhver Ísland	98%	<i>Nitrospirae</i>	Skírnisd 2000
L2-4-2	Uncult. bact. GAB-B04 (AB183860)	Subsurface Australia	98%	<i>Nitrospirae</i>	Kimura 2005
L2-1-1	Uncult. bact. clone NAK1-b2 (DQ867051)	Gas svæði í Japan	88%	<i>Firmicutes?</i>	Mochimaru 2007
L2-9-1	Candidate division OPI (AF027045)	Yellowstone	97%	Oákvarðað	Hughenholz 1998

^{a)}Sýni-númer innan sýnis-fjöldi innan sýnis ^{b)}Númer nánasta ættingja í Genbank er gefið innan sviga. ^{c)}Fundarstaður nánasta ættingja. ^{d)}Skyldleiki (%) við nánasta ættingja. Ríkjandi tegundir í sýninu eru feitletraðar.

Í vökvasýni úr læk (L3) í töflu 5 sést að *Thermocrinis* tegund er ríkjandi, en þessi tegund fannst m.a. í rannsókn á lífríki í borholum í Reykjavík og nágrenni (Marteinsson o.fl. 2001) og einnig í súlfíðríkum hver í Grænsdal (Skírnisdóttir 2000). Tegundin flokkast til frumbjarga *Aquificae*. Aðrar tegundir eru “fámennar” nema ein *Thermus* tegund (L3-3-8). Önnur *Thermus* tegund (L3-8-1) vekur athygli þar sem hún er mjög fjarskyld (92%) nánasta ættingja.

TAFLA 5: Lækur 3 (L3). Vökvasýni úr læk við 65°C, pH 8,5-9

Sýni-fj. ^{a)}	Nánasti ættingi í Genbank ^{b)}	Fundarstaður ^{c)}	Skyldl. ^{d)}	Fylking	Heimild
L3-1-1	<i>Hydrogenobacter</i> sp. PA14, (AJ320215)	Hveragerði	98%	<i>Aquificae</i>	Eder 2002
L3-2-44	Uncult <i>Thermocrinis</i> sp. cl (AF361217)	Neðanjarðarhver Ísland	99%	<i>Aquificae</i>	Marteinsson 2001
L3-7-1	<i>Hydrogenobacter</i> sp. GV2-1C3 (AM259501)	Kamchaka	96%	<i>Aquificae</i>	Ferrera 2006
L3-5-1	Unc. bact. cl (Thiomonas sp.) (DQ834045)	Yellowstone	98%	<i>β-Proteobacteria</i>	Korf 2006
L3-6-1	Thiovirga sulfuroxydans (AB118236)	Úrgangsvatn Japan	98%	<i>γ-Proteobacteria</i>	Ito 2004
L3-4-1	Uncult. bact. clone WM4 (DQ133921)	Kalksteinn örveruhula	99%	<i>ε-Proteobacteria</i>	Macalady 2006
L3-3-8	Uncult. bact. clone TCb-37 (DQ791449)	Hawai	99%	<i>Deinoc-Thermus</i>	Gomez-Alvarez 2006
L3-8-1	Unc. <i>Thermus</i> sp. cl HAuD-UB41 (AB113592)	Gullnáma í Japan	92%	<i>Deinoc-Thermus</i>	Hirayama 2005

^{a)}Sýni-númer innan sýnis-fjöldi innan sýnis ^{b)}Númer nánasta ættingja í Genbank er gefið innan sviga. ^{c)}Fundarstaður nánasta ættingja. ^{d)}Skyldleiki (%) við nánasta ættingja. Feitletrun: Ríkjandi tegund í sýninu.

Sýni L4 og L5 (töflur 6 og 7) voru tekin nánast á sama stað í læknum, annað úr hvíttri gróðurmottu rétt undir yfirborði (L4) og hitt af vökva (L5). Eins og töflurnar hér að neðan bera með sér eru hlutföll einstakra tegunda í þessum sýnum fremur jöfn og sýna því ekki dæmigerða dreifingu fyrir jaðarvistkerfi. Þarna er hitastigið ívið lægra og því fleiri tegundir sem ná sér á strik. Í sýni L4 flokkast allar tegundirnar til fylkingar *Proteobakteria* og allflestar (62%) til *β-Proteobakteria*, en innan þess hóps eru m.a frumbjarga brennisteinsoxandi bakteríutegundir eins og *Thiomonas*. Í sýni L5 eru *β-Proteobakteriur* einnig stærsti hópurinn, en þar finnast þó einnig aðrar fylkingar (tafla 7). Það má því segja að *β-Proteobakteriur* séu ríkjandi hópur í læknum þegar neðar dregur og hitastig lækkar.

TAFLA 6: Lækur 4 (L4). Hvít gróðurmotta úr læk við 41°C, pH 8-9

Sýni-fj. ^{a)}	Nánasti ættingi í Genbank ^{b)}	Fundarstaður ^{c)}	Skyldl. ^{d)}	Fylking	Heimild
L4-6-2	Uncult bact. clone NGA22 (EF613940)	Jarðvegur Korea	96%	<i>α-Proteobakteria</i>	Kim MC 2007
L4-7-3	Magnetospirillum gryphiswalde (AM085146)	Jarðvegur	97%	<i>α-Proteobakteria</i>	Ulrich 2005
L4-12-1	Unc bact cl DUNssu580 (AY724030)	Skógarjarðvegur	91%	<i>α-Proteobakteria</i>	Roesch 2005
L4-1-3	Uncult bact. clone dr56. (AY540777)	Gullnáma S-Afrika.	99%	<i>β-Proteobakteria</i>	Trimarco 2004
L4-3-5	Unc bact. cl (Thiomonas) (DQ834045)	Yellowstone	99%	<i>β-Proteobakteria</i>	Korf 2006
L4-4-2	Unc b-proteobact. cl nsc046 (DQ211401)	Úrgangsvatn ræktunart. Kína	88%	<i>β-Proteobakteria</i>?	Niu 2006
L4-5-3	Unc Comamonadaceae bact. cl (EF562037)	Djúpvatn (deep fracture water)	93%	<i>β-Proteobakteria</i>	Sahl 2007
L4-8-2	Thiomonas sp. WJ68 (AY455805)	Námuvatn Grikkland	98%	<i>β-Proteobakteria</i>	Johnson 2005
L4-9-2	Uncult bact. clone SK680 (DQ834040)	Yellowstone	93%	<i>β-Proteobakteria</i>	Korf 2006
L4-11-1	Uncult bact. clone (AY762626)	Gullnáma S-Afrika	95%	<i>β-Proteobakteria</i>	Milleson 2004
L4-2-3	Uncult g-proteob. cl (DQ211463)	Úrgangsvatn ræktunart. Kína	93%	<i>γ-Proteobakteria</i>	Niu 2006
L4-10-1	Uncult bact. clone B63 (AF407725)	Ástralía basin	94%	<i>γ-Proteobakteria</i>	Spanavello 2001
L4-13-1	Thermomonas dokdonensis (EF100698)	Jarðvegur Korea	97%	<i>γ-Proteobakteria</i>	Yoon 2006
ALLS 29					

^{a)}Sýni-númer innan sýnis-fjölda innan sýnis ^{b)}Númer nánasta ættingja í Genbank er gefið innan sviga. ^{c)}Fundarstaður nánasta ættingja. ^{d)}Skyldleiki (%) við nánasta ættingja. Feitlettrun: Ríkjandi hópur í sýninu eru *β-Proteobakteriur*.

TAFLA 7: Lækur 5 (L5). Vökvasýni við 43°C, pH 8-9

Sýni-fj. ^{a)}	Nánasti ættingi í Genbank ^{b)}	Fundarstaður ^{c)}	Skyldl. ^{d)}	Fylking	Heimild
L5-4-1	Unc alpha proteobact (EF220532)	Suðurskautslandið	100%	<i>α-Proteobakteria</i>	Yergeau 2007
L5-8-2	Uncultured bacterium clone (EU284355)	Setlög Australia	98%	<i>α-proteobakteria</i>	Tucker 2007
L5-3-1	Unc. bacterium clone (DQ088733)	Jarðvatn S-Afrika	99%	<i>β-Proteobakteria</i>	Lin 2006
L5-5-7	Thiobacillus plumbophilus (AJ316618)	Úraníumnáma	98%	<i>β-Proteobakteria</i>	Drobner 1992
L5-7-2	Unc. beta proteobacterium (AY861846)	Yellowstone	99%	<i>β-Proteobakteria</i>	Spear 2005
L5-9-7	Thiomonas sp. ML2-91 (DQ146142)	Brennisteinshver Taiwan	99%	<i>β-Proteobakteria</i>	Liao 2005
L5-10-9	Unc. bacterium cl SK685 (DQ834045)	Yellowstone	99%	<i>β-Proteobakteria</i>	Korf 2006
L5-11-4	Uncultured bacterium clone (DQ088740)	Úrgangsvatn gullnáma S-Afrika	99%	<i>γ-Proteobakteria</i>	Lin 2006
L5-12-2	Unc. bacterium clone B63 (AF407725)	Ástralía Basin brúnir þræðir 52°C	96%	<i>γ-Proteobakteria</i>	Spanavello 2001
L5-15-1	Unc. Xanthomonadales bact (EF074620)	Jarðvegur USA	97%	<i>γ-Proteobakteria</i>	Jangid 2006
L5-1-1	Unc Y- proteobact cl IRB14 (DQ069190)	Djúpt í jörðu	99%	<i>ε-Proteobakteria</i>	Mislowack 2005
L5-6-6	Unc Hydrogenobaculum sp. (DQ834127)	Yellowstone	99%	<i>Aquificae</i>	Korf 2006
L5-16-1	Unc. Thermocrinis sp. (AF361217)	Neðanjarðarhver Ísland	99%	<i>Aquificae</i>	Marteinsson 2001
L5-13-1	Bacteroidetes bacterium K6-27 (EF612322)	Zink og blýnáma Klondyke	95%	<i>Bacteroidetes</i>	Mendez 2007
L5-17-1	Thermoanaerobact islandicum (EF088330)	Hver Ísland	99%	<i>Firmicutes</i>	Orlygsson 2006
L5-2-1	Saprolegnia ferax (AY534144)	Hvatberi heilkjörnungs		<i>Eukaryota</i>	Grayburn 2004
ALLS 47					

^{a)}Sýni-númer innan sýnis-fjölda innan sýnis ^{b)}Númer nánasta ættingja í Genbank er gefið innan sviga. ^{c)}Fundarstaður nánasta ættingja. ^{d)}Skyldleiki (%) við nánasta ættingja. Feitlettrun: Ríkjandi hópur í sýninu eru tegundir innan *β-Proteobakteria*.

Í jarðvegssýni sem tekið var við gufuauga í Suðurhlíðum Kröflu og innihélt mikið af brennisteini fundust einungis tvær tegundir (tafla 8). Lífsskilyrði þarna eru erfið þar sem hitastigið er tiltölulega hátt, sýrustigið lágt og lítill raki á sýnatökustaðnum og því fáar tegundir sem þrífast. Ríkjandi tegund í sýninu er frumbjarga *Hydrogenobaculum* tegund, en tegundir af þessari ættkvísl eru tiltölulega algengar í hverum á Íslandi. Þessi tegund oxar brennisteinsvetni. Hins vegar finnst þarna einnig frumbjarga *Thiobacillus caldus* af fylkingu γ -*Proteobacteria* sem getur oxað brennistein.

TAFLA 8: Suðurhlíðar Kröflu (SH). Brennisteinsríkt jarðvegssýni við 70°C, pH 2-4

Sýni-fj. ^{a)}	Nánasti ættingi í Genbank ^{b)}	Fundarstaður ^{c)}	Skyldl. ^{d)}	Fylking	Heimild
SH1-1-2	<i>Thiobacillus caldus</i> (AB023405)	Brennisteinsoxandi - Japan	98%	γ - <i>Proteobacteria</i>	Kamimura 1999
SH1-2-46	Unc. <i>Hydrogenobaculum</i> sp. clone SK875 Yellowstone		99%	<i>Aquificae</i>	Korf 2006.
ALLS 48					

^{a)}Sýni-númer innan sýnis-fjöldi innan sýnis ^{b)}Númer nánasta ættingja í Genbank er gefið innan sviga. ^{c)}Fundarstaður nánasta ættingja. ^{d)}Skyldleiki (%) við nánasta ættingja. Feitletrun: Ríkjandi tegund í sýninu.

