

Lífríki í hverum á háhitasvæðum á
Íslandi
–Heildarsamantekt-
DRÖG

1. Bakgrunnur

Unnið hefur verið að rannsóknum á lífríki hvera á Íslandi, einstökum hitakærum bakteríum og ensíum þeirra allt frá árinu 1980. Fyrst á Líftæknideild Iðntæknistofnunar undir stjórn Dr. Jakobs K. Kristjánssonar allt til ársins 1998, síðan á vegum fyrirtækisins Prokaria ehf fram til ársins 2006 og nú síðustu árin hjá Matís ohf. Mikil sérfræðipækning á sviði hveralíffræði hefur byggst upp innan hópsins sem er að nokkru leyti sá sami og í upphafi.

Unnið hefur verið að rannsóknum innan Rammaáætlunar ríkisstjórnarinnar um nýtingu á jarðvarma á háhitasvæðum á Íslandi undanfarin ár. Rannsóknir á lífríki í hverum eru liður í þessari áætlun og var Prokaria ehf falið á sínum tíma að annast þær. Verkefnið fluttist svo með Prokaria til Matís. Nútímaleg aðferðafræði sameindalíffræðinnar hefur verið nýtt til verksins, enda hefur Matís yfir að ráða besta tækjabúnaði sem völ er á til þess arna. Efnagreiningar hafa ennfremur verið gerðar í síauknum mæli í tengslum við verkefnið, enda vægi áhrifa efnasamsetningar á örveruflórana óumdeildar.

Fimm háhitasvæði voru könnuð árin 2004-2009 og skýrslum skilað þar um. Svæðin sem voru könnuð voru valin í samráði við fulltrúa Rammaáætlunar innan Orkustofnunar. Þessi svæði eru Hengilssvæðið, Torfajökulssvæðið, Krísuvík, Krafla og Vonarskarð. Umhverfisþættir s.s. hitastig, sýrustig, vatnsstaða og efnasamsamsetning ráða mestu um það hvaða bakteríu- og fornbakteríutegundir geta þrífist á hverjum stað. Það má því segja að örveruflóra hveranna endurspegli hveragerðina. Þegar breytingar verða á umhverfisþáttum af náttúrulegum völdum eða manna völdum má því vænta breytinga á samsetningu örveruflórunnar.

Hverir flokkast til jaðarumhverfis m.t.t. hitastigs og oft einnig sýrustigs sem getur verið tiltölulega lágt eða hátt. Örveruflóra jaðarvistkerfa einkennist oft af einni ríkjandi tegund sem er vel aðlöguð aðstæðum og fjölmörgum tegundum sem finnast aðeins í lágu hlutfalli. Eftir því sem hitastigið er lægra og sýrustig nær hlutlausu pH fjölgar almennt þeim tegundum sem fá þrífist og hlutfall ríkjandi tegundar verður ekki alveg eins afgerandi.

Gríðarlegt gagnamagn hefur safnast úr rannsóknum á lífríki hvera vegna Rammaáætlunar, sérstaklega á formi tegundagreiningandi genaþáa (16S rRNA) úr hverabakteríum og fornbakteríum. Er nú unnið að því að koma þessum gögnum fyrir í gagnagrunni (ARB) sem mun einnig hýsa sambærileg gögn úr öðrum rannsóknum á hverasvæðum á Íslandi. Þetta mun gera kleift að skoða og bera saman tegundasamsetningu í einstökum hverum og hverasvæðum víðs vegar um land m.t.t. umhverfisþátta o.fl. á skilvirkari hátt en ella. Vonir standa til að grunnurinn verði tilbúinn á vormánuðum 2010.

Viðfangsefni þessarar samantektar og markmið er að raða fimm háhitasvæðum þ.e. Hengilssvæði, Torfajökulssvæði, Krísuvík, Kröflu og Vonarskarði eftir líffræðilegum fjölbreytileika og líffræðilegri sérstöðu eða fágæti þeirra. Þessi skýrsludrög innihalda yfirlit um tegundagreiningar sem unnar hafa verið á sýnum ásamt tölfræðilegri úrvinnslu. Þess ber að geta að heildarsamantekt á þeim gögnum sem fengist hafa í rannsóknunum er ekki lokið og ber því að líta á þær niðurstöður sem hér fylgja sem frumsamantekt.

2. Sýnataka og sýnatökustaðir

Sýni voru tekin úr sem fjölbreyttustum hveragerðum á hverjum stað. Gerð sýna var einnig mismunandi: Lífmassasýni, jarðvegssýni og vatnssýni. Stundum var um manngerða sýnatökustaði að ræða s.s. afrennsli frá orkuveri í Kröflu.

Svæðin sem voru könnuð voru Hengilssvæðið, Torfajökulssvæðið, Krísuvík, Krafla og Vonarskarði, en þessi svæði eru afar mismunandi að umfangi og fjölbreytileika hveragerða. Ennfremur er afmörkun þeirra oft óljós. Svæðin og undirsvæði þeirra fylgja hér á eftir:

- Hengilssvæðið er tiltölulega stórt og fjölbreyttar hveragerðir. Sýni voru tekin úr hverum í Sleggjubeinsdal, Miðdal, Fremstadal, Ölkelduhálsi, Grændal, Reykjadal og Hagavíkurlaugum. Alls voru tekin 25 sýni og tókst að greina bakteríur og/eða fornbakteríur í 15 þeirra.
- Torfajökulssvæðið er gríðarlega yfirgripsmikið með fjölbreyttar hveragerðir. Sýni voru tekin úr hverum af svæðinu við Stórahver, Brennisteinsöldu, Landmannalaugum, hverasvæði milli Landmannalauga og Brennisteinsöldu og Reykjadölum vestari. Sýni voru hvorki tekin úr Reykjadölum eystri né Kerlingafjöllum. Alls voru tekin 20 sýni og tókst að greina bakteríur og/eða fornbakteríur í 14 þeirra.
- Krísuvíkursvæðið er tiltölulega afmarkað. Í þessari rannsókn voru tekin sýni í Seltúni og einnig úr Austurengjahver. Einnig voru tekin sýni úr Gunnuhver áður en breytingarnar áttu sér stað. Áætlað er að taka og greina fleiri sýni af svæðinu í tengslum við umhverfismat vegna stækkunar Reykjanesvirkjunar. Alls voru tekin 13 sýni og tókst að greina bakteríur og/eða fornbakteríur í sjö þeirra
- Kröflusvæðið er víðfemt og afar fjölbreytt. Í þessari rannsókn voru tekin sýni úr Suðuhlíðum Kröflu, Námafjalli, Leirhnúk, Hverum, Jarðbaðshólum og Grjótagjá. Alls voru tekin 25 sýni og tókst að greina bakteríur og/eða fornbakteríur í 18 þeirra.
- Hverasvæðið í Vonarskarði er afar fjölbreytt en samþjappað. Svæðið sem kannað var hér var svæðið austan Eggju, gufuaugu og leirhverir efst og hverir, lækir og afrennsli hvera neðar. Alls voru tekin 32 sýni og tókst að greina bakteríur og/eða fornbakteríur í 26 þeirra.

