



**Ritgerð um verkefni til fullnustu MS prófs í matvælafræði við Matvæla- og
næringarfræðideild Háskóla Íslands**

Greining mæligagna í gæðaeftirliti kalds vatns

Franklín Georgsson M.Sc.

Loftur Reimar Gissurarson Ph.D.

Eyjólfur Reynisson Ph.D.

Hrólfur Sigurðsson

2011

Leiðbeinendur: Franklín Georgsson M.Sc., og Loftur Reimar Gissurarson Ph.D.

Prófdómari: Eyjólfur Reynisson Ph.D.

Yfirlýsing

Hér með lýsi ég því yfir að ritgerð þessi er byggð á mínum eigin athugunum, er samin af mér og hún hefur hvorki að hluta né heild verið lögð fram áður til hærri prófgráðu.

Hrólfur Sigurðsson (110872-4969)

Ágrip

Viðfangsefni verkefnis er örveru-, efna og eðlisfræðileg gæði neysluvatns í Heiðmörk. Verkefninu er skipt í þrjú hluta.

Í verkhluta eitt er gerð greining á tiltækum mæligögnum úr opinberu eftirliti og innra eftirliti með vatnsveitu Orkuveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu frá tímabilinu 1997 – 2009. Með úrvinnslu gagnanna var leitast við að svara spurningum um hvort marktækar breytingar hafi orðið á ýmsum örveru-, efna- og eðlisfræðilegum eiginleikum neysluvatnsins á síðustu 13 árum og gerður samanburður við gögn frá fyrri tímabilum.

Í verkhluta tvö var gerð rannsókn á örveru- og eðlisgæðum neysluvatns frá vatnstökusvæði til nokkurra staða í dreifikerfi Orkuveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu. Einnig var sérstaklega gerð rannsókn á mismunandi tegundum ræktunaræta við ákvörðun á heildargerlafjölda. Tilgangur með þessu var að sjá áhrif dreifikerfisins á gæði neysluvatnsins og sannreyna þær niðurstöður sem komu úr verkhluta eitt.

Í verkhluta þrjú voru bakteríur í neysluvatninu tegundagreindar með sameindalíffræðilegum aðferðum til að fá grunnupplýsingar um örveruflóruna og fjölbreytileika hennar í neysluvatninu frá Heiðmerkursvæðinu.

Helstu niðurstöður verkhluta eitt eru að þær íhlutandi aðgerðir sem gripið hefur verið til á síðustu áratugum hafa orðið til þess að örverufræðileg gæði neysluvatnsins hafa batnað til muna. Efni sem eru hættuleg heilsu manna hafa aldrei verið greind í neysluvatninu og hæsta mælda gildi á þungmálmum er aðeins 2,3% af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar. Breytingar á styrk mismunandi efna yfir tímabilið er hverfandi þegar litið er á hvern sýnatökustað fyrir sig.

Í verkhluta tvö kom í ljós að heildargerlafjöldi hækkaði með meiri fjarlægð frá uppsprettu og auknu neysluvatnshitastigi. Einnig var neikvæð fylgni milli heildargerlafjölda og sýrustigs. Við samanburð á ætunum „PCA“ agar og „R2A“ agar kom í ljós að mun meiri örverufjöldi ræktaðist við „R2A“ agar.

Í verkhluta þrjú kom í ljós að fjölbreytileiki bakteríu fylkinga og ættkvísla er mikill í neysluvatninu. Algengasta bakteríufylkingin var *Proteobacteria* og þær ættkvíslir sem eru algengastar í neysluvatninu eru: *Gallionella*, *Delftia*, *Enterobacter*, *Sphingomonas* og *Streptococcus*.

Abstract

The subject of this thesis is microbial, chemical and physical quality of the drinking water originates from Heiðmörk, Reykjavík. The thesis is divided into three parts.

In part one; available data from official and internal monitoring of drinking water in capital area from the period 1997 to 2009 was analyzed. By analyzing the data, it was sought to answer questions about whether significant changes occurred in the various microbial, chemical and physical properties of drinking water in the last 13 years, for comparison with data from previous studies.

In part two; the drinking water from few sample location in distribution system of Orkuveita Reykjavíkur (water distribution company) in the capital was analyzed for microbial and physical quality. There was also a special study of different types of culture media for determination of heterotrophic plate count. The purpose of this research was to find out what effects, the water distribution system has on the quality of the drinking water and to verify the results from part one of this study.

In part three; it was sought to identify bacteria in the drinking water with rRNA based, molecular methods to obtain basic information on microbial flora and the diversity of drinking water from the Heiðmörk area.

The main findings of part one are that the intervention measures taken in recent decades have led to improvement of the microbiological quality of the drinking water. Chemicals that are hazardous to human health have never been detected in drinking water and the highest measured values for heavy metals are only 2.3% of maximum permissible levels of governmental drinking water directive. Changes in the concentration of different chemical parameters over the period are negligible in every sample location.

In part two the heterotrophic plate count increased with greater distance from the source and increased water temperature. There was also a negative correlation between the heterotrophic plate count and pH. Comparisons between media "PCA" agar and "R2A" agar revealed that much greater number of microorganisms grows on "R2A" agar.

In part three; it was revealed that there was a high level of bacterial diversity of divisions and genus in the drinking water. The most common bacteria division were *Proteobacteria* and the genus that are most common in the drinking water are: *Gallionella*, *Delftia*, *Enterobacter*, *Sphingomonas* and *Streptococcus*.

Þakkir

Höfundur vill þakka Matís ohf fyrir að gera þetta verkefni mögulegt og leiðbeinendum mínum þeim Franklín Georgssyni og Lofti Reimari Gissurarsyni fyrir góðar ábendingar og aðstoð. Svo vill ég þakka starfsmönnum Orkuveitu Reykjavíkur þeim Ásgeiri Sveinsyni, Sigurbirni Búa Sigurðssyni, Einari Gunnlaugssyni, Hafsteini Björgvinssyni og Þórarni Benedikz fyrir aðstoðina. Fyrir aðstoð við tölfræðilegan hluta verkefnisins vill ég þakka Önnu Helgu Jónsdóttur og Sigrúnu Lund hjá Tölfræðimiðstöð HÍ.

Ég þakka heilbrigðisfulltrúunum, Berglinði Guðmundsdóttur, Garðari Sigurþórssyni og Óskari Ísfeld Sigurðssyni hjá Umhverfis- og samgöngusviði Reykjavíkurborgar. Einnig vill ég þakka Árna Davíðssyni heilbrigðisfulltrúa hjá Heilbrigðiseftirliti Kjósarsvæðis.

Síðan vill ég þakka starfsfólki örverurannsóknastofu Matís ohf fyrir ómælda hjálp við eðlis- og örverumælingar í verkhluta 2. Fyrir aðstoð við sameindafræðilegar mælingar í verkhluta þrjú vil ég þakka Sveini Hauki Magnússyni og Viggó Marteinssyni. Þá vil ég þakka bræðrum mínum þeim Sigurði Sigurðssyni og Lofti Má Sigurðssyni fyrir að lesa ritgerðina yfir og koma með ábendingar um málfar og stafsetningu.

Verkefnið var styrkt af Umhverfis- og orkurannsóknasjóði OR.

Efnisyfirlit

Myndaskrá.....	VI
Töfluskrá	VIII
1 Inngangur.....	1
1.1. Þörf og réttlætning verkefnis.....	1
1.1.1 Markmið	2
1.1.2 Meginmarkmið verkefnisins.....	2
1.1.3 Rannsóknaspurningar	3
1.1.4 Afrakstur og ávinningur verkefnisins.....	3
2 Fræðilegur bakgrunnur.....	4
2.1 Neysluvatn á Íslandi	4
2.2 Þróun vatnsveitu í Reykjavík.....	5
2.3 Sjúkdómsvaldandi örverur í neysluvatni	7
2.4 Lög og reglur um neysluvatn.....	8
2.5 Hlákuáætlun.....	13
2.6 Dreifikerfi neysluvatns	14
2.6.1 Áhrif dreifikerfis á neysluvatn.....	14
2.6.2 Örveruþekja (Biofilm).....	16
2.6.3 Þættir sem hafa áhrif á örveruvöxt	17
2.6.4 Tæringarvandamál í dreifikerfum.....	18
2.6.5 Staðnað vatn í dreifikerfinu	19
2.7 Rannsóknaliðir.....	19
2.7.1 Heildargerlafjöldi við 22°C á PCA og R2A í 1 ml og 100 ml.....	19
2.7.2 Myglusveppir.....	21
2.7.3 Gersveppir	21
2.7.4 Kólígerlar.....	22
2.7.5 <i>E.coli</i>	22
2.7.6 Enterokokkar	23
2.7.7 Leiðni.....	23
2.7.8 Grugg.....	24
2.7.9 Sýrustig.....	24
2.7.10 Hitastig	24
3 Efni og aðferðir	25
3.1 Verkhloti 1. Kerfisbundin greining gagna.....	25
3.1.1 Örveru- og eðlismælingar.....	25
3.1.2 Fjarlægð sýnatökustaðar frá uppsprettu.....	26
3.1.3 Veðurfarsgögn	26
3.1.4 Sjávarhiti	27
3.1.5 Úrvinnsla gagna.....	27
3.1.6 Tölfræðileg úttekt á gagnagrunni	28
3.1.7 Heildarúttektar mæling.....	28
3.2 Verkhloti 2. Áhrif dreifikerfisins á örveru- og eðlisgæði neysluvatns	29
3.2.1 Sýnataka	29
3.2.2 Staðsetning sýnatökustaða og gerð lagnaefnis	30
3.2.3 Lýsing á dreifikerfinu	32
3.2.4 Örveru- og eðlismælingar.....	34
3.2.5 Úrvinnsla niðurstaðna.....	35
3.3 Verkhloti 3: Fjölbreytileiki örvera í vatnsveitum.....	36
3.3.1 Sýnataka og síun.....	36
3.3.2 DNA úrdráttur	37
3.3.3 PCR mögnun	37
3.3.3.1 16S rRNA Raunbakteríur	37
3.3.3.2 16S rRNA Fornbakteríur	38

3.3.4	Rafdráttur.....	39
3.3.5	Hreinsun einangraðs DNA af geli	39
3.3.6	Klónun 16S rRNA	39
3.3.7	Raðgreining	40
3.3.8	Úrvinnsla niðurstaðna.....	40
4	Niðurstöður.....	42
4.1	Verkhloti 1 Kerfisbundin greining gagna.....	42
4.1.1	Greining á hitastigi neysluvatnsins.....	42
4.1.2	Mat á sýnum samkvæmt neysluvatnsreglugerð.....	50
4.1.3	Greining á gögnum með tölfræðilegum aðferðum	54
4.1.4	Niðurstöður mælinga úr heildarúttektum	59
4.1.4.1	Efni sem eru óæskileg í miklu magni en eru ekki talin hættuleg heilsu manna	60
4.1.4.2	Þungmálmur sem eru taldir hættulegir heilsu manna.....	63
4.1.4.3	Efni sem eru hættuleg heilsu manna.....	65
4.1.4.4	Önnur efni sem hafa ekki hámarksgildi í neysluvatnsreglugerðinni	66
4.1.5	Þróun efna í heildarúttekt	67
4.2	Verkhloti 2 Áhrif dreifikerfisins á örveru- og eðlisgæði neysluvatns	74
4.2.1	Meðaltöl og dreifing örveru- og eðlismælinga	74
4.2.2	Heildargerlafjöldi og eðlisþættir í dreifikerfinu	79
4.2.2.1	Heildargerlafjöldi og eðlisþættir í stofnæð nr. 1.....	79
4.2.2.2	Heildargerlafjöldi og eðlisþættir í stofnæð nr. 2.....	83
4.2.3	Tölfræðileg fylgni milli eðlisþátta og heildargerlafjölda við 22°C	87
4.2.4	Samanburður á ætum, aðferðum og ræktunartíma	88
4.3	Verkhloti 3 Fjölbreytileiki örvera í vatnsveitum	90
4.3.1	Greining á 16S rRNA raunbaktería	92
5	Umræður.....	103
5.1	Verkhloti 1.....	103
5.1.1	Hitastig og aldur neysluvatns	103
5.1.2	Mat á sýnum samkvæmt neysluvatnsreglugerð.....	104
5.1.3	Tölfræði úrvinnsla á gagnagrunni	106
5.1.4	Greining á heildarúttektarsýnum	107
5.2	Verkhloti 2.....	109
5.2.1	Umræður um áhrif dreifikerfisins á örveru- og eðlisgæði neysluvatns.	109
5.2.2	Tölfræðileg fylgni milli eðlisþátta og heildargerlafjölda við 22°C	110
5.2.3	Samanburður á ætum, aðferðum og ræktunartíma	110
5.2.4	Örveruþekja í dreifikerfinu.....	111
5.3	Verkhloti 3.....	112
5.3.1	Óræktanlegar bakteríur.....	112
5.3.2	Járn-oxandi bakteríur.....	113
5.3.3	<i>Pseudomonas</i> tegundir	113
5.3.4	Heilnæmi neysluvatns	114
5.3.5	Samanburður við aðrar rannsóknir	114
5.3.6	Óræktanlegt ástand baktería	115
5.3.7	Efnatillífandi bakteríur	116
5.3.8	Fjölbreytileiki baktería í örveruþekjum.....	116
6	Ályktanir og tillögur.....	117
6.1	Ályktanir.....	117
6.2	Tillögur.....	118
	Heimildaskrá	120
	Viðauki.....	127

Myndaskrá

Mynd 1. Neysluvatnsnotkun og fólksfjöldi í Reykjavík á árunum 1986 til 2009.	6
Mynd 2. Bygging örveruþekju (Peg Dirckx, Center for Biofilm Engineering).....	17
Mynd 3. Þættir sem hafa áhrif á breytingar á örveruflóru í neysluvatnsdreifikerfi.	18
Mynd 4. Sýnatökustaðir í dreifikerfinu	30
Mynd 5. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku í lokahúsi sunnan Árbæjarstíflu.	42
Mynd 6. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku í Laxalóni, Grafarholti.	43
Mynd 7. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku á Kringlumýrarbraut.	43
Mynd 8. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku á Eiríksgötu.....	44
Mynd 9. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku í Lokinhömrum.	44
Mynd 10. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku í Ánanaust.	45
Mynd 11. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku á Gagnvegi.	45
Mynd 12. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku í dælustöðinni Vesturlandsvegi.....	46
Mynd 13. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku á Austurströnd Seltjarnanesi.	46
Mynd 14. Sjávarhiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku í Klébergsskóla og Víðinesi Kjalarnesi. ...	47
Mynd 15. Hitastig við sýnatöku og fjarlægð sýnatökustaðar frá uppsprettu.	48
Mynd 16. Hlutfall sýna sem standast neysluvatnsreglugerðina á árunum 1997-2009.	52
Mynd 17. Logaritmi af $(1+x)$ af heildargerlafjölda við 22°C sem fall af sýnatökustöðum raðað eftir fjarlægð frá uppsprettu.	55
Mynd 18. Logaritmi af $(1+x)$ af heildargerlafjölda við 22°C sem fall af sýnatökustöðum eftir fjarlægðarflokkun.	55
Mynd 19. Logaritmi af $(1+x)$ af heildargerlafjölda við 22°C sem fall af flokkuðu hitastigi við sýnatöku.	56
Mynd 20. Logaritmi af $(1+x)$ af heildargerlafjölda við 22°C sem fall af flokkaðri úrkomu samdægurs.	57
Mynd 21. Logaritmi af $(1+x)$ af heildargerlafjölda við 22°C sem fall af flokkaðri samanlagðri úrkomu þrjú daga fyrir sýnatöku.....	57
Mynd 22. Logaritmi af $(1+x)$ af heildargerlafjölda við 22°C sem fall af flokkuðum lofthita.	58
Mynd 23. Hitastig við sýnatöku sem fall sýnatökustöðum raðað eftir fjarlægð frá uppsprettu.	59
Mynd 24. Vegið meðaltal, hámarksgildi og lágmarksgildi á efnum sem eru óæskileg í miklu magni ásamt hámarksgildi úr neysluvatnsreglugerð.	62
Mynd 25. Vegið meðaltal, hámarksgildi og lágmarksgildi á þungmálum sem eru taldir hættulegir heilsu manna ásamt hámarksgildi úr neysluvatnsreglugerð.	64
Mynd 26. Mælingar á járn í vatni frá lokahúsinu sunnan Árbæjarstíflu.	67
Mynd 27. Mælingar á fosfór í vatni frá Jaðarsvæði.	68
Mynd 28. Mælingar á blý í vatni frá Jaðarsvæði.....	68
Mynd 29. Mælingar á króm í vatni frá Laxalóni.	69
Mynd 30. Mælingar á selen í vatni frá Laxalóni.	70
Mynd 31. Mælingar á kísil í vatni frá Myllulækjasvæði.	70
Mynd 32. Mælingar á selen í vatni frá Hraunbrún.	71
Mynd 33. Mælingar á natríum í vatni frá Gvendarbrunnahúsi.....	71
Mynd 34. Mælingar á baríum í vatni frá Gvendarbrunnahúsi.	72
Mynd 35. Mælingar á króm í vatni frá Gvendarbrunnahúsi.....	73
Mynd 36. Mælingar á kalsíum í vatni frá Ánanaust.	73
Mynd 37. Stofnæð 1. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og hitastig við sýnatöku.....	80
Mynd 38. Stofnæð 1. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og sýrustig.	80
Mynd 39. Stofnæð 1. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og leiðni.....	81

Mynd 40. Stofnæð 1. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og grugg.....	82
Mynd 41. Stofnæð 2. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og hitastig við sýnatöku.....	83
Mynd 42. Stofnæð 2. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og sýrustig.	84
Mynd 43. Stofnæð 2. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og leiðni.....	85
Mynd 44. Stofnæð 2. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og grugg.....	86
Mynd 45. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á PCA ræktað í 3 daga og R2A ræktað við 3 daga og 7 daga.	89
Mynd 46. Rafdráttur á sýnum úr dreifikerfinu.	92
Mynd 47. Ættartré af klónum úr sýnum frá T-1 og T-3.	95
Mynd 48. Ættartré af klónum úr sýni frá Gagnvegi.	96
Mynd 49. Ættartré af klónum úr sýni frá Kringlumýrarbraut.....	97
Mynd 50. Ættartré af klónum úr sýni frá Klébergsskóla.	98
Mynd 51. Ættartré af klónum úr sýni frá Laxalóni.....	99
Mynd 52. Hlutfall sýna sem standast neysluvatnsreglugerðina á árunum 1985-2009.	105

Töfluskrá

Tafla 1. Samanburður á örveru- og eðlismælingum í neysluvatnsreglugerðum frá 2001 og 1995.	9
Tafla 2. Samanburður á frumefnamælingum í neysluvatnsreglugerðum frá 2001 og 1995.	10
Tafla 3. Samanburður á öðrum efnamælingum á neysluvatnsreglugerðum frá 2001 og 1995.	11
Tafla 4. Samanburður á öðrum efnamælingum á neysluvatnsreglugerðum frá 2001 og 1995.	12
Tafla 5. Samanburður á öðrum efnamælingum á neysluvatnsreglugerðum frá 2001 og 1995.	12
Tafla 6. Sýnatökustaðir ásamt lagnaefni við sýnatökustaði.	32
Tafla 7. Sýnatökustaðir á stofnæðum 1 og 2.	33
Tafla 8. Dýpt neysluvatnsborhola.	33
Tafla 9. Rúmmál safntanka í dreifikerfinu.	34
Tafla 10. Sýnatökustaðir.	36
Tafla 11. Vísar fyrir mögnun á 16S rRNA og raðgreiningu.	37
Tafla 12. Sýni og hvaða hitastigsferill var notaður í 16S rRNA greiningu.	38
Tafla 13. Hækkun á hitastigi vatns við einnar gráðu hækkun á lofthita.	49
Tafla 14. Fjöldi sýna og prósentu sýna sem uppfyllir ekki neysluvatnsreglugerðina á árunum 1997 til 2009.	50
Tafla 15. Hlutfall sýna sem standast ekki neysluvatnsreglugerðina flokkað eftir mánuðum.	51
Tafla 16. Sýnatökustaðir ásamt meðaltali og dreifingu af niðurstöðum úr reglubundnu eftirlit.	53
Tafla 17. Meðalgildi fyrir efni sem eru óæskileg í miklu magn eftir sýnatökustöðum og hæsta og lágsta mælda gildi.	61
Tafla 18. Meðalgildi fyrir þungmálma sem eru taldir hættulegir heilsu manna eftir sýnatökustöðum og hæsta og lágsta mælda gildi.	63
Tafla 19. Meðalgildi eftir sýnatökustöðum og hæsta og lágsta mælda gildi.	65
Tafla 20. Meðalgildi fyrir önnur efni eftir sýnatökustöðum og hæsta og lágsta mælda gildi.	66
Tafla 21. Önnur efni sem voru undir greiningarmörkum á árunum 2001-2009.	66
Tafla 22. Niðurstöður örverumælinga á neysluvatni.	76
Tafla 23. Niðurstöður eðlismælinga á neysluvatni.	78
Tafla 24. Fylgni milli heildargerlafjölda við 22°C og eðlismælinga í stofnæð 1.	87
Tafla 25. Fylgni milli heildargerlafjölda við 22°C og eðlismælinga í stofnæð 2.	88
Tafla 26. Samanburður á ræktunarætum og ræktunartíma.	89
Tafla 27. Paraður samanburður milli aðferð og æta.	90
Tafla 28. Örveru- og eðlismælingar á sýnatökudegi.	91
Tafla 29. Prósentuhlutfall klóna flokkað í fylkingar baktería.	93
Tafla 30. Ættkvíslir/ættir sem hafa meira en 98% skyldleika við klón og fjöldi þeirra.	100
Tafla 31. Prósentuhlutfall ætt/ættkvísl eftir sýnatökustöðum.	102

1 Inngangur

Á síðustu áratugum hefur verið fylgst með gæðum neysluvatns á Íslandi með því að taka vatnssýni reglulega og gera örveru- og eðlismælingar á því en með þessum hætti er heilnæmi og öryggi neysluvatnsins tryggt. Árið 2001 var gefin út ný neysluvatnsreglugerð á Íslandi en hún er byggð á neysluvatnsreglugerð Evrópusambandsins. Með tilkomu nýrrar neysluvatnsreglugerðar var krafist víðtækrar heildarúttektar á örveru-, eðlis- og efnaþáttum í neysluvatni úr öllum stærri vatnsveitum en þó mun sjaldnar en segir til um í reglubundnu eftirliti.

Vatnsveita Orkuveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu er stærsta vatnsveita landsins og þjónar rúmlega þriðjungi landsmanna. Í hverri viku eru tekin tvö sýni í reglubundu eftirliti til að fylgjast með örveru- og eðlisgæðum þess. Víðtæk heildarúttekt er framkvæmd fjórum sinnum á hverju ári og í gegnum árin hefur safnast upp mikill fjöldi gagna og með greiningu þeirra er hægt að sjá hvernig þróun örveru-, eðlis- og efnaþátta hefur verið undanfarin ár. Einnig er hægt að sjá hvernig dreifikerfið hefur áhrif á gæði neysluvatnsins.