Örveruflóra úr gróðurþekju í hvítum læk sem rennur frá kæliturenum við Kröflu var afar einsleit (tafla 9). Þrátt fyrir að aðstæður hvað hitastig og sýrustig varðar séu tiltölulega mildar ber tegundasamsetningin með sér einkenni jaðarvistkerfis með eina ríkjandi tegund. Að öllum líkindum er því annað álag í vistkerfinu. Ekki er ljóst í hverju það felst, en líklegt er að styrkur einhverra efna sé þarna of mikill eða of lítill. Gildi í töflu 2 um frumefnamælingar í vökvasýni úr þessum læk sýna þó engin sérstök frávik miðað við önnur sýni. Miklar kísilútfellingar gætu þó hugsanlega verið skýring hér.

TAFLA 9: Hvítur lækur (HL). Gróðurþekja við 44°C, pH 5.

Sýni-fj. ^{a)}	Nánasti ættingi í Genbank ^{b)}	Fundarstaður ^{c)}	Skyldl. ^{d)}	Fylking	Heimild
HL-1-5	<i>Thiomonas</i> sp. (DQ146142)	Hver Taiwan	98%	β - <i>Proteobacteria</i>	Liao 2005
HL-2-38	Unc bact (<i>Thiomonas</i>) (DQ834045)	Yellowstone	99%	β-<i>Proteobacteria</i>	Korf 2006
HL-3-1	Unc β -proteobact. (AY861897)	Yellowstone	99%	β - <i>Proteobacteria</i>	Spear 2005
HL-4-1	Unc <i>Hydrogenobac</i> sp.(DQ834127)	Yellowstone	98%	<i>Aquificae</i>	Korf 2006
ALLS 45					

^{a)}Sýni-númer innan sýnis-fjöldi innan sýnis ^{b)}Númer nánasta ættingja í Genbank er gefið innan sviga. ^{c)}Fundarstaður nánasta ættingja. ^{d)}Skyldleiki (%) við nánasta ættingja. Feitletrun: Ríkjandi tegund í sýninu.

Í sýni V2 sem var vökvasýni sem tekið var við 63°C og pH 3 úr hvítum hver við Víti finnst aðeins ein tegund sem er frumbjarga *Hydrogenobaculum* tegund (tafla 10). Þessi tegund hefur fundist víðar í hverum hér á landi, m.a. á Torfajökulssvæðinu. Hún hefur einnig fundist erlendis, s.s. í Yellowstone þjóðgarðinum og víðar.

TAFLA 10: Hver við Víti (V2) 63°C og pH 3.

Sýni-fj. ^{a)}	Nánasti ættingi í Genbank ^{b)}	Fundarstaður ^{c)}	Skyldl. ^{d)}	Fylking	Heimild
V2-1-65	<i>Hydrogenobaculum</i> sp. NOR3L3B (AJ320225)	Yellowstone	99%	<i>Aquificae</i>	Eder 2002
ALLS 65					

^{a)}Sýni-númer innan sýnis-fjöldi innan sýnis ^{b)}Númer nánasta ættingja í Genbank er gefið innan sviga. ^{c)}Fundarstaður nánasta ættingja. ^{d)}Skyldleiki (%) við nánasta ættingja. Feitletrun táknar ríkjandi tegund í sýninu.

Sýnið úr hver af svæðinu við Hveri (Hverarönd) kemur nokkuð á óvart (tafla 11). Þetta sýni sem var tekið við 90-93°C og pH 3 inniheldur bæði tegundir sem búast mætti við í slíku sýni og einnig tegundir sem eru augljóslega aðkomutegundir sem hafa borist í hverinn eða í sýnið. A.m.k. verður að taka niðurstöðum úr erfðagreiningum á þessu sýni með fyrirvara og þá sérstaklega tegundum HV1-3-8 og HV1-6-2. Engin ein tegund virðist ríkjandi í sýninu sem staðfestir enn frekar að um mengun sé að ræða. Endurtaka þarf sýnatöku og greiningu úr þessum hver.

TAFLA 11: Hverir (HV). Leðjusýni við 90-93°C, pH 3

Sýni-fj. ^{a)}	Nánasti ættingi í Genbank ^{b)}	Fundarstaður ^{c)}	Skyldl. ^{d)}	Fylking	Heimild
HV1-1-6	Unc. alpha proteobacterium (EF705282)	Ferromangan setlag	89%	<i>α-Proteobacteria</i>	Stein 2001
HV1-5-2	Uncultured bacterium clone (AY425764)	Hawai eldfallaaska (deposits)	98%	<i>α-Proteobacteria</i>	Gomez-Alvarez 2007
HV1-8-4	Alpha-proteobacteria. (DQ493433)	Jarðvegsbakteria	99%	<i>α-Proteobacteria</i>	Farris 2007
HV1-10-1	Uncultured bacterium clone (EF507928)	Mengað grunnvatn	99%	<i>α-Proteobacteria</i>	Michaelsen 2007
HV1-12-1	Bradyrhizobiaceae bacterium (DQ490361)	Hawai eldfallaaska (deposits)	99%	<i>α-Proteobacteria</i>	Gomez-Alvarez 2006
HV1-4-2	Unc. delta proteobacterium (EU043534)	Jarðvegur	99%	<i>δ-Proteobacteria</i>	Tarlera 2007
(HV1-6-2	Uncultured bacterium (AY963465)	Skógarjarðvegur	97%	<i>γ-Proteobacteria</i>	Chan 2006
HV1-2-7	Uncultured bacterium (AB185008)	Úrgangsvatn afnitrún	98%	<i>Bacteroidetes</i>	Hoshino 2005
(HV1-3-8	Uncultured bacterium clone (DQ404722)	Menguð setlög	100%	<i>Bacteroidetes</i>	Abulencia 2006
HV1-11-1	Bacterium Ellin337 (AF498719)	Jarðvegur	98%	<i>Acidobacteria</i>	Sait 2002
ALLS 34					

^{a)}Sýni-númer innan sýnis-fjöldi innan sýnis ^{b)}Númer nánasta ættingja í Genbank er gefið innan sviga. ^{c)}Fundarstaður nánasta ættingja. ^{d)}Skyldleiki (%) við nánasta ættingja. Tegundir sem teljast vafasamar í þessu sýni eru sýndar í sviga.

Erfðagreining á vökvasýni úr lóninu í Bjarnarflagi sést í töflu 12. Þarna er frumbjarga brennisteinsoxandi *Thiomonas* tegund greinilega ríkjandi eða í 40 tilvikum af 44. Aðrar tegundir finnast í örfáum eintökum í sýninu. Hér hefði mátt búast við fjölbreyttari örveruflóru miðað við „hóflegt“ hitastig og pH. Í læknum er efnaríkt vatn frá skiljustöðinni við Kröflu (Magnús Ólafsson munnl. uppl.) af sama uppruna og í „Hvítum læk“ sem lýst var hér að framan. E.t.v. hefur hátt kísilmagn þarna (70mg/L ± 25%) vaxtarhemjandi áhrif á aðrar örverutegundir, en dæmi eru um slíkt í Bláa lóninu á Reykjanesi.

TAFLA 12: Bjarnarflag lón (BFL). Vatnssýni við 32°C og pH 5

Sýni-fj. ^{a)}	Nánasti ættingi í Genbank ^{b)}	Fundarstaður ^{c)}	Skyldl. ^{d)}	Fylking	Heimild
BFL-1-2	Unc Rhodobacter sp. cl GASP-0KA (EU043529)	Jarðvegur	98%	<i>α-Proteobacteria</i>	Tarlera 2007
BFL-2-40	Thiomonas sp. ML2-91 (DQ146142)	Hver Taiwan	98%	<i>β-Proteobacteria</i>	Liao 2005
BFL-3-1	Uncult bact cl SK685 (Thiomonas sp.) (DQ834045)	Yellowstone	99%	<i>β-Proteobacteria</i>	Korf 2006
BFL-4-1	Gamma proteobact. BDA453 (AB304258)	Hver Japan	99%	<i>γ-Proteobacteria</i>	Mori 2007
ALLS 44					

^{a)}Sýni-númer innan sýnis-fjöldi innan sýnis ^{b)}Númer nánasta ættingja í Genbank er gefið innan sviga. ^{c)}Fundarstaður nánasta ættingja. ^{d)}Skyldleiki (%) við nánasta ættingja. Feitletrun: Ríkjandi tegund í sýninu.

Bakteriur af ættkvísl *Verrumicrobia* eru ríkjandi í sýni B3 (tafla 13) sem tekið var úr brennisteinsflagi skammt frá vegamótunum við Bláa lónið. Líklega er um methan oxandi tegund að ræða. Ýmsar tegundir *Actinobacteria* eru einnig afar áberandi í sýninu, en þær eru algengar í súrum hverum. Aðrar tegundir eru í mun færri eintökum eins og sjá má í töflu 13. Þó má benda á heilkjarna þörunginn *Cyanidium* sem var sýnilegur á yfirborði og greinist í sýninu.

TAFLA 13: Brennisteinsflag B3 jarðvegssýni 71,9°C, pH 1-2.

Sýni-fj ^{a)}	Nánasti ættingi í Genbank ^{b)}	fundarstaður ^{c)}	Skyldl. ^{d)}	Fylking	Heimild
B3-12-1	Alpha proteobacterium (AY162043)	Jarðvegur	99%	<i>α-Proteobacteria</i>	Zengler 2002
B3-1-3	Uncultured bacterium (EU133124)	Jarðvegur Oklahoma	91%	<i>Actinobacteria</i>	Elshahed 2007
B3-2-7	Uncultured bacterium (AY805539)	Hitakær örv. S-Africa	98%	<i>Actinobacteria</i>	Rautenbach 2004
B3-4-3	Acidimicrobium ferrooxidans (EF621760)	Súrt umhverfi	100%	<i>Actinobacteria</i>	Johnson 2007
B3-5-2	Uncultured bacterium clone (EF613018)	Súrt námuaffall Kína	97%	<i>Actinobacteria</i>	Cao 2007
B3-6-3	Uncultured bacterium clone (DQ661631)	Ræktunartankur Kína	98%	<i>Actinobacteria</i>	Liu 2006
B3-7-1	Unc. actinobacterium clone (EF075832)	Jarðvegur USA	97%	<i>Actinobacteria</i>	Jangid 2006
B3-9-1	Unc. Acidimicrobium sp. (DQ179032)	Yellowstone	99%	<i>Actinobacteria</i>	Korf 2006
B3-14-1	Uncultured bacterium SK960 (DQ834212)	Yellowstone	99%	<i>Actinobacteria</i>	Korf 2006
B3-3-19	Verrucomicrobia bacterium (AM900834)	Nýja-Sjáland	97%	Verrucomicrobia	Dunfield 2007
B3-11-1	Uncultured bacterium clone (DQ223213)	Grunnvatn Kalahari	89%	<i>Firmicutes?</i>	Gihring 2005
B3-10-1	Cyanidium caldarium (X52985)	Súr jarðvegur yfirborð	99%	<i>Rhodophyta Eukarya</i>	
ALLS 43					

^{a)}Sýni-númer innan sýnis-fjöldi innan sýnis ^{b)}Númer nánasta ættingja í Genbank er gefið innan sviga. ^{c)}Fundarstaður nánasta ættingja. ^{d)}Skyldleiki (%) við nánasta ættingja.

Erfðagreiningar og ræktunartilraunir voru gerðar á nokkrum sýnum sem tekin voru úr jarðvegi og lífmassa í Jarðbaðshólum. Í sýni JB1 fundust 25 tegundir raunbaktería (tafla 14). Í sýninu fannst ríkjandi tegund *Chlorogloopsis* sem er frumbjarga blágræn baktería. Þessi tegund er algeng í hverum á Íslandi og finnst einnig í fjöruhverum (Hobel o.fl. 2005). Í sýninu fundust einnig tegundir af fylkingu *Acidobacteria* sem eru algengar í súrum jarðvegi.

TAFLA 14: Jarðbaðshólar 1 (JB1) Raunbakteríur í jarðvegi við 56°C og pH 5-6.