3. Erfðagreiningar

Tafla 1 gefur heildaryfirlit um sýni og greiningar sem gerðar hafa verið. Eins og sjá má er fjöldi bakteríu- og fornbakteríugreininga í sýnunum ærið misjafn. Erfiðlega gekk að magna upp fornbakteríugenið með þeim vísnum sem notaðir voru. Greiningarnar voru endurteknaðar með öðrum vísnum og gekk þá heldur betur.

TAFLA 1. Yfirlit erfðagreininga

Svæði	Sýni tekni	Sýni DNA greind	Fjöldi bakteríu-greininga ^{a)}	Fjöldi bakteríu-tegunda	Fjöldi fornbakteríu-greininga ^{b)}	Fjöldi fornbakteríu-tegunda
Hengilssvæði	25	15	975	107	105	11
Torfajökulssvæði	20	14	996	156	37	e.g.
Krísuvík	13	7	356	24	129	4
Krafla	25	18	791	122	135	13
Vonarskarð	32	26	600	119	155	19
ALLS	115	80	3718		561	

^{a)}Raðgreiningar á tegundagreinandi 16S rRNA geni baktería

^{b)}Raðgreiningar á tegundagreinandi 16S rRNA geni fornbaktería

4. Líffræðilegur fjölbreytileiki

Við mat á líffræðilegum fjölbreytileika á svæðunum sem könnuð voru var einkum var byggt á niðurstöðum úr bakteríugreiningum þar sem þær voru mun fleiri en fornbakteríugreiningarnar og náðust úr mun fleiri sýnum. Niðurstöður voru teknar saman og líffræðilegur fjölbreytileiki metinn á hverju svæði með tölfræðilegum aðferðum, s.s. söfnunarkúrfum og útreikningi á Shannon stuðli (H).

4.1 Líffræðilegur fjölbreytileiki - Shannon

Ýmsar aðferðir eru nýttar til til að reikna út líffræðilegan fjölbreytileika í sýnum en líffræðilegur fjölbreytileikastuðull Shannons – „H“ er einna mest notaður og fæst með jöfnunni:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i - [(S - 1)/2N]$$

þar sem S = fjöldi tegunda, n_i = fjöldi einstaklinga (raða) innan tegundar, N = heildarfjöldi, og p_i = hlutfall hvernar tegundar reiknað út frá n_i/N .

Þessi stuðull var notaður til að meta líffræðilegan fjölbreytileika baktería á háhitasvæðunum fimm og sýnir tafla 2 niðurstöðurnar.

TAFLA 2. Líffræðilegur fjölbreytileiki baktería á fimm mismunandi háhitasvæðum

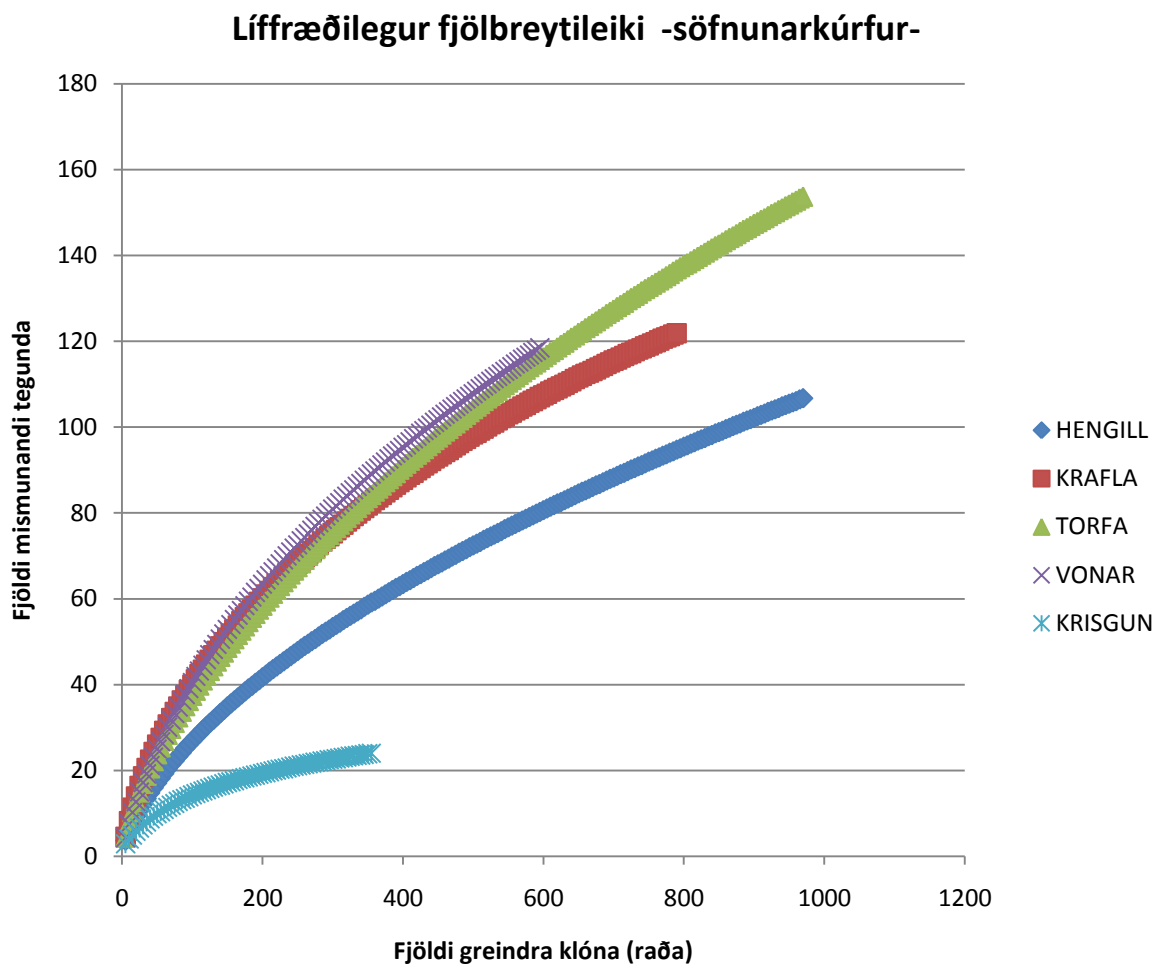
Svæði	N	S	H	Röðun ^{a)}
Hengilssvæði	975	107	2,66	4
Torfajökulssvæði	996	156	3,43	2
Krísuvík	356	24	1,63	5
Krafla	791	122	3,59	1
Vonarskarð	600	119	3,36	3

^{a)}Röðun byggð á útreiknuðu gildi fyrir líffræðilegan fjölbreytileika þ.e. „H“ í dálkinum á undan.

Samkvæmt töflunni er líffræðilegur fjölbreytileiki mestur í Kröflu, síðan kemur Torfajökulssvæðið, Vonarskarð, Hengilssvæði og að lokum Krísuvík.