Um er að ræða framhald á rannsóknum sem gerðar hafa verið á vegum Orkuveitu Reykjavíkur (Böde & Gissurarson 2003, Loftur Reimar Gissurarson & Haraldur Arnar Haraldsson, 1997).

1.1. Þörf og réttlætning verkefnis

Örverufræðilegt ástand neysluvatns er einn mikilvægasti þátturinn varðandi gæði og öryggi þess. Örverur leynast víða í umhverfinu og geta borist auðveldlega í neysluvatnið og margir alvarlegir sjúkdómar geta borist með neysluvatni eins og sýkingar af völdum *Salmonella* og *Campylobacter*. Mengun vegna efna getur haft langtíma áhrif á heilsufar og er því nauðsynlegt að kanna hvort efnainnihald neysluvatnsins uppfylli kröfur og hvort umhverfisáhrif hafi óæskileg áhrif á efnainnihald neysluvatns.

Örverufræðilegt ástand neysluvatns breytist í dreifikerfinu og hafa margir þættir áhrif á gæði neysluvatnsins í dreifikerfinu.

1.1.1 Markmið

Íslendingar hafa aðgang að heilnæmu og góðu neysluvatni sem að mestu er grunnvatn og hægt að nota án sérstakrar meðhöndlunar. Mjög mikið er til af mæligögnum af íslensku neysluvatni sem að mestu eru komin til vegna opinbers eftirlits og innra eftirlits vatnsveita. Neysluvatn er það matvæli sem er undir einna ströngustu eftirliti á Íslandi og þar sem reglulegrar sýnatöku er krafist í neysluvatnsreglugerð til mælinga á ýmsum þáttum sem segja til um öryggi, hollustu og margvíslega eðliseiginleika vatnsins. Í þessu verkefni verða mæligögn úr opinberu eftirliti og innra eftirliti með vatnsveitu Orkuveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu frá tímabilinu 1997 – 2009 greind og sett í sérstakan gagnagrunn sem mun auðvelda úrvinnslu gagnanna. Með úrvinnslu gagnanna var leitast við að svara spurningum um hvort marktækar breytingar hafi orðið á ýmsum örveru-, efna- og eðlisfræðilegum eiginleikum neysluvatnsins á síðustu 13 árum og gerður samanburður við gögn frá fyrri tímabilum. Aflað var upplýsinga um hitastig og veðurfar og kannað hvort það hafi marktæk mælanleg áhrif á fyrrgreinda þætti í vatnsbólum og dreifikerfum. Einnig verða ræktaðar og óræktaðar örverur tegundagreindar með sameindalíffræðilegum aðferðum. Þá verður gerð rannsókn til að sannreyna þau áhrif sem greining gagnanna gefur til kynna. Að lokum voru öll gögnin og rannsóknarniðurstöður greind sérstaklega til að meta hvort endurskoða eða bæta þurfi skipulag eftirlitsmælinga og uppsetningu gæðakerfa vatnsveita.

1.1.2 Meginmarkmið verkefnisins

- Kerfisbundin greining gagna úr örveru- efna- og eðlisgreiningum á neysluvatni.
- Afla upplýsinga úr gögnum um möguleg staðbundin áhrif af völdum veðurfars og hitastigs á örveruinnihald, efnainnihald og eðliseiginleika neysluvatns í vatnsbólum.
- Afla upplýsinga úr gögnum um áhrif dreifikerfis á örveruinnihald, efnainnihald og eðliseiginleika neysluvatns.
- Setja upp rannsókn til að sannreyna og styðja þær upplýsingar sem greining á fyrrnefndum gögnum gefur til kynna.
- Kanna möguleika á að nota gagnagrunnsupplýsingar og niðurstöður rannsókna til að endurskoða og bæta gæða- og öryggiskerfi vatnsveitna.

1.1.3 Rannsóknaspurningar

- Finnast einhver staðbundin áhrif á örveruinnihald, efnainnihald og eðliseiginleika neysluvatns vegna veðurfars eða annarra umhverfisþátta?
- Hver eru áhrif dreifikerfisins á örveruinnihald, efnainnihald og eðliseiginleika neysluvatns?
- eru einhverjir þættir í gæða- og öryggiskerfi vatnsveita sem þarf að bæta?
- Er munur á niðurstöðum úr ræktunum með hefðbundnu ræktunaræti (PCA) og ræktunaræti með lágan næringarstyrk (R2A)?
- Hvernig er samsetning og fjölbreytileiki örveruflórunnar í neysluvatni frá Heiðmörk?

1.1.4 Afrakstur og ávinningur verkefnisins

Verkefnið leiðir af sér gagnagrunn með upplýsingum úr eftirlitsmælingum síðustu 13 ár hjá vatnsveitu Orkuveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu. Gagnagrunnurinn mun auðvelda alla úrvinnslu gagnanna við rannsókn á örveru-, efna- og eðlisfræðilegum eiginleikum neysluvatnsins og þeim breytingum sem þessir þættir verða fyrir vegna utanaðkomandi áhrifa yfir skemmri og lengri tíma. Einnig verður hægt að bera niðurstöður síðustu 13 ára saman við fyrri tímabil og sjá hvernig Orkuveitu Reykjavíkur hefur tekist að bæta gæði og öryggi neysluvatnsins.

Rannsóknir sem gerðar verða til að sannreyna og styðja upplýsingar, sem greindar verða úr gagnagrunninum, munu auka þekkingu á því orsakasamhengi sem er á milli breytinga á niðurstöðum mismunandi mæliþátta í eftirlitsmælingum og þeim afleiðingum sem þessar breytingar hafa á gæði og öryggi neysluvatns.

Rannsóknir á örveruflóru neysluvatns með nýrri aðferð (R2A ræktunaræti) munu gefa nýjar upplýsingar um örverur sem ekki greinast með hefðbundnum eftirlitsmælingum. Niðurstöður um fjölda örvera með nýju aðferðinni verða bornar saman við niðurstöður með hefðbundinni rannsóknaraðferð á sýnum sem tekin eru í vatnsbólum og dreifikerfi. Með þessu verður aflað nýrra upplýsinga um hegðun áður ógreindra örvera í neysluvatni í samanburði við þær örverur sem greinast í eftirlitsmælingum.

Niðurstöður rannsókna á örverusamfélagi neysluvatns með sameindalíffræðilegum aðferðum munu gefa nýjar grunnupplýsingar um þær örverutegundir sem eru til staðar í neysluvatni og sem ekki er hægt að afla með hefðbundnum ræktunaraðferðum.

2 Fræðilegur bakgrunnur

Í þessum kafla er farið yfir þróun og stöðu neysluvatns á Íslandi þar sem sérstaklega er fjallað um eftirtalin atriði:

- Neysluvatn á Íslandi.
- Neysluvatnsmál á höfuðborgarsvæðinu.
- Sjúkdómsvaldandi örverur í neysluvatni.
- Neysluvatnsreglugerð sem tók gildi árið 2001.
- Hlákuáætlun OR en tilgangur hennar er að koma í veg fyrir að neysluvatnið mengist í mikilli hlákutíð.
- Í kaflanum er farið yfir tæknileg vandamál sem geta komið upp við dreifingu neysluvatns :
 - myndun örveruþekju.
 - þætti sem hafa áhrif á örveruvöxt.
 - tæringu á lögnum.
 - neysluvatnið og lagnir þegar neysluvatn nær að staðna í lögnum.
- Einnig er fjallað um þær örveru- og eðlismælingar sem eru framkvæmdar í verkhluta tvö og þýðingu þeirra.

2.1 Neysluvatn á Íslandi

Í upphafi landnáms Íslands hafa menn líklega valið sér búsetu með tilliti til aðgengis að vatni. Talið er að menn hafi sótt sér vatn í bæjarlækinn eða önnur vatnsból án mikillar fyrirhafnar. Undir lok 19. aldar fór þéttbýli að myndast og við það sköpuðust vandamál við vatnsöflun fyrir ört fjölgandi íbúa bæja hér á landi. Einnig voru gæði neysluvatns bágborin á mörgum stöðum og taugaveiki landlæg hér á landi. Vegna þess var gripið til þess ráðs að byggja vatnsveitur í bæjum en sú þróun hafði átt sér stað í Evrópu og Norður-Ameríku nokkrum áratugum á undan Íslandi. Menn höfðu gert sér ljóst að það væri samband milli óhrens neysluvatns og farsóttu. Það var ekki fyrr en Louis Pasteur sýndi fram á að smit berist með sýklum og með rannsóknum Roberts Kochs að þessi tengsl voru staðfest á áttunda áratugi 19. aldar. Með auknum gæðum neysluvatnsins lækkaði tíðni sóttkveikja hratt (Hilmar Garðarsson, 2007).

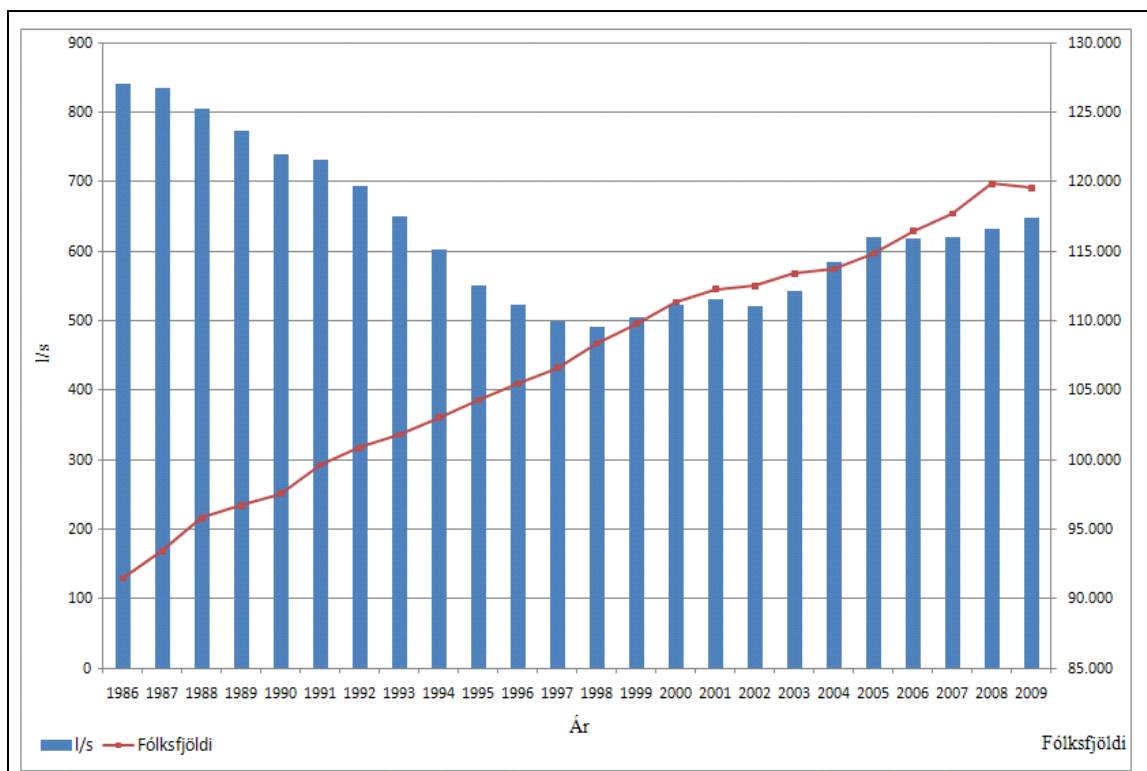
Hér á landi er neysluvatn skilgreint sem matvæli og fellur því undir matvælalöggjöf almennt en víða erlendis fellur neysluvatn undir umhverfismál og er skilgreint og meðhöndlað samkvæmt því. Á Íslandi er grunnvatn 94% af því vatni sem er nýtt til neyslu í þéttbýliskjörnum og er það ekki meðhöndlað fyrir neyslu. Yfirborðsvatn er nýtt í 6% vatnsveita í þéttbýliskjörnum og þarf í flestum tilfellum að meðhöndla það fyrir neyslu. Í stórum vatnsveitum í öðrum löndum er oftast notast við sótthreinsað vatn en þá er yfirborðsvatn eða mengað grunnvatn t.d. síað og klórað áður en það fer inná dreifikerfið en þessu fylgir umtalsverður kostnaður (Franklín Georgsson, 2010). Við klórun á vatni koma einnig upp vandamál þar sem klór myndar óæskileg efni þegar hann bindist lífrænum efnum. Þessi efni geta valdið lifraskaða og verið krabbameinsvaldandi (WHO, 2009). Í stað sótthreinsunar er vatnstökusvæðið verndað fyrir mögulegri örveru- og efnamengun. Klórun á neysluvatni í vatnsveitum er óþekkt hér á landi en þeir staðir sem nota yfirborðsvatn nota oftast síun og geislun með útfjólubláu ljósi til sótthreinsunar (Franklín Georgsson, 2010).

2.2 Þróun vatnsveitu í Reykjavík

Frá upphafi byggðar í Reykjavík var aðalvatnsból Reykvíkinga í Aðalstræti, þar sem Ingólfur Arnarson byggði bæ sinn. Um aldamótin 1900 er áætlað að um 34 vatnspóstar og vatnsból hafi verið víðsvegar um Reykjavík. Á þessum tíma var hreinlætis- og salernisaðstöðu ábótavant og talið er að óhreint drykkjarvatn úr Móakotslind við Lindargötu hafi valdið taugaveikisfaraldri sem gaus upp haustið 1906. Árið 1909 var Vatnsveita Reykjavíkur stofnuð og sama ár var vatni hleypt á lagnir sem lágu frá Elliðaám og Gvendarbrunnum. Fljótlega eftir tilkomu nýju vatnsveitunnar jókst meðalneysla einstaklings á vatni í Reykjavík úr 18 lítrum á dag í rúmlega 300 lítra. Í dag er meðalneysla um 200 lítrar á mann á sólarhring (Hilmar Garðarsson, 2007).

Það regnvatn sem ekki gufar upp sígur í jörðina, sérstaklega þar sem hún er gljúp á yfirborðinu, t.d. þar sem hraun þekur yfirborðið eins og í Heiðmörk. Þar af leiðandi eru miklir grunnvatnsstraumar undir Heiðmörk. Vatnstökusvæði Orkuveitunnar í Heiðmörk eru Gvendarbrunnar, Jaðarsvæði, Myllulækjarsvæði og Vatnsendakriki. Vatnsvinnsla í Heiðmörk byggist alfarið á grunnvatnsstreymi en meginhluti þess vatns kemur undan Húsafellsbruna og úr Bláfjöllum. Vatnsrennsli í brunnana er háð úrkomumagni, snjóþekju í Bláfjöllum að vori og dreifingu úrkomunnar yfir árið. Árið 1984 var síðasta opna vatnsbólið tekið úr notkun og í dag kemur allt vatn úr lokuðum borholum sem tryggir enn frekar öryggi vatnsins gegn mengun (Orkuveita Reykjavíkur 2006).

Á vatnstökusvæðunum í Heiðmörk er 21 borhola í notkun og eru þær 10 - 140 metra djúpar. Gvendarbrunnar eru í 85 metra hæð yfir sjávarmáli og eru þar sjö vinnsluholur, á Jaðarsvæði eru níu, þrjár eru á Myllulæk og tvær í Vatnsendakrika. Veitusvæði Orkuveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu nær í dag til Reykjavíkur, Seltjarnarness og hluta Mosfellsbæjar. Aðaldreifikerfi neysluvatns í Reykjavík er samtals um 330 km að lengd og heimaæðar um 190 km. Æðar aðaldreifikerfis eru einn metri að þvermáli. Við uppbyggingu dreifikerfisins er þess gætt að einstakir þættir þess geti ekki gert kerfið óvirkt. Áreiðanleiki dreifikerfisins dregur meðal annars úr líkum á að mengun úr jarðvegi komist inn í lagnakerfið. Á síðustu árum hefur öryggi aukist umtalsvert, meðal annars með öflugum lekavörnum sem gerir það að verkum að minna þarf af vatni til höfuðborgarinnar þrátt fyrir fólksfjölgun og stærra og víðfeðmara dreifikerfis. Á mynd 1 sést neysluvatnsnotkun í lítrum á sekúndu og fólksfjöldi í Reykjavík á árunum 1986 til 2009 (Orkuveita Reykjavíkur, 2010). Á árinu 1998 var leki í dreifikerfinu lágmarkaður og hefur neysluvatnsnotkun ekki náð því magni sem var fyrir lekaleitina þrátt fyrir töluverða fólksfjölgun (Orkuveita Reykjavíkur 2006).



Mynd 1. Neysluvatnsnotkun og fólksfjöldi í Reykjavík á árunum 1986 til 2009.

Í mikilli rigningu, hláku og leysingum er aukin hættu á að jarðvegsgerlar komist í vatnið en þetta á sérstaklega við um grunnar borholur (Garðar Sigurþórsson & Sigurður V. Hallsson, 1995). Samkvæmt úttekt sem var gerð af Vatnsveitu Reykjavíkur á sýnum sem voru tekin 1985-1997 var fjöldi gallaðra og ónothæfra sýna hlutfallslega mestur í janúar,

febrúar, mars og október. Borholurnar í Gvendarbrunnahúsi (V-20 til V-23) eru grunnar borholur og þess vegna lokaðar frá október fram í mars ár hvert. Á þessum tíma er vatni dælt úr dýpri holum á Myllulækjarsvæði, Vatnsendakrika og á Jaðarsvæðinu. Öðrum dælum á Jaðar- og Gvendarbrunnasvæðum er handstýrt og ætlað að anna því magni sem þarf til viðbótar (Orkuveita Reykjavíkur 2006).

Árið 1997 var HACCP eftirlitskerfi innleitt hjá Orkuveitu Reykjavíkur til þess að tryggja gæði og öryggi neysluvatnsins. Þáttur í því kerfi er regluleg sýnataka á hverju ári úr vatnsbólunum Orkuveitunnar til örveru- og efnagreininga (Umhverfisskýrsla OR 2009). Við innleiðingu HACCP eftirlitskerfis voru greindir áhættuþættir í dreifikerfinu og gripið til aðgerða til að minnka eða koma í veg fyrir áhættuþætti. Meðal aðgerða sem gripið var til var að koma fyrir blæðingum í dauðum endum í dreifikerfinu þannig að vatnið myndi ekki staðna. Teknar voru upp reglulegar útskolanir úr brunahönum og fastur starfsmaður var ráðinn til að hafa eftirlit með vatnsverndarsvæðinu í Heiðmörk.

2.3 Sjúkdómsvaldandi örverur í neysluvatni

Eitt af aðalmarkmiðum vatnsveitna er að tryggja heilnæmi og öryggi neysluvatnsins. Þetta er nauðsynlegt þar sem fjöldi örvera geta valdið sjúkdómum og ef neysluvatn frá vatnsveitu mengast af sjúkdómsvaldandi örverum mun fjöldi fólks eiga á hættu að smitast. Örverur sem geta valdið heilsufarslegum vandamálum eru bakteríur, veirur og frumdýr. Mesta áhætta á sýkingu er þegar neysluvatn hefur mengast af saur manna eða dýra en saur inniheldur bakteríur, veirur og frumdýr sem geta valdið sýkingum í fólki. Hér á Íslandi hafa komið upp nokkrar hópsýkingar af völdum *Campylobakter* í neysluvatni en þær voru á Stöðvarfirði 1984, Djúpvavogi 1993 og í veiðihúsi 1998. Þekktar bakteríur sem valda sýkingum í mönnum eru fjölmargar eins og *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica* og tegundir af ættkvíslunum *Legionella*, *Salmonella*, *Shigella* (WHO, 2009).

Bakteríutegundir sem eru upprunnar í neysluvatni eins og *Pseudomonas aeruginosa* og *Legionella* tegundir geta valdið sýkingum við sérstakar aðstæður. *Pseudomonas aeruginosa* bakterían er tækifærissýkill. Heilbrigt fólk sýkist ekki af henni við neyslu vatns heldur getur bakterían sýkt einstaklinga sem hafa skert ónæmiskerfi eins og ung börn, eldra fólk, sjúklinga með brunasár og einstaklingar sem eru með skert ónæmiskerfi vegna lækni meðferðar eða sjúkdóms (eyðni). Ef viðkomandi einstaklingur drekkur eða baðar sig í vatni með nægum fjölda af bakteríum þá getur myndast sýking á húð og slímhúð í augum, eyrum, nefi og hálsi. *Legionella* bakterían veldur hermannaveiki en fjölgar sér við hátt hitastig þ.e. 25-50°C. Hún

smitast við innöndun á vatnsúða en hann getur myndast í kælikerfum, sturtum, rakatækjum og heitum pottum. *Legionella* veldur ekki sýkingum við neyslu vatns (WHO, 2009).

Á Íslandi hafa komið upp nokkrar hópsýkingar af völdum nóróveiru, en þær voru í Húsafelli og Mývatni 2004 en þá sýktust rúmlega 300 manns í þessum hópsýkingum. Einnig hafa komið upp fleiri tilfelli þar sem talið var að fólk hafa smitast af nóróveirum eftir neyslu drykkjarvatns en í þeim tilfellum var það ekki staðfest. Fjöldi annarra veira geta valdið sýkingum í fólki eins og adenoveirur, enteroveirur, hepatitis A og hepatitis E veirur, sapoveirur og rotaveirur (WHO, 2009).

Sýkingar af völdum frumdýra eru ekki þekktar á Íslandi en tegundir eins og *Cryptosporidium parvum* og *Giardia intestinalis* ásamt fleiri tegundum frumdýra geta valdið iðrakveisu í fólki. Þessi frumdýr finnast í saur manna og dýra en sýkingar af völdum þeirra eru yfirleitt vegna notkunar á yfirborðsvatni.

Þörungar í vatni geta valdið eitrun en þörungaeitur er meðal hættulegustu eiturefna sem finnast í náttúrunni. Erlendis eru þörungar í yfirborðsvatni sem er notað til neyslu og því geta þeir verið vandamál á þessum svæðum. Ekki er vitað til þess að þörungaeitranir í vatni hafi komið upp hér á landi.

2.4 Lög og reglur um neysluvatn

Ný neysluvatnsreglugerð nr. 536/2001 tók gildi þann 28. júní 2001 og tók við af eldri neysluvatnsreglugerð nr. 319/1995. Reglugerðin var innleidd upp úr neysluvatnstilskipun Evrópusambandsins númer 98/83/EB. Við þessa breytingu var í fyrsta skipti gerð krafa á lágmarks tíðni sýnatöku á svokölluðum heildarúttektarsýnum. Heildarúttektarsýni samanstanda af fimm örverumælingum og 46 eðlis- og efnamælingum. Í eldri reglugerð kom fram að taka ætti heildarúttektarsýni en ákvörðun um mælingar á eðlis- og efnabáttum var í höndum Hollustuverndar ríkisins (í dag Matvælastofnun). Þar sem ekki var skilgreind lágmarkstíðni heildarúttektarsýna í eldri neysluvatnsreglugerð voru aðeins tekin örfá heildarúttektarsýni á árunum fyrir 2001. Orkuveita Reykjavíkur hóf greiningu á hluta þessa eðlis- og efnabáttum að eigin frumkvæði á árinu 1998.