Sýni-fj ^{a)}	Nánasti ættingi í Genbank ^{b)}	fundarstaður ^{c)}	Skyldl. ^{d)}	Fylking	Heimild
JB1-19-1	Uncult d-proteobact. (Y699389)	Fjöruhver Ísland	99%	<i>δ-Proteobacteria</i>	Hobel 2005
JB1-3-1	Meiothermus sp. (AM229107)	Pappírsiðnaður Finnland	99%	<i>Deinoc-Thermus</i>	Ekman 2007
JB1-7-3	Unc. Meiothermus sp. (AY699383)	Fjöruhver Ísland	100%	<i>Deinoc-Thermus</i>	Hobel 2005
JB1-9-2	Uncult bact. cl(DQ791447)	Kilaua Hawai	83%	<i>Firmicutes?</i>	Gomez-Alvarez 2006
JB1-10-2	Uncult bact. cl (DQ906884)	Jarðvegur (subsurface) Oman	95%	<i>Firmicutes</i>	Kim 2006
JB1-18-1	Unc bact. cl 5B-10 (DQ906812)	Jarðvegur (subsurface) Oman	92%	<i>Firmicutes ?</i>	Kim 2006
JB1-25-1	Unc eub.isolate (AB075780)	Basiskur hver Japan	98%	<i>Firmicutes/Acidob?</i>	Nakagawa 2002
JB1-1-1	Unc. Bacteroidetes cl (EU246826)	Pocillopora meandrina Hawai	90%	<i>Bacteroidetes</i>	Speck 2007
JB1-24-1	Unc Bacteroidetes (AB113613)	Jarðhitavatn gullnáma	98%	<i>Bacteroidetes</i>	Hirayama 2005
JB1-21-1	Unc bact. cl EP2-23 (EF491481)	Djúpsjávursetlag A-Kyrrahaf	91%	<i>Acidobacteria</i>	Dang 2007
JB1-22-1	Uncult bact. cl EP2-23 (EF491481)	Djúpsjávursetlag A-Kyrrahaf	91%	<i>Acidobacteria</i>	Dang 2007
JB1-8-2	Unc. Acidobacteria cl (AM749762)	Heit jörð N-Sjáland	94%	<i>Acidobacteria</i>	Stott 2007
JB1-11-2	Unc. Acidobacterium (EF072690)	Jarðvegsbaktería	98%	<i>Acidobacteria</i>	Jangid 2006
JB1-14-2	Unc. bact. cl TCb-29 (DQ791443)	Kilaua Hawai	98%	<i>Acidobacteria</i>	Gomez-Alvarez 2006
JB1-2-1	Uncult bact. clone (EU135001)	Jarðvegur	91%	<i>Actinobacteria?</i>	Elshahed 2007
JB1-17-1	Unc bact. cl FFCH9382(EU132454)	Jarðvegur	92%	<i>Actinobacteria</i>	Elshahed 2007
JB1-20-1	Unc bact. cl 12B-16 (DQ906914)	Jarðvegur (subsurface) Oman	97%	<i>Actinobacteria?</i>	Kim 2006
JB1-2-1	Uncult bact FFCH18122 (EU135001)	Jarðvegur	91%	<i>Actinobacteria?</i>	Elshahed 2007
JB1-4-2	Unc. bact. cl 12B-16 (DQ906914)	Jarðvegur (subsurface) Oman	90%	<i>Gemmatimonadetes</i>	Kim 2006
JB1-6-2	Uncult bact. cl 10D-3 (DQ906856)	Jarðvegur (subsurface) Oman	92%	<i>Gemmatimonadetes</i>	Kim 2006
JB1-5-8	Uncult bact. cl (DQ490014)	Yellowstone	97%	<i>Chlorobi</i>	Navarro 2006
JB1-12-3	Uncult bact. cl 9S34 (DQ664131)	Olíumengað setlag	84%	<i>Actinomycetes?</i>	Allen 2007
JB1-13-4	Unc. Thermomicrobium sp.(AF361210)	Hver Ísland	98%	<i>Chloroflexi</i>	Marteinsson 2001
JB1-15-12	Unc.Chlorogloopsis sp(AY699370)	Fjöruhver Ísland	99%	Cyanobacteria	Hobel 2005
JB1-16-2	Uncult bact. cl PK350 (AY555810)	Hver Thailand	97%	<i>Nitrospira?</i>	Kanokratana 2004
ALLS 58					

^{a)}Sýni-númer innan sýnis-fjöldi innan sýnis ^{b)}Númer nánasta ættingja í Genbank er gefið innan sviga. ^{c)}Fundarstaður nánasta ættingja. ^{d)}Skyldleiki (%) við nánasta ættingja. Feitlettrun: Ríkjandi tegundir í sýninu.

Í JB1 fundust einnig fornbakteríur (tafla 15) en þetta virtist vera eina sýnið sem innihélt fornbakteríur. Þær tegundir sem fundust eru nokkuð dæmigerðar fyrir fornbakteríur í jarðhitaumhverfi af fylkingu *Chrenarchaeota*. Nánustu ættingjar fundust annars vegar í eldfjallagarði á Hawai og hins vegar í hver í Austurríki. Þessar tegundir hafa þó aldrei verið ræktaðar. Þekkt er að tegundir sem heyra undir *Chrenarchaeota* geta afoxað brennistein (Boyd o.fl. 2007).

TAFLA 15: Jarðbaðshólar 1 (JB1). Fornbakteríur í jarðvegi við 56°C og pH 5-6.

Sýni-fj. ^{a)}	Nánasti ættingi í Genbank ^{b)}	Fundarstaður ^{c)}	Skyldl. ^{d)}	Fylking	Heimild
JB1-1-39	Uncultured archaeon cl one (DQ791500)	Kilaua Hawai	97%	<i>Chrenarchaeota</i>	Gomez-Alvarez 2006
JB1-2-6	Uncultured crenarchaeon (AM039534)	Geislavirkur hver Austurríki	99%	<i>Chrenarchaeota</i>	Weidler 2007
ALLS	45				

^{a)}Sýni-númer innan sýnis-fjöldi innan sýnis ^{b)}Númer nánasta ættingja í Genbank er gefið innan sviga. ^{c)}Fundarstaður nánasta ættingja. ^{d)}Skyldleiki (%) við nánasta ættingja. Feitletrun: Ríkjandi tegund í sýninu.

Í jarðvegssýni JB5 í Jarðbaðshólum fundust 15 tegundir með nokkuð jafna dreifingu (tafla 16). Hitastig sýnisins var fremur lágt. Sýnið einkennist fyrst og fremst af *Thermus* tegundum og blágrænum bakteríum (*Cyanobacteria*).

TAFLA 16: Jarðbaðshólar 5 (JB5) jarðvegur, - mikill raki. 35-55°C, pH 4-5.

Sýni-fj. ^{a)}	Nánasti ættingi í Genbank ^{b)}	Fundarstaður ^{c)}	Skyldl. ^{d)}	Fylking	Heimild
JB5-13-1	Unc d-proteobact cl (EF073895)	Jarðvegsbaktería	98%	δ-Proteobaktería	Jangid 2006
JB5-2-1	Uncult bact.cl (AB237680)	Grunnvatn Japan	92%	γ-Proteobaktería	Shimizu 2006
JB5-8-5	Unc Meiothermus sp. (AY699383)	Fjörhverv Ísland	100%	Deinoc-Thermus	Hobel 2005
JB5-15-1	Unc Meiothermus sp. (AY699383)	Fjörhverv Ísland	97%	Deinoc-Thermus	Hobel 2005
JB5-7-1	Meiothermus sp. (AM229107)	Pappírsiðnaður Finnland	99%	Deinoc-Thermus	Ekman 2007
JB5-6-4	Uncult bact. cl 35-26 (DQ833486)	Setlag Kína	87%	Chlorofl/Firmic?	Qu 2006
JB5-4-6	Roseiflexus sp. RS-1 (CP000686)	Vatnshverv Ísland	88%	Chloroflexus	Copeland 2007
JB5-5-2	Cf. Leptolyngbya sp. (DQ431005)	Hverir Grænland	99%	Cyanobacteria	Roeselers 2007
JB5-16-1	Microcoleus chthonoplastes (AM709630)	Finnst mjög víða	93%	Cyanobacteria	Marin 2007
JB5-12-1	M. laminosus (DQ431003)	Hverir Grænland	99%	Cyanobacteria	Roeselers 2007
JB5-14-1	Nitrospira moscoviensis (X82558)	Pipeline corrosion	99%	Nitrospira	Ehrich 1995
JB5-3-2	Unc actinobact. cl (EF221451)	Suðurskautslandið jarðvegur	97%	Actinobacteria	Yergeau 2007
JB5-1-1	Uncult bact. cl PK51 (AY555787)	Hver Tailand	98%	PlanctomActino?	Kanokratana 2004
JB5-9-1	Unc Acidobacteria cl (AM749762)	Jarðhiti jarðvegur N-Sjáland	94%	Acidobacteria	Stott 2007
JB5-10-1	Unc Chloroflexi bact cl (EF662680)	Jarðvegur USA	89%	Chloroflexus	Jangid 2007
JB5-11-1	Uncultured bacterium cl (DQ830038)	Jarðvegur USA	88%	Acidobacteria	Upchurch 2006
ALLS	30				

^{a)}Sýni-númer innan sýnis-fjöldi innan sýnis ^{b)}Númer nánasta ættingja í Genbank er gefið innan sviga. ^{c)}Fundarstaður nánasta ættingja. ^{d)}Skyldleiki (%) við nánasta ættingja.

Ræktunartilraunir sem gerðar voru á sýnum úr Jarðbaðshólum gáfu mjög einsleita örveruflóru (tafla 17). Í öllum tilvikum var um sömu ættkvísl að ræða og aðeins fundust tvær tegundir á þennan hátt þ.e. *Axoxybacillus flavithermus* og *Anoxybacillus amylolyticus*. Önnur tegundin, *Anoxybacillus amylolyticus* fannst á Suðurskautslandinu og var lýst árið 2006, hin tegundin *Anoxybacillus flavithermus* var einangruð úr jarðvegi. Ástæður þess að svo fáar tegundir finnast með ræktunum eru fyrst og fremst þær að ræktunaraðstæður (æti, hitastig, pH) fela alltaf í sér val. Þannig henta aðstæðurnar vel einhverri ákveðinni tegund meðan aðrar tegundir geta alls ekki nýtt sér þær.

TAFLA 17: Tegundagreiningar á stofnum sem voru einangraðir úr Jarðbaðshólum.

Stofn ¹⁾	Tegund	Fundarstaður	Skyldl.	Fylking	Heimild
JB3-2	Anoxybacillus amylolyticus strain MR3C (AJ618979)	Suðurskautslandið	99%	Firmicutes	Poli 2006
JB3-3	Anoxybacillus amylolyticus strain MR3C (AJ618979)	Suðurskautslandið	99%	Firmicutes	Poli 2006
JB3-7	Anoxybacillus flavithermus strain D (AY672763)	Jarðvegur	99%	Firmicutes	Pikuta 2000
JB3-4	Anoxybacillus flavithermus strain D (AY672763)	Jarðvegur	99%	Firmicutes	Pikuta 2000
JB3-5	Anoxybacillus flavithermus strain D (AY672763)	Jarðvegur	99%	Firmicutes	Pikuta 2000
JB4-10	Anoxybacillus flavithermus strain D (AY672763)	Jarðvegur	99%	Firmicutes	Pikuta 2000
JB4-11	Anoxybacillus flavithermus strain D (AY672763)	Jarðvegur	99%	Firmicutes	Pikuta 2000
JB4-12	Anoxybacillus flavithermus strain D (AY672763)	Jarðvegur	99%	Firmicutes	Pikuta 2000
JB5-14	Anoxybacillus flavithermus strain D (AY672763)	Jarðvegur	99%	Firmicutes	Pikuta 2000
JB5-17	Anoxybacillus flavithermus strain D (AY672763)	Jarðvegur	99%	Firmicutes	Pikuta 2000
JB5-16	Anoxybacillus flavithermus strain D (AY672763)	Jarðvegur	99%	Firmicutes	Pikuta 2000

1) Stofnanúmer gefur til kynna sýnatökustað og númer stofns.

Sýni úr Grjótagjá innihélt að mestu *Proteobakteríur* og þá aðallega β -*Proteobakteríur* (tafla 18). γ -*Proteobakteríur* eiga einnig þó nokkra fulltrúa. Algengasta tegundin (GG-7-18) flokkast til β -*Proteobaktería*. Það vekur athygli að fundarstaður allmargra af “nánustu ættingjum” tegunda í Grjótagjá er í Suður Afríku, ýmist við gullnámur, í borholuvatni eða í Kalahari eyðimörkinni. Skyldleikaprósentan sem greinist í sýninu er há þannig að þarna eru þekktar tegundir á ferð í allflestum tilvikum, en færstar hafa þó verið ræktaðar.