4.2 Líffræðilegur fjölbreytileiki – söfnunarkúrfur -

Annar mælikvarði á líffræðilegan fjölbreytileika eru svokallaðar „rarefaction“ kúrfur eða söfnunarkúrfur. Slíkar kúrfur gefa til kynna líkurnar á því hvort fleiri tegundir finnast í sýni með því að greina fleiri klóna (raðir). Mynd 1 sýnir slíkar kúrfur sem gerðar voru fyrir sýnin af háhitasvæðunum fimm og eru byggðar á sömu gögnum og útreikningar á fjölbreytileikastuðli Shannons hér að framan. Eins og sjá má eru kúrfurnar fyrir Vonarskarð og Torfajökulssvæðið brattastar og eru enn á uppleið, sem gefur til kynna að ef fleiri klónar væru greindir væru talsverðir möguleikar á að finna nýjar tegundir. Fjölbreytileikinn telst því mestur á þessum hverasvæðum en Krafla fylgir fast í kjölfarið. Hengilssvæðið liggur talsvert neðar. Eins og vænta mátti liggur kúrfan fyrir Krísuvík neðst og stefnir í lárétta línu sem gefur til kynna að ef fleiri klónar væru greindir úr sýnunum væru hverfandi líkur á að finna nýjar tegundir.



Mynd 1. Samanburður á hverasvæðum. Söfnunarkúrfur. Skýringar á uppruna klóna eru gefnar til hliðar.

Röðun svæða eftir fjölbreytileika út frá niðurstöðum söfnunarkúrfa fyrir einstök svæði verður þá:

- 1-2 Vonarskarð
- 1-2 Torfajökull
- 3 Krafla
- 4 Hengilssvæði
- 5 Krísuvík

5. Líffræðileg sérstaða

Skyldleikatré voru búin til fyrir allar fylkingar á hverju svæði. Stakar greinar sem innihéldu fleiri en einn fulltrúa voru skoðaðar og fágæti metið með samanburði við þekktar raðir í Genbank. Miðað er við að skyldleiki undir 97-98% greini tegundir að. Ennfremur að skyldleiki undir 94 - 95% bendi til að um nýja ættkvísl sé að ræða. Tegundir sem sýndu $\leq 97\%$ skyldleika við nánasta ættingja í Genbank voru flokkaðar sér og síðan samraðað innan fylkinga af öllum svæðum til að athuga hvort þær fundust á fleiri en einu svæði rannsóknarinnar, eða hvort þær væru svæðisbundnar. Hér á eftir fer upptalning á sérstökum nýjum tegundum / ættkvíslum sem fundust á hverju svæði.

1. Hengilssvæði

Acidobacteria

- 17-SBD-2 Ný ættkvísl úr sýni úr Sleggjubeinsdal. Skyldleiki 92%
- 6-O3-3 Ný tegund úr sýni af Ölkelduhálsi. Skyldleiki 96%

Actinobacteria

- 13-O3-2 Ný ættkvísl úr sýni af Ölkelduhálsi. E.t.v. Firmicutes. Skyldleiki 93%
- 7-SBD-1 OG 8-O3-7 Ný ættkvísl úr sýnum úr Sleggjubeinsdal og af Ölkelduhálsi. Skyldleiki aðeins 89%.
- 7-O3-8 Ný ættkvísl sem fannst í nokkrum eintökum í sýni af Ölkelduhálsi. 94%

Chloroflexi

- 21-SBD-2 Ný ættkvísl úr sýni úr sleggjubeinsdal. 91% skyldleiki.

Firmicutes

- 16-O2-2 Ný tegund sem fannst á Ölkelduhálsi. Skyldleiki 96%

Bacteroidetes Chlorobi

- 10-SBD-1 (94%), 19-O2-1 (90%), 3-O2-1 (90%) Stakar raðir fjarskyldar

β -Proteobacteria

- 6-O1-2 Ný tegund af Ölkelduhálsi, 92% skyldleiki

Cyanobacteria

- 28-O3-1 (95%) og 9-SBD-1 (90%) Báðar fjarskyldar Leptolyngbya

Chrenarchaeota

- 641-4-2 Ný ættkvísl 94% skyldleiki
- 641-5-2 Ný ættkvísl 93% skyldleiki
- 641-7-2 Ný ættkvísl 94% skyldleiki
- 641-10-1 Ný ættkvísl 92% skyldleiki

2. Torfajökulssvæði

Acidobacteria

- 7-603-2 Ný ættkvísl sem fannst í sýni úr Reykjadölum. Skyldleiki við nánasta ættingja 95%
- 18-588-2 Ný ættkvísl sem fannst í sýni á svæðinu við Stórahver. Skyldleiki við nánasta ættingja 92%
- 4-605-8 og 6-594-5 Ný ættkvísl sem fannst í sýni úr Reykjadölum og úr sýni úr gufuauga í Brennisteinsöldu. Skyldleiki við nánasta ættingja 96%
- 15-588-2 Ný ættkvísl úr sýni við Stórahver. Skyldleiki við nánasta ættingja 92%

Cyanobacteria

- 5-603-3 í sýni úr Reykjadölum. Ný ættkvísl sem sýnir 94% skyldleika við nánasta ættingja í Genbank.

Chloroflexi

- 15-592-1, 21-592-1, 15-600-1 og 4-592-3 Ný ættkvísl sem fannst í nokkrum eintökum í sýni úr Stórahver og einnig úr Reykjadölum. Skyldleiki við nánasta ættingja er 92%.
- 10-603-1, 4-603-10, 2-591-5, 34-588-1 Ný ættkvísl sem fannst í þó nokkrum eintökum í sýnum úr Reykjadölum og við Stórahver. Skyldleiki aðeins 90%
- 3-595-1, 17-594-1 úr sýnum úr gufuaugum í Brennisteinsöldu. Ný ættkvísl. Skyldleiki við nánasta ættingja 90%.

Deinococcus Thermus

- Ný tegund *Thermus islandicus* fannst í fjölmörgum eintökum í sýnum í Reykjadal og við Stórahver. Þessi tegund var í framhaldinu einangruð úr hver í Reykjadal í tengslum við verkefnið og grein er í birtingu.
- 1-600-18, 7-597-1, 2-594-7 Ný tegund innan ættkvíslar *Meiothermus*. 96% skyldleiki.
- 10-594-2 Ný ættkvísl. Skyldleiki 92%
- 5-588-4 Ný tegund. ættkvísl, skyldleiki 94%
- 9-588-6, 27-588-1, 13-588-2, 10-588-2 Ný ættkvísl sem finnst í þó nokkrum eintökum í sýni sem tekið var við Stórahver. Skyldleiki 93%

Firmicutes

- 12-600-2, 5-600-2 Ný ættkvísl sem fannst í nokkrum eintökum í sýni úr Reykjadölum. Skyldleiki við nánasta ættingja í Genbank 92%
- 14-588-2 og 7-588-3 úr sýni af svæðinu við Stórahver mynda saman grein og eru fulltrúar fyrir nýja ættkvísl sem er ca 96% skyld nánasta ættingja í Genbank
- 37-600-1 og 40-600-1 úr sýni úr Reykjadölum. Ný ættkvísl. Skyldleiki við nánasta ættingja 91%.
- 7-591-2 úr sýni við Stórahver. Ný ættkvísl sem sýnir aðeins 92% skyldleika við nánasta ættingja
- 8-591-2 úr sýni við Stórahver. Ný ættkvísl sem sýnir aðeins 93% skyldleika við nánasta ættingja.