Í töflu 1 til 5 er gerður samanburður á neysluvatnsreglugerðunum nr. 536/2001 og nr. 319/1995, en þar koma fram hámarksgildi sem eru gefin upp fyrir örveru-, eðlis- og efnamælingar.

Með nýrri neysluvatnsreglugerð var hætt að gera kröfu um rannsókn á heildargerlafjölda við 37°C og látið nægja að mæla heildargerlafjölda við 22°C. Í stað

saurkólígerla var krafist greiningar á *Escherichia coli* sem er tegund undir bakteríuhópnum saurkólígerlar. Saurkólígerlar er hópur bakteríu tegunda en *Escherichia coli* er yfirleitt í miklum meirihluta. Saurkólígerlar innihalda einnig bakteríutegundir í ættkvíslunum *Citrobacter*, *Klebsiella* og *Enterobacter* (WHO Guidelines, 2006). Þessi breyting var gerð vegna þess að aðrar bakteríur en *Escherichia coli* geta verið umhverfisbakteríur sem eru ekki upprunnar frá saur (Gleeson, C. & Gray, N., 1997). Í stað mælingar á súlfítafoxandi *Clostridium* í 20 ml er farið fram á rannsókn á *Clostridium perfringens* í 100 ml sýnis.

Tafla 1. Samanburður á örveru- og eðlismælingum í neysluvatnsreglugerðum frá 2001 og 1995.

Örverumælingar	Mæli-eining	Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001	Athugasemdir	Reglugerð um neysluvatn nr. 319/1995	Athugasemdir
Heildargerlafjöldi við 37°C	í 1 ml			50	Ef fjöldi örvera er >50/ml telst vatnið gallað og skal rannsaka það nánar. Ef fjöldinn er >100/ml telst vatnið ónothæft til neyslu.
Heildargerlafjöldi við 22°C	í 1 ml	100		100	Ef fjöldi örvera er >100/ml telst vatnið gallað og skal rannsaka það nánar. Ef fjöldinn er >500/ml telst vatnið ónothæft til neyslu.
Kólígerlar	í 100 ml	0		0	95% sýna skulu uppfylla þessar kröfur, að því tilskildu að sýnafjöldi sé nægilegur.
Saurkólígerlar	í 100 ml			0	
<i>Escherichia coli</i>	í 100 ml	0		0	
Enterokokkar	í 100 ml	0		0	
Súlfítafoxandi Clostrídfur	í 20 ml			0	
<i>Clostridium perfringens</i> (þ.m.t. gró)	í 100 ml	0	Aðeins fyrir yfirborðsvatns eða ef hættu er á mengun vatnsból frá yfirborðsvatni. Ef gildi mælast yfir hámarksgildi skal mæla sjúkdómsvaldandi örverur, s.s. <i>Cryptosporidium</i>		
Eðlismælingar					
Sýrustig	pH	6,5-9,5	Vatnið má ekki vera tærandi	6,5-9,5	Vatnið skal ekki vera tærandi
Leiðni	µS/cm	2500	Vatnið má ekki vera tærandi	400	Samræmist steinefnainnihaldi vatnsins
Grugg	NTU	Fullnægjandi fyrir neytendur og engin óeðlileg breyting	Stefna skal að hámarksgildi ekki hærra en 1,0 NTU (nephelometric turbidity units) í vatni sem hefur verið yfirborðsmeðhöndlað	<5	
Litur	mgPt/l		Fullnægjandi fyrir neytendur og engin óeðlileg breyting	20	
Lykt			Fullnægjandi fyrir neytendur og engin óeðlileg breyting	2 við 12°C 3 við 25°C	Tengist bragðprófunum
Bragð			Fullnægjandi fyrir neytendur og engin óeðlileg breyting	2 við 12°C 3 við 25°C	Tengist lyktarprófunum
Hitastig	°C			25	

Hámarksgildi fyrir leiðni er hækkuð úr 400 µS/cm í 2500 µS/cm. Í stað þess að gefa upp hámarksgildi fyrir grugg kemur fram í nýju reglugerðinni að það eigi að vera fullnægjandi fyrir neytendur og engin óeðlileg breyting á að eiga sér stað. Þó verður að geta þess að það er ekki til nein skilgreining á því hvað óeðlileg breyting felur í sér. Einnig kemur fram að stefna

skuli að því að hafa gruggið minna en 1 NTU (Nephelometric turbidity units) en í eldri reglugerð var þetta gildi 5 NTU.

Í töflu 2 sést að það eru litlar breytingar á hámarksgildum frumefna, en þó hefur þeim fækkað í nýju reglugerðinni. Í nýju reglugerðinni eru ekki gefin upp hámarksgildi fyrir baríum, kalíum, kalsíum, magnesíum og sink og er ekki gerð krafa um að rannsaka þessa þætti. Í 6. grein neysluvatnsreglugerðar frá 2001 er tekið fram að fyrir þau efni sem koma ekki fram í reglugerðinni skuli styðjast við leiðbeiningar Alþjóða heilbrigðismálastofnunarinnar (WHO) um gæði neysluvatns. Hámarksgildi fyrir baríum er ekki lengur í neysluvatnsreglugerðinni en samkvæmt WHO er hámarksgildið 700 µg/l. Baríum í neysluvatni er af náttúrulegum uppruna og er yfirleitt undir 100 µg/l. Ekki hefur tekist að tengja inntöku á baríum við heilsuspillandi ástand en það er þó talið geta valdið háum blóðþrýstingi. Kalíum er ekki með hámarksgildi þar sem það finnst ekki í vatni í því magni sem veldur heilsuskaða (WHO, 2009).

Tafla 2. Samanburður á frumefnamælingum í neysluvatnsreglugerðum frá 2001 og 1995.

Frufefnamælingar	Mæli-eining	Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001	Athugasemdir	Reglugerð um neysluvatn nr. 319/1995	Athugasemdir
Antímon (Sb)	µg/l	5		5	
Arsen (As)	µg/l	10		10	
Ál (Al)	µg/l	200		200	
Baríum (Ba)	µg/l			700	
Bly (Pb)	µg/l	10	Gildið skal vera lýsandi fyrir neysluvatn	10	Í rennandi vatni
Bór (B)	µg/l	1000		300	
Flúoríð (F)	mg/l	1,5		1,5	
Járn (Fe)	mg/l	0,2		0,2	
Kadmíum (Cd)	µg/l	5		3	
Kalíum (K)	mg/l			12	
Kalsíum (Ca)	mg/l			100	
Klóríð (Cl)	mg/l	250	Vatnið má ekki vera tærandi		Oæskileg áhrif kunna að koma fram fari styrkur klóríðs yfir 200 mg/l
Kopar (Cu)	µg/l	2000	Gildið skal vera lýsandi fyrir neysluvatn	1000	Styrkur yfir 3 mg/l getur haft áhrif á bragð og lit og valdið tæringu
Krómi (Cr)	µg/l	50		50	
Kvikasilfur (Hg)	µg/l	1		1	
Magnesíum (Mg)	mg/l			50	
Mangan (Mn)	µg/l	50		50	
Natríum (Na)	mg/l	200		150	
Nikkel (Ni)	µg/l	20	Gildið skal vera lýsandi fyrir neysluvatn	20	
Selen (Se)	µg/l	10		10	
Sink (Zn)	µg/l			3000	Styrkur yfir 5 mg/l getur haft áhrif á bragð, útlit og útfellingu efna

Kalsíum og magnesíum hafa engin skaðleg áhrif á heilsu fólks og því eru ekki hámarksgildi fyrir þessi efni í nýju reglugerðinni, en ef neysluvatnið inniheldur mikið magn af

Þessum efnum finnst það á bragði þess og neytendur sætta sig yfirleitt ekki við það. Í leiðbeiningum WHO kemur fram að sink hefur ekki áhrif á heilsu fólks og þess vegna er ekki gefið upp hámarksgildi fyrir það efni. Hámarksgildi fyrir nokkur frumefni hækka með nýrri reglugerð eins og sést í töflu 2 en hámarksgildi eru háð stöðugum breytingum og breytist með aukinni þekkingu á þessum efnum (WHO, 2009).

Í töflu 3 kemur fram að hámarksgildi fyrir nokkur efni hefur hækkað með nýrri reglugerð. Hámarksgildi fyrir nítrat fór úr 25 mg/l í 50 mg/l, nítrít fór úr 0,1 mg/l í 0,5 mg/l og þá fór sulfat úr 200 mg/l í 250 mg/l. En hinsvegar hefur hámarksgildi fyrir arómatísk fjölrhinga kolvatnsefna lækkaði úr 0,2 µg/l í 0,1 µg/l.

Tafla 3. Samanburður á öðrum efnamælingum á neysluvatnsreglugerðum frá 2001 og 1995.

Aðrar efnamælingar	Mæli-eining	Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001	Athugasemdir	Reglugerð um neysluvatn nr. 319/1995	Athugasemdir
Ammoníum	mg/l	0,5		0,5	
Aromatísk fjölrhinga kolvatnsefni (PAH)	µg/l	0,1	Hámarksgildið á við summu af styrk eftirfarandi efnasambanda: benzo(b)flúoranten, benzo(k)flúoranten benzo(ghi)perylene, indeno(1,2,3-cd)pyren	0,2	Viðmiðunarefni: Flúoranþen/bensó 3,4; Flúoranþen/bensó 11,12; píren/bensó 1,12 og perylen/indenó(1,2,3-cd) píren
Nítrat (NO ₃)	mg/l	50	Uppfylla þarf skilyrði um að [nítrat]/50 + [nítrít]/3 1, þar sem hornklofarnir merkja styrkinn í mg/l fyrir nítrat (NO ₃) og nítrít (NO ₂) og að gildið fyrir nítrít fari ekki yfir 0,10 mg/l í vatni frá vatnsveitu	25	
Nítrít (NO ₂)	mg/l	0,5	Uppfylla þarf skilyrði um að [nítrat]/50 + [nítrít]/3 1, þar sem hornklofarnir merkja styrkinn í mg/l fyrir nítrat (NO ₃) og nítrít (NO ₂) og að gildið fyrir nítrít fari ekki yfir 0,10 mg/l í vatni frá vatnsveitu	0,1	
Oxunarhæfni (O ₂)	mg/l	5,0	Þarf ekki að mæla ef heildarmagn lífræns kolefnis (TOC) er mælt	5,0	
Súlfat (SO ₄)	mg/l	250	Vatnið má ekki vera tærandi	200	
Sýanið (CN)	µg/l	50		50	
Varnarefni	µg/l	0,1	Hámarksgildið á við hvert einstakt varnarefni ⁽¹⁾ . En hámarksgildi fyrir aldrín, díeldrín, heptaklór og heptaklórepoxið er 0,030 mg/l fyrir hvert efni	0,1	
Varnarefni - heildarmagn	µg/l	0,5	Merkir samtölu allra einstakra varnarefna sem finnast og eru <u>magnreind</u> við eftirlit	0,5	

1. Varnarefni eru: lífrænt skordýraeitur, lífrænn illgresiseyðir, lífrænn sveppaeyðir, lífrænn þráðormaeýðir, lífrænn mauraeýðir, lífrænn þörungaeyðir, lífrænn nagdýraeyðir, lífrænn slimeyðir, skyldar vörur (svo sem vaxtarstýriefni) og umbrots-, niðurbrots- og hvarfefni þeirra. Aðeins þarf að mæla þau varnarefni sem líkur eru á að séu til staðar í vatninu á hverjum stað.

Í töflu 4 eru hámarksgildi fyrir þau efni sem eru í neysluvatnsreglugerðinni frá 2001 en var ekki í þeirri eldri frá 1995. Mörg þessara efna eru notuð eða myndast þegar neysluvatn er sótthreinsað. Einnig þegar ný lagnaefni hafa verið tekin í notkun koma upp ný efni sem þarf að hafa í huga. Til dæmis hefur notkun á plastefnum í dreifikerfinu aukist í mörgum löndum og sú þróun á sér einnig stað hér á landi. Víníklóríð er notað við gerð PVC plastlagna og getur komist í neysluvatnið en það er krabbameinsvaldandi efni (WHO, 2009).

Tafla 4. Samanburður á öðrum efnamælingum á neysluvatnsreglugerðum frá 2001 og 1995.

Aðrar efnamælingar	Mæli-eining	Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001	Athugasemdir
1,2-dikloretan	µg/l	3	
Akrýlamíð	µg/l	0,10	Hámarksgildið vísar til styrks einliðuleifa í vatninu, reiknað út frá forskrift fyrir hámarkslosun frá samsvarandi fjölliðu í snertingu við vatn
Bens(a)pyren	µg/l	0,01	
Bensen	µg/l	1	
Brómat (BrO ₃)	µg/l	10	
Epiklórhýdrin	µg/l	0,1	Hámarksgildið vísar til styrks einliðuleifa í vatninu, reiknað út frá forskrift fyrir hámarkslosun frá samsvarandi fjölliðu í snertingu við vatn
TOC		Engin óeðlileg breyting	Parf aðeins að mæla ef vatnsnotkun er meira en 10.000 m ³ /dag
Triklóreten og Tetraklóreten	µg/l	10	Summa styrks efnasambandanna
Tríhalómetan	µg/l	100	Summa styrks eftirfarandi efnasambanda: klóróform, brómóform, díbrómóklórmetan, brómódíklórmetan
Vínílkloríð	µg/l	0,5	Hámarksgildið vísar til styrks einliðuleifa í vatninu, reiknað út frá forskrift fyrir hámarkslosun frá samsvarandi fjölliðu í snertingu við vatn

Í töflu 5 eru efni sem koma ekki fram í nýju neysluvatnsreglugerðinni en voru í þeirri eldri. Með endurnýjun neysluvatnsreglugerðarinnar hafa dottið út nokkur efni en í mörgum tilfellum er það efni sem hafa ekki áhrif á heilsufar neytenda, finnast ekki í neysluvatni í því magni sem getur valdið skaða eða eins og með jarðolíur þá finnst lykt og bragð áður en magn þeirra getur valdið skaða (WHO, 2009).

Tafla 5. Samanburður á öðrum efnamælingum á neysluvatnsreglugerðum frá 2001 og 1995.

Aðrar efnamælingar	Mæli-eining	Reglugerð um neysluvatn nr. 319/1995	Athugasemdir
Brennisteinsvetni			Á ekki að greinast við skynmat
Fastar svifagnir		Engar	
Fenól	mg/l	0,0005	Að undanskildum náttúrulegum fenólum sem ekki hvarfast við klór
Fosfór (P ₂ O ₅)	mg/l	5	
Jarðolíur	mg/l	0,01	
Kjeldahlköfnunarefni (N)	mg/l	1	Að undanskildu N í NO ₂ og NO ₃
Klórleifar (Cl ₂)	mg/l	1,0	Reiknað sem virkur klór
Óbundið koldíoxíð (CO ₂)	mg/l		Vatnið skal ekki vera tærandi
Yfirborðsvirk efni	mg/l	0,2	
Þurrar leifar	mg/l	1500	Eftir þurrkun við 180°C

Í neysluvatnsreglugerðinni kemur fram lágmarkstíðni mælinga á neysluvatni en það fer eftir fjölda íbúa á veitusvæðinu. Einnig kemur fram í reglugerðinni til hvaða ráðstafanna skal grípa ef viðkomandi efni fer yfir hámarksgildi.

2.5 Hlákuáætlun

Árið 1997 var tekin upp svokölluð hlákuáætlun hjá Vatnsveitu Reykjavíkur en hún felur í sér að hætt er að dæla upp úr grynri holum í Heiðmörk frá október til mars en þessar holur eru allar í Gvendarbrunnahúsinu (V-20 til V-23). Upphafið af þessari áætlun er innanhúsrannsókn sem Vatnsveita Reykjavíkur framkvæmdi en starfsmenn veittu því athygli að á árunum 1993 til 1994 fór heildargerlafjöldi við 22°C yfir mörk þágildandi neysluvatnsreglugerðar. Um var að ræða sex sýni sem fóru yfir mörk en öll voru þau tekin á sýnatökustað við Höfðabakka í Reykjavík og flest þeirra voru tekin í janúar á þessum árum. Einnig hafði gæðastjóri matvælafyrirtækis samband við heilbrigðiseftirlit Reykjavíkur og benti þeim á að við reglubundið gæðaeftirlit fyrirtækisins hafi fundist mikill heildargerlafjöldi í neysluvatninu (Garðar Sigurþórsson, Umhverfis- og samgöngusvið Reykjavíkurborgar, munnleg heimild, 17.11. 2010).

Árið 1995 var framkvæmd önnur rannsókn af Heilbrigðiseftirliti Reykjavíkur og voru alls tekin 107 sýni. Í þeirri rannsókn voru tekin sýni úr dreifikerfinu eftir mikla hláku og einnig voru tekin sýni beint úr borholum á Heiðmerkursvæðinu. Niðurstöður þessarar rannsóknar voru að beint samband er á milli hlákuveðurs og mikillar aukningar á jarðvegsgerlum í neysluvatni. Mikill munur var á gæðum vatns eftir því úr hvaða borholum sýni voru tekin. Þær borholur sem eru aðeins 10 m djúpar komu verst út meðan að aðrar borholur sem eru dýpri komu betur út. Lagt var til að borholurnar VK-1 og VK-5 yrðu virkjaðar en þær eru í Vatnsendakrika og eru um 100 m djúpar. Einnig var lagt til að dælingu úr grynstu holunum yrði stýrt þannig að hætt yrði að dæla upp úr þeim þegar búist væri við mikilli hláku tíð (Garðar Sigurþórsson & Sigurður V. Hallsson, 1995).

Í skýrslu Vatnsveitu Reykjavíkur frá 1997 (Loftur Reimar Gissurarson & Haraldur Arnar Haraldsson, 1997) er samantekt á niðurstöðum rannsókna úr reglubundnu eftirliti á neysluvatninu frá Heiðmörk. Í henni kemur fram að fjöldi sýna sem stóðust ekki ákvæði neysluvatnsreglugerðarinnar var hlutfallslega mestur í janúar til mars og síðan í október. Það kemur fram í skýrslunni að hlákuáætlunin hafði verið tekin í notkun í upphafi árs og að árangur aðgerðanna hafi orðið sjáanlegur strax um mitt ár 1997 þar sem mun færri sýni fóru yfir hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar miðað við árin á undan.

2.6 Dreifikerfi neysluvatns

Við flutning neysluvatns frá vatnstökusvæði til neytenda geta komið upp mörg tæknileg vandamál sem verður fjallað um hér á eftir. Farið verður yfir áhrif dreifikerfisins á neysluvatn, myndun örveruþekju í dreifikerfinu, þætti sem hafa áhrif á örveruvöxt í neysluvatni, tæringu á lögnum og áhrif á neysluvatn og lagnir þegar neysluvatn nær að staðna í lögnum.

2.6.1 Áhrif dreifikerfis á neysluvatn.

Áhrif dreifikerfis á neysluvatn hefur verið rannsakað í hinum ýmsu löndum. Þessar rannsóknir eru ekki alveg sambærilegar við rannsóknir á aðstæðum hér á landi þar sem erlendu rannsóknirnar eru á neysluvatni sem er sótthreinsað með klór. En þrátt fyrir það er hægt að læra mikið af þeim. Í rannsókn Patrick Niquette og annarra á dreifikerfi Brussels í Belgíu kom í ljós að notkun á yfirborðsvatni og vatni sem er blandað grunnvatni og yfirborðsvatni ýtir undir bakteríuvöxt í dreifikerfinu. Einnig kom fram að það eru minni líkur á að grunnvatn ýti undir bakteríuvöxt. Ástæður fyrir þessu er að næringargildi yfirborðsvatns og blandaðs vatns er meira en í grunnvatni. Til að minnka líkur á bakteríuvexti í dreifikerfinu komu rannsakendurnir fyrir síubúnaði sem minnkaði næringarefnin í neysluvatninu. Einnig kom í ljós að með því að skipta út sementuðu steypujárni í lögnum og setja í stað þess PVC plastlagnir hjálpaði það til við að minnka bakteríuinnihald í dreifikerfinu (Niquette o.fl., 2001).

Í Quebec í Kanada var gerð stór rannsókn á neysluvatnsdreifikerfi borgarinnar sem stóð yfir í þrjú ár og voru tekin sýni á 50 sýnatökustöðum. Samtals voru tekin 3595 sýni yfir þessi þrjú ár. Í rannsókninni kom í ljós að heildargerlafjöldi sveiflaðist þó nokkuð með árstíðum en ástæðan fyrir því var að hitastig neysluvatnsins sveiflast með árstíðum, því hærra hitastig því meiri bakteríuvöxtur. Þessi árstíðarsveifla sást best í enda dreifikerfisins þegar neysluvatnið var búið að fara langa leið. Þessi rannsókn var líka notuð til að finna staði þar sem neysluvatnsgæðin voru léleg og var hægt að bregðast við þeim aðstæðum og betrubæta (Francisque o.fl., 2009).

Í nokkrum borgum í norður Kína voru rannsökuð tengsl milli heildargerlafjölda og uppleystra lífræna kolefna (e. assimilable organic carbon) í neysluvatninu og einnig voru skoðaðar tæringarmyndanir með rafeindarsmásjá. Í þessari rannsókn kom í ljós að með hærri hitastigi jókst bakteríuvöxtur talsvert og næringarefni í vatninu minnkuðu með meiri

bakteríuvexti. Þá kom í ljós að með myndun tæringarbletta í lögnum fylgdi myndun óhreininda í neysluvatninu sem orsakaði litabreytingu og aukið grugg, auk þess sem magn járn, mangans og örvera jókst (Liu o.fl., 2001).

Í finnskri rannsókn var rannsakað örverufræðileg gæði í seti sem var fengið úr 16 dreifikerfum í 8 bæjum í Finnlandi. Set myndast þegar málmagnir og lífræn efni setjast á botn lagna. Í setinu eru kjöraðstæður fyrir vöxt örvera og það innheldur mikið magn örvera eins og ófrumbjarga bakteríur, kólígerla, actinomycetes og myglu. Setið var fjarlægt úr lögnum með vélræni hreinsun en ári eftir hreinsunina var örverufjöldinn orðinn næstum sá sami og fyrir hreinsun. Örverur í setinu geta minnkað örverufræðileg gæði neysluvatnsins þegar þær losna úr setinu og blandast við vatnið sem streymir um neysluvatnslagnirnar (Zacheus o.fl., 2001).