TAFLA 18: Grjótagjá vökvásýni 47°C, pH6,5-7

Sýni-fj. ^{a)}	Nánasti ættingi í Genbank ^{b)}	Fundarstaður ^{c)}	Skyldl. ^{d)}	Fylking	Heimild
GG-3-3	Sulfurihydrogenib kristjanssoni (AM778960)	Hver Ísland	99%	Aquificae	Flores 2007
GG-21-1	Uncult bact. cl. Rhodobact sp. (AB237664)	Jarðvatn N-Japan	98%	α -Proteobaktería	Shimizu 2006
GG-1-2	Unc b-proteob cl (DQ230972)	Jarðvatn Kalahari	100%	β -Proteobaktería	Gihring 2005
GG-2-2	Uncult bact. clone 1-13 (AY548937)	Umhverfissýni Kína	98%	β -Proteobaktería	Luo 2004
GG-6-2	Uncult bact. clone dr56 (AY540777)	S-Afríka gullnáma	99%	β -Proteobaktería	Trimarco 2004
GG-13-1	Uncult bact. clone dr56 (AY540777)	S-Afríka gullnáma	97%	β -Proteobaktería	Trimarco 2004
GG-7-18	Uncult bact. clone DSBAC (AY762626)	S-Afr. Borhola v. gullnámu	98%	β -Proteobaktería	Milleson 2004
GG-16-2	Uncult bact. clone YCC12 (EF205497)	Hver Tibet	96%	β -Proteobaktería	Lau 2007
GG-18-1	Uncult bact. clone DSBACT45 (AY762631)	S-Afr. Borhola v. gullnámu	97%	β -Proteobaktería?	Milleson 2004
GG-4-10	Gamma proteobact. BDA453 (AB304258)	Hver Japan	100%	γ -Proteobaktería	Mori 2007
GG-5-5	Uncult bact. clone MFTT34 (AY796049)	S-Afr. Borhola v. gullnámu	100%	γ -Proteobaktería	Milleson 2004
GG-9-1	Gamma proteobact. BDA453 (AB304258)	Hver Japan	95%	γ -Proteobaktería	Mori 2007
GG-10-1	Methylocaldum sp. E10a (AJ868426)	Jarðvegur Þýskaland	90%	γ -Proteobaktería	Knief 2005
GG-11-1	Silanimonas lenta strain 25-4 (AY557615)	Hver Kína	99%	γ -Proteobaktería	Lee 2005
GG-14-10	Uncult bact. clone MO31 (EU037210)	Örveruþekjái hver á Indlandi	99%	γ -Proteobaktería	Chauhan 2007
GG-19-1	Uncult bact. clone MFTT34 (AY796049)	S-Afr. Borhola v. gullnámu	99%	γ -Proteobaktería	Milleson 2004
GG-8-1	Unc green sulfur bact. clone (AF445702)	Yellowstone	96%	Chlorobi?	Bonheyo 2001

^{a)}Sýni-númer innan sýnis-fjöldi innan sýnis ^{b)}Númer nánasta ættingja í Genbank er gefið innan sviga. ^{c)}Fundarstaður nánasta ættingja. ^{d)}Skyldleiki (%) við nánasta ættingja.

3.5 Flokkun og skyldleikatré

Tafla 19 sýnir samantekt á niðurstöðum erfðagreininga. Þar eru tegundir flokkaðar saman í fylkingar og hlutföll fylkinga sýnd. Ríkjandi fylking innan hvers sýnis er sýnd með skyggðum reit. Í tveimur tilvikum falla nánast allar greiningar innan einnar fylkingar í sýninu, annars vegar *Aquificae* með 100% hlutfall í sýni úr Víti (V2) og hins vegar β -*Proteobakteriur* með 98% hlutfall í sýni úr hvítum læk (HVL). Af 13 sýnum alls er ríkjandi tegund innan β -*Proteobaktería* í 5 sýnum, *Aquificae* í 4 sýnum og *Actinobacteria* í 2 sýnum. Innan annarra fylkinga eru aðeins örfáar tegundir. Í töflunni eru β -*Proteobakteriur* sýndar sem fylking en þær eru þó í raun einn flokkur af fimm innan fylkingar *Proteobaktería*. Þar sem *Proteobakteríu* fylkingin hýsir afar sundurleitan og stóran hóp baktería var ákveðið að gefa þeim sama flokkunarstig og fylking hefur. Sama á við um γ -*Proteobakteriur*. Þess ber að geta að fylkingalistinn hér að neðan er ekki tæmandi fyrir bakteríufylkingar, en sýnir einungis þær sem fundust í Kröflu og Námafjalli.

TAFLA 19. Yfirlit um dreifingu og hlutföll greindra bakteríutegunda í sýnum á fylkingar.

SÝNI GERÐ T°C pH	L2 LM 65 8,5-9	L3 V 65 8,5-9	L4 LM 41 8,5-9	L5 V 43 8,5-9	SH JV 69,5 2-4	HL V 44 5	V2 V 63 2-3	HV L 90 3	BL V 32 5	BF JV 43 1-2	JB1 JV 56 5-6	JB5 JV 35-55 4-5	GG V 47 6,5-7	ALLS
FYLKING	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	#
<i>Aquificae</i>	42	79		15	96	2	100						4	7
α - <i>Proteobacteria</i>			21	7			41	5	2				2	6
β - <i>Proteobacteria</i>		2	62	55	98			93	2				46	7
γ - <i>Proteobacteria</i>		2	17	15	4			6	2			3	46	8
δ - <i>Proteobacteria</i>								6			2	3		3
ϵ - <i>Proteobacteria</i>		2		2										2
<i>Deinococcus- Thermus</i>	14	15									7	30		4
<i>Nitrospirae</i>	40										3	3		3
<i>Firmicutes</i>	2			2					2	10				4
<i>Bacteroidetes</i>				2				44			3			3
<i>Actinobacteria</i>										48	7	10		3
<i>Acidobacteria</i>							3				14	3		3
<i>Verrumicrobia</i>										44				1
<i>Gemmatimoad.</i>											7			1
<i>Chlorobi</i>											14		2	2
<i>Actinomycetes</i>											5			1
<i>Chloroflexi</i>											7	32		2
<i>Cyanobacteria</i>											21	13		2
Annað	2			2					2			3		4
Alls	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

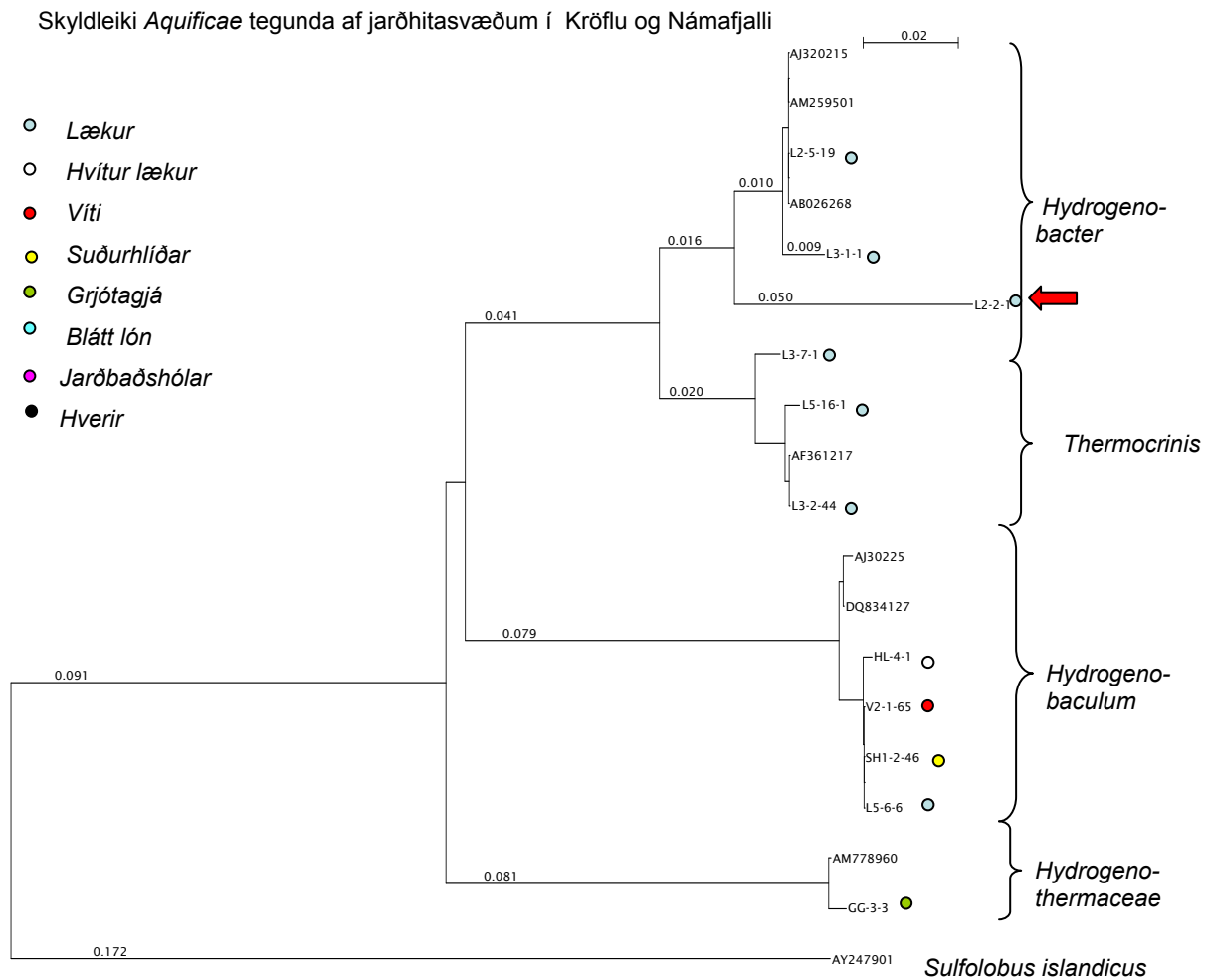
Skýringar á töflu: Efst eru upplýsingar um sýnin (númer, gerð, T°C og pH). L2-5 Lækur; SH Suðurhlíðar Kröflu; HL Hvítur lækur; V2 Víti; HV Hverir (Hverarönd); BL Blátt lón; BF Brennisteinsflög; JB1-5 Jarðaðshólar; GG Grjótagjá. Tölugildin í töflunni sýna hlutföll fylkinga innan hvers sýnis. Skyggðir reitir sýna ríkjandi fylkingu í hverju sýni. Tegundir voru flokkaðar í “annað” ef þær fundust aðeins í einu sýni. Aftasti dálkur töflunnar sýnir í hve mörgum sýnum viðkomandi fylking fannst.

Með samröðun á 16S rRNA genaröðum tegunda innan algengustu fylkinga úr mismunandi sýnum var hægt að reikna út innbyrðis skyldleika og búa til skyldleikatré. Á þann hátt mátti greina hvort og að hvaða marki tegundir innan sömu fylkingar innan rannsóknasvæðisins í heild væru skyldar. Hér á eftir eru slík skyldleikatré sýnd fyrir fylkingar *Aquificae*, β -*Proteobaktería* og γ -*Proteobaktería*. Einnig er sýnt tré yfir tegundir innan fylkingar *Deinococcus-Thermus* sem fundust í sýnunum þar sem *Thermus* er einkennisættkvísl í hverum.

3.5.1 Aquificae

Tegundir sem flokkast til efnatillífandi *Aquificae* eru frumframleiðendur og mynda því undirstöðu í viðkomandi vistkerfi. Þessar tegundir nýta sér vetni, brennisteinsvetni og koldíoxíð til orku- og kolefnisöflunar.