β-Proteobacteria

- 2-603-21 Finnst í talsverðum mæli í þó nokkrum sýnum. Tegundin hefur einnig fundist í Grænadal.

δ-Proteobacteria

- 16-588-2 ný ættkvísl 92% skyldleiki

ε-Proteobacteria

- 8-588-2 95% skyldleiki

Dictyoglomus

- 7-589-1 Ný tegund en finnst einnig í Grænadal. Skyldleiki 97%

OP-5

- 4-591-3 og 21-600-1. Þessar tegundir eru náskyldar SRI280 sem fannst áður í Grænadal

OP-10

- 6-591-5 af svæðinu við Stórahver. Ný ættkvísl 95% skyldleiki við óræktaða tegund innan OP-10

Planctomycetes

- 6-592-4 Ný ættkvísl sem fannst í sýni af svæðinu við Stórahver. Skyldleiki við nánasta ættingja 94%.
- 8-592-2 Ný tegund sem fannst í sýni af svæðinu við Stórahver. Skyldleiki við nánasta ættingja 92%.

Crenarchaeota

- 598-1-3 Ný tegund úr Reykjadal v. Skyldleiki 97%

Nanoarchaeota

- 598-12-1 Ný tegund aðeins 92% skyldleiki. Mjög sjaldgæf fylking og þróunarfræðilega áhugaverð.

3. Krísuvík

Rannsóknasvæðið í Krísuvík einskorðaðist við Seltún. Sýni voru jafnframt tekin úr Austurengjahver en ekki tókst að erfðagreina þau. Sýni voru einnig tekin af svæðinu við Gunnhver áður en breytingarnar áttu sér stað.

OP-5

- K3-5-3 og K4-3-7 Þessar tegundir eru skyldastar SRI280 sem fannst áður í Grænadal. Finnast einnig á Torfajökulssvæði

D-Proteobacteria

- K4-7-3, K3-6-1, K1-3-3 Ný tegund sem fannst í nokkrum sýnum úr Seltúni. Nánasti ættingi 97% skyldleiki

ε-Proteobacteria

- K4-11-2 Ný tegund sem fannst í Seltúni. Nánasti ættingi 97% skyldleiki

Nitrospira

- K4-14-1 úr Seltúni. Ný tegund. 97% skyld SRI9

Verrumicrobia

- K4-17-1 Ný ættkvísl úr Seltúni. 94% skyldleiki

4. Krafla

Afmörkun Kröflusvæðisins er dálítið óljós. Sýni voru tekin á mörgum mismunandi stöðum á svæðinu s.s. úr suðurhlíðum Kröflu, úr afrennislækjum frá Orkuveri, úr Leirhnúki, Námafjalli og Hverum, úr Jarðbaðshólum og Grjótagjá.

Acidobacteria

- JB-8-2 og JB5-9-1 Ný ættkvísl úr Jarðbaðshólum. Skyldleiki 95%

Actinobacteria

- B3-1-3 ný ættkvísl sem fannst í nokkrum eintökum í jarðvegssýni úr brennisteinsflagi. Skyldleiki 91%.
- JB1-12-3 Ný ættkvísl sem fannst í nokkrum eintökum í Jarðbaðshólum. Skyldleiki 89%

Bacteroidetes-Chlorobi

- L5-13-1 Ný ættkvísl sem finnst einnig í Vonarskarði (Sediminibacterium) 95% skyld.

Cyanobacteria

- JB5-16-1 Ný ættkvísl úr Jarðbaðshólum, 95% skyldleiki

Chloroflexi

- JB5-4-6 Ný ættkvísl sem fannst í nokkrum eintökum í sýni úr Jarðbaðshólum, 89% skyldleiki

Deinococcus Thermus

- L2-6-3 Tegund úr sýni úr affallslæk í Kröflu 98% skyld T aquaticus
- L2-8-2 Ný tegund úr sýni úr affallslæk í Kröflu 96% skyld nánasta ættingja

 α -Proteobacteria

- L4-7-3 Ný tegund sem fannst í nokkrum eintökum í sýni úr affallslæk í Kröflu. Skyldleiki 97% (Magnetospirillum)
- L4-6-2 Ný tegund sem fannst í nokkrum eintökum í sýni úr affallslæk í Kröflu. Skyldleiki 96%, 95% við Roseomonas stagni

Firmicutes

- 693-5-2 Ný ættkvísl úr jarðvegssýni úr Leirhnúk. Skyldleiki 94%
- JB1-10-2 Ný ættkvísl úr sýni úr Jarðbaðshólum. Skyldleiki 95%
- JB1-9-2 Ný ættkvísl úr sýni úr Jarðbaðshólum. Skyldleiki 83-85%
- JB5-6-4 Ný ættkvísl úr sýni úr Jarðbaðshólum. Skyldleiki 90%
- 693-7-2 Ný tegund úr jarðvegssýni úr Leirhnúk. Skyldleiki 97%

Nitrospira

- JB1-15-2 Ný tegund úr sýni úr Jarðbaðshólum. Skyldleiki 97%

 γ -proteobacteria

- HV1-6-2 Ný tegund úr sýni úr Hverum. Skyldleiki 97%
- L5-12-2 og L4-10-1 Ný tegund úr sýnum úr affallslæk í Kröflu. Skyldleiki 96%

 β -Proteo

- L4-9-2 Ný ættkvísl úr sýni úr affallslæk í Kröflu. Skyldleiki 93%

 ϵ -Proteo

- L5-1-1 og L3-4-1 99% skyldar nánasta ættingja

Gemmatimonadetes

- JB1-6-2 úr sýni í Jarðbaðshólum. Skyldleiki 92% við nánasta ættingja
- JB1-4-2 úr sýni í Jarðbaðshólum. Skyldleiki 90% við nánasta ættingja

OP10

- 693-6-3 Ný tegund úr sýni úr Leirhnúk

Chrenarchaeota

- 627-5-2 Ný tegund sem fannst í sýni úr Brennisteinsflagi (Kröflu) 97% skyldleiki
- 632-22-1 Ný ættkvísl sem fannst í sýni úr Jarðbaðshólum. Skyldleiki við nánasta ættingja aðeins 92%

5. Vonarskarð:

Afmarkað svæði með fjölbreyttar hveragerðir, fjölmargar nýjar tegundir og ættkvíslir bæði innan baktería og fornbaktería.

Aquificae:

- 737-10-1, 737-13-1, 737-12-1, 736-18-2 Ný ættkvísl sem fannst í sýnum af vestara svæði ofarlega í Vonarskarði. Skyldleiki við nánustu ættingja er á bilinu 91-93%
- 730-4-1, 730-10-1, 73614-1 Ný ættkvísl sem fannst í sýnum af vestara svæði ofarlega í Vonarskarði. Skyldleiki við nánustu ættingja er á bilinu 93-96%

Bacteroidetes-Chlorobi

- 738b-12-1 Ein ný ættkvísl innan Bacteroidetes fylkingarinnar er skyldust Sediminibacterium tegund, en aðeins 90% skyldleiki. Finnst bæði í Rauðalæk og Vestara svæði ofarlega.
- 738-5-1 Ein ný ættkvísl innan Chlorobaculum fylkingarinnar. Nánustu ættingjar aðeins 90% skyldir. Finnst í sýnum af vestara svæði ofarlega í Vonarskarði.
- 734-16-1, 734-7-1, 738-6-1, 734-21-1 Ein ný ættkvísl innan Chlorobaculum fylkingarinnar. Fannst í nokkrum sýnum sem öll voru tekin á vestara svæði ofarlega í Vonarskarði. Nánustu ættingjar 92-95% skyldir.
- 736-9-3 Ein mjög sérstök tegund sem fannst í 3 sýnum á vestara svæði ofarlega. Þessi nýja tegund tilheyrir nýrri ættkvísl og er aðeins 89% skyld nánasta ættingja.