Í rannsókn á dreifikerfi New Jersey í Bandaríkjunum voru skoðaðir þættir sem ýta undir bakteríuvöxt í dreifikerfinu. Leitast var við að svara spurningunum (1) hversu mikið magn næringarefna væri aðgengilegt bakteríum í dreifikerfinu, (2) finna þá eðlis- og umhverfisþætti sem hafa áhrif á bakteríuvöxt og (3) finna magn næringarefna sem hafa áhrif á greiningu á kólígerlum og heildargerlafjölda í neysluvatni. Tvær aðferðir voru notaðar til að ákvarða magn næringarefna í neysluvatni en það var uppleyst lífrænt kolefni (AOC) og heildar lífrænt kolefni (TOC). Uppleyst lífrænt kolefni (AOC) er hluti af heildar lífræna kolefninu (TOC). Uppleyst lífrænt kolefni er mælt með lífmælingu sem er gerð með því að blanda nokkrum tegundum af bakteríum (*Pseudomonas fluorescens* P17, *Spirillum sp.* stofn NOX, og *Flavobacterium sp.* stofn S12) í vatnið og athuga hámarksvöxt bakteríanna og síðan er magn uppleysts kolefnis ákvarðað með því að keyra staðla með þekktu magni kolefnis. Þessi mæling mælir það lífræna efni sem bakteríur geta nýtt sér. Rannsóknin sýndi fram á að umhverfisþættirnir (regn og hitastig neysluvatns) og næringarmagn í neysluvatninu (TOC og AOC) höfðu áhrif á greiningu kólígerla. Það var ályktað að með aukinni rigningu væri líklegt að næringarefnin ykjast í neysluvatni þar sem regnið skolar lífrænum efnum ofan í vatnstökusvæðið og þannig komast næringarefnin inn í dreifikerfið. Hitastig vatnsins var mikilvægur þáttur í örveruvexti í dreifikerfinu. Á sumrin og snemma að hausti var hitastig neysluvatnsins yfir 15°C og fundust kólígerlar nær eingöngu á þeim tíma. Á veturna fundust kólígerlar ekki þrátt fyrir aukin næringarefni í neysluvatninu vegna rigninga. Uppleyst lífrænt kolefni (AOC) minnkaði hratt þegar neysluvatnið fór í gegnum dreifikerfið. Strax 1,6 km frá vatnshreinsistöðinni var uppleyst lífrænt kolefni farið að minnka. Dregin var sú ályktun að þegar neysluvatnið fer í gegnum dreifikerfið minnkar næringarefnin í því þar sem örverur í dreifikerfinu ná að nýta sér það. Á sumrin var hægt að tengja breytingar á uppleyst lífrænt

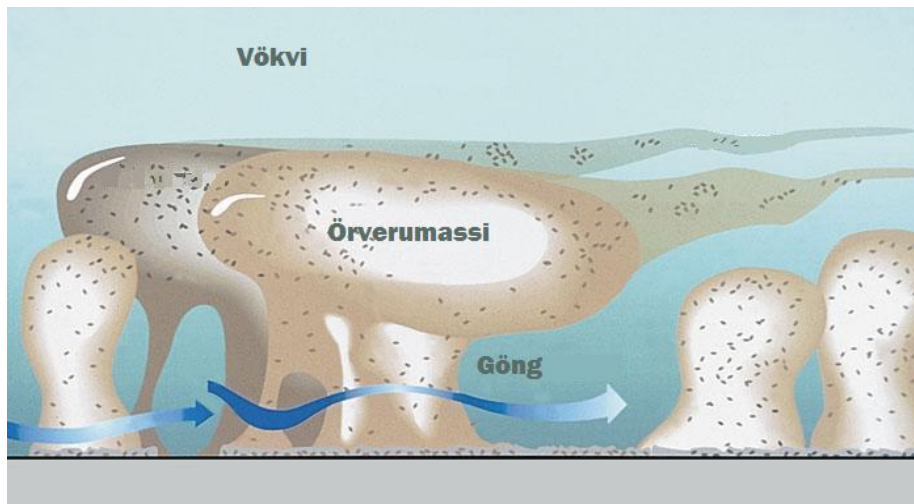
kolefni (AOC) við aukningu á kólígerlum þ.e. þegar uppleyst kolefni jókst voru meiri líkur á því að finna kólígerla í neysluvatninu (LeChevallier o.fl., 1991).

Í rannsókn á neysluvatninu í Seoul í Suður Kóreu var neysluvatn úr enda dreifikerfisins látið flæða í gegnum tilbúið lagnakerfi úr galvaníseruðu járn. Myndun á örveruþekju hófst strax og eftir viku og var heildargerlafjöldi á rúmsentímetra 10^4 og fór yfir 10^5 á rúmsentímetra á sex vikum. Úr örveruþekjunni voru tegundagreindar bakteríur með lífefnafræðilegum aðferðum. Kólígerlar og enterokokkar fundust í örveruþekjunni en algengustu tegundir baktería reyndust tilheyrja ættkvíslunum *Micrococcus*, *Bacillus* og *Pseudomonas*. *Micrococcus* fannst oftast í mestu magni. Einnig fundust oft tegundir af ættkvíslunum *Staphylococcus*, *Artroracter*, *Acinetobacter* og *Cellulomonas* (Lee o.fl., 2003).

2.6.2 Örveruþekja (Biofilm)

Örveruþekja getur myndað óreglulegan massa inni sumum lögnum eða filmu inni geyslutönkum. Þekjan getur verið örþunn eða allt að 10 til 40 mm að þykkt. Hún getur boðið upp á ólíkar umhverfisaðstæður eins og t.d. loftháðar og loftfirrðar aðstæður sem fer eftir hversu langt súrefni getur farið í gegnum þennan massa. Örveruþekja virðast vera flókin í byggingu með mikinn fjölbreytileika af örverukóloníum sem loða við rakt yfirborð í massa af utanfrumu lífrænum fjölliðum. Þessi massi er með vatnsrásum sem geta tekið allt að 40% til 60% af heildar rúmmáli örveruþekjunnar (sjá mynd 2). Í neysluvatnsdreifikerfum getur örveruþekjan myndast á innra yfirborði lagna, í seti, á tæringarstöðum, í vatnstönkum, lokum og pakkningum. Örveruþekjan myndast í upphafi þegar örverur dreifast um dreifikerfið og koma inn á svæði þar sem vatnsþrýstingur er lítill, lagnir verða fyrir hindrun eða svæði þar sem dauðir endar eru í lagnakerfinu. Sumar örverur festast við yfirborð aðeins af tilviljun en aðrar örverur hafa meiri líkur á því að festast við yfirborðið þar sem þær hafa utanfrumuefni (glycocalyx) sem myndast frá frumuhimnunni. Þessi utanfrumuefni festast í sprungum, í seti, í tæringarmyndunum eða festa sig við önnur yfirborð. Þetta gerist vegna þess að yfirborð örveranna er hlaupkennt og límist við yfirborð lagna. Fyrstu örverurnar sem geta þolað þær harkalegu aðstæður sem eru í dreifikerfinu vaxa hægt á meðan þær aðlagast umhverfisaðstæðum í lagnakerfinu. Með tímanum festast aðrar lífverur inni massanum en þær þurfa fleiri næringarefni en þær lífverur sem festast fyrst. Nýju lífverurnar fá þau næringarefni sem þeim vantar í úrgangsefnum frá öðrum lífverum í örverumassanum. Þegar örveruþekjan þróast eykst fjölbreytileiki lífvera inni massanum og að lokum getur

örveruþekjan innihaldið ýmsar tegundir af bakteríum, frumdýrum (e. protozoans) og jafnvel ornum (Geldreich, 1996).

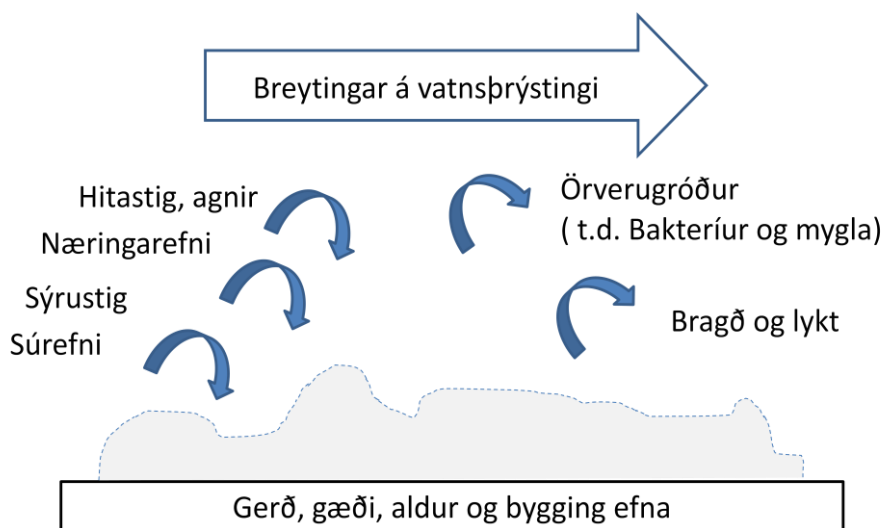


Mynd 2. Bygging örveruþekju (Peg Dirckx, Center for Biofilm Engineering).

2.6.3 Þættir sem hafa áhrif á örveruvöxt

Líffræðileg virkni í dreifikerfinu er mest milli vatnsins og byggingarefna, sets og tæringarbletta. Þessi vöxtur kallast örveruþekja. Vöxtur örveruþekju er einnig háður vatnsþrýstingi og eðlis- og efnafræðilegu ástandi vatnsins. Þættir sem hafa áhrif á vöxt og þróun örveruflórunnar í dreifikerfinu eru sýndir í mynd 3. Hér að neðan er fjallað um nokkra þessara þátta:

- Hitastig - Ef næringarefni eru til staðar eykst örveruvirkni töluvert þegar hitastig fer yfir 15°C og eykst enn frekar með hækkandi hitastigi.
- Sýrustig - Flestar örverur lifa í því sýrustigi sem finnst í neysluvatni.
- Súrefni - Neysluvatn er yfirleitt vel loftað sem minnkar hættu á tæringu af völdum örvera sem þurfa loftfirrðar aðstæður til að fjölga sér. En þrátt fyrir súrefni í vatninu getur það ekki alltaf komist í neðstu lög örveruþekjunnar, tæringarbletta eða annarra agna sem eru í lagnakerfinu. Þar geta örverur sem vaxa við loftfirrð skilyrði fjölgað sér, eins og súlfat-afoxandi bakteríur.
- Næringarefni – Þó frumbjarga örverur geti verið til staðar í neysluvatni þá skipta þær litlu máli í dreifikerfinu. En margar ófrumbjarga örverutegundir geta fjölgað sér ef það er nægilegt magn af lífrænum efnum með kolefni, köfnunarefni og fosfór (Ainsworth, 2004).



Mynd 3. Þættir sem hafa áhrif á breytingar á örveruflóru í neysluvatnsdreifikerfi.

2.6.4 Tæringarvandamál í dreifikerfum

Tæringarvandamál geta komið upp í dreifikerfum en mestu tæringarvandamálin tengjast lögnum úr stáli og steypujárni. Hækkun á gruggi, járninnihaldi og stundum óæskileg lykt í neysluvatni geta verið af völdum tæringar. Þrátt fyrir fjölda rannsókna á þessu vandamáli eru orsakir ekki að fullu þekktar og nokkrar rannsóknir stangast á. Ástæður fyrir tæringu á járn í lögnum getur annað hvort verið af völdum rafefnafræðilegra áhrifa og/eða örvera. Tæring á járn er mjög flókin og fer eftir mörgum þáttum eins og: súrefnismagni, sýrustigi, basavirkni (e. alkalinty), nærveru sulfats og klóríðs, hitastigi vatns, magni sótthreinsiefna og styrki lífrænna efna (Nawrocki, o.fl., 2010). Það geta verið fjölbreyttar örverutegundir sem tengjast tæringu á lögnum: loftháðar og valfrjálsar loftfælnar ófrumbjarga, nítratmyndandi frumbjarga örverur ($\text{NH}_4 \rightarrow \text{NO}_2$), afnítrandi örverur ($\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$), niturbindandi örverur ($\text{N}_2 \rightarrow \text{NH}_4$), örverur sem geta fellt út járn ($\text{Fe} \rightarrow \text{Fe samband}$), sulfatafoxandi, brennisteinsoxandi og actinomycetes. Margar af þessum örverum eru bakteríur en eitthvað af þeim eru myglusveppir sem lifa í örveruþekju inná lögnum (Geldreich, 1996).

2.6.5 Staðnað vatn í dreifikerfinu

Örverufræðileg virkni í neysluvatni getur hægt á sér við lökkun á hitastigi og þegar næringarefni minnkar, en virknin stöðvast þó aldrei alveg. Þar sem neysluvatnið hefur staðnað í dreifikerfinu eru næringarefnin í lágmarki og það myndast hringrás með vexti og dauða hinna ýmsu örvera. Þær tegundir sem aðlagast þessum aðstæðum ná yferráðum. Þessar aðstæður myndast stundum í stuttan tíma í dauðum endum í kerfum eða einhverjum lögnum. Einnig getur þetta varað í langan tíma í dreifikerfum sem eru of stór miðað við notkun. Þessar aðstæður eru óæskilegar þar sem þetta skapar aðstæður fyrir agnir til að setjast og mynda set í lögnum. Einnig eiga örveruþekjur auðveldara með að myndast þar sem kraftur vatnsþrýstings er ekki til staðar sem dregur úr myndun þeirra. Með myndun örveruþekja getur orðið hröðun á tæringu af völdum örvera. Með því að endurhanna kerfin þannig að vatnið fari í hringi er hægt að koma í veg fyrir dauða enda. Með því minnka líkur á að gæði vatnsins versni vegna örveruvirkni. Það er mikilvægt að vatnið sé alltaf á ferð inni dreifikerfinu (Geldreich, 1996).

2.7 Rannsóknaliðir

Í verkhluta 2 í þessari rannsókn eru framkvæmdar örveru- og eðlismælingar á neysluvatninu og athuguð áhrif dreifikerfisins á þessa þætti. Hér á eftir er fjallað um þær örveru- og eðlismælingar sem voru framkvæmdar og þýðingu þeirra.

2.7.1 Heildargerlafjöldi við 22°C á PCA og R2A í 1 ml og 100 ml

Mælingar á heildargerlafjölda á „plate count agar“ (PCA) greinir fjöldann allan af ófrumþjarga örverum eins og bakteríum og myglusveppum. Aðferðin byggir á að þessar örverur geti vaxið á næringarríku æti án efna sem hamla vexti og er ræktaðar í ákveðinn tíma við ákveðið hitastig. Þessi aðferð greinir aðeins smáan hluta af örveruflórinni sem er í vatninu. Þær örverur sem ræktast upp eru breytilegar eftir þeirri aðferð sem er notuð og aðstæðum við ræktun eins og ræktunartíma og hitastigi. Þó að staðlaðar aðferðir hafa verið gerðar þá er ekki til alþjóðleg aðferð sem mælir heildargerlafjölda. Það er til mikill fjöldi af ræktunarætum og ræktunarhitastig er breytilegt frá 20°C til 37°C. Ræktunartími getur verið frá nokkrum klukkustundum til sjö daga eða meira. Heildargerlafjöldi gefur ekki til kynna hvort sýklar séu í vatninu en hann gefur til kynna örverufræðilegan hreinleika neysluvatnsins,

áreiðanleika dreifikerfisins og mögulega myndun á örveruþekju. Þær örverur sem finnast með mælingu á heildargerlafjölda geta verið bæði af náttúrulegum uppruna og vegna utanaðkomandi mengunar. Þær tegundir sem finnast eru mjög mismunandi milli daga jafnvel þegar sýni eru tekin á sama stað. Einnig geta tegundir verið mismunandi eftir einstaka sýnatökustöðum í dreifikerfinu. Við ákveðin skilyrði geta örverur vaxið mjög hratt í neysluvatni og einnig geta þær vaxið á innra yfirborði dreifikerfisins þar sem þær mynda örveruþekjur. Þeir þættir sem hafa áhrif á þennan vöxt eru hitastig, næringarefni í vatninu og hvort neysluvatnið nái að vera í kyrrstöðu yfir langan tíma í vatnsdreifikerfum (WHO Guidelines, 2006).

Það mikilvægasta við þessa mælingu er að sjá breytingu á heildargerlafjöldanum yfir tíma en stök mæling á heildargerlafjölda gefur ekki miklar upplýsingar.

Innan þess örveruhóps sem vex við mælingu á heildargerlafjölda eru nokkrar ættkvíslir sem innihalda tegundir sem geta verið tækifærissýklar eins og *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Moraxella*, *Serratia*, *Pseudomonas* og *Xanthomonas* en þrátt fyrir það eru engar vísbendingar um að þessar ættkvíslir geti valdið iðrasýkingum eftir neyslu á drykkjarvatni hjá almennum neytenda (WHO Guidelines, 2006).

Hámarksgildi fyrir heildargerlafjölda við 22°C í neysluvatni er 100 kóloníu myndandi einingar í 1 ml sýnis samkvæmt íslensku neysluvatnsreglugerðinni (Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001). Það hafa engar vísbendingar gefið til kynna að heildargerlafjöldi geti valdið sýkingu í mönnum en niðurstaða rannsókna gefa til kynna að hár heildargerlafjöldi þ.e. yfir 500 kóloníu myndandi einingar í 1 ml geti haft áhrif á mælingu á kólígerlum þannig að við háan (>500) heildargerlafjölda hefur hann truflandi áhrif á ræktun á kólígerlum í ætum með laktósa. Þess vegna geta greiningar á kólígerlum/*E.coli* gefið falska neikvæða niðurstöðu þegar mikið magn heildargerlafjölda er í sýninu þ.e. að vegna mikils heildargerlafjölda ná kólígerlar ekki að vaxa upp vegna truflandi áhrifa frá öðrum bakteríum (Allen o.fl., 2004). Algengasta æti sem notað er við ákvörðun á heildargerlafjölda er „Plate Count Agar“ (PCA) en það er næringarríkt æti. Þetta æti er notað til greininga á heildargerlafjölda hér á landi. Við rannsókn á bakteríum sem vaxa á PCA agar hefur komið í ljós að þegar kóloníum af PCA agar er strikað á nýjan PCA agar kemur oft fyrir að þær ná ekki að vaxa aftur upp og því ekki möguleiki á því að rannsaka viðkomandi bakteríu frekar. Með þróun á næringarlitlum ætum sem líkjast meira því næringarlitla umhverfi sem er í neysluvatninu hefur tekist betur að einangra bakteríur af PCA agar. Nú nota rannsakendur oft þessi næringarlitlu æti til rannsókna á neysluvatni en í flestum tilfellum vex meiri fjöldi baktería á næringarlitlu æti en á næringarríku æti eins og PCA. Eitt af þessum næringarlitlu ætum heitir R2A og hefur verið

mikið notað við rannsóknir á neysluvatni (Reasoner & Geldreich, 1985). R2A ætíð er einnig notað við rannsóknir á vatni sem hefur verið hreinsað með útfjólubláu ljósi, síun eða ósóni.

2.7.2 Myglusveppir

Myglusveppir í neysluvatni hafa verið lítið rannsakaðir og tengsl milli gæða neysluvatns og fjölda myglusveppa er ekki þekkt. Mygla í vatni hefur þó verið tengd við bragð- og lyktarvandamál í vatnsdreifikerfum og mengun við framleiðslu á matvælum og drykkjum. Myglusveppir hafa einnig verið tengdir ofnæmisviðbrögðum og sýkingum í mönnum. Sumar tegundir myglusveppa hafa getu til að valda tæringu á innra yfirborði lagna í dreifikerfinu. Nokkrar rannsóknir hafa sýnt fram á að myglusveppir eru í örveruþekjum í neysluvatnsdreifikerfum (Hageskal o.fl., 2007). Viðmiðunargildi fyrir myglu í neysluvatni eru ekki í mörgum löndum en í sænsku neysluvatnsreglugerðinni frá 2003 er viðmiðunargildið 100 kóloníu myndandi einingar í 100 ml sýnis (sænsk reglugerð um neysluvatn SLVFS 2001:30). Í íslensku neysluvatnsreglugerðinni er ekki minnst á viðmiðunargildi fyrir myglusveppi og við reglubundið eftirlit á neysluvatni er ekki leitað af myglu- og gersveppum.

2.7.3 Gersveppir

Gersveppir finnast í neysluvatni en upplýsingar um tíðni, fjölda og fjölgun í dreifikerfinu eru mjög litlar. Það er ekki vegna þess að þeir hafa enga þýðingu í neysluvatni heldur hafa ekki verið gerðar rannsóknir á þessu sviði. *Candida albicans* er tækifærissýkill og er hættulegur fyrir einstaklinga með sykursýki, krabbamein, alnæmi eða fólk með bælt ónæmiskerfi vegna líffæraflutninga og annarra aðgerða. Gersveppir finnast í blóðheitum dýrum og þar á meðal í mönnum, hundum, dúfum og mávum. Fjöldi gersveppa í mannasaur getur verið 100.000 kóloníu myndandi einingar í grammi. Það má gera ráð fyrir að gersveppirnir nái að fjölga sér þegar þeir aðlaga sig að umhverfi lagnakerfisins en þeir fjölga sér hægt. Ástæða fyrir því að sumir staðir dreifikerfisins eru með meiri fjölda gersveppa getur verið vegna eldri lagna og þar sem neysluvatnið nær að staðna (WHO Guidelines, 2006). Í íslensku neysluvatnsreglugerðinni er ekki hámarksgildi fyrir gersveppi en í sænsku neysluvatnsreglugerðinni frá 2003 eru viðmiðunargildið 100 kóloníu myndandi einingar í 100 ml af neysluvatni (sænsk reglugerð um neysluvatn SLVFS 2001:30).

2.7.4 Kólígerlar

Kólígerlar er flokkur loftháðra og valfrjálsra Gram neikvæðra staflaga baktería sem mynda ekki gró. Þær geta vaxið í háum styrk af gall-salti og gerja laktósa og framleiða sýru og gas á 24 klukkustundum við 37°C. Kólígerlar samanstanda af ættkvíslunum *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia* og *Hafnia*. Þessar bakteríur finnast í umhverfinu og í saur. Þar sem þær finnast líka í umhverfinu er nauðsynlegt að athuga hvort *Escherichia coli* sé til staðar en það staðfestir að neysluvatnið er saurmengað. Ef kólígerlar finnast í dreifikerfinu getur það bent til þess að bakteríurnar vaxi í vatninu og hugsanlega í örveruþekjum eða mengun af völdum jarðvegs eða gróðurs sem kemst inn í kerfið. Innan kólígerla eru bakteríutegundir sem geta lifað og vaxið í neysluvatni og þess vegna eru kólígerlar ekki góð vísbending um að sýklar af saurupprunna séu í vatninu (WHO Guidelines, 2006). Í íslensku neysluvatnsreglugerðinni kemur fram að það megi ekki finnast kólígerlar í 100 ml sýnis (Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001).