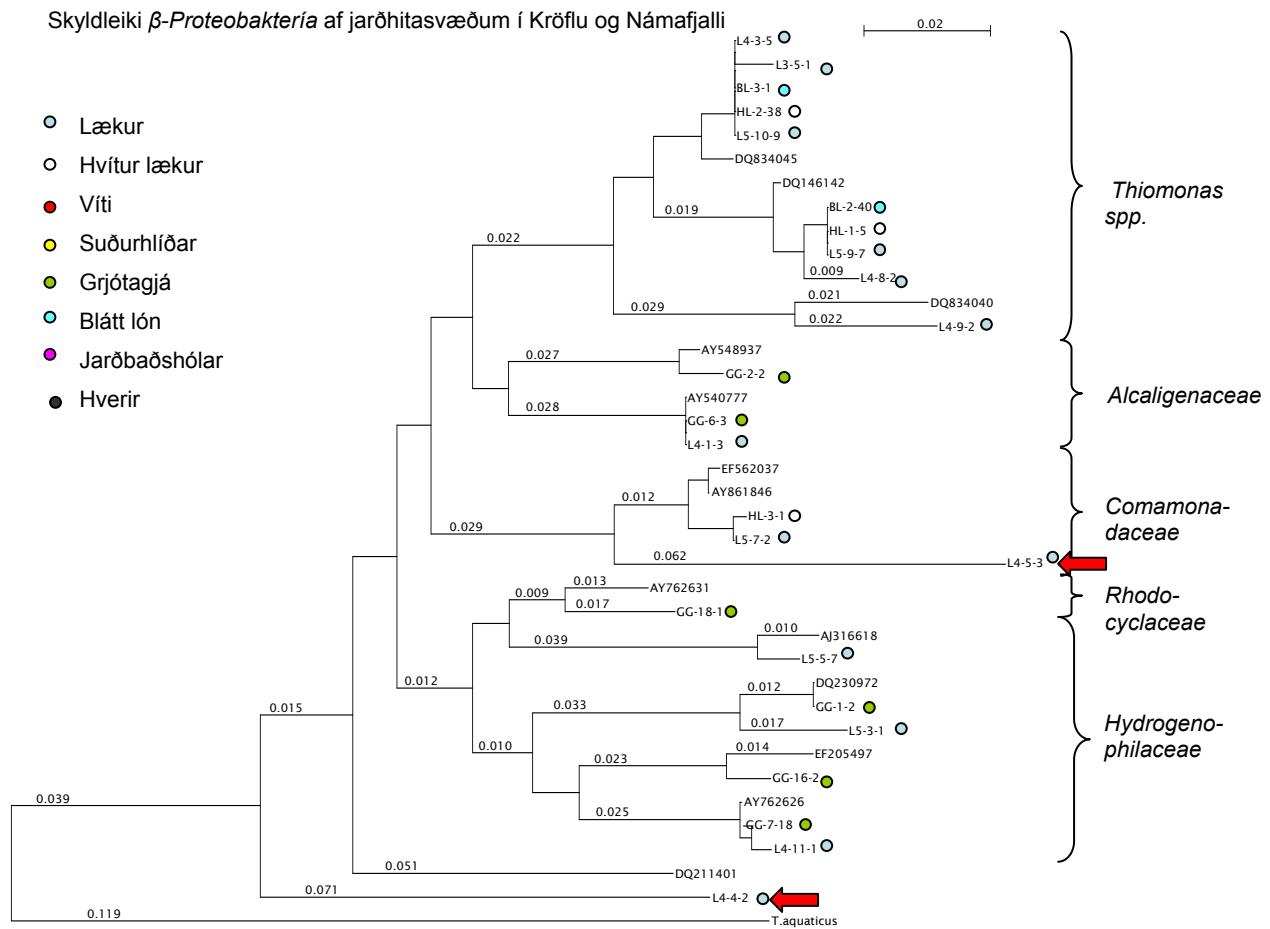
Mynd 21 sýnir skyldleikatré yfir *Aquificae* tegundir sem fundust í sýnunum við Kröflu og Námafjall. Eins og sést á myndinni er *Aquificae* fylkingin flokkuð gróflega í fjóra flokka *Hydrogenobacter*, *Thermocrinis*, *Hydrogenobaculum* og *Hydrogenothermaceae*. Það vekur athygli að allar *Hydrogenobacter* tegundirnar sem fundust eru upprunnar í læknum sem rennur frá skiljustöðinni við Kröflu. Ein þeirra, L2-2-1, virðist ný af nálinni, þar sem hún á engan nákominn ættingja og myndar því staka grein. *Hydrogenobaculum* greinin í trénu sýnir að tegundir innan hennar finnast víðar s.s. í sýnum úr Hvítum læk, í Suðurhlíðum Kröflu, í hverasvæðinu við Víti og í læk við Kröflu. Þær falla allar innan skyldleikamarka við næstu þekktu tegund.



Mynd 21. Skyldleikatré byggt á samröðun 16S rDNA raða úr *Aquificae* tegundum af jarðhitasvæðum í Kröflu og Námafjalli ásamt viðmiðunartegundum úr Genbank. Líklegt er að *Hydrogenobacter* tegundin sem örin bendir á sé ný tegund, en nánasti ættingi hennar er aðeins 94% skyldur henni skv. Genbank. Númer á greinum: Sýnatökustaður-númer í sýni-fjöldi í sýni. Fylltir hringir tákna uppruna sýnis. Samsvarandi röð úr fornbakteríunni *Sulfolobus islandicus* er notuð sem útröð.

3.5.2 β -Proteobakteriur

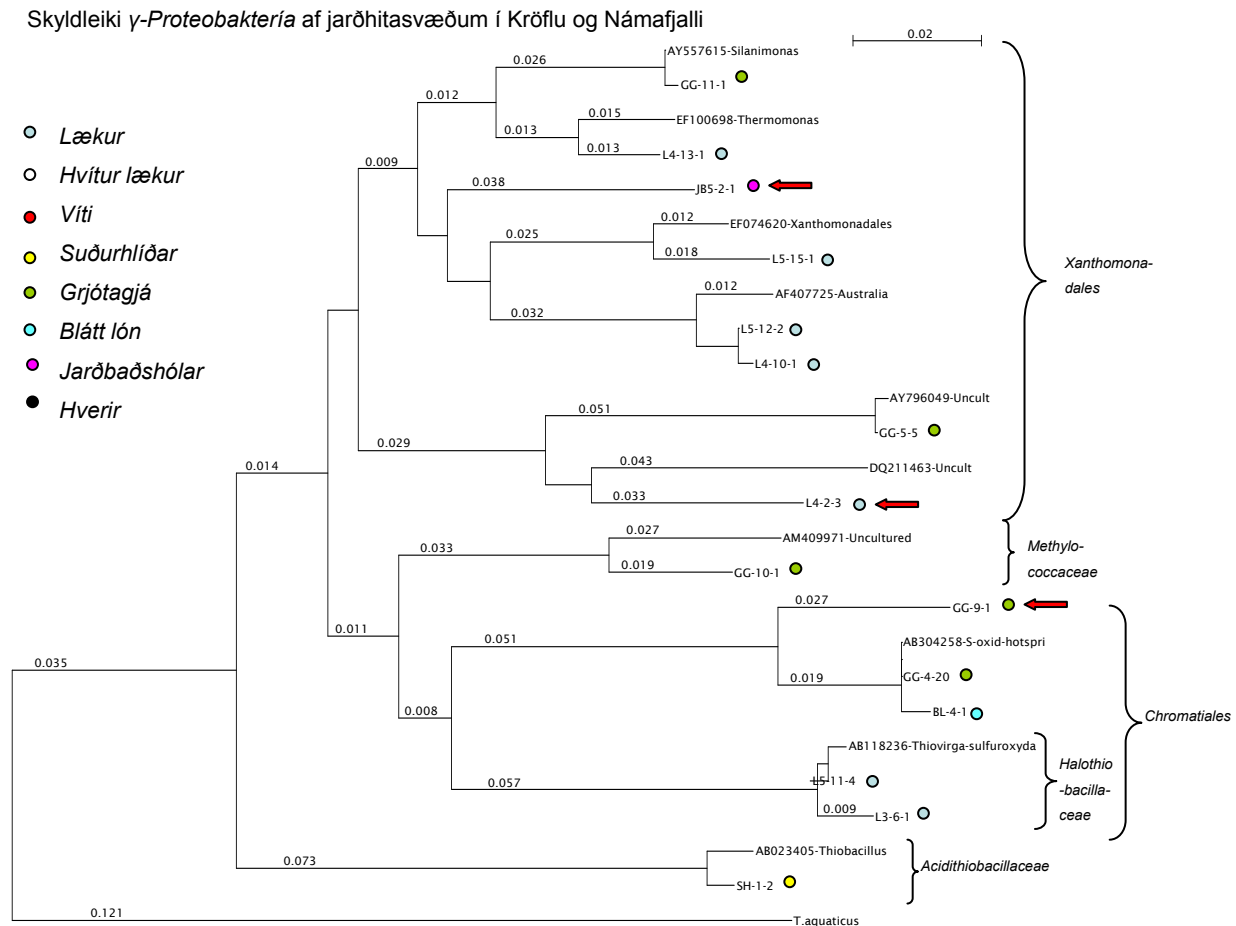
Nokkrir hópar β -Proteobaktería fundust í sýnunum úr Kröflu og Námafjalli (mynd 22). Þeirra þekktastur er *Thiomonas*, en tegundir innan hans geta aflað orku með oxun á brennisteini. Uppruni *Thiomonas* tegunda í sýnunum er einkum úr Læk (frá skiljustöð), Hvítum læk (frá kæliturenum) og Bláu lóni í Bjarnarflagi. (mynd 22). Aðrir stærstu hópar β -Proteobaktería eru *Hydrogenophilaceae* og *Comamonadaceae* og eru tegundir upprunnar úr Grjótagjá áberandi í hinum fyrrnefnda. Tvær tegundir úr Læk við Kröflu mynda fjarskyldar greinar. Önnur þeirra, L4-5-3, er klárlega innan *Comamonadaceae* í miðju trénu en hin L4-4-2 lendir eiginlega utan við og er á mörkunum hvort hún flokkast til β -Proteobaktería eða γ -Proteobaktería. Báðar tegundirnar fundust í nokkrum eintökum í Lækjarsýnum í Kröflu. Þessar tegundir hafa ekki fundist áður svo vitað sé.



Mynd 22. Skyldleikatré byggt á samröðun 16S rDNA raða innan β -Proteobaktería af jarðhitasvæðum í Kröflu og Námafjalli. Viðmiðunarraðir eru nánustu ættingjar í Genbank. Litaðir hringir sýna uppruna tegundanna. Örvarnar sýna tvær nýjar tegundir innan β -Proteobaktería sem fundust í sýnunum. Samsvarandi röð úr hitakæru bakteríunni *Thermus aquaticus* er notuð sem útröð.

3.5.3 γ -Proteobakteriur

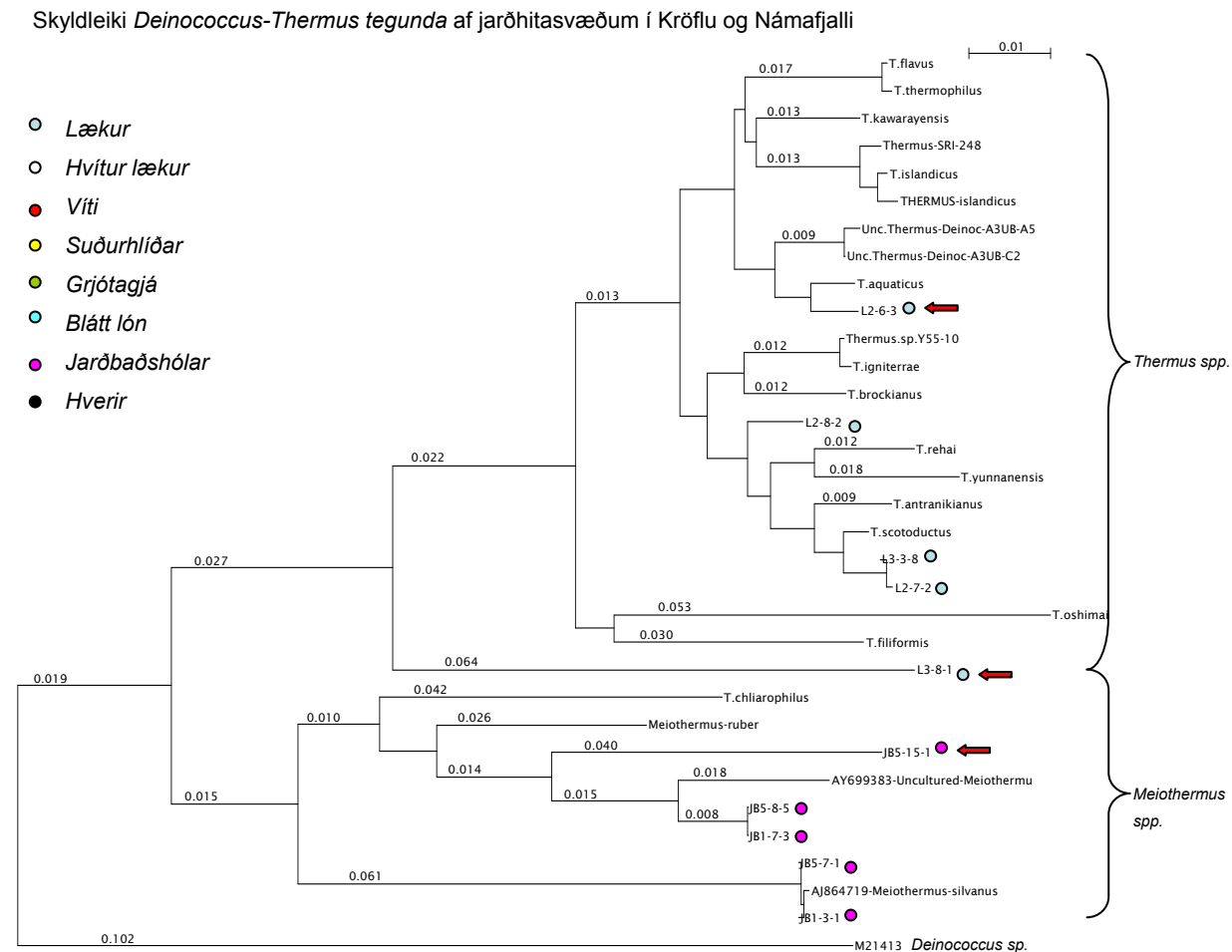
Nokkrir hópar γ -*Proteobaktería* fundust í sýnunum úr Kröflu og Námafjalli. Tegundir sem fundust í sýni úr Læk og úr sýni úr Grjótagjá dreifast nokkuð um tréð eins og sjá má (mynd 23). Tegundir sem fundust í öðrum sýnum eru afar fáar. Ein tegund úr Jarðbaðshólum (JB) innan *Xanthomonadales* vekur þó athygli þar sem hún er fjarskyld öðrum þekktum tegundum og myndar staka grein í trénu. Fleiri nýjar tegundir sjást einnig s.s. L4-2-3 innan *Xanthomonadales* og tegund úr Grjótagjá, GG-9-1, innan *Chromatiales*. Ein tegund *Thiobacillus* fannst í sýninu úr Suðurhlíðum og sýnir engan skyldleika við aðrar tegundir sem fundust í sýnunum.