Chloroflexi

- A734-4-3 Ný ættkvísl sem fannst í sýni úr vestursvæði ofarlega. Skyldleiki við nánasta ættingja aðeins 91%
- A744-7-11 Ný ættkvísl sem fannst í sýni úr Varmalæk. Skyldleiki við nánasta ættingja er aðeins 90%.
- A747-1-3 Ný ættkvísl sem fannst í nokkrum sýnum í Varmalæk og er aðeins 93% skyld nánasta ættingja.

δ-Proteobacteria

- 738b-1-4, 735-2-3, 731-3-3 Ný ættkvísl sem fannst í nokkrum sýnum sem tekin voru á vestara svæði ofarlega í Vonarskarði. Skyldleiki við nánasta ættingja aðeins 92%

Firmicutes

- 738b-2-16 ofl Ný ættkvísl sem fannst í nokkrum sýnum sem tekin voru á vestara svæði ofarlega í Vonarskarði. Skyldleiki við nánasta ættingja aðeins 92%.

Euryarchaeota

- A746-5-2, a743-9-1 Ný ættkvísl í sýnum úr Varmalæk í Vonarskarði. Skyldleiki við nánasta ættingja í Genbank aðeins 89%
- A746-14-1, a745-11-1 Ný ættkvísl í sýnum úr Varmalæk í Vonarskarði. Skyldleiki við nánasta ættingja í Genbank aðeins 91%
- A734-5-19 o.fl. Ný ættkvísl í nokkrum sýnum úr Varmalæk og Rauðalæk. Skyldleiki við nánasta ættingja í Genbank aðeins 95%
- A718-3-3 Ný ættkvísl í sýni af háhitasvæðinu efst í Vonarskarði. Skyldleiki við nánasta ættingja 95%
- A744-6-2 Ný ættkvísl úr sýni úr Varmalæk. Skyldleiki 94%.
- A741-2-4 og a730-4-2 Ný ættkvísl, - e.t.v. ný fylking sem fannst í nokkrum eintökum í Rauðalæk og á vestara svæðinu ofarlega. Skyldleiki aðeins 79%.

Hér á eftir fylgja skyldleikatré sem sýna dreifingu sjaldgæfra tegunda sem fundust í verkefninu.

Við skoðun á þeim er einkum tvennt sem vekur athygli: Í fyrsta lagi að flestar þær sjaldgæfu tegundir sem fundust í verkefninu eru svæðisbundnar, sama sjaldgæfa tegundin finnst aðeins í örfáum tilvikum á fleiri en einu svæði og þá mest á tveimur svæðum. Í öðru lagi að flestar sjaldgæfu tegundirnar eru bundnar við Torfajökulssvæðið og Vonarskarð.

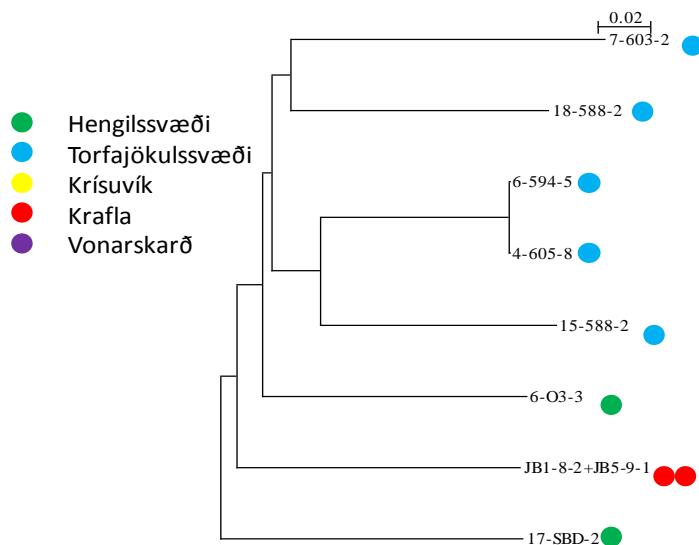
Þegar nánar er rýnt í trén sést að flestar sjaldgæfu tegundirnar á Torfajökulssvæðinu koma af svæðinu við Stórahver og úr Reykjadölum. Einnig finnast sérstakar tegundir í sýnum úr Brennisteinsöldu.

Nánari skoðun á uppruna sjaldgæfra tegunda í Vonarskarði sýnir að þær koma flestar af vestara svæði ofarlega og úr Varmalæk.

Nánari skoðun á uppruna sjaldgæfra tegunda á Kröflusvæðinu sýnir að þær koma einkum úr gufuaugum í Jarðbaðshólum, úr Brennisteinsflagi og úr affallslæk frá Orkuverinu í Kröflu.

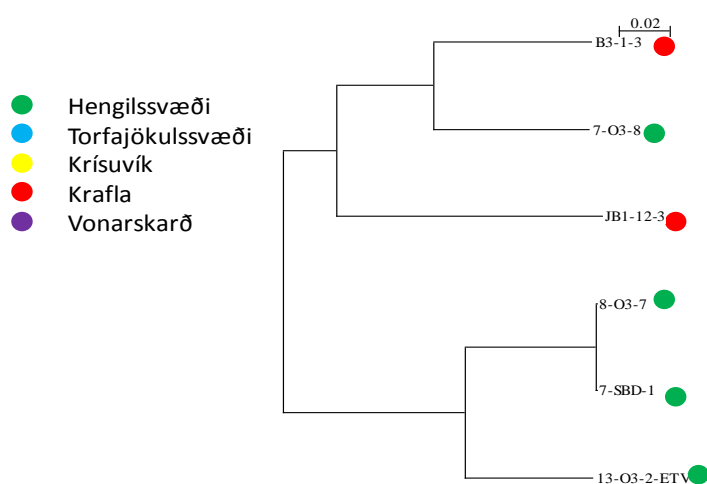
Nánari skoðun á uppruna sjaldgæfra tegunda á Hengilssvæði sýnir að þær koma einkum af Ölkelduhálsi og úr Sleggjubeinsdal.