2.7.5 *E.coli*

Sumar tegundir af kólígerlum geta gerjað laktósa við 44°- 45°C og kallast þá hitapolnir kólígerlar eða saurkólígerlar. Stærsti hluti saurkólígerla samanstendur oftast af bakteríutegundinni *Escherichia coli* en sum afbrigði annarra kólígerla (*Citrobacter*, *Klebsiella* og *Enterobacter*) geta einnig verið hitapolin og koma þá fram sem hluti saurkólígerla við ræktun. *Escherichia coli* er aðgreind frá öðrum saurkólígerlum vegna getu hennar til að framleiða indole úr tryptophan eða vegna getu til að framleiða ensímið β -glucuronidase. *Escherichia coli* er til staðar í miklu magni í manna- og dýrasaur og er sjaldan fundin án þess að um saurmengun sé að ræða. Þó eru einhver brögð að því að hún geti vaxið í jarðvegi í hitabeltinu. Aðrar tegundir saurkólígerla en *Escherichia coli* geta fundist í umhverfinu og því er *Escherichia coli* álitin best til þess fallinn til að greina mengun af sauruppruna. Vegna hitastigs og næringarinnihalds neysluvatns er ólíklegt að hún geti fjölgað sér í því (WHO Guidelines, 2006). Þó hafa nýlegar rannsóknir gefið til kynna að hún getur lifað lengur í neysluvatni en áður var talið. *E.coli* er stundum til staðar þó ekki náist að rækta hana upp á sérhæfðum ætum vegna þess að hún er í óræktanlegu ástandi (Bjergbæk & Roslev, 2005, Juhan o.fl., 2007). Þegar hún finnst gefur það til kynna að neysluvatnið hafi mengast af saur nýlega og að nokkrar líkur séu á því að sýklar geti einnig verið til staðar í neysluvatninu.

Þegar *Escherichia coli* uppgötvast ætti það að leiða til aðgerða eins og meiri sýnatöku og rannsókna á uppruna saurmengunarinnar (WHO Guidelines, 2006). Í íslensku neysluvatnsreglugerðinni kemur fram að það megi ekki finnast *E.coli* í 100 ml sýnis. Ef *E.coli* finnst í neysluvatni þá kemur fram í reglugerðinni að það eigi að grípa til nauðsynlegra aðgerða til að bæta og endurheimta vatnsgæðin. Heilbrigðisnefndin skal í samráði við Matvælastofnun banna dreifingu eða notkun neysluvatnsins. Einnig skal hún tafarlaust veita neytendum upplýsingar og ráðgjöf (Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001).

2.7.6 Enterokokkar

Enterokokkar er hópur bakteríutegunda en allar tegundirnar eru af ættkvíslinni *Enterococcus* og innhalda tegundirnar *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans* og *E. hirae*. Þessar bakteríur eru Gram jákvæðar og þola salt og basískar aðstæður. Þær eru valfrjálssar loftfælnar og eru einar sér, í pörum eða í stuttum keðjum.

Flestar tegundir sem falla undir enterokokka geta ekki fjölgað sér í neysluvatni. Fjöldi enterokokka í mannasaur er yfirleitt nokkuð lægri en *E.coli*. Helsti kostur við enterokokka er að þeir geta lifað lengur í neysluvatni en *E.coli* og því meiri líkur á að uppgötva saurmengun í neysluvatninu. Aðferðin hefur verið notuð sem viðbótaraðferð með *E.coli* aðferðinni. Einnig hefur þessi aðferð verið notuð til að rannsaka ástand vatns eftir viðgerðir á dreifikerfinu eða þegar nýjar leiðslur eru teknar í notkun.

Enterokokkar má finna í saur manna og blóðheitra dýra. Sumar tegundir hafa fundist í jarðvegi sem er ekki saurmengaður. Enterokokkar eru í miklu magni í skólpi og vatni sem hefur mengast af skólpi eða úrgangi frá fólki og dýrum. Þegar enterokokkar finnast þá gefur það til kynna að neysluvatnið hafi nýlega mengast af saur og eru líkur á því að sýklar geti fundist í neysluvatninu. Þegar þeir greinast ætti það að leiða til aðgerða eins og meiri sýnatöku og rannsókna á uppruna saurmengunarinnar (WHO Guidelines, 2006). Í íslensku neysluvatnsreglugerðinni kemur fram að það megi ekki finnast enterokokkar í 100 ml sýnis (Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001).

2.7.7 Leiðni

Rafleiðni er mæld með rafleiðni mæli og er gefið upp í einingunni $\mu\text{S}/\text{cm}$. Leiðni segir til um heildarmagn uppleystra jóna og gefur vísbendingu um efnainnihald vatnsins.

Leiðni yfir 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bendir yfirleitt til mýrarvatns eða jarðhita. Há gildi í leiðni geta verið vísbending um að neysluvatnið sé mengað af sjó. Neysluvatn á Íslandi hefur yfirleitt leiðni milli 40-120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Hollustuvernd Ríkisins 2002). Í íslensku neysluvatnsreglugerðinni kemur fram að hámarksgildið fyrir leiðni er 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ við 20°C (Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001).

2.7.8 Grugg

Grugg er mæling á tærleika vatns og er hún gerð í ljósmæli. Mælieiningin er NTU sem stendur fyrir „Nephelometric turbidity unit“. Grugg í neysluvatni er af völdum agna en þessar agnir geta verið vegna ólífrænna agna eða vegna agna sem losna úr örveruþekjunni sem vex inná neysluvatnslögnum. Neysluvatn sem mælist lægra en 5 NTU er yfirleitt ásættanlegt fyrir neytendur (WHO Guidelines, 2006). Í íslensku neysluvatnsreglugerðinni kemur fram að neysluvatnið skuli vera fullnægjandi fyrir neytendur og að engin óeðlileg breyting verði á grugginu. Einnig kemur fram að stefna bæri að því að gruggið fari ekki yfir 1 NTU (Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001).

2.7.9 Sýrustig

Mælieining fyrir sýrustig er pH og lýsir styrk vetnisjóna (H^+) og hýdroxíðjóna (OH^-) í vatnslaun. Engar heilsutengdar viðmiðunarreglur eru til fyrir sýrustig en samkvæmt neysluvatnsreglugerð er æskilegt að sýrustig sé frá pH 6,5 til pH 9,5 (Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001). Sýrustig í neysluvatni er yfirleitt milli pH 7 og pH 9. Á Heiðmerkursvæðinu þar sem vatnið kemur úr djúpum lokuðum borholum og hefur runnið í gegnum ungt, glerríkt og hvarfgjarnt basalt er sýrustigið kringum pH 9. Við loftun þá tekur vatnið í sig kolsýru og við það lækkar sýrustigið (Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1998).

2.7.10 Hitastig

Kalt vatn er yfirleitt álitnið bragðbetra en heitara vatn. Hærra hitastig á neysluvatni eykur vöxt örvera og getur aukið bragð, lykt, lit og tæringar vandamál (WHO Guidelines, 2006).

3 Efni og aðferðir

Rannsókninni er skipt niður í þrjú verkhluta. Í fyrsta verkhluta voru tekin gögn úr reglubundnu gæðaeftirliti frá árunum 1997 til 2009 og áhrif veðurfars og annarra eðlisþátta á örveru- og eðlisgæði neysluvatnsins athuguð. Einnig var athugað hvort breytingar hafa orðið á efnainnihaldi neysluvatnsins á þessu árabili. Í verkhluta tvö var framkvæmd rannsókn á áhrifum dreifikerfisins á örveru- og eðlisgæði neysluvatnsins. Í henni var sérstaklega rannsakaður munur milli síunaraðferðar og áhellingaraðferðar við ákvörðun á heildargerlafjölda við 22°C. Í verkhluta þrjú var notast við sameindalíffræðilegar aðferðir til að greina þær örverur sem eru í neysluvatninu. Nánari lýsing á hverjum verkhluta fyrir sig kemur hér að neðan.

3.1 Verkhlyuti 1. Kerfisbundin greining gagna

Við kerfisbundna greiningu gagna var útbúinn gagnagrunnur og notast við niðurstöður úr sýnatöku sem var framkvæmd af Umhverfis- og samgöngusvið Reykjavíkurborgar og Heilbrigðiseftirliti Kjósarsvæðis á neysluvatni frá Heiðmerkursvæðinu. Þau sýni sem fóru í gagnagrunninn voru mæld í reglubundnu eftirliti á árunum 1997 til 2009. Niðurstöðurnar sem notaðar voru við greiningu gagna kom frá 1390 sýnum og voru þær allar teknar og settar í gagnagrunn. Til að kanna áhrif veðurfars á örverugæði neysluvatnsins voru veðurfarsgögn þá daga sem sýnin voru tekin einnig sett í gagnagrunninn. Til að athuga áhrif staðsetningar sýnatökustaðar var mæld vegalengd frá uppsprettu (Gvendarbrunnar) til hvers sýnatökustaðar og upplýsingarnar voru settar í gagnagrunninn. Þegar búið var að setja allar upplýsingar inn í gagnagrunninn var hafist handa við að greina gögnin.

3.1.1 Örveru- og eðlismælingar

Upplýsingar um örveru- og eðlismælingar fyrir Reykjavík voru fengnar úr gagnagrunni Orkuveitu Reykjavíkur og fyrir Seltjarnanes og Mosfellsbæ úr gagnagrunni Matís ohf með samþykki frá Heilbrigðiseftirliti Kjósarsvæðis.

Notast var við gögn frá 1. janúar 1997 til 31. desember 2009. Þau sýni sem voru tekin úr dreifikerfinu í reglubundnu eftirliti var bætt í gagnagrunninn. Í reglubundnu eftirliti eru mældir örveruþættirnir: heildargerlafjöldi við 22°C í 1 ml sýnis, kólígerlar og saurkólígerlar í

100 ml sýnis (síðar *E.coli* í 100 ml sýnis með nýrri neysluvatnsreglugerð 2001). Eðlis- og efnahættir sem eru mældir í reglubundnu eftirliti eru: hitastig við sýnatöku, sýrustig, leiðni, grugg og ammoníak. Við mat á gæðum neysluvatnsins var notast við neysluvatnsreglugerðina nr. 536/2001 fyrir allt tímabilið.

Reglubundnar mælingar á neysluvatninu voru framkvæmdar af sömu rannsóknastofu en hún fór í gegnum ýmsar formbreytingar á þessu árabili. Árin 1997 til 2002 var hún rannsóknastofa Hollustuverndar Ríkisins, árin 2003 til 2006 var hún rannsóknastofa Umhverfisstofnunar og frá áramótum 2007 hefur rannsóknastofan verið hluti af Matís ohf. Allar mælingar í reglubundnu eftirliti voru framkvæmdar af þessari rannsóknastofu nema mælingar á sýrustig og leiðni í Mosfellsbæ og Seltjarnanesi en þær voru framkvæmdar af heilbrigðiseftirliti Kjósarsvæðis á sýnatökustað.

3.1.2 Fjarlægð sýnatökustaðar frá uppsprettu.

Til að finna út fjarlægðir sýnatökustaða frá uppsprettu var útbúið kort af neysluvatnsdreifikerfi Reykjavíkur í gagnagrunni LUKOR (landupplýsingakerfi Orkuveitu Reykjavíkur) með hugbúnaðinum ArcGis frá ESRI USA. Mæld var fjarlægð frá Gvendarbrunnahúsi og tekin stysta leið í gegnum stofnæðar að viðkomandi sýnatökustað. Til að athuga hvort það sé fylgni milli gæða neysluvatnsins og fjarlægðar frá uppsprettu var sýnatökustöðunum skipt í fjóra flokka eftir fjarlægð frá uppsprettu. Flokkur 0 er uppspretta, flokkur 1 eru sýnatökustaðir í 2-7 km fjarlægð frá uppsprettu, flokkur 2 er í 7-14 km fjarlægð frá uppsprettu og flokkur 3 er í 14-22 km fjarlægð frá uppsprettu.

3.1.3 Veðurfarsgögn

Veðurfarsgögn voru fengin hjá Veðurstofu Íslands. Mælingarnar eru gerðar við húsnaði Veðurstofunnar við Bústaðaveg. Úr gögnum voru teknir eftirfarandi þættir: dagsúrcoma, hitastig hámark, hitastig lágmark, meðalhitastig, meðalvindur, sólskin og snjódýpt. Þessi gögn voru síðan notuð til að finna út úrkomu eftir einn dag til sjö daga frá sýnatöku og samanlagða úrkomu yfir þrjá daga. Einnig var reiknað út hversu mikið snjódýptin hafði minnkað á hverjum degi. Þetta var gert til að athuga hvort að það væri samband milli heildargerlafjölda við 22°C og þessara þátta vegna þess að áhrif úrkomu getur komið fram eftir nokkra daga. Það fer eftir vatnstökusvæðinu hvort þessi áhrif séu til staðar

og hversu langan tíma það tekur fyrir þau að koma fram. Þegar snjór bráðnar getur það verið vegna hækkunar á lofthita og vegna úrkomu. Með því að reikna út minnkun á snjódýpt þá er hugsanlegt að það sjáist tengsl á milli heildargerlafjölda við 22°C og minnkun á snjódýpt.

3.1.4 Sjávarhiti

Hitastig sjávar var fengið hjá Hafrannsóknastofnun en þeir mæla sjávarhitann í Reykjavíkurhöfn. Þessi gögn voru notuð á sýnatökustaði þar sem sjávarhiti hefur áhrif á neysluvatnshitastig þ.e. sýnatökustaði á Kjalarnesi.

3.1.5 Úrvinnsla gagna

Við greiningu á hitastigi neysluvatnsins var unnið með sýnatökustaði sem eru enn í notkun og voru með fleiri en 10 sýni á viðkomandi sýnatökustað yfir tímabilið. Teiknuð voru upp gröf þar sem kemur fram hitastig lofthita og neysluvatns sem fall af tíma. Með þessu er hægt að sjá áhrif lofthita á neysluvatnshitann og mismun á milli sýnatökustaða eftir því hversu langt þeir eru frá uppsprettu.

Fyrir sýnatökustaðina á Kjalarnesi (Klébergsskóli og Víðines) var teiknað upp graf með hitastigi sjávar og hitastigi við sýnatöku neysluvatnsins sem fall af tíma. Reiknað var Perarson-fylgnistuðull með tölfræðiforritinu R.

Til að sjá áhrif fjarlægðar frá uppsprettu á hitastig við sýnatöku var teiknað upp graf með meðalhitastig neysluvatnsins fyrir sýnatökustaði með fleiri en 10 sýni yfir allt tímabilið, en sýnatökustöðum á Kjalarnesi var sleppt þar sem þeir eru ekki sambærilegir öðrum sýnatökustöðum þar sem vatnið fer í gegnum sjólögn. Á grafið var dregin upp besta lína (aðfallslína) og fundið út hversu mikið hitastigið hækkar að meðaltali við flutning.

Til að sjá hvernig lofthiti hefur áhrif á neysluvatnshitann á hverjum sýnatökustað voru teiknuð upp gröf með hitastig við sýnatöku sem fall af lofthita. Tekinn var besta lína gegnum þessi gögn en með því fengust upplýsingar um hversu mikið hitastig neysluvatnsins hækkar við hækkun á lofthita um eina gráðu á Celsíus. Þessar niðurstöður voru síðan settar í töflu með upplýsingum um fjarlægð sýnatökustaða frá uppsprettu.

Fjöldi sýna sem stóðust ekki neysluvatnsreglugerðina er sýndur í töflum en í þeim kemur fram úr hvaða sýnatökustað viðkomandi sýni kemur og fjöldi sýna sem voru tekin á

hverjum sýnatökustað. Einnig var fjöldi sýna sem stóðust ekki neysluvatnsreglugerðina flokkaður eftir því í hvaða mánuði sýnið var tekið.

Gerð voru súlurit sem sýna hlutfall sýna sem stóðust neysluvatnsreglugerðina á viðkomandi ári á árabílinu 1997-2009.

Útbúin var tafla með meðaltali og dreifingu niðurstaðna fyrir heildargerlafjölda við 22°C, hitastig við sýnatöku, sýrustig, leiðni og fjarlægðar frá uppsprettu fyrir hvern sýnatökustað fyrir sig.

3.1.6 Tölfræðileg úttekt á gagnagrunni

Notast var við tölfræðiforritið R, útgáfu 2.10.1 (2009-12-14), til að greina gögnin og gerð móðels. Við úrvinnslu gagna var notast við heildargerlafjölda við 22°C sem útkomubreytu og aðrar breytur í gagnagrunninum eins og eðlisþættir mælingar, veðurfarsþættir, fjarlægð sýnatökustaðar frá uppsprettu og sjávarhiti voru notaðar sem stýribreytur. Teiknuð voru upp boxplot í tölfræðiforritinu R til að sýna tengsl milli útkomubreytunnar og stýribreyta. Í boxplotinu er lárétta línan í kassanum miðgildið af gögnum og kassinn sýnir 50% af tölunum þ.e. frá 25% til 75% af gagnasafninu. Síðan er sýnt lægsta gildi og hæsta gildi með striki á enda punktalínunnar. Ef hæsta og lægsta gildi eru meira en 1,5 sinnum lengra en stærð kassans (50% gilda) er endi línurnar settur rétt undir 1,5 sinnum markinu og þau gildi sem eru fyrir utan eru sýnd með punktum. Við greiningu á hitastigi við sýnatöku var notast við Microsoft office excel 2007 til að greina gögnin og við gerð tafla og súlurita.

3.1.7 Heildarúttektar mæling

Frá 1997 voru þessar efnamælingar framkvæmdar af SGAB Analytica Sweden en í dag heitir þessi rannsóknastofa ALS Scandinavia AB. Fjöldi heildarúttektarsýna fer eftir fjölda neytenda sem viðkomandi vatnsveita þjónar en í Reykjavík eru tekin fjögur heildarúttektarsýni á ári. Sýnin eru tekin af heilbrigðisfulltrúum frá Umhverfis- og samgöngusviði Reykjavíkurborgar á þeim sýnatökustöðum þar sem sýni eru tekin í reglubundu eftirliti og í vatnsbólum á vatnstökusvæðinu í Heiðmörk.

Til að skoða mismun á milli sýnatökustaða var meðaltal fyrir hvert efni sett í töflu ásamt hæsta og lægsta gildi fyrir viðkomandi efni. Einnig kemur fram hvert hámarksgildið er samkvæmt neysluvatnsreglugerðinni.

Til að sjá dreifingu og magn viðkomandi efna í neysluvatni voru teiknaðar upp myndir sem sýna vegið meðaltal hvers efnis fyrir sig, hæsta og lægsta mældu gildi og hámarksgildi skv. neysluvatnsreglugerðinni. Vegið meðaltal var reiknað með því að taka meðaltal hvers efnis fyrir alla sýnatökustaðina og reikna út meðaltal þeirra. Því hefur hver sýnatökustaður sama vægi í meðaltalinu óháð hversu mörg sýni hafa verið tekin á hverjum sýnatökustað.

Fyrir hvern sýnatökustað voru allar efnamælingar teknar og teiknað var upp magn hvers efnis sem fall af tíma. Notast var við Microsoft Office excel 2007 við þessa greiningu. Með þessu var hægt að skoða hvernig magn viðkomandi efnis hefur breyst yfir rannsóknartímann. Í niðurstöðukaflanum er aðeins birtar niðurstöður þar sem breytingar hafa átt sér stað á magni efnanna.

3.2 Verkhliuti 2. Áhrif dreifikerfisins á örveru- og eðlisgæði neysluvatns.

Í þessum verkhluta var framkvæmd stýrð rannsókn á örveru- og eðlisgæðum neysluvatnsins frá Heiðmerkursvæðinu. Tilgangur rannsóknarinnar er að styðja þær upplýsingar sem fram hafa komið við greiningu gagnagrunns fyrir árin 1997 til 2009.

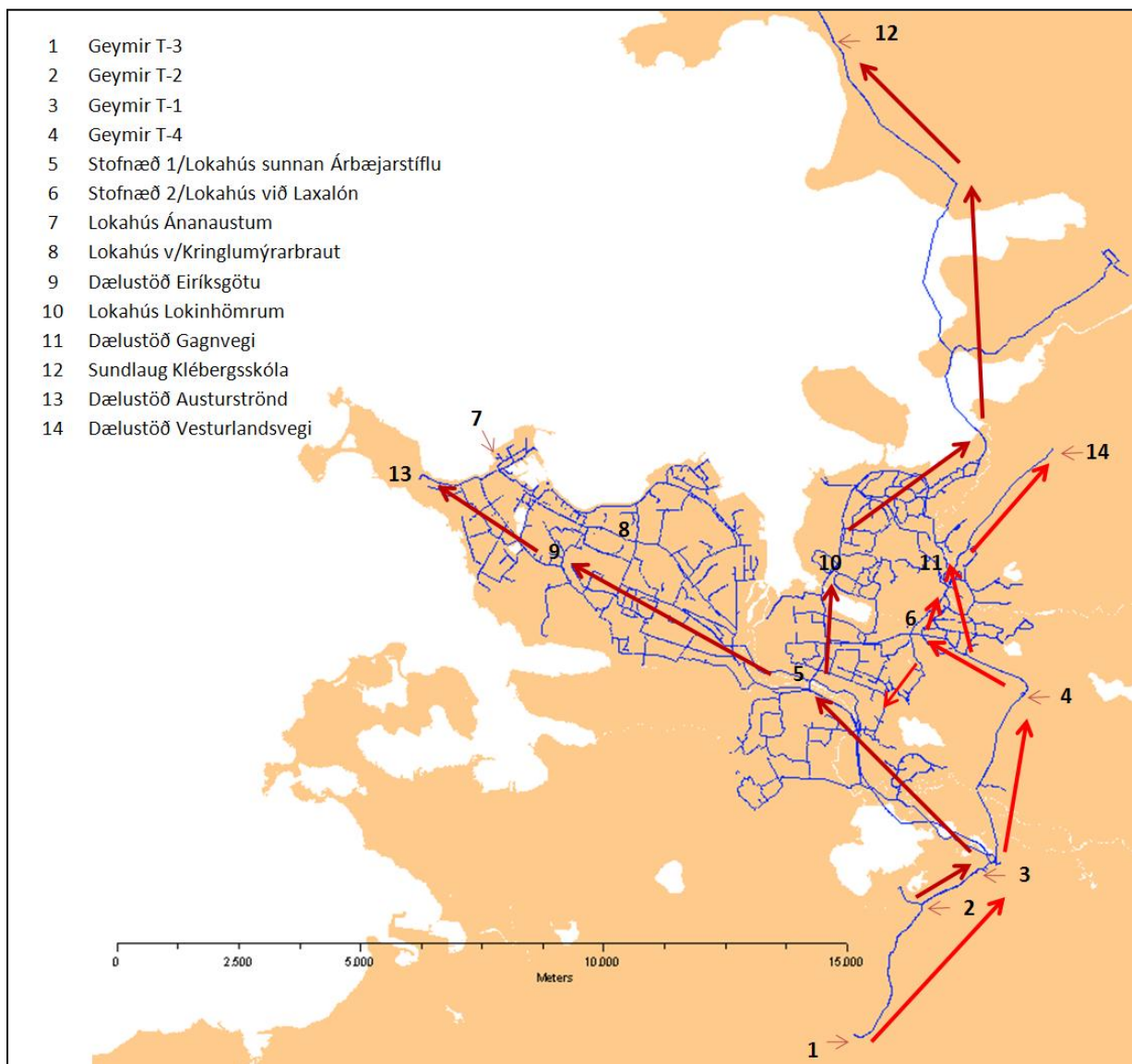
3.2.1 Sýnataka

Sýnatakan fór fram í júní og júlí 2010. Tekin voru sýni á 14 sýnatökustöðum og var sýnataka framkvæmd sjö sinnum á þessu tímabili. Sýnatakan fór fram í dreifikerfi Orkuveitu Reykjavíkur (OR), 12 stöðum í Reykjavík og á sitthvorum staðnum á Seltjarnanesi og í Mosfellsbæ. Fjögur sýni koma úr safntönkum á vatnstökusvæði og tíu sýni koma frá sýnatökustöðum í lokahúsum og dæluhúsum. Sýni á hverjum stað voru tekin úr sérstökum sýnatökukrönum. Þeir voru sótthreinsaðir fyrir sýnatöku með 70% spritti og síðan opnaðir að fullu og vatnið látið renna í 5 mínútur áður en hitastig vatnsins var mælt með kvörðuðum hitastigmæli frá Hanna instruments með mælisvið frá $-50,0^{\circ}$ til $300,0^{\circ}\text{C}$. Hitastignemanum var stungið ofan í 250 ml sýnatökuglas og vatnið var látið renna stöðugt í glasið. Niðurstaðan var skráð þegar hitamælirinn sýndi stöðuga útkomu. Næst var neysluvatnið látið renna í dauðhreinsaðar 1000 ml og 500 ml polyethylene flöskur (Nalgene). Sýnin voru geymd í kælitösku með kælikubbum þannig að sýnin myndu ekki hitna við flutning. Til að ekki liði of

langur tími frá sýnatöku og þar til sýnin voru rannsökuð voru aðeins tvö til fjögur sýni tekin í hverri sýnatökuferð. Öll sýnin voru rannsökuð innan þriggja og hálftrar klukkustundar frá sýnatöku. Leitast var við að taka sýnin til rannsóknar eins fljótt eftir sýnatöku og mögulegt var. Meðaltími frá sýnatöku til rannsóknar var ein klukkustund og tólf mínútur. Til að athuga hvort kæling á sýnunum hafi verið fullnægjandi var tekið hitastig á sýnunum þegar þau komu á rannsóknastofuna og reyndist kælingin í lagi.