Mynd 23. Skyldleikatré byggt á samröðun 16S rDNA raða innan γ -*Proteobaktería* af jarðhitasvæðum í Kröflu og Námafjalli. Viðmiðunarraðir eru nánustu ættingjar í Genbank. Örvanar sýna 3 nýjar tegundir sem fundust í rannsókninni. Litaðir hringir sýna uppruna tegundanna. Samsvarandi röð úr hitakæru bakteríunni *Thermus aquaticus* er notuð sem útröð.

3.5.4 Deinococcus-Thermus

Skyldleikatré yfir *Thermus* og *Meiothermus* tegundir er sýnt á mynd 24. Tegundir sem fundust í sýnunum innan þessara ættkvísla skiptast eftir uppruna. Þannig lenda allar tegundir úr læk innan *Thermus* ættkvíslarinnar en allar tegundir úr Jarðbaðshólum innan *Meiothermus* ættkvíslarinnar. Þekktar *Thermus* tegundir mynda greinar efst í trénu, m.a. *Thermus islandicus* sem fannst í Torfajökulsverkefninu (S. Pétursdóttir 2006). Þar sést einnig áhugaverð tegund úr sýni úr Læk við Kröflu (L2-6-3) sem sýnir mestan skyldleika ($\geq 98\%$) við *Thermus aquaticus*. Þetta kemur skemmtilega á óvart þar sem löngum hefur verið talið að *Thermus aquaticus* sé alfarið bundinn við meginland Ameríku, en hér kemur annað í ljós. Í sýninu fundust þrjú eintök af þessari tegund sem eykur á trúverðugleikann. Aðrar athyglisverðar *Thermus* tegundir eru L2-8-2 sem sýnir mestan skyldleika við *T.rehai* og *T.yunnanensis* sem báðar eru upprunnar í Kína. Ein tegund, sem finnst raunar aðeins í einu eintaki í Lækjarsýninu, er L3-8-1 er athyglisverð þar sem hún er á mörkum *Thermus* og *Meiothermus*. Innan *Meiothermus* greinarinnar er greinilega ný tegund JB5-15-1 úr Jarðbaðshólum.



Mynd 24. Skyldleikatré byggt á samröðun 16S rDNA raða *Deinococcus-Thermus* tegunda af jarðhitasvæðum í Kröflu og Námafjalli. Litaðir hringir sýna uppruna tegundanna. Tegundirnar sem fundust eru allar úr sýnum úr Kröflu og Jarðbaðshólum. Efsta örin sýnir *Thermus aquaticus* sem hefur aldrei fundist áður á Íslandi. Miðörin bendir á nýja tegund á mörkum *Thermus* og *Meiothermus* ættkvíslanna. Neðsta örin bendir á nýja tegund innan *Meiothermus*. Samsvarandi röð úr *Deinococcus* tegund er notuð sem útröð.

3.6 Líffræðilegur fjölbreytileiki

Fróðlegt er að bera saman tölulegar niðurstöður byggðar á erfðagreiningum á sýnunum á Kröflusvæðinu. Í töflu 19 eru ýmsar upplýsingar s.s. hve margir klónar voru raðgreindir úr hverju sýni (Nt), hve margar tegundir fundust í sýninu (S), hve margar tegundir innihalda aðeins einn klón (n1), hvað “fjölmennasta” tegundin inniheldur marga klóna (Nmax). Hlutfallið Nt/Nmax gefur svo stuðul til að meta líffræðilegan fjölbreytileika sýnisins á bilinu 1-10. Dæmigert Nt/Nmax hlutfall fyrir jaðarvistkerfi eins er á bilinu 1-2.

Út frá tölulegum niðurstöðum í töflunni má einnig meta áreiðanleika greininga, þ.e. hvort nægilega margir klónar hafi verið raðgreindir til að fá áreiðanlega mynd af vistkerfinu. Þetta er gert með formúlunni $C=1-(n1/Nt)$. C gildi á bilinu 0,9-1,0 telst gefa áreiðanlegt mat á vistkerfi. Ef C gildið fer undir 0,8 hefði þurft að raðgreina fleiri klóna úr sýninu til að auka áreiðanleikann. Útreiknuð C gildi í töflunni hér að neðan eru í flestum tilvikum $\geq 0,9$ m.ö.o nægilegur fjöldi klóna hefur verið raðgreindur til að meta tegundasamsetningu í sýninu. Skv. C gildi hefði þurft að greina fleiri klóna úr sýni JB5 úr Jarðbaðshólum.

Við nánari skoðun á aftasta dálki töflunnar (Nt/Nmax) sést að líffræðilegur fjölbreytileiki er á bilinu 1-5,8. Til samanburðar má geta þess að hæsta gildi fyrir líffræðilegan fjölbreytileika í sýni af Torfajökulssvæðinu var 4.7 og voru gildin úr 14 sýnum þaðan á bilinu 1.0 - 4.7, þannig að líffræðilegur fjölbreytleiki á Kröflusvæðinu spannar breiðara bil en á Torfajökulssvæðinu.

Tafla 19: Líffræðilegur fjölbreytileiki – áreiðanleiki greininga

Sýni	Nr	Gerð ^a	T°C	pH	Nt	S	N1	C	Nmax	Nt/Nmax
Lækur 2	L2	LM	65	8,5-9	48	9	3	0,9	19	2,5
Lækur 3	L3	V	65	8,5-9	58	8	6	0,9	44	1,3
Lækur 4	L4	LM	41	8,5-9	29	13	4	0,9	5	5,8
Lækur 5	L5	V	41	8,5-9	47	16	8	0,8	9	5,2
Suðurhlíðar	SH	JV	70	2-4	48	2	0	1,0	46	1,04
Hvítur lækur	HL	V	44	5	45	4	2	0,96	38	1,2
Víti 2	V2	V	63	3-3,5	65	1	0	1,0	65	1,0
Hverir	HV	L	90-93	3	34	10	3	0,9	8	4,3
Blátt lón	BFL	V	32	5	44	4	2	0,96	40	1,1
Brennisteinsflög	B3	JV	65-80	1-2	43	13	7	0,8	19	2,3
Jarðbaðshólar 1	JB1	JV	56	5-6	58	25	12	0,8	12	4,8
Jarðbaðshólar 5	JB5	JV	35-55	4-5	31	15	9	0,7	6	5,2
Grjótagjá	GG	V	47	6,5-7	61	17	8	0,9	18	3,4

Skýringar á töflu: ^aLM lífmassi; V vökví; JV jarðvegur; L leðja. Skyggði hlutinn sýnir Nt = heildarfjöldi greindra klóna; S = heildarfjöldi tegunda; N1 = heildarfjöldi tegunda sem innihéldu aðeins einn fulltrúa; C = áreiðanleiki greiningar (skali 0-1); Nmax = fjöldi einstaklinga innan stærstu tegundarinnar; Nt/Nmax = líffræðilegur fjölbreytileiki (skali 1-10).

Greiningin á leðjusýni úr hver í Hverum (Hverarönd) kemur á óvart. Þarna er óumdeilanlega um jaðarvistkerfi að ræða þar sem bæði hátt hitastig og lágt sýrustig skapa umtalsverðan þrýsting eða álag. Þarna hefði því mátt búast við fábreyttu vistkerfi. Raunin er hins vegar sú að útreiknaður líffræðilegur fjölbreytileiki er tiltölulega hár eða 4,3. Hér ber þó að hafa í huga að í sýninu fundust m.a. vafasamar tegundir sem hafa e.t.v. borist í hverinn með ferðamönnum skömmu áður en sýnið var tekið. Greiningum á þessu sýni ber því að taka með fyrirvara.

4. UMRÆÐA OG ÁLYKTANIR

Í þessari rannsókn var viðfangsefnið lífríki í hverum í Kröflu og Námafjalli. Af 23 sýnum af mismunandi gerðum sem voru tekin á náttúrulegum og manngerðum sýnatökustöðum á jarðhitasvæðunum tókst að greina tegundasamsetningu í 13.

Frumeftnamælingar þar sem 72 frumefni voru greind voru gerðar á nokkrum vökvasýnum sem tekin voru í Kröflu og við Námafjall og er það í fyrsta sinn sem slíkar mælingar eru gerðar á hveravatni hér á landi á vegum Mátis-Prokaria. Ekki er hægt að draga víðtækar ályktanir að svo stöddu, þar eð gögn frá fleiri jarðhitasvæðum vantar til samanburðar. Áhugi er fyrir því að taka sýni víðar, m.a. á sýnatökustöðum sem búið er að greina s.s. á Torfajökulssvæði, Hengilssvæði og Krisuvík, þar sem erfðagreiningar liggja þegar fyrir og reyna síðan að tengja saman frumeftnamælingar við niðurstöður úr tegundasamsetningu og tegundahlutföll í sýnum.

Tilraunir voru gerðar til að magna upp 16S rRNA gen Raunbaktería og Fornbaktería úr öllum sýnum. Mögnun á þeim fyrrnefndu gekk vel en mögnun á Fornbakteríum fékkst aðeins úr einu sýni úr Jarðbaðshólum.

Flestar tegundir sem greindust í sýnum af Kröflusvæðinu flokkast til fylkinga *Aquificae*, α - β - og γ -*Proteobaktería*, *Deinococcus-Thermus* og *Bacteroidetes*. Í langflestum tilvikum var um að ræða tegundir sem fundist hafa á öðrum hverasvæðum í heiminum. Ríkjandi tegundir í Kröflusýnunum voru af fylkingum *Aquificae* og β -*Proteobaktería*. Í Jarðbaðshólum var flóran talsvert frábrugðin. Þar greindust flestar tegundir til fylkinga *Actinobacteria*, *Acidobacteria*, *Firmicutes*, *Cyanobacteria* og *Deinococcus-Thermus*. Í Jarðbaðshólum greindust einnig fornbakteríur sem flokkast til *Chrenarhaeota*. Í Grjótagjá var enn önnur flóra og flestar tegundir flokkuðust til mismunandi hópa innan *Proteobaktería*. Í ljósi þess hve sýnatökustaðirnir eru ólíkir kemur ekki á óvart að tegundasamsetning skuli vera mismunandi.

Nýjar tegundir fundust í nokkrum sýnum. Hér má nefna frumbjarga *Hydrogenobacter* tegund sem fannst í sýni úr læknum sem rennur frá skiljustöðinni við Kröflu. Ennfremur tvær tegundir β -*Proteobaktería* úr sama læk. Þrjár nýjar tegundir γ -*Proteobaktería* fundust í sýnunum, ein í Grjótagjá, önnur í jarðvegssýni úr Jarðbaðshólum og sú þriðja í læknum í Kröflu. Enn má nefna *Meiothermus* tegund sem fannst í Jarðbaðshólum og að lokum eina mjög fjarskylda *Thermus* tegund úr Kröflulæk. Ennfremur má geta þess að *Thermus aquaticus* fannst í sýni úr Kröflulæknum, en þessi tegund hefur fram að þessu verið talin einlend í Bandaríkjunum. Eins og sjá má af ofangreindri upptalningu gáfu sýni úr læknum við Kröflu flestar áhugaverðar tegundir. Aðstæður í læknum eru afar sérstakar þar sem sýrustigið er mun hærra en gengur og gerist á náttúrulegum sýnatökustöðum í nágrenninu. Þar geta því þrífist tegundir sem ættu ella erfiðara uppdráttar á þessu svæði.