Dreifing sjaldgæfra tegunda Acidobacteria



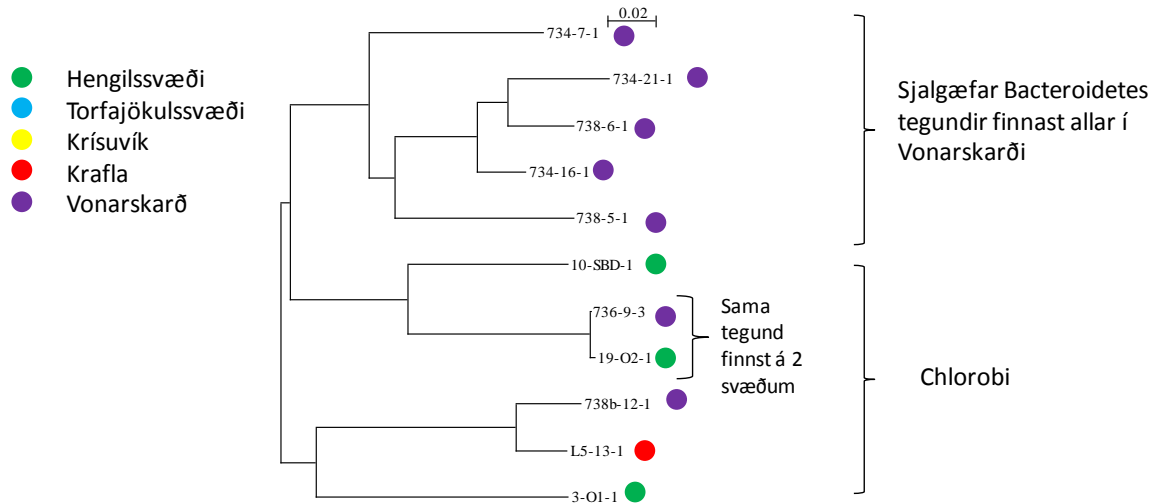
Sjaldgæfar tegundir Acidobacteria eru svæðisbundnar og koma flestar af Torfajökulssvæði

Dreifing sjaldgæfra tegunda Actinobacteria

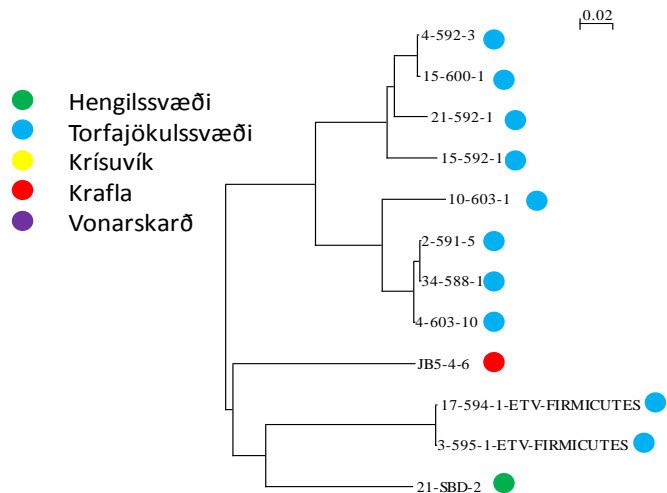


Sjaldgæfar tegundir Actinobacteria eru svæðisbundnar og koma flestar af Hengilssvæðinu.

Dreifing sjaldgæfra tegunda Bacteroidetes / Chlorobi

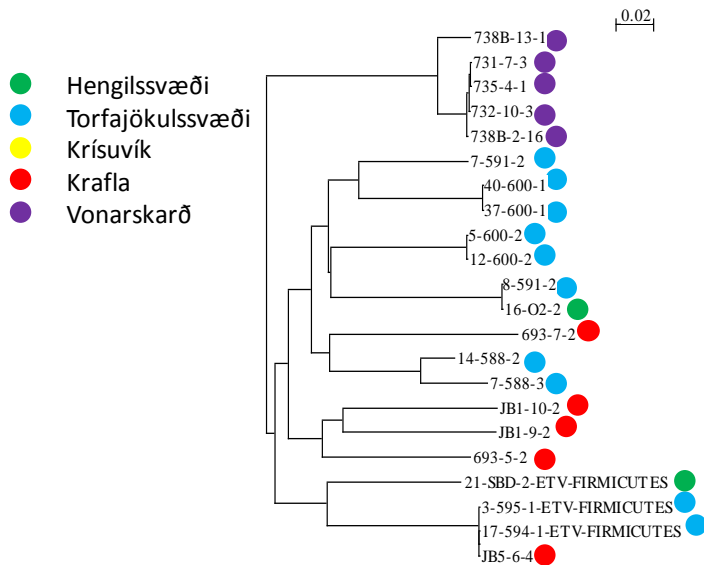


Dreifing sjaldgæfra tegunda Chloroflexi



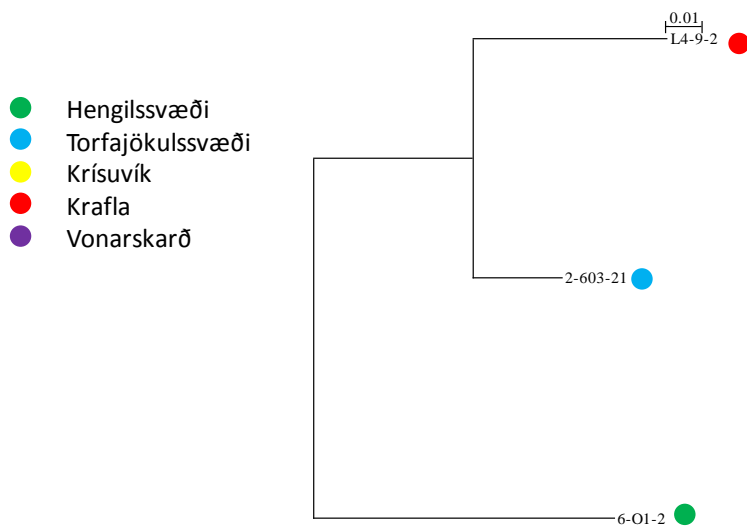
Langflestar sjaldgæfar tegundir Chloroflexi koma af Torfajökulssvæðinu.

Dreifing sjaldgæfra tegunda Firmicutes



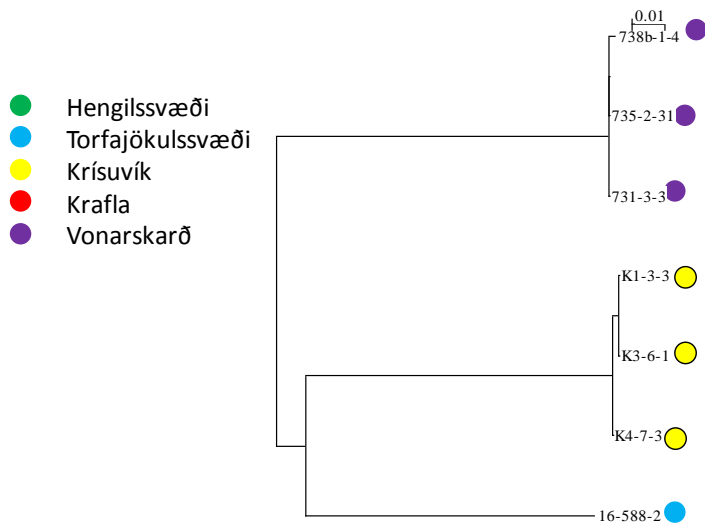
Sjaldgæfar tegundir Firmicutes eru svæðisbundnar og flestar úr Vonarskarði eða Torfajökulssvæði