3.2.2 Staðsetning sýnatökustaða og gerð lagnaefnis

Sýnatökustaðirnir eru merktir inná mynd 4 og heiti sýnatökustaðanna ásamt lagnaefni við sýnatökustað er í töflu 6.



Mynd 4. Sýnatökustaðir í dreifikerfinu

Á mynd 4 sést neysluvatnsdreifikerfið, bláar línur eru þær lagnir sem eru stærri en 200 mm að þvermáli. Á myndinni er merkt rennsli neysluvatns í gegnum dreifikerfið. Rennsli neysluvatns í stofnæð nr. 1 er merkt með dökk rauðu og rennsli neysluvatns í stofnæð nr. 2 er merkt með rauðu. Myndin var útbúin í LUKOR (landupplýsingakerfi Orkuveitu Reykjavíkur) með hugbúnaðinum ArcGis frá ESRI USA.

Eins og sést í töflu 6 eru mismunandi lagnaefni til staðar á hverjum sýnatökustað sem getur haft áhrif á gæði neysluvatnsins. Í dreifikerfinu er margar tegundir af lagnaefni og er aldur lagna mjög misjafn. Elstu stofnæðar eru frá 1918 í miðbæ Reykjavíkur en aldur lagna fer aðallega eftir því hvenær hverfin byggðust upp (Landupplýsingakerfi Orkuveitu Reykjavíkur). Einnig er stöðugt verið að endurnýja eldri lagnir. Margar tegundir af lagnaefni hafa verið í notkun á þeim hundrað árum sem vatnsveitan hefur verið starfrækt. Efnin sem eru ennþá í notkun eru pottur (steypujárn), premó (járnbundin steypa), stál, seig-steypujárn (e. ductile, járnblanda húðuð að innan með sementblöndu), og síðan plastlagnir. Seig-steypujárn er úr járn og blandað við það nokkrum efnum til að gera efnið meira sveigjanlegt. Dæmigerðar seig-steypujárns lagnir eru úr járn, kolefni (3,3% til 3,4%), kísil (2,2% til 2,8%), mangan (0,1% til 0,5%), magnesíum (0,03% til 0,05%), fosfór (0,005% til 0,04%) og brennisteini (0,005% til 0,02%). Til að verjast tæringu í lögnum er stundum tekið 15% til 30% af járnblöndunni og í staðinn sett mismunandi magn af nikkeli, kopar og krómi (Wikipedia.com, 2010; ductile.org, 2011). Seig-steypujárnið er síðan húðað að innan með sementblöndu. Ekki er vitað um samsetningu seig-steypujárnsins sem er notað í dreifikerfinu á höfuðborgarsvæðinu. Stál-lagnir eru eldri tegund af lögnum sem voru notaðar áður en seig-steypujárn var tekið í notkun. Plastlagnir eru nýjasta gerðin af lögnum.

Tafla 6. Sýnatökustaðir ásamt lagnaefni við sýnatökustaði.

Númer á mynd	Sýnatökustaður	Lagnaefni við sýnatökustað
1	Geymir T-3	Seig-steypujárn
2	Geymir T-2	Seig-steypujárn
3	Geymir T-1	Seig-steypujárn
4	Geymir T-4	Seig-steypujárn
5	Stofnæð 1/Lokahús sunnan Árbæjarstíflu	Stál
6	Stofnæð 2/Lokahús við Laxalón	Seig-steypujárn
7	Lokahús Ánanaustum	Seig-steypujárn
8	Lokahús v/Kringlumýrarbraut	Stál/ Seig-steypujárn
9	Dælustöð Eiríksgötu	Stál
10	Lokahús Lokinhömrum	Seig-steypujárn
11	Dælustöð Gagnvegi	Seig-steypujárn
12	Sundlaug Klébergsskóla	Plast
13	Dælustöð Austurströnd	Plast
14	Dælustöð Vesturlandsvegi	Plast

3.2.3 Lýsing á dreifikerfinu

Úr safntanki T-2 og T-1 fer neysluvatnið í gegnum stofnæð 1 sem fer frá Gvendarbrunnum að Hraunbrún og síðan gegnum lokahúsið sunnan Árbæjarstíflu. Þaðan fer neysluvatnið niður í miðbæ Reykjavíkur og endar á Seltjarnanesi. Einnig fer neysluvatn úr stofnæð 1 upp í Grafarvog og endar upp á Kjalarnesi.

Úr safntanki T-3 fer neysluvatnið yfir í safntank T-4 á Reynisvatnsheiði og síðan að Laxalóni í Grafarholti. Neysluvatnið fer upp í dælustöðina við Gagnveg þar sem það dreifist um Húsahverfi í Grafarvogi. Einnig fer neysluvatn úr stofnæð nr. 2 til Mosfellsbæjar. Það umfram magn af neysluvatni sem er í stofnæð 2 fer yfir í safntank í Selási og blandast neysluvatni frá stofnæð 1 og nýtist þetta neysluvatn í Árbæ og Breiðholti. Í töflu 7 sést hvort neysluvatnið kemur úr stofnæð 1 eða 2 á viðkomandi sýnatökustað og númer sýnatökustaðanna sem er merkt inn á mynd 4.

Tafla 7. Sýnatökustaðir á stofnæðum 1 og 2.

Númer á mynd	Stofnæð 1	Númer á mynd	Stofnæð 2
2	Geymir T-2	1	Geymir T-3
3	Geymir T-1	4	Geymir T-4
5	Lokahús sunnan Árbæjarstíflu	6	Lokahús við Laxalón
8	Lokahús v/Kringlumýrarbraut	11	Dælustöð Gagnvegi
10	Lokahús Lokinhömrum	14	Dælustöð Vesturlandsvegi
9	Dælustöð Eiríksgötu		
7	Lokahús Ánanaustum		
13	Dælustöð Austurströnd		
12	Sundlaug Klébergsskóla		

Tafla 8. Dýpt neysluvatnsborhola.

Svæði	Heiti borhola	Dýpt (m)
Jaðarsvæði	V-1	32,0
	V-3	63,7
	V-4	15,5
	V-5	15,1
	V-5	14,0
	V-5	15,3
	V-10	15,3
Gvendarbrunnar	V-19 a	23,0
	V-19 b	10,1
	V-19 c	13,7
	V-19 d	18,6
	V-20	10,1
	V-21	13,4
	V-22	12,3
	V-23	12,5
Myllulækur	V-12	64,9
	V-13	50,5
	V-14	54,0
Vatnsendakriki	Vk-1	96,8
	Vk-5	136,0

Í töflu 8 sést vatnstökusvæðin í Heiðmörk og dýpt borhola. Neysluvatn úr borholum í Gvendarbrunnum og Jaðarsvæði er dælt í safntank T-1 og úr borholunum í Myllulæk fer vatnið í safntank T-2. Neysluvatnið úr T-1 og T-2 fer með stofnæð nr. 1 að lokahúsinu sunnan Árbæjarstíflu.

Úr borholum á Vatnsendakrika fer neysluvatnið í safntank T-3 og þaðan í safntank T-4 og síðan með stofnæð nr. 2 að lokahúsinu við Laxalón. Dýpstu borholurnar eru í Vatnsendakrika eða um 100 m djúpar, Myllulækur kemur þar á eftir en þær borholur eru kringum 55 m djúpar. Grynustu borholurnar eru í Gvendarbrunnum og á Jaðarsvæðinu en á Jaðarsvæðinu eru borholurnar frá 14 m til 64 m djúpar og í Gvendarbrunnum eru þær frá 10 m til 23 m djúpar. Nokkrar borholur í Gvendarbrunnum eru lagðar í sprungu sem liggur gegnum svæðið og á yfirborðsvatn

greiða leið ofan í vatnstökusvæðið eins og kom fram í hlákurannsókninni.

Tafla 9. Rúmmál safntanka í dreifikerfinu.

Heiti	Rúmmál (L)
T-1	2.000.000
T-2	2.000.000
T-3	2.000.000
T-4	11.000.000
Selás	4.000.000
Litlahlíð	10.000.000

Í töflu 9 kemur fram rúmmál sex safntanka sem eru í dreifikerfinu. Safntankurinn í Selási þjónar Árbæ og Breiðholtinu. Safntankurinn við Litluhlíð er við Veðurstofu Íslands og þjónar Reykjavík vestan Rauðárstígs og Seltjarnanesi. Safntankar T-1, T-2 og T-3 taka allir tvær milljónir lítra þegar þeir eru fullir. T-4 á Reynisvatnsheiði er

mun stærri og tekur 11 milljónir lítra þegar hann er fullur og ef miðað er við rennslið frá honum er neysluvatnið sem fer þaðan um sólarhrings gamalt (Tölvupóstur: Sigurbjörn Búi Sigurðsson, 24.11.2010).

3.2.4 Örveru- og eðlismælingar

Rannsóknir á sýnum fóru fram á örverurannsóknastofu Matís ohf. Heildargerlafjöldi við 22°C var rannsakaður á tveimur tegundum æta, „Plate count“ agar (CM0325 Oxoid) og R2A agar (218263 Difco). Með báðum tegundum ræktunaræta var notast við tvær tegundir aðferða en þær eru áhellingaraðferð (ISO6222:1999) og síunaraðferð (Standard methods for the examination of water and wastewater 18th ed., 1992. 9215D). Þegar notuð var áhellingaraðferð var 1ml og 0,1 ml af neysluvatnssýninu pípetterað á tómar dauðhreinsaðar ræktunarskálar og síðan var 15-20 ml af 45°C heitum fljótandi agarætum blandað saman við sýnið og leyft að storkna. Með síunaraðferðinni voru 100 ml, 10 ml og 1 ml af vatnssýni síað í gegnum 0,45 µm dauðhreinsaðar Advantec síur (Standard methods for the examination of water and wastewater 18th ed., 1992. 9215D) sem síðan voru ræktaðar á föstu yfirborði beggja ræktunaræta. Sýnin voru ræktuð við 22°C í 72 ± 6 klukkustundir og kóloníur taldar á ræktunarskálum. Ræktunarskálar með R2A ræktunaræti voru ræktaðar áfram við 22°C og kóloníur taldar aftur eftir 7 daga ræktun.

Fyrir ákvörðun kólígerla var síað 250 ml af sýnum og ræktað á m Endo agar LES (273620 Difco) í 18-24 klukkustundir við 37°C (ISO 9308-1:2000). Fyrir ákvörðun enterokokka var síað 250 ml af sýnum og ræktað á Slanetz & Bartley medium (CM0377 Oxoid) við 37°C í 48±4 klukkustundir (IST EN ISO 7899-2:2000). Ger- og myglusveppir voru rannsakaðir með síun á 100 ml sýnis og ræktun á Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol agar (DRBC)(CM0727 Oxoid) við 22°C í 5 daga ± 6 klukkustundir (Standard methods for the examination of water and wastewater 18th ed, 1992. 9215).

Mælingar á sýrustigi voru gerðar með Orion 310 mæli (Thermo electron corporation) með PerPHect elektroðu (8202BN) (ISO 10523:1994). Grugg mæling var gerð með HACH 2100N IS gruggmæli (ISO 7027:1999). Leiðnimælingin var gerð með HACH sension7 mæli (ISO 7888:1985(E)).

3.2.5 Úrvinnsla niðurstaðna

Niðurstöður örveru- og eðlismælinga voru settar í gagnagrunn ásamt fjarlægð frá uppsprettu. Þessi gagnagrunnur var notaður við úrvinnslu gagnanna. Niðurstöður örveru- og eðlismælinganna eru sýndar í töflum þar sem kemur fram meðaltal þeirra ásamt dreifingu sjö mælinga fyrir hvern sýnatökustað.

Teiknuð voru upp gröf sem sýna heildargerlafjölda við 22°C á PCA agar og R2A agar eftir mismunandi sýnatökustöðum í súluriti. Í grafinu eru sýnatökustaðir raðaðir eftir fjarlægð frá uppsprettu þannig að þeir sýnatökustaðir sem er styðst frá uppsprettu eru lengst til vinstri. Niðurstöður heildargerlafjölda við 22°C voru umbreyttar með því að taka kvaðratrót af niðurstöðunum. Meðaltal eðlismælinganna, hitastig við sýnatöku, leiðni, grugg og sýrustig eru sýndar sem lína í grafinu.

Við athugun á fylgni milli eðlisþátta og heildargerlafjölda við 22°C var heildargerlafjöldinn við 22°C umbreyttur með logaritma ($\log_{10}(x+1)$) til að stærðin falli nær normaldreifingu og er þá yfirleitt fyrir hendi línulegt samband við aðrar línulegar stærðir. Með þessu er hægt að sjá hversu gott samband er á milli heildargerlafjölda við 22°C og hitastigs við sýnatöku, sýrustigs, leiðni, gruggs og fjarlægðar frá uppsprettu. Fylgnistuðullinn er frá 1 til -1 þar sem 1 er fullkomið jákvætt samband milli viðkomandi þátta. Fylgnistuðullinn 0 merkir að ekkert samband sé á milli viðkomandi þátta og ef fylgnistuðullinn er -1 þá er fullkomið neikvætt samband milli viðkomandi þátta þ.e. þegar einn þátturinn hækkar þá lækkar hinn þátturinn.

Við samanburð á ætum, aðferðum og ræktunartíma var borin saman tvö æti (PCA, R2A) og tvær aðferðir, síunaraðferð sem mælir heildargerlafjölda í 100ml sýnis og áhellingaraðferð sem mælir heildargerlafjölda í 1 ml sýnis. Síðan var R2A agarinn ræktaður upp í 3 daga sem er samkvæmt verklýsingu og einnig í 7 daga sem er oft gert í rannsóknaverkefnum. Til að geta borðið saman niðurstöður sem eru gefnar upp í 1 ml og 100 ml sýnis þá voru allar niðurstöður sem eru gefnar upp í 100 ml breyttar þannig að niðurstaðan væri í 1 ml sýnis. Reiknað var meðaltal viðkomandi mælinga. Til að athuga hvort það væri

marktækur munur milli æta, aðferða og ræktunartíma þá var notað parað t-próf. Notast var við Microsoft Office Excel 2007 við gerð tafla og tölfraðilegrar úrvinnslu.

3.3 Verkhlyuti 3: Fjölbreytileiki örvera í vatnsveitum.

Í þessum verkhlyuta var framkvæmd rannsókn með sameindalíffræðilegum aðferðum til að greina þær örverur sem eru í neysluvatninu frá Heiðmerkursvæðinu. Tilgangurinn er að fá grunnupplýsingar um samsetningu örvera í neysluvatninu og sjá mismunandi fjölbreytileika eftir sýnatökustöðum.

3.3.1 Sýnataka og síun

Tekin voru sex sýni til að greina örverur með 16S rRNA (raunbakteríur og fornbakteríur) dagana 18.08 til 19.08.2010 sjá töflu 10.

Tafla 10. Sýnatökustaðir.

Staðsetning	Sýnatökudagsetning	Hitastig við sýnatöku (°C)	Magn síað (l)
T-3	18.8.2010	4,1	15,35
T-1	18.8.2010	4,2	15,30
Klébergsskóli	18.8.2010	13,2	14,50
Kringlumýrarbraut	19.8.2010	5,3	18,10
Laxalón	19.8.2010	4,9	17,90
Gagnvegur	19.8.2010	8,1	13,10

Síaðir voru 13,1 til 18,1 lítrar af sýni eins og fram kemur í töflunni hér að ofan. Notaðar voru 0,45 µm dauðhreinsaðar síur framleiddar af Advantec. Eftir síun sýnanna var hver sía sett í dauðhreinsaða ræktunarskál og sían skoluð með 4 ml af sýninu sjálfu. Notast var við pasteurepípettu til að skola örverur og efni sem sitja eftir á yfirborði síanna með því að sprauta á hana aftur og aftur í 5 mínútur. Skolvökvanum var skipt í tvö 2 ml eppendorf glös og glösin spunninn niður við 8000 rpm, við 4°C í 30 mínútur. Vökvinn var dreginn af glösunum og botnfallið skilið eftir. Sýnin með botnfallinu voru sett í frysti við -18°C þar til þau voru tekin í DNA einangrun.

Einnig voru tekin sýni á sama tíma sem fór í samskonar mælingar og í verkhlyuta 2 og eru niðurstöður þeirra mælinga sýndar í töflu 28.

3.3.2 DNA úrdráttur

Út í hvert botnfall var bætt 1 µl af 50 µl/µl Proteinase K og 300 µl af Tissue og cell lysis solution (Epicentre, Master pure DNA purification kit). Lausnin er hrist og sett í 65°C í 15 mínútur og hrist á 5 mínúta fresti. Sýnin eru kæld í 37°C og bætt út í þau 0,3 µl af 20 µg/µl RNase A og blandað vel. Þessi blanda er höfð við 37°C í 30 mínútur og sett síðan á ís í 3 til 5 mínútur. Síðan var bætt út í þessa blöndu 175 µl af MPC Prótein precipitation regent og hrist í 10 sekúndur. Sýnin eru spunnin niður í 10 mínútur við 10.000 x g hraða. Vökvinn er færður yfir í annað glas og pellettunni er hent. Bætt er út í glösin 500 µl af isopropanol og hrist 30 sinnum. DNA-ið er spunnið niður við 10.000 x g hraða við 4°C í 10 mínútur. Isopropanol er dregið af sýninu og DNA-ið er skilið eftir. DNA-ið er síðan þvegin tvisvar með 75% etanól. Etanólið er dregið af og glösin látin standa opin þar til etanól hefur gufað upp. Síðan var bætt út í DNA-ið 35 µl af vatni og sett í frysti við -18°C.

3.3.3 PCR mögnun

Hér á eftir er fjallað um PCR mögnun 16S rRNA gena. Tafla með heiti vísi (e. primer), gerð af bindiröð og tegund vísa er í töflu 11.

Tafla 11. Vísar fyrir mögnun á 16S rRNA og raðgreiningu.

Vísir	Röð	Tegund
F9	5'-GAGTTTGATCCTGGCTCAG-3'	Raunbakteríur
805R	5'-GACTACCAGGGTATCTAATCC-3'	Raunbakteríur
FPL23	5'-GCGGATCCGCGGCCGCTGCAGAYCTGGTYGATYCTGCC-3'	Fornbakteríur
R1391	5'-GACGGGCGGTGTGTRCA-3'	Fornbakteríur
M13F	5'-GTAAAACGACGGCCAG-3'	Raðgreining
M13R	5'-CAGGAAACAGCTATGAC-3'	Raðgreining

3.3.3.1 16S rRNA Raunbakteríur

16S rRNA genin í hverju sýni voru mögnuð upp með því að gera 40 µl blöndu með 2 µl af einangruðu DNA, 10 µM F9 vísir, 100 µM R805 vísir, deoxynucleoside triphosphates (10 mM dNTP), 1U af *Taq* polymerase, buffer og vatn.

Sýnin voru sett í hitablokk og hitastigsferlið var:

1. 94°C í 4 mínútur.
2. 94°C í 30 sekúndur.
3. (45°C-59°C) í 30 sekúndur.
4. 72°C í 60 sekúndur.
5. Skrefin 2-4 endurtekið 34 sinnum.
6. 72°C í 7 mínútur.

Fyrir hvert sýni voru gerðir 6 mismunandi PCR hvörf og var tengihitastigið frá 45°C til 59°C. Röð nr.1 var við 45°C, röð nr. 2 var við 47,5°C, röð nr. 3 var við 49°C, röð nr. 4 var við 53,9°C, röð nr. 5 var við 56,6°C og röð nr. 6 var 59°C. Þau PCR bönd sem voru valin eru í töflu 12.

Tafla 12. Sýni og hvaða hitastigsferill var notaður í 16S rRNA greiningu.

Staðsetning	Sýni nr.	Hitastigsferill nr.
T-1	1	4
T-3	2	4
Gagnvegur	3	3
Kringlumýrarbraut	4	6
Klébergsskóli	5	1
Laxalón	6	5

3.3.3.2 16S rRNA Fornbakteríur

DNA-ið úr sýnunum var magnað upp með því að gera 40 µl blöndu með 2 µl af DNA afurðinni, 20 µM F23 vísir, 20 µM R1391 vísir, deoxynucleoside triphosphates (10 mM dNTP), 1U af *Taq* polymerase, 50 mM MgCl₂, buffer og vatn.