Líffræðilegur fjölbreytileiki var áætlaður í sýnunum og greindist á bilinu 1,0 - 5,8 á skalanum 1-10. Til samanburðar var líffræðilegur fjölbreytileiki í 14 sýnum sem tekin voru á Torfajökulssvæðinu áætlaður á bilinu 1,0 - 4,7 og úr 16 sýnum af Ölkelduhálsi á bilinu 1,1 - 4,4 (S.Pétursdóttir o.fl. 2006). Hann virðist því á svipuðu bili á þessum hverasvæðum, en greinist þó ívið hærrí í Kröflu og Námafjalli en á hinum svæðunum. Almennt má segja að líffræðilegur fjölbreytileiki sé meiri eða hærrí eftir því sem aðstæður eru mildari, þar sem fleiri tegundir geta

fundað sér lífsviðurværi og þolað aðstæður. Í svokölluðum jaðarvistkerfum verður líffræðilegur fjölbreytileiki því lágur. Lítil fjölbreytileiki greindist í nokkrum sýnum sem tekin voru í þessari rannsókn, þ.e. 1,04 í jarðvegssýni úr Suðurhlíðum Kröflu, 1,2 í vökvásýni úr hvítum læk í Kröflu, 1,0 í leðjusýni úr leirhver við Víti og 1,1 í vökvásýni úr Bláa lóninu í Bjarnarflagi. Þessi sýni eru úr jaðarvistkerfum þar sem umhverfisálag er mikið og því fáar tegundir sem fá þrifist. Í Suðurhlíðum Kröflu er sýrustig mjög lágt (pH 2-4), og einnig í hvernum við Víti (pH 3-3,5). Aðstæður í Hvítum læk og Bláa lóni í Bjarnarflagi eru hins vegar mildar m.t.t hitastigs (32 og 44°C) og sýrustigs (pH 5). Skýringa á því hvers vegna líffræðilegur fjölbreytileiki í þessum sýnum er svo lágur sem raun ber vitni er að öllum líkindum einna helst að leita í miklum kísilútfellingum sem einkenna þessa staði. Líffræðilegur fjölbreytileiki var talsvert hærri í sýnum úr Grjótagjá (3,4) og Jarðbaðshólum (4,8-5,2) sem kemur ekki á óvart þar sem aðstæður voru hagstæðari og því ásættanlegri fyrir fleiri tegundir.

Á næsta tímabili, á þessu ári, er ætlunin að taka og greina sýni úr hverum í Vonarskarði. Í lok Rammaáætlunar á árinu 2009 er síðan fyrirhugað að draga saman heildar-niðurstöður úr þeim greiningum sem þá liggja fyrir. Í nokkrum tilvikum þarf að fara og taka sýni aftur þar sem vantar inn í, t.d. við Leirhnúk og úr brennisteinsþúfum í Námafjalli. Einnig þarf að endurtaka mögnun með Fornbakteríuvísunum.

Talsvert af gögnum eru nú fyrir hendi úr greiningum á hverasvæðum á Íslandi og verður áhugavert að bera saman einstök hverasvæði og hveragerðir m.t.t. tegundasamsetningar og freista þess að fá heildarmynd af lífríki í hverum á háhitasvæðum á Íslandi. Einnig verður áhugavert að athuga hvort greina megi fylgni milli niðurstaðna á frumefnamælingum og úr erfðagreiningum.

5. ÞAKKARORÐ

Við viljum þakka Birki F. Haraldssyni stöðvarstjóra í Kröfluvirkjun fyrir veitta aðstoð í sýnatökuferð í september s.l. Magnús Ólafsson deildarstjóri hjá ÍSOR fær bestu þakkir fyrir greinagóðar og fróðlegar upplýsingar um jarðfræði Kröflusvæðisins. Guðrún Sigríður Jónsdóttir kortahönnuður hjá ÍSOR fær einnig bestu þakkir fyrir kortagerð.

6. HEIMILDIR

Abulencia, C.B., Wyborski, D.L., Garcia, J.A., Podar, M., Chen, W., Chang, S.H., Chang, H.W., Watson, D., Brodie, E.L., Hazen, T.C. and Keller, M. 2006. Environmental whole-genome amplification to access microbial populations in contaminated sediments. *Appl. Environ. Microbiol.* 72 (5), 3291-3301.

Allen, J.P., Atekwana, E.A., Atekwana, E.A., Duris, J.W., Werkema, D.D. and Roszbach, S. 2007. The Microbial Community Structure in Petroleum-Contaminated Sediments Corresponds to Geophysical Signatures. *Appl. Environ. Microbiol.* 73 (9), 2860-2870.

Bonheyo, G.T., Fouke, B.W., Frias-Lopez, J. and Sanzenbacher, B. 2001. Microbial 16S rRNA diversity within travertine depositional facies from 73 degrees to 25 degreec C at Angel Terrace, Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, USA. Unpublished.

Boyd, E.S., Jackson, R.A., Encarnacion, G., Zahn, J.A., Beard, T., Leavitt, W.D., Pi, Y., Zhang, C.L., Pearson, A. and Geesey, G.G. 2007. Isolation, Characterization, and Ecology of Sulfur-Respiring *Crenarchaea* Inhabiting Acid-Sulfate-Chloride-Containing Geothermal Springs in Yellowstone National Park. *Appl Environ Microbiol.* October; 73(20): 6669-6677.

Cao, L., Liu, X. and Yin, H. 2007. Direct Submission. Genbank.

Chan, O.C., Yang, X., Fu, Y., Feng, Z., Sha, L., Casper, P. and Zou, X. 2006. 16S rRNA gene analyses of bacterial community structures in the soils of evergreen broad-leaved forests in south-west China *FEMS Microbiol. Ecol.* 58 (2), 247-259.

Chauhan, N.S., Ranjan, R. and Sharma, R. 2007. Culture-independent Bacterial Diversity Analysis of Hot Spring Microbial Mat from Khir Ganga, India. Unpublished.

Copeland, A., Lucas, S., Lapidus, A., Barry, K., Detter, J.C., Glavina del Rio, T., Hammon, N., Israni, S., Dalin, E., Tice, H., Pitluck, S., Chertkov, O., Brettin, T., Bruce, D., Han, C., Schmutz, J., Larimer, F., Land, M., Hauser, L., Kyrpides, N., Mikhailova, N., Bryant, D. and Richardson, P. 2007. Complete sequence of *Roseiflexus* sp. RS-1. Unpublished.

Curtis, T.P., Sloan, W.T., Scannell, J.W. (2002) Estimating prokaryotic diversity and its limits. *PNAS* 99:10494-10499.

Dang, H., Chen, M., Zeng, Z. and Yin, X. 2007. Fine-scale vertical distribution of deep-sea sediment bacteria near the East Pacific Rise 13 N as determined via 16S rDNA T-RFLP and clone library analyses. Unpublished.

Drobner, E., Huber, H., Rachel, R. and Stetter, K.O. 1992. *Thiobacillus plumbophilus* spec. nov., a novel galena and hydrogen oxidizer *Arch. Microbiol.* 157 (3), 213-217.

Dunfield, P.F., Yuryev, A., Senin, P., Smirnova, A.V., Stott, M.B., Hou, S., Saw, J.H., Zhou, Z., Ren, Y., Wang, J., Mountain, B.W., Crowe, M.A., Bodelier, P.L., Liesack, W., Weatherby, T., Feng, L., Wang, L. and Alam, M. 2007. Methane oxidation by an acidophilic bacterium of the phylum Verrucomicrobia. Unpublished.

Eder, W. and Huber, R. 2002. New isolates and physiological properties of the Aquificales and description of *Thermocrinis albus* sp. nov. *Extremophiles* 6 (4), 309-318.

Ehrich, S., Behrens, D., Lebedeva, E., Ludwig, W. and Bock, E. 1995. A new obligately chemolithoautotrophic, nitrite-oxidizing bact., *Nitrospira moscoviensis* sp. nov. and its phylogenetic relationship. *Arch. Microbiol.* 164 (1), 16-23.

Ekman, J., Kosonen, M., Jokela, S., Kolari, M., Korhonen, P. and Salkinoja-Salonen, M. 2007. Detection and quantitation of colored deposit-forming *Meiothermus* spp. in paper industry processes and end products. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 34 (3), 203-211.

Elshahed, M.S., Youssef, N.H., Sheik, C., Spain, A.M., Najar, F.Z., Sukharnikov, L.O., Roe, B.A., Schloss, P.D., Davis, J.P. and Krumholz, L.R. 2007. Phylogenetic diversity and evolutionary relationships between rare and abundant members of the bacterial community in tallgrass prairie soil. Unpublished.

Farris, M.H. and Olson, J.B. 2007. Detection of Actinobacteria cultivated from environmental samples reveals bias in universal primers. *Lett. Appl. Microbiol.* 45 (4), 376-381.

Ferrera, I., Longhorn, S., Liu, Y., Preston, D., Banta, A.B. and Reysenbach, A.L. 2006. Diversity of 16S rRNA gene, ITS region and *acIB* gene of the Aquificales. Unpublished.

Flores, G.E., Liu, Y., Beveridge, T.J., Ferrera, I. and Reysenbach, A.L. 2007. *Sulfurihydrogenibium kristjanssoni* sp. nov., a hydrogen and sulfur-oxidizing thermophile isolated from a terrestrial Icelandic hot spring. Unpublished.

Frank, D.N., St Amand, A.L., Feldman, R.A., Boedeker, E.C., Harpaz, N. and Pace, N.R. 2007. Molecular-phylogenetic characterization of microbial community imbalances in human inflammatory bowel diseases. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104 (34), 13780-13785.

Gihring, T., Moser, D.P. and Onstott, T.C. 2005. The distribution of microbial taxa in the subsurface water of the Kalahari Shield, South Africa. Unpublished.

Gomez-Alvarez, V. and Nusslein, K. 2006. Microbial diversity across a recently impacted geothermal soil in the Kilauea Hawaiian volcano park. Unpublished.

Gomez-Alvarez, V., King, G.M. and Nusslein, K. 2007. Comparative bacterial diversity in recent Hawaiian volcanic deposits of different ages *FEMS Microbiol. Ecol.* 60 (1), 60-73.

Gomez-Alvarez, V., Baniak, J., Harrison, G., Medrano, J.G. and Nusslein, K. 2006. Representation of heterotrophic isolates in respective clone libraries from recent Hawaiian volcanic deposits (<300 yr old). Unpublished.

Grayburn, W.S., Hudspeth, D.S.S., Gane, M.K. and Hudspeth, M.E.S. 2004. The mitochondrial genome of *Saprolegnia ferax*: organization, gene content and nucleotide sequence. *Mycologia* 96 (5), 981-989.

Hirayama, H., Takai, K., Inagaki, F., Yamato, Y., Suzuki, M., Neilson, K.H. and Horikoshi, K. 2005. Bacterial community shift along a subsurface geothermal water stream in a Japanese gold mine *Extremophiles* 9 (2), 169-184.

Hobel, C.F., Marteinsson, V.T., Hreggvidsson, G.O. and Kristjansson, J.K. 2005. Investigation of the microbial ecology of intertidal hot springs by using diversity analysis of 16S rRNA and chitinase genes. *Appl. Environ. Microbiol.* 71 (5), 2771-2776.

Hoshino, T., Terahara, T., Tsuneda, S., Hirata, A. and Inamori, Y. 2005. Molecular analysis of microbial population transition associated with the start of denitrification in a wastewater treatment process. *J. Appl. Microbiol.* 99 (5), 1165-1175.

Hugenholtz, P., Pitulle, C., Hershberger, K.L. and Pace, N.R. 1998. Novel division level bacterial diversity in a Yellowstone hot spring. *J. Bacteriol.* 180 (2), 366-376.

Ito, T., Sugita, K. and Okabe, S. 2004. Isolation, characterization, and in situ detection of a novel chemolithoautotrophic sulfur-oxidizing bacterium in wastewater biofilms growing under microaerophilic conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 70 (5), 3122-3129.

Jangid, K., Williams, M.A., Franzluebbers, A., Jenkins, M., Endale, D., Coleman, D.C. and Whitman, W.B. 2006. Soil bacterial community composition and diversity as affected by animal manure application in pasture and cropping systems of the Southern Piedmont USA. Unpublished.

Jangid, K., Williams, M.A., Schmidt, T.M., Coleman, D.C. and Whitman, W.B. 2007. Impact of agricultural land management practices on bacterial soil communities in Michigan. Unpublished.