Dreifing sjaldgæfra tegunda β -Proteobacteria



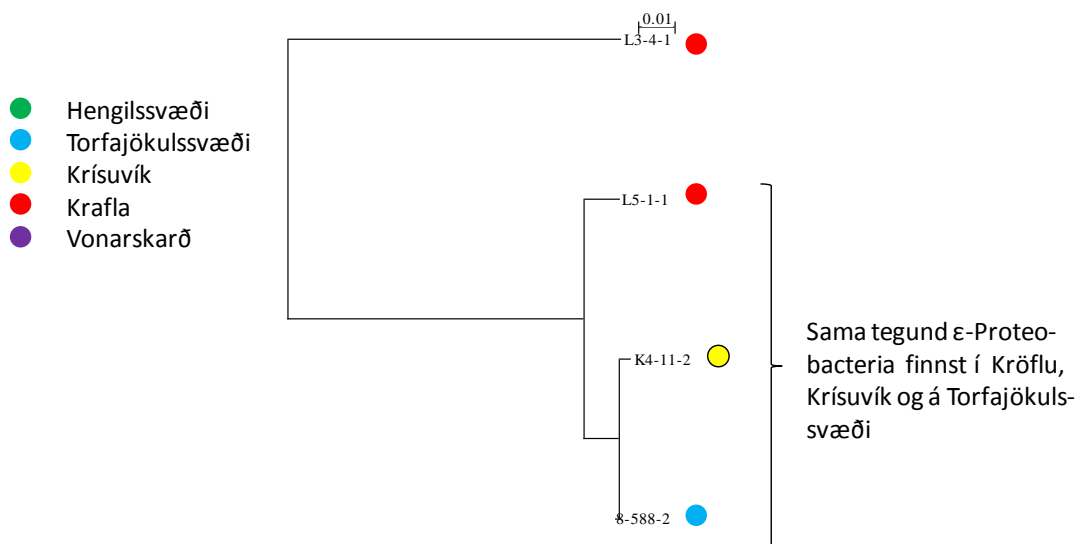
Sjaldgæf tegund β -Proteobacteria finnst einungis á Torfajökulssvæði

Dreifing sjaldgæfra tegunda δ -Proteobacteria

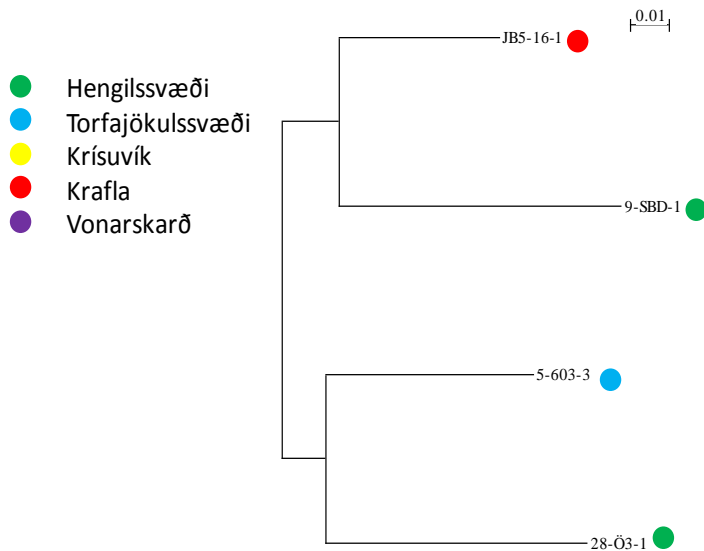


Þrjár sjaldgæfar tegundir δ -Proteobacteria eru svæðisbundnar

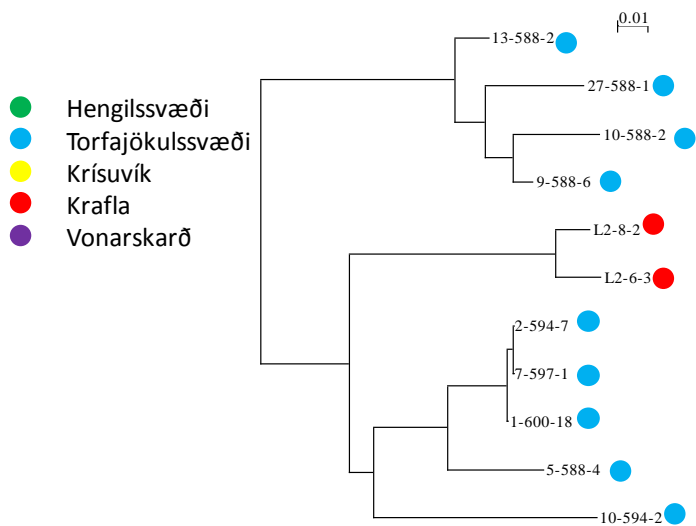
Dreifing sjaldgæfra tegunda ϵ -Proteobacteria



Dreifing sjaldgæfra tegunda Cyanobacteria

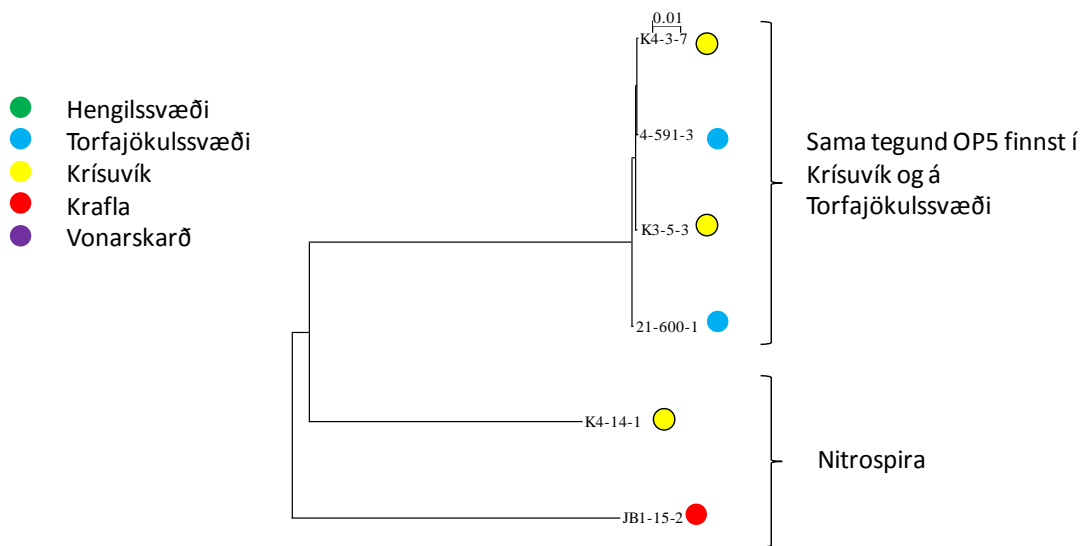


Dreifing sjaldgæfra tegunda Deinococcus / Thermus

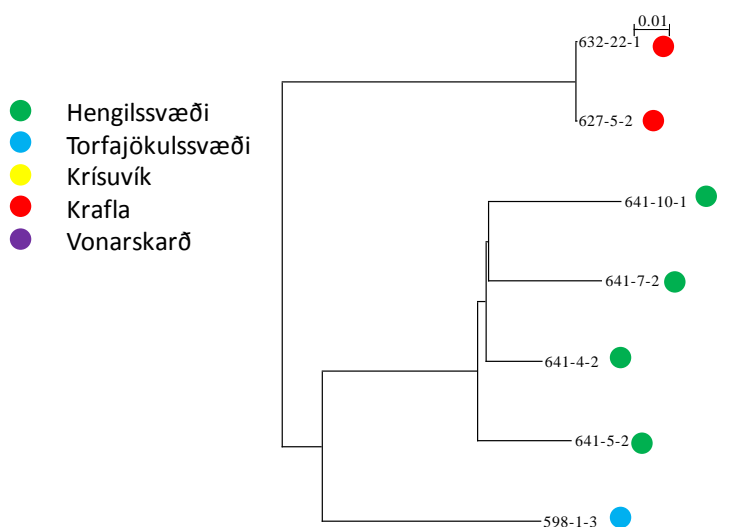


Sjaldgæfar tegundir Deinococcus Thermus eru svæðisbundnar og flestar á Torfajökulssvæði

Dreifing sjaldgæfra tegunda OP5 og Nitrospira

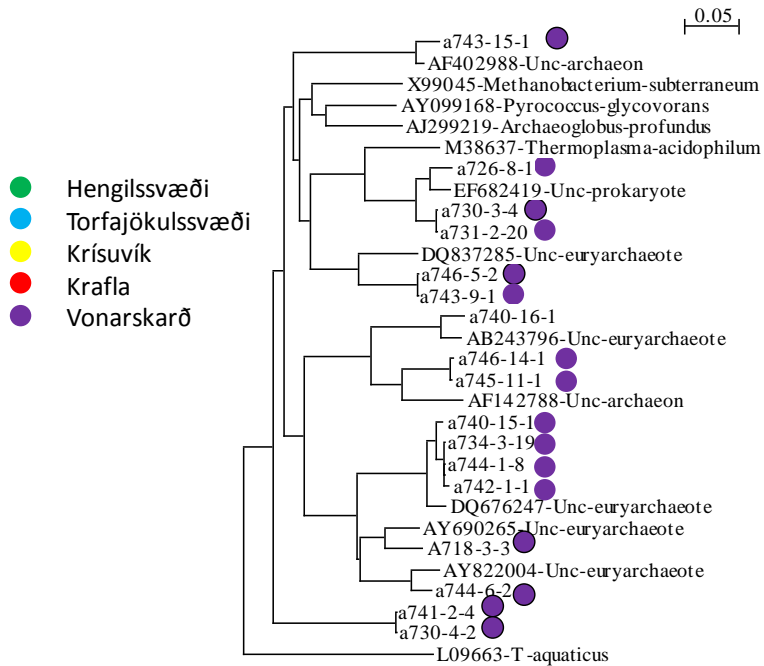


Dreifing sjaldgæfra tegunda Crenarchaeota



Þrjár sjaldgæfar tegundir Crenarchaeota eru svæðisbundnar

Dreifing sjaldgæfra tegunda Euryarchaeota



Ýmsar óþekktar tegundir af fylkingu Euryarchaeota innan Fornbaktería fundust í Vonarskarði en ekki annars staðar

6. Samantekt

Í þessari frumsamantekt var markmiðið að raða svæðum sem rannsökuð voru eftir líffræðilegum fjölbreytileika og líffræðilegri sérstöðu eða fágæti.

- Útreikningur á Shannon stuðli fyrir líffræðilegan fjölbreytileika gefur til kynna að Kröflusvæðið sé fjölbreyttast, þá Torfajökull, síðan Vonarskarð, Hengill og að lokum Krísuvík.
- Samanburður á líffræðilegum fjölbreytileika á svæðunum var einnig framkvæmdur með gerð svokallaðra söfnunarkúrfa. Niðurstöðurnar voru svipaðar fyrir Torfajökulssvæðið og Vonarskarð en fjölbreytileikinn var mestur á þessum tveimur svæðum. Krafla fylgdi á eftir, þá Hengilssvæðið og að lokum Krísuvík.
- Líffræðileg sérstaða var metin á grundvelli sérstakra tegunda sem fundust á hverju svæði, samanburði við þekktar tegundir í Genbank og samanburði innbyrðis á milli svæða. Tegundirnar virtust að langmestu leyti svæðisbundnar. Niðurstöðurnar gáfu til kynna að flestar nýjar tegundir og ættkvíslir var að finna á Torfajökulssvæðinu og í Vonarskarði. Ennfremur fundust nýjar ættkvíslir á Kröflusvæðinu og Hengilssvæðinu en ekki í eins miklum mæli og í hinum fyrrnefndu.
- Helstu hópar sem vekja sérstaka athygli eru:
 - Stór hópur óþekkra tegunda / ættkvísla Euryarchaeota fornbaktería sem hafa ekki fundist annars staðar en í Vonarskarði svo vitað sé. Tegundirnar fundust einkum í Varmalæk og Rauðalæk, en líka ofar á jarðhitasvæðinu.
 - Tegund innan fornbaktería sem er líklega fulltrúi fylkingarinnar Nanoarchaeota sem er afar sérstök.
 - Stór hópur sérstakra tegunda innan Firmicutes sem finnst aðeins í Vonarskarði ofarlega af vestara svæði.
 - Nýjar ættkvíslir og tegundir innan Bacteroidetes sem finnast aðeins í Vonarskarði
 - Sjaldgæf tegund δ -Proteobaktería sem finnst einungis í Vonarskarði
 - Nokkrar nýjar tegundir / ættkvíslir Acidobacteria sem finnast aðeins á Torfajökulssvæðinu, - í Stórahver og Reykjadölum.
 - Þrjár nýjar ættkvíslir innan Chloroflexi sem finnast einungis á Torfajökulssvæði.

- Nokkrar nýjar ættkvíslir innan Firmicutes sem finnast einungis á Torfajökulssvæði.
- Ný tegund β -Proteobacteria sem finnst aðeins á Torfajökulssvæði
- Nýjar tegundir og ættkvíslir innan Deinococcus / Thermus sem finnast á Torfajökulssvæði.
- Ein ný ættkvísl Crenarchaeota sem finnst á Torfajökulssvæði.
- Sérstakar tegundir og ættkvíslir innan Actinobacteria finnast einkum á Kröflusvæði (Jarðbaðshólum) og á Hengilssvæði.
- Ýmsir sérstakir hópa fundust á Kröflusvæði og þá einkum í Jarðbaðshólum.

Lokaorð

Eins og áður hefur komið fram er hér aðeins um að ræða drög að heildarsamantekt um lífríki í hverum á háhitasvæðum á Íslandi. Niðurstöðurnar eru um margt merkilegar einkum fjöldi nýrra ættkvísla og tegunda sem fundust.

Gert er ráð fyrir að skila lokaskýrslu um niðurstöðurnar á vormánuðum 2010. Ennfremur er áætlað að skrifa grein um niðurstöðurnar til birtingar í *Extremophiles* 2011.

Reykjavík, 30.október 2009

Sólveig K. Pétursdóttir