Sýnin voru sett í hitablokk og hitastigsferlið var:

1. 95°C í 5 mínútur.
2. 95°C í 50 sekúndur.
3. 55°C í 50 sekúndur.
4. 72°C í 140 sekúndur.
5. Skrefin 2-4 endurtekið 38 sinnum.
6. 72°C í 7 mínútur.

3.3.4 Rafdráttur

DNA-ið var rafdreigið með 1% agarósugeli í TAE buffer (1% Tris Acetic Acid EDTA) og litað með ethidium bromíð 0,5 µg/ml. Jákvæður og neikvæður kontrolar voru einnig keyrðir á rafdráttargelinu. Rafdrátturinn fór fram við 100 mV í 40 mínútur. Gelið var skoðað undir útfjólubláu ljósi og síðan voru valin þau PCR-bönd sem voru sterkust.

Restin af PCR afurðinni úr þessum sýnum þ.e. 35 µl var rafdreginn aftur. DNA-böndin voru tekin úr gelinu með búbulínu og sett í DNase-laus 1,5 ml eppendorf glös.

3.3.5 Hreinsun einangraðs DNA af geli

Innihald DNase-lausa glassins var vigtað og bætt út í það 10 µl af capture buffer type 3 fyrir hverja 10 mg af geli. Glasið var sett í vatnsbað við 60°C í 10 mínútur og gelið var leyst upp. Vökvinn er færður yfir í GFX Microspin súlu sem var í eppendorf glasi og glasið látið vera í 1 mínútu við herbergishita. Glasið var spunnið niður við 10.000 x g hraða í 30 sekúndur. Vökvanum var helt niður og 500 µl af þvottabuffer var settur á súluna. Glasið var síðan spunnið niður við 10.000 x g hraða í 30 sekúndur. Súlan var sett í nýtt 1,5 ml eppendorf glas og bætt á súluna 20 µl af elution buffer type 6. Glasið var látið vera við stofuhita í 1 mínútu og síðan spunnið niður við 10.000 x g hraða í 1 mínútu. Vökvinn sem kom af súlunni var settur í frysti við -18°C.

3.3.6 Klónun 16S rRNA

Í eppendorfglas var blandað saman 1 µl salt lausn, 4 µl GFX/PCR og 0,8 µl PCR®4-TOPO vector og látið standa við herbergishita í 30 mínútur. 3,5 µl af þessari lausn var sett saman við top 10 frumur og látið vera á ís í 30 mínútur. Frumurnar voru settar í vatnsbað við 42°C í 30 sekúndur og síðan settar síðan á ís. 200 µl af SOC æti var sett í frumuglösin. Glösin voru sett í hristiblokk við 37°C í eina klukkustund. Frumunum var skipt á tvær LB/AMP ræktunarskálar og dreift með dauðhreinsuðum glerkúlum. Skálarnar voru ræktaðar við 37°C yfir nótt. Þær bakteríur sem uxu upp á LB/AMP ræktunarskálunum var sáð í 96 holu bakka með ræktunaræti og ræktað við 37°C í sólarhring.

3.3.7 Raðgreining

Sáð var úr ræktunarbökkum í bakka sem innihélt 15 μl af , 100 μM F9 vísir, 100 μM R805 vísir, deoxynucleoside triphosphates (10mM dNTP), 1U af *Taq* polymerase, buffer og vatn. Sýnin voru sett í hitablokk og hitastigsferlið var:

1. 94°C í 2 mínútur.
2. 94°C í 50 sekúndur.
3. 50°C í 50 sekúndur.
4. 72°C í 90 sekúndur.
5. Skrefin 2-4 endurtekið 30 sinnum.
6. 72°C í 7 mínútur.

Þegar það var búið að PCR-a sýnin var afurðin hreinsuð með því að bæta Exo/Sap í holurnar. Bakkinn var settur í hitablokk og hitaferillinn var 37°C í 25 mínútur og 80°C í 15 mínútur. Í bakkann var síðan bætt út í 5 μl af PCR afurð, BigDye, 5x buffer og vatni. Þessi bakki var síðan settur í hitablokk og hitaferillinn:

1. 96°C í 30 sekúndur.
2. 50°C í 15 sekúndur.
3. 60°C í 4 mínútur.
4. Skrefin 1-3 endurtekið 25 sinnum.

Að loknu þessu skrefi fór þetta í raðgreiningu á 3730 DNA analyzer (Applied Biosystems).

3.3.8 Úrvinnsla niðurstaðna

Niðurstöður úr raðgreiningu voru skoðaðar í forritinu Sequencher 4.8 frá Gene Codes Corporation. Þar voru þær snyrtar, bornar saman og leiðréttar. Þær raðir sem voru með meira en 98% samsvörun var raðað saman. Genaröðin var síðan færð yfir í forritið Bioedit (útgáfu 7.0.9.0) og raðirnar voru bornar saman við þekktar raðir sem hafa komið fram í vísindagreinum. Til þess var notaður gagnagrunnurinn BLAST (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST>). Samröðun á genaröðum og vinna við ættartré var gerð í forritinu MEGA 4 (útgáfa 4.0.2).

Gerð var tafla sem sýnir prósentuhlutfall klóna flokkað í bakteríu fylkingar fyrir hvern sýnatökustað. Í töflunni kemur fram fjöldi klóna fyrir hvern sýnatökustað.

Fyrir sýnatökustaðina voru gerð ættartré sem sýna skyldleika klónanna við þekktar raðir í BLAST gagnagrunninum. Fyrir T-1 og T-3 var gert eitt ættartré en fyrir hina sýnatökustaðina var gert eitt ættartré fyrir hvern sýnatökustað. Notast var við „Neighbor-joining“ aðferð og „Jukes-Canter módel“ við gerð ættartrjáanna.

Reiknaður var Simpson fjölbreytileiki með formúlunni :

$$\frac{\sum_{i=1}^S n_i (n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Í jöfnunni er n_i fjöldi einstaklinga af viðkomandi tegund og N er heildarfjöldi lífvera allra tegunda. Útkoman er milli núll og einn þar sem gildið nær núlli merkir meiri fjölbreytileika og gildið nær einum merkir meiri einsleitni.

Gerð var tafla sem sýnir klón sem hafa meira en 98% skyldleika við þekktar bakteríu ættkvíslir.

Til að sýna fjölbreytileika milli klóna (>98% samsvörun) sem fundust á sýnatökustöðunum var gerð tafla sem sýnir prósentuhlutfall ættar/ættkvíslar eftir sýnatökustöðum.

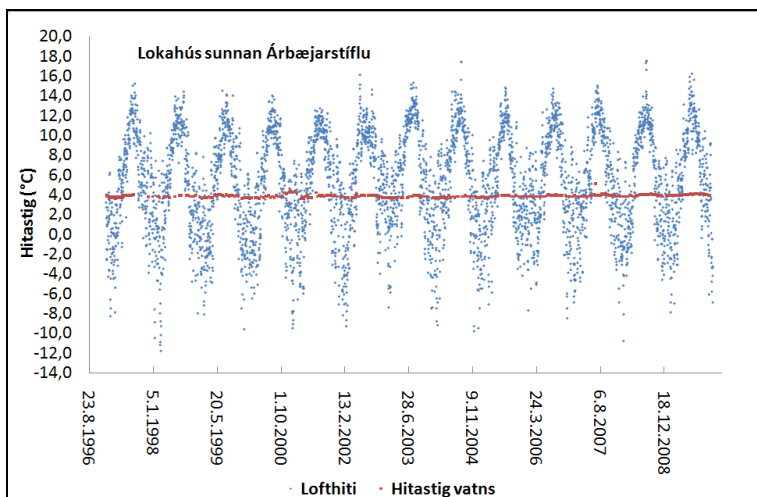
4 Niðurstöður

4.1 Verkluti 1 Kerfisbundin greining gagna

4.1.1 Greining á hitastigi neysluvatnsins

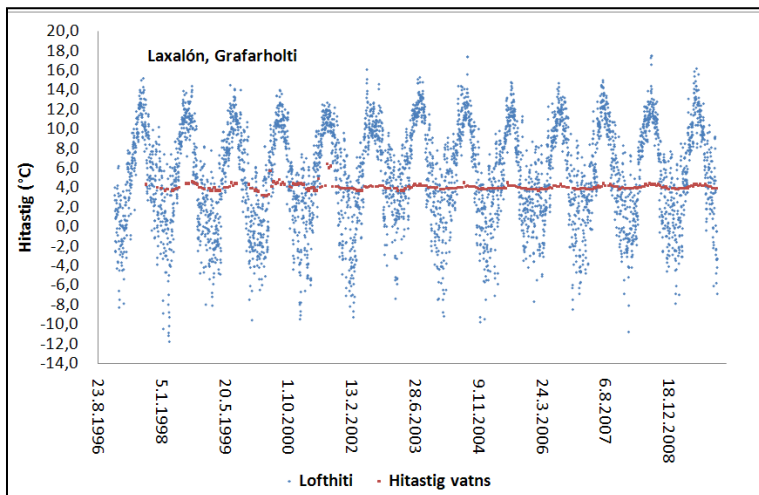
Eins og kemur fram í innganginum hefur hitastig neysluvatns áhrif á örveruvöxt í dreifikerfinu þannig að með hækkandi hitastig hækkar örveruvirkni og fjölgun örvera verður hraðari. Á myndum 5 til 13 er sýndur lofthiti (blátt) og hitastig neysluvatns við sýnatöku (rautt) á mismunandi sýnatökustöðum. Með þessu sést hvernig lofthitinn hefur mismunandi áhrif á hitastig neysluvatns og hvernig það breytist með árstíðum yfir þau 13 ár sem eru til skoðunar.

Á mynd 5 sést lofthiti og neysluvatnshiti á sýnatökustað sunnan Árbæjarstíflu. Á myndinni sést að hitastig neysluvatnsins er mjög lágt og það sveiflast lítið milli árstíða enda er þessi sýnatökustaður stutt frá Gvendarbrunnum (5,8 km). Meðalhitastigið við sýnatöku var 3,8°C en það er einna lægst á þessum sýnatökustað.



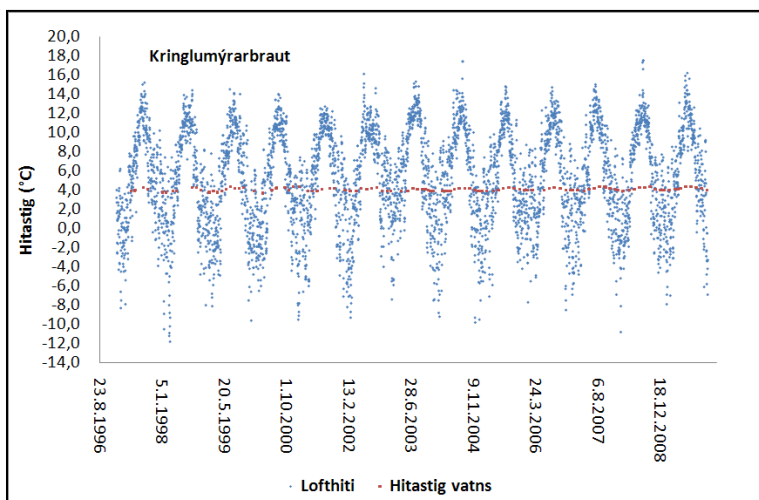
Mynd 5. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku í lokahúsi sunnan Árbæjarstíflu.

Á sýnatökustað í Laxalóni (sjá mynd 6) er meðalhitastig neysluvatnsins 4,0°C og áhrif milli árstíða er hverfandi en þessi sýnatökustaður er 6,7 km frá Gvendarbrunnum. Safntankurinn T-4 sem er næst Laxalóni var tekin í notkun 16. júní 2005 og ekki er hægt að sjá breytingar á hitastigi neysluvatnsins við þær breytingar.



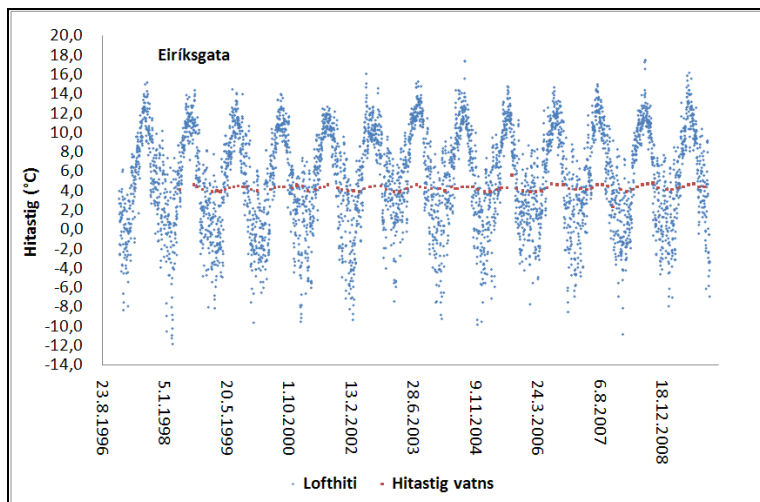
Mynd 6. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku í Laxalóni, Grafarholti.

Sýnatökustaður við Kringlumýrarbraut (sjá mynd 7) er rúmlega 11 km frá Gvendarbrunnum og meðalhitastig neysluvatnsins er $4,1^{\circ}\text{C}$ en hitastigið hækkar örlítið á sumrin en það er mjög lítil breyting.



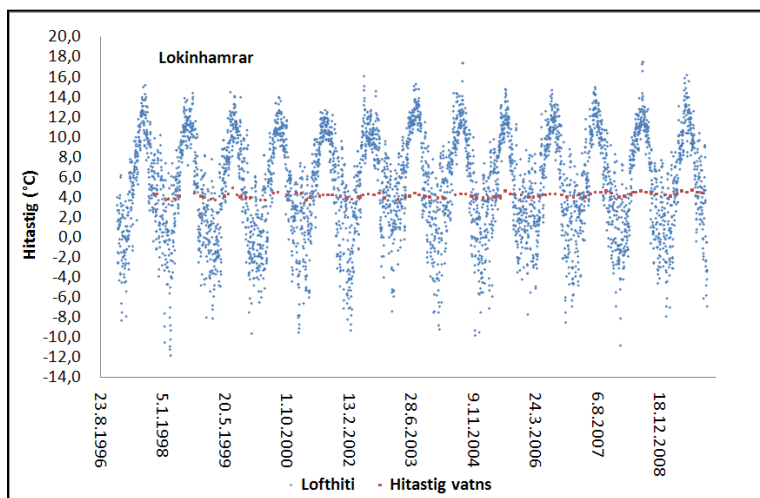
Mynd 7. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku á Kringlumýrarbraut.

Á mynd 8 sést hitastig neysluvatnsins á sýnatökustað við Eiríksgötu en meðalhitastig neysluvatnsins er $4,3^{\circ}\text{C}$ og fjarlægð frá Gvendarbrunnum er 12,8 km og það sést að áhrif lofthita gæti meira á Eiríksgötunni en sýnatökustöðunum við Kringlumýrarbraut, Laxalón og Árbæjarstíflu.



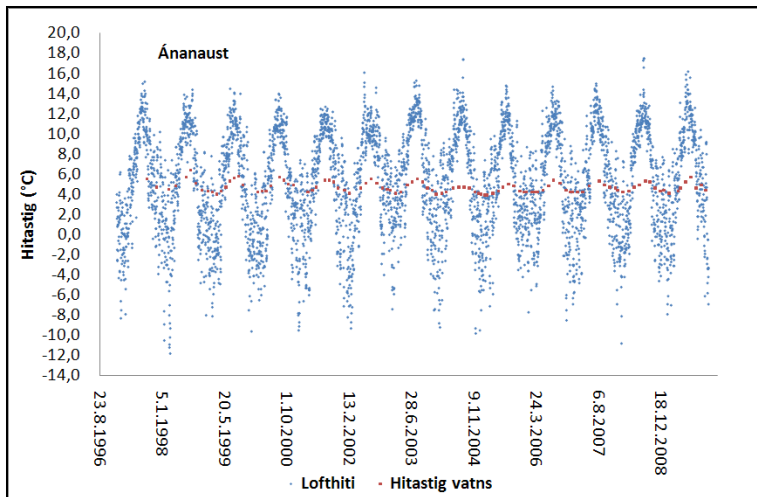
Mynd 8. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku á Eiríksgrötu.

Á mynd 9 er sýnt hitastig neysluvatnsins við Lokinhamra í Grafarvogi en þar er meðalhitastig neysluvatnsins 4,2°C og áhrif árstíða er hverfandi. Sýnatökustaðurinn við Lokinhamra er 8,8 km frá Gvendarbrunnum.



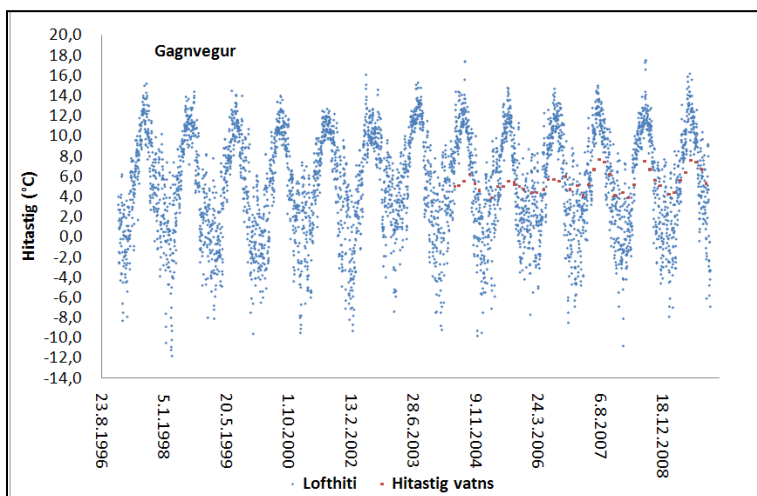
Mynd 9. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku í Lokinhömrum.

Á mynd 10 er sýnt neysluvatnshitastigið við Ánanaust þar sem árstíðarsveiflur á hitastigi neysluvatnsins eru þó nokkrar. Meðalhitastig neysluvatnsins er 4,7°C en sýnatökustaðurinn er rúmlega 15 km frá Gvendarbrunnum. Athugaður var Pearson fylgnistuðull á hitastigi neysluvatns og lofthita á þessu tímabili. Fylgnistuðullinn var 0,66 en það bendir það til veikrar jákvæðrar fylgni milli lofthita og hitastigs neysluvatnsins.



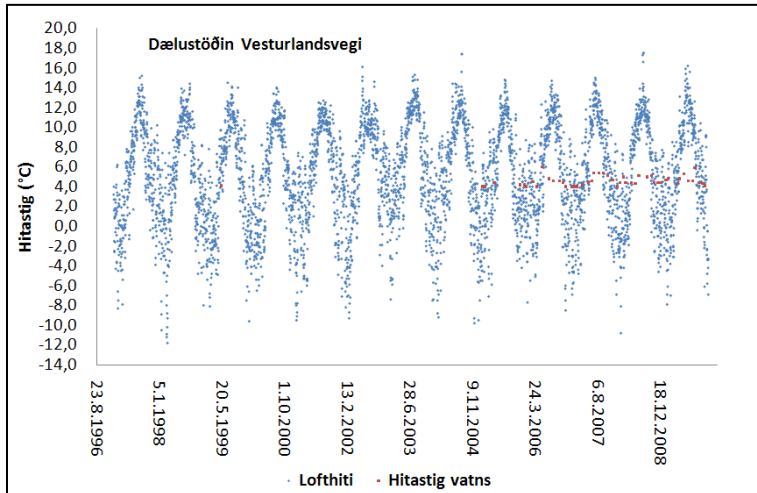
Mynd 10. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku í Ánanaust.

Á mynd 11 er sýnt hitastig neysluvatnsins í dælustöðinni við Gagnveg en meðalhitastigið er 5,4°C og sveiflast það mikið eftir árstíðum og umhverfishitastigi þrátt fyrir að vera aðeins 9,2 km frá Gvendarbrunnum. Þessi árstíðarsveifla hefur aukist en hún var mun meiri árið 2007 til 2009 en árin þar á undan. Skýringarinnar er að leita í breytingum sem gerðar voru á dreifikerfinu árið 2007 þegar byrjað var að taka vatn með hærri þrýstingi inn í dælustöðina. Á sama tíma var hætt að nota 400 mm lögn sem einnig var notuð fyrir Mosfellsbæ. Í stað 400 mm lagnarinnar var tekin í notkun 600 mm lögn sem að hluta til liggur meðfram hitaveitustokk. Vegna þessa og minni rennslisraða hækkaði meðalhitastig neysluvatnsins á þessum stað (Tölvupóstur: Sigurbjörn Búi Sigurðsson, 21.05.2010). Pearson fylgnistuðull er 0,60 en það bendir til veikrar fylgni milli lofthita og hitastigs neysluvatnsins.



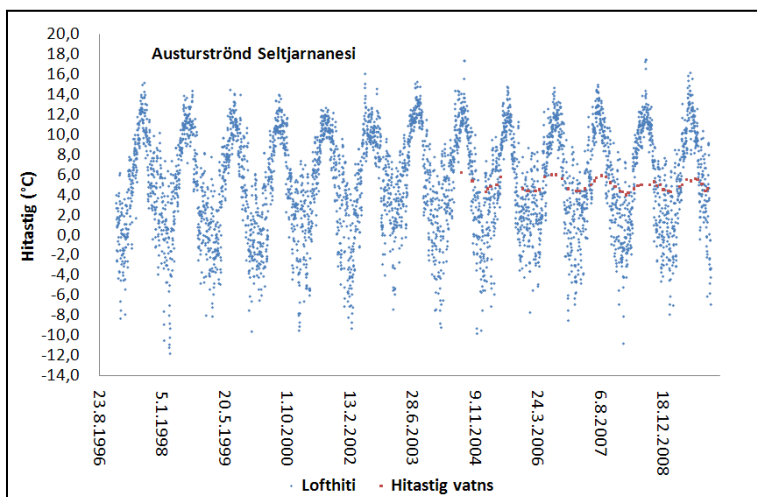
Mynd 11. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku á Gagnvegi.

Á mynd 12 sést hitastig neysluvatnsins í dælustöðina við Vesturlandsveg í Mosfellsbæ. Hún er staðsett í 11,2 km fjarlægð frá Gvendarbrunnum. Meðalhiti vatnsins er 4,6°C og árstíðarsveiflur eru þó nokkrar eins og sést á myndinni.



Mynd 12. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku í dælustöðinni Vesturlandsvegi.

Á mynd 13 sést hitastig neysluvatnsins á Austurströnd Seltjarnanesi en þessi sýnatökustaður er 16,5 km frá Gvendarbrunnum og neysluvatnið er því búið að fara yfir langan veg þegar það kemur á þennan sýnatökustað. Meðalhitastig neysluvatnsins er 5,0°C og hitastigið sveiflast töluvert eftir árstíðum.

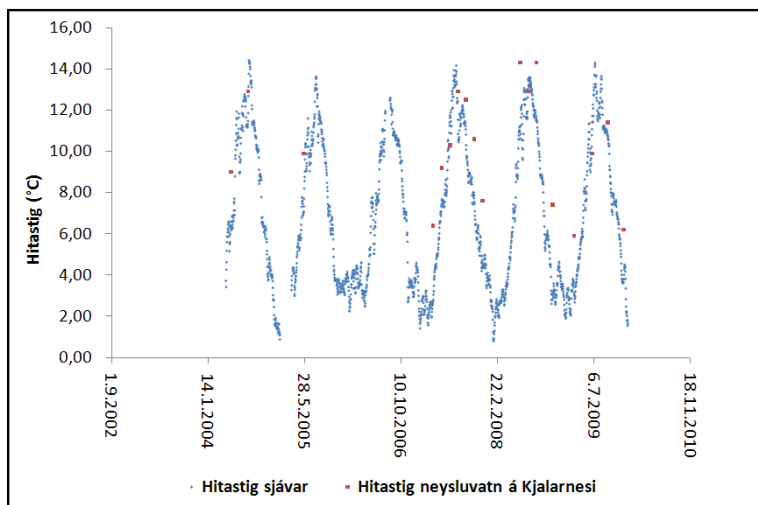


Mynd 13. Lofthiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku á Austurströnd Seltjarnanesi.

Á mynd 14 sést hitastig neysluvatnsins við sýnatöku á Kjalarnesi í Klébergsskóla og Víðnesi (rautt). Neysluvatnið á Kjalarnesi fer gegnum sjólögn og hitastig neysluvatnsins

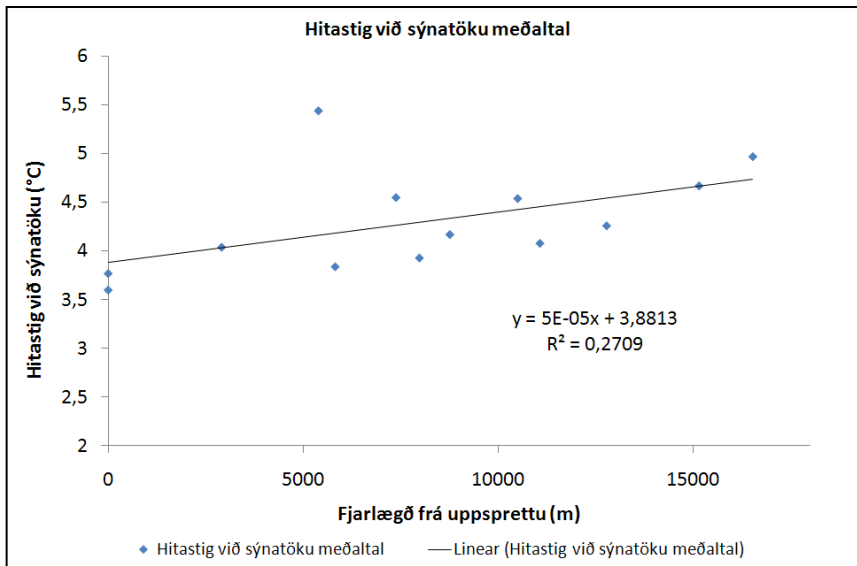
fylgir hitastigi sjávar eins og sést á myndinni (blátt). Meðalhitastig neysluvatnsins er 7,4°C og er það hvergi hærra á öðrum sýnatökustöðum. Klébergsskóli er í 21,9 km fjarlægð frá Gvendarbrunnum og Víðnes er í 14,8 km fjarlægð. Fylgnistuðullinn var fenginn með Pearson-fylgni aðferð og er hann 0,92 sem gefur til kynna mikla jákvæða fylgni milli hitastigs sjávar og neysluvatnshitastigs.

Lögnin hefur einu sinni farið í sundur þegar akkeri reif gat á lögnina en hún liggur á sjávarbotni. En þá var notað varavatsból sem er á Vallá Kjalarnesi (Munnleg heimild: Sigurbjörn Búi Sigurðsson, 24.02.2010).



Mynd 14. Sjávarhiti og hitastig neysluvatns við sýnatöku í Klébergsskóla og Víðinesi Kjalarnesi.

Á mynd 15 sést meðalhitastig neysluvatnsins við sýnatöku sem fall af fjarlægð frá skilgreindum upphafspunkti vatnsdreifingar hjá OR. Notaðir voru þeir sýnatökustaðir þar sem tekin höfðu verið fleiri en 10 sýni á þeim 13 ára árum sem gagnasafnið náði til. Á myndinni eru ekki sýnatökustaðirnir á Kjalarnesi þar sem hitastig sjávar hitar eða kælir neysluvatnið á þessum sýnatökustöðum og eru þeir því ekki sambærilegir við aðra sýnatökustaði. Einnig er besta lína tekin af þessum gögnum. Jafna bestu línu er $y = 0,00005x + 3,88$ sem merkir að fyrir hverja 1000 m í flutningi á neysluvatninu þá hækkar hitastigið um 0,05°C. Meðaltal á hitastigi neysluvatns frá einum sýnatökustað við Gagnveg í Grafarvogi er á skjön við þessa línulegu nálgun en þar er meðalhitastigið 5,4°C en skýringar á því hafa komið fram hér á undan.



Mynd 15. Hitastig við sýnatöku og fjarlægð sýnatökustaðar frá uppsprettu.

Í töflu 13 er sýnt hversu mikið hitastig neysluvatnsins hækkar þegar lofthiti hækkar um eina gráðu á Celsíus. Niðurstaðan var fengin með því að teikna upp hitastig neysluvatnsins sem fall af lofthita. Teiknuð var besta lína í gegnum gögnin og fengin jafna bestu línu. Með þessu er hægt að sjá hversu mikil áhrif lofthiti hefur á hitastig neysluvatnsins á hverjum sýnatökustað. Fjarlægð frá uppsprettu er sett fram til að sýna hversu langan veg neysluvatnið hefur farið. Á mynd 4 er sýnt staðsetning viðkomandi sýnatökustaða. Mesta upphitun á neysluvatninu á sér stað á sýnatökustöðunum á Kjalarnesi en í Hjúkrunarheimilinu í Víðnesi þá hækkar hitastigið um 0,37°C og í Klébergsskóla þá hækkaði það um 0,44°C við hækkun um eina gráðu á lofthita. Eins og hefur komið fram er ástæðan fyrir þessu að neysluvatnslögnin er lögð í sjó og nær neysluvatnið að hitna og kólna eftir hitastigi sjávar. Hitastig sjávar sveiflast frá 0,8°C til 14,4°C samkvæmt mælingum Hafrannsóknastofnunar á árunum 2004 til 2009. Það hefur komið fyrir að klaki hafi myndast inná lögninni og valdið vandræðum (Munnleg heimild: Sigurbjörn Búi Sigurðsson, 24.02.2010).

Tafla 13. Hækkun á hitastigi vatns við einnar gráðu hækkun á lofthita.

Sýnatökustaður	Hækkun á hitastigi vatns (°C)	Fjarlægð frá uppsprettu (km)
Lokahús sunnan Árbæjarstíflu	0,010	5,8
Lokahús við Laxalón	0,033	6,7
Lokahús Lokinhömrum	0,031	8,8
Dælustöðin Gagnvegi	0,11	9,2
Lokahús við Kringlumýrarbraut	0,021	11,1
Dælustöðin Vesturlandsvegi	0,046	11,2
Dælustöð Eiríksgötu	0,027	12,8
Hjúkrunarheimilið Víðinesi	0,37	14,8
Lokahús Ánanaust	0,075	15,2
Austurströnd Seltjarnanesi	0,084	16,5
Klébergsskóli	0,44	21,9

Frá safntankinum T-4 á Reynisvatnsheiði fer neysluvatnið til Laxalóns og hækkar hitastig neysluvatnsins um 0,033°C við hverja gráðu hækkun á lofthita. Frá Laxalóni fer neysluvatnið til dælustöðvarinnar á Vesturlandsvegi og hækkar neysluvatnið þar um 0,046°C við hverja gráðu hækkun á lofthita. Úr safntankinum T-4 fer neysluvatnið einnig í dælustöðina við Gagnveg en það hækkar neysluvatnið um 0,11°C við hverja gráðu hækkun á lofthita en þetta er mesta hækkunin fyrir utan sýnatökustaðina á Kjalarnesi. Eins og hefur komið fram er hugsanleg skýring á þessu nálægð lagnar við hitaveitustokk og lágs rennslis hraða á þessu svæði og því er neysluvatnið eldra en á öðrum sýnatökustöðum.

Í gegnum stofnæð 1 fer neysluvatnið til lokahússins við Árbæjarstíflu og hækkar neysluvatnið um 0,010°C við hverja gráðu hækkun í lofthita. Neysluvatnið fer síðan til lokahússins við Lokinhamra en þar hækkar neysluvatnshitinn um 0,031°C við hverjar gráðu hækkun á lofthita. Frá Lokinhömrum fer neysluvatnið síðan til Kjalarnes. Frá Árbæjarstíflu fer neysluvatnið einnig niður í miðbæ til sýnatökustaða við Kringlumýrarbraut (0,021°C), Eiríksgötu (0,027°C), Ánanaust (0,075°C) og síðast Austurströnd Seltjarnanesi (0,084°C). Eins og sést þá hefur lofthitinn meiri áhrif á hitastig neysluvatnsins á sýnatökustöðum sem eru lengra frá uppsprettu, þ.e. því eldra sem vatnið er því lengri tíma hefur lofthitinn áhrif til hækkunar á hitastigi neysluvatnsins.

4.1.2 Mat á sýnum samkvæmt neysluvatnsreglugerð

Í töflu 14 sést heiti sýnatökustaða og hversu mörg sýni voru tekin á hverjum sýnatökustað. Einnig kemur fram hversu mörg sýni á hverjum stað uppfylltu ekki ákvæði neysluvatnsreglugerðar nr. 536/2001 og hlutfall þeirra af heildarfjölda sýna frá hverjum stað. Aðeins 10 sýni af 1390 stóðust ekki neysluvatnsreglugerðina en þau voru tekin á sex sýnatökustöðum þ.e. lokahús sunnan Árbæjarstíflu, Laxalóni, Kringlumýrarbraut, Eiríksgötu, Lokinhömrur og dælustöðinni við Vesturlandsveg. Athygli vekur að öll sýnin frá dælustöðinni við Gagnveg, Sundlauginni í Klébergsskóla og hjúkrunarheimilinu Víðinesi hafa staðist neysluvatnsreglugerðina þrátt fyrir hærra hitastig á neysluvatninu á þessum sýnatökustöðum.

Tafla 14. Fjöldi sýna og prósentu sýna sem uppfyllir ekki neysluvatnsreglugerðina á árunum 1997 til 2009.

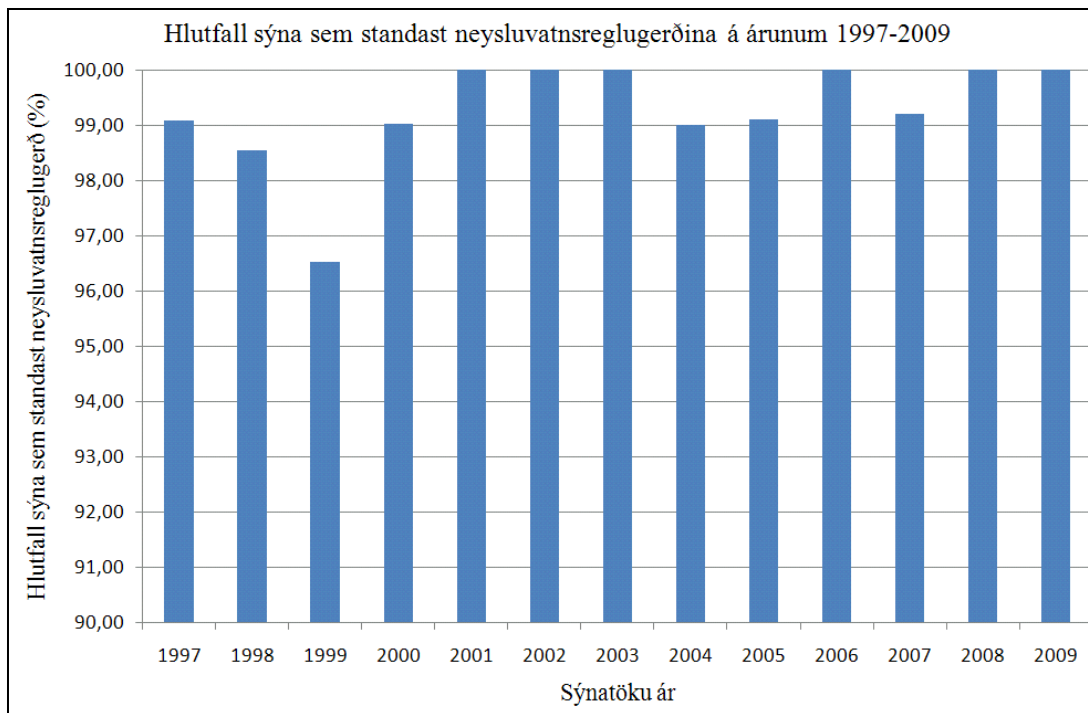
Sýnatökustaðir	Fjöldi sýna	Sýni sem uppfylla ekki neysluvatnsreglugerð	%
Lokahús sunnan Árbæjarstíflu	353	3	0,85
Laxalón, Grafarholti	307	1	0,33
Kringlumýrarbraut	120	1	0,83
Eiríksgata	104	1	0,96
Lokinhamrar	104	3	2,88
Sunnutorg	53	0	0,00
Ánanaust	110	0	0,00
Gagnvegur	47	0	0,00
Klébergsskóli	11	0	0,00
Hjúkrunarheimilið Víðinesi	12	0	0,00
Dælustöðin Vesturlandsvegi	51	1	1,96
Austurströnd Seltjarnnesi	52	0	0,00
Vatnsból/Heiðmörk	44	0	0,00
Aðrir sýnatökustaðir	22	0	0,00
Samtals	1390	10	0,7

Í töflu 15 kemur fram skipting sýna frá öllum sýnatökustöðum flokkuð eftir sýnatökumánuðum og hlutfalli sýna sem standast ekki neysluvatnsreglugerðina. Sýni sem ekki stóðust ákvæði reglugerðarinnar eru mjög fá og tilheyra flest tímabilinu nóvember til mars.

Tafla 15. Hlutfall sýna sem standast ekki neysluvatnsreglugerðina flokkað eftir mánuðum.

Mánuðir	Heildarfjöldi sýna	Stenst ekki neysluvatnsreglugerð	Hlutfall af sýnum sem standast ekki (%)
Janúar	124	2	1,6
Febrúar	112	2	1,8
Mars	107	1	0,9
Apríl	116	0	0,0
Maí	140	1	0,7
Júní	109	1	0,9
Júlí	117	0	0,0
Ágúst	110	0	0,0
September	121	1	0,8
Október	120	0	0,0
Nóvember	123	2	1,6
Desember	81	0	0,0
Samtals	1390	10	0,7

Á mynd 16 sést súlurit yfir þau sýni sem stóðust neysluvatnsreglugerðina á árunum 1997 til 2009. Eins og sést hafa öll sýni staðist neysluvatnsreglugerðina árin 2008 og 2009 og nokkur ár þar á undan eins og árin 2001 til 2003 og árið 2006. Aðeins eitt sýni stóðst ekki neysluvatnsreglugerðina árin 1997, 1998, 2000, 2004, 2005 og 2007 en árið 1999 voru það fjögur sýni sem uppfylltu ekki neysluvatnsreglugerðina.



Mynd 16. Hlutfall sýna sem standast neysluvatnsreglugerðina á árunum 1997-2009.

Í töflu 16 eru sýnd meðaltöl örveru- og eðlismælinga frá 1997 til 2009. Fjöldi sýna kemur fram í töflunni ásamt fjarlægð frá uppsprettu. Nokkrir af þessum sýnatökustöðum eru ekki lengur í notkun eins og Tengistöðin við Korpu og Sunnutorg. Ekki er tekið reglulega sýni úr safntönkum og það skýrir lágan sýnafjölda á þeim stöðum. Meðaltal heildargerlafjölda við 22°C er mjög lágt, undir 12 kólóníu myndandi einingar í 1 ml sýnis á öllum sýnatökustöðum. Lægst er meðaltalið á sýnatökustöðunum við Kringlumýrarbraut og Vesturlandsveg, þ.e. um 3 kólóníu myndandi einingar í 1 ml sýnis. Hæsta meðaltalið var í tengistöðinni við Korpu, þ.e. um 11 kólóníu myndandi einingar í 1 ml sýnis en fjöldi sýna var mjög lítil á þessum sýnatökustað. Meðaltal allra 1390 mælinga á heildargerlafjölda við 22°C er 6,2 kólóníu myndandi einingar í 1 ml sýnis.

Meðalhitastig við sýnatöku var lægst næst uppsprettu þ.e. við VK-1, Gvendarbrunnasvæði og Myllulæk. Hæsta meðalhitastig var á sýnatökustöðum á Kjalarnesi vegna upphitunar sjávar.

Meðalsýrustig var nokkuð jafnt eða frá pH 8,8 til pH 9,1 og er ekki að finna skýringu á þessum mun. Dreifing mælinga á sýrustigi er nokkuð mikil eða frá pH 6,7 til pH 9,5.

Tafla 16. Sýnatökustaðir ásamt meðaltali og dreifingu af niðurstöðum úr reglubundnu eftirlit.

Sýnatökustaðir	Fjöldi sýna (n)	Fjarlægð frá uppsprettu (km)		Heildargerðlafjöldi við 22°C í 1 ml	Hitastig við sýnatöku (°C)	Sýrustig (pH)	Leiðni (µS/cm)
VK-1	10	0	Meðaltal	4	3,6	8,9	81
			Dreifing	0-16	3,5-3,7	8,6-9,0	76-88
Gvendarbr.svæði/Myllulækur	28	0	Meðaltal	4	3,8	8,9	84
			Dreifing	0-32	3,5-4,4	8,0-9,2	61-95
Lokahús sunnan Árbæjarstíflu	353	5,8	Meðaltal	6	3,8	8,9	85
			Dreifing	0-150	3,6-5,1	8,0-9,4	43-110
Laxalón, Grafarholti	307	6,7	Meðaltal	7	4,0	8,9	80
			Dreifing	0-140	3,1-6,4	6,7-9,3	57-93
Tengistöðin við Korpu	14	8,0	Meðaltal	11	3,9	8,9	83
			Dreifing	0-80	3,5-4,4	8,4-9,2	75-89
Lokinhamrar	104	8,8	Meðaltal	9	4,2	8,9	85
			Dreifing	0-190	3,7-4,9	6,8-9,2	61-98
Gagnvegur	47	9,2	Meðaltal	5	5,4	8,9	78
			Dreifing	0-21	3,9-7,7	7,6-9,1	59-94
Sunnutorg	53	10,5	Meðaltal	4	4,5	9,00	90
			Dreifing	0-60	3,8-6,2	7,7-9,2	82-102
Kringlumýrarbraut	120	11,1	Meðaltal	3	4,1	9,00	86
			Dreifing	0-110	3,7-4,4	8,1-9,5	58-100
Dælustöð Vesturlandsvegi	51	11,2	Meðaltal	3	4,6	8,8	79
			Dreifing	0-70	4,0-6,0	8,3-9,4	66-90
Eiríksgata	104	12,8	Meðaltal	8	4,3	9,0	86
			Dreifing	0-340	2,3-5,6	7,9-9,5	62-97
Hjúkrunarheimilið Víðinesi	12	14,8	Meðaltal	6	11	9,1	83
			Dreifing	0-18	7,8-13,2	9,0-9,5	65-94
Ánanaust	110	15,2	Meðaltal	8	4,7	9,0	87
			Dreifing	0-88	3,9-6,4	8,3-9,5	64-98
Austurströnd	52	16,5	Meðaltal	5	5,0	8,8	86
			Dreifing	0-47	4,0-6,2	8,4-9,5	81-98
Klébergsskóli	11	21,9	Meðaltal	8	9,7	8,9	87
			Dreifing	0-33	5,9-14,3	8,6-9,2	67-99
Meðaltal allra sýna				6,2	4,3	8,91	83,7

Meðalleiðni var hærri á sýnatökustöðum sem fá neysluvatnið úr stofnæð nr. 1 eða frá 83 til 90 µS/cm. Meðalleiðni á neysluvatni úr stofnæð nr. 2 er frá 78 til 81 µS/cm.

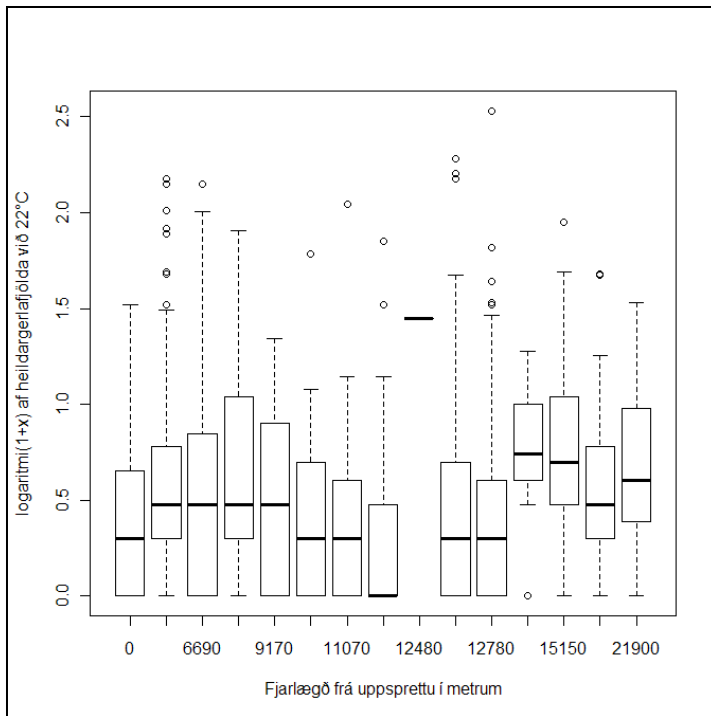
Greiningarmörk fyrir gruggmælingu eru 0,10 NTU en mælingargildi yfir þetta tímabil voru frá greiningarmörkum til 1,5 NTU og meðaltal allra mælinga var 0,15 NTU. Aðeins fimm sýni af 1390 voru með hærra en 1,0 NTU fyrir grugg.

Ammoníak sem er einnig greint í sýnum úr reglubundnum mælingum var í öllum tilvikum undir greiningarmörkum aðferðarinnar þ.e. undir 0,05 mg/l.

4.1.3 Greining á gögnum með tölfræðilegum aðferðum