- Johnson, D.B. and Hallberg, K.B. 2005. Biogeochemistry of the compost bioreactor components of a composite acid mine drainage passive remediation system. *Sci. Total Environ.* 338 (1-2), 81-93.
- Johnson, D.B., Bacelar-Nicolau, P., Okibe, N., Swift, A. and Hallberg, K.B. 2007. Characteristics of *Ferrimicrobium acidiphilum* gen. nov., sp. nov., and *Ferrithrix thermotolerans* gen. nov., sp. nov.: heterotrophic iron-oxidizing, extremely acidophilic Actinobacteria. Unpublished.
- Kamimura, K., Okayama, T., Murakami, K. and Sugio, T. 1999. Isolation and characterization of a moderately thermophilic sulfur-oxidizing bacterium. *Microbios* 99, 7-18.
- Kanokratana, P., Chanapan, S., Pootanakit, K. and Eurwilaichitr, L. 2004. Diversity and abundance of Bacteria and Archaea in the Bor Khlueng Hot Spring in Thailand. *J. Basic Microbiol.* 44 (6), 430-444.
- Kim, M.C. and Ka, J.O. 2007. Molecular Analysis of Bacterial Community Structures in Paddy Soil Planted with Genetically-Modified Rice Varieties. Unpublished.
- Kim, J.-S. 2006. Bacterial diversity of subsurface soil in Oman. Unpublished.
- Kimura, H., Sugihara, M., Yamamoto, H., Patel, B.K., Kato, K. and Hanada, S. 2005. Microbial community in a geothermal aquifer associated with the subsurface of the Great Artesian Basin, Australia. *Extremophiles* 9 (5), 407-414.
- Knief, C. and Dunfield, P.F. 2005. Response and adaptation of different methanotrophic bacteria to low methane mixing ratios. *Environ. Microbiol.* 7 (9), 1307-1317.
- Korf, S.E., Macur, R.E., Nagy, A.M., Tayler, W.P., Kozubal, M.A., Ackerman, G., Masur, D. and Inskeep, W.P. 2006. Geochemical Controls on Microbial Population Distribution at Rainbow and Joseph's Coat Hot Springs in Yellowstone National Park. Unpublished.
- Lau, M.C.Y. and Pointing, S.B. 2007. Comparison of bacterial diversity among geographically separated geothermal regions in central Tibet. Unpublished.
- Lee, E.M., Jeon, C.O., Choi, I., Chang, K.S. and Kim, C.J. 2005. *Silanimonas lenta* gen. nov., sp. nov., a slightly thermophilic and alkaliphilic gammaproteobact. isolated from a hot spring *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 55 (PT 1), 385-389.
- Liao, P.-C., Wang, C.H.-T., Huang, B.-H., Chen, C.H. and Huang, S. 2005. The microbial community structure of a sulfur spring, Milk Lake in Taiwan and the population genetic structure of the dominant species, *Thiomonas* sp. Unpublished.
- Lin, L.-H., Hall, J., Onstott, T.C., Gihring, T., Sherwood Lollar, B., Boice, E., Pratt, L., Lippmann-Pipke, J. and Bellamy, R.E.S. 2006. Planktonic microbial communities associated with fracture derived groundwater in a deep gold mine of South Africa. *Geomicrobiol. J.* 23 (6), 475-497
- Liu, F., Zhou, H. and Qiu, G. 2006. Community Analysis of Moderately Thermophilic Microflora Enriched by Different Energy Sources. Unpublished.
- Luo, H.Q. and Hu, Y.Y. 2004. The use of 16S rDNA clone libraries to study microbial communities of ANAMMOX sludge. Unpublished.
- Macalady, J.L., Lyon, E.H., Koffman, B., Albertson, L.K., Meyer, K., Galdenzi, S. and Mariani, S. 2006. Dominant microbial populations in limestone-corroding stream biofilms, Frasassi cave system, Italy. *Appl. Environ. Microbiol.* 72 (8), 5596-5609.
- Marin, B., Nowack, E.C., Glockner, G. and Melkonian, M. 2007. The ancestor of the *Paulinella* chromatophore obtained a carboxysomal operon by horizontal gene transfer from a *Nitrococcus*-like gamma-proteobact.. *BMC Evol. Biol.* 7, 85.
- Marteinsson, V.T., Hauksdottir, S., Hobel, C.F., Kristmannsdottir, H., Hreggvidsson, G.O. and Kristjansson, J.K. 2001. Phylogenetic diversity analysis of subterranean hot springs in Iceland. *Appl. Environ. Microbiol.* 67 (9), 4242-4248.

Mendez, M.O. and Maier, R.M. 2007. Bacterial community characterization of a historic semiarid lead-zinc mine tailings site. Unpublished.

Michalsen, M.M., Peacock, A.D., Spain, A.M., Smithgal, A.N., White, D.C., Sanchez-Rosario, Y., Krumholz, L.R., Kelly, S.D., Kemmer, K.M., Heald, S.M., Bogle, M.A., White, D.B. and Istok, J.D. 2007. Bio-Immobilization of U(VI) and Tc(VII) from Nitric Acid Contaminated Groundwater in Intermediate-Scale Models of an In Situ Bio-Barrier. Unpublished.

Milleson, M.M. and Kieft, T.L. 2004. Bacteria from South African gold mine borehole water. Unpublished.

Mislowack, J., Onstott, T.C., Lin, L.H., Rose, G., Ralston, C., Sherwood-Lollar, B., Pfiffner, S.M., Kieft, T. and McCuddy, S. 2005. In situ cultivation of deep subsurface microorganisms in a mafic sill: implications for SLiME's. Unpublished.

Mochimaru, H., Yoshioka, H., Tamaki, H., Nakamura, K., Kaneko, N., Sakata, S., Imachi, H., Sekiguchi, Y., Uchiyama, H. and Kamagata, Y. 2007. Microbial diversity and methanogenic potential in a high temperature natural gas field in Japan. *Extremophiles* 11 (3), 453-461.

Mori, K. and Suzuki, K. 2007. A sulfur-oxidizing bacteria isolated from hot spring, Japan. Unpublished.

Mummey, D.L. and Stahl, P.D. 2002. Response of soil bacterial communities to disturbance by surface coal mining. Unpublished.

Nakagawa, T. and Fukui, M. 2002. Phylogenetic characterization of microbial mats and streamers from a Japanese alkaline hot spring with a thermal gradient. *J. Gen. Appl. Microbiol.* 48 (4), 211-222.

Navarro, J.B. and Hedlund, B.P. 2006. Microbial diversity of Great Boiling Spring. Unpublished.

Niu, S.Q., Fukushima, J., Jiang, Y., Ishikawa, Y., Ueda, T. and Matsumoto, S. 2006. Analysis of Bacterial Community Structure in the Natural Circulation System Wastewater Bioreactor by Using a 16S rRNA Gene Clone Library *Microbiol. Immunol.* 50 (12), 937-950.

Orlygsson, J. and Baldursson, S.R. 2006. Characterization of a new saccharolytic, anaerobic, thermophilic bacterium, *Thermoanaerobacter islandicum* sp. nov., from hot spring in Iceland. Unpublished.

Pikuta, E., Lysenko, A., Chuvilskaya, N., Mendrock, U., Hippe, H., Suzina, N., Nikitin, D., Osipov, G., and Laurinavichius, K. 2000. *Anoxybacillus pushchinensis* gen. nov., sp. nov., a novel anaerobic, alkaliphilic, moderately thermophilic bacterium from manure, and description of *Anoxybacillus flavithermus* comb. Nov. *E International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, Vol 50, 2109-2117.

Poli, A., Esposito, E., Lama, L., Orlando, P., Nicolaus, G., de Appolonia, F., Gambacorta, A. and Nicolaus, B. 2006. *Anoxybacillus amylolyticus* sp. nov., a thermophilic amylase producing bacterium isolated from Mount Rittmann (Antarctica). *Syst. Appl. Microbiol.* 29 (4), 300-307.

Qu, J.H., Yuan, H.L. and Wang, E.T. 2006. Diverse bacteria detected by 16S rRNA gene analyses in different depth of the sediment of Guanting Reservoir. Unpublished.

Roeselers, G., Norris, T.B., Castenholz, R.W., Rysgaard, S., Glud, R.N., Kuhl, M. and Muyzer, G. 2007. Diversity of phototrophic bacteria in microbial mats from Arctic hot springs (Greenland). *Environ. Microbiol.* 9 (1), 26-38.

Rautenbach, G.F., Bowker, C. and du Plessis, C.A. 2004. Moderate thermophilic bioleaching bacteria. Unpublished.

Roesch, C., Bruns, J., Mounier, E., Backhausen, S. and Bothe, H. 2005. Bacterial diversity of a German forest soil, as assessed by nifH, nosZ, and SSU clone libraries and tRFLP. Unpublished.

Sahl, J.W., Schmidt, R., Swanner, E.D., Mandernack, K.W., Templeton, A.S., Kieft, T.L., Smith, R.L., Sanford, W.E., Callaghan, R.L., Mitton, J.B. and Spear, J.R. 2007. Subsurface microbial diversity in deep granitic fracture water. Unpublished.

- Sait, M., Hugenholtz, P. and Janssen, P.H. 2002. Cultivation of globally distributed soil bacteria from phylogenetic lineages previously only detected in cultivation-independent surveys. *Environ. Microbiol.* 4 (11), 654-666.
- Shimizu, S., Akiyama, M., Ishijima, Y., Hama, K., Kunimaru, T. and Naganuma, T. 2006. Molecular characterization of microbial communities in fault-bordered aquifers in the Miocene formation of northernmost Japan. *Geobiology* 4, 147-223.
- Skirnisdottir, S., Hreggvidsson, G.O., Hjorleifsdottir, S., Marteinsson, V.T., Petursdottir, S.K., Holst, O. and Kristjansson, J.K. 2000. Influence of sulfide and temperature on species composition and community structure of hot spring microbial mats. *Appl. Environ. Microbiol.* 66 (7), 2835-2841.
- Spanevello, M.D. and Patel, B.K.C. 2001. The phylogenetic diversity of the thermophilic species *Thermus* and *Meiothermus* from the Great Artesian Basin of Australia. Unpublished.
- Spanevello, M.D. and Patel, B.K.C. 2001. Phylogenetic characterization of microbial communities from Australia's Great Artesian Basin. Unpublished.
- Spear, J.R., Walker, J.J., McCollom, T.M. and Pace, N.R. 2005. Hydrogen and bioenergetics in the Yellowstone geothermal ecosystem. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 102 (7), 2555-2560.
- Speck, M.D., Donachie, S.P. and Davy, S.K. 2007. A polyphasic description of bacteria diversity in *Pocillopora meandrina* at Palmyra Atoll. (Hawaii). Unpublished.
- Stein, L.Y., La Duc, M.T., Grundl, T.J. and Neelson, K.H. 2001. Bacterial and archaeal populations associated with freshwater ferromanganous micronodules and sediments. *Environ. Microbiol.* 3 (1), 10-18.
- Stott, M.B., Crowe, M.A., Alam, M., Mountain, B.W., Hou, S., Smirnova, A.V., Carvalho, T.M. and Dunfield, P.F. 2007. Isolation of novel bacteria, including a candidate division, from geothermal soils in New Zealand. Unpublished.
- Takai, K., Komatsu, T. and Horikoshi, K. 2001. *Hydrogenobacter subterraneus* sp. nov., an extremely thermophilic, heterotrophic bacterium unable to grow on hydrogen gas, from deep subsurface geothermal water. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 51 (PT 4), 1425-1435.
- Tarlera, S., Jangid, K., Ivester, A.H., Whitman, W.B. and Williams, M.A. 2007. Soil habitat development influences community structure and fosters bacterial richness. Unpublished.
- Trimarco, E.A., North, N.N., Davidson, M., Onstott, T.C. and Balkwill, D.L. 2004. Direct Submission Unpublished.
- Tucker, C.P., Pettigrove, V. and Parsons, Y.M. 2007. Impact of Anthropogenic Disturbance on Active Bacterial Communities in Urban Creek Sediments. Unpublished.
- Ullrich, S., Kube, M., Schubbe, S., Reinhardt, R. and Schuler, D. 2005. A hypervariable 130-kilobase genomic region of *Magnetospirillum gryphiswaldense* comprises a magnetosome island which undergoes frequent rearrangements during stationary growth. *J. Bacteriol.* 187 (21), 7176-7184.
- Upchurch, R.A., Tarlera, S. and Whitman, W.B. 2006. Comparison of Bacterial Communities and Diversity of Soil from Three Sites at an Experimental Rice Station. Unpublished.
- Zengler, K., Toledo, G., Rappe, M., Elkins, J., Mathur, E.J., Short, J.M. and Keller, M. 2002. Cultivating the uncultured. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99 (24), 15681-15686.
- Weidler, G.W., Dornmayr-Pfaffenhuemer, M., Gerbl, F. W., Heinen, W. and Stan-Lotter, H. 2007. Communities of Archaea and Bacteria in a Subsurface Radioactive Thermal Spring in the Austrian Central Alps, and Evidence of Ammonia-Oxidizing Crenarchaeota. *Appl. Environ. Microbiol.* 73 (1), 259-270.

Yergeau, E., Newsham, K.K., Pearce, D.A. and Kowalchuk, G.A. 2007. Patterns of bacterial diversity across a range of Antarctic terrestrial habitats. *Environ. Microbiol.* 9 (11), 2670-2682.

Yoon, J.H., Kang, S.J. and Oh, T.K. 2006. *Thermomonas dokdonensis* sp. nov., isolated from soil. Unpublished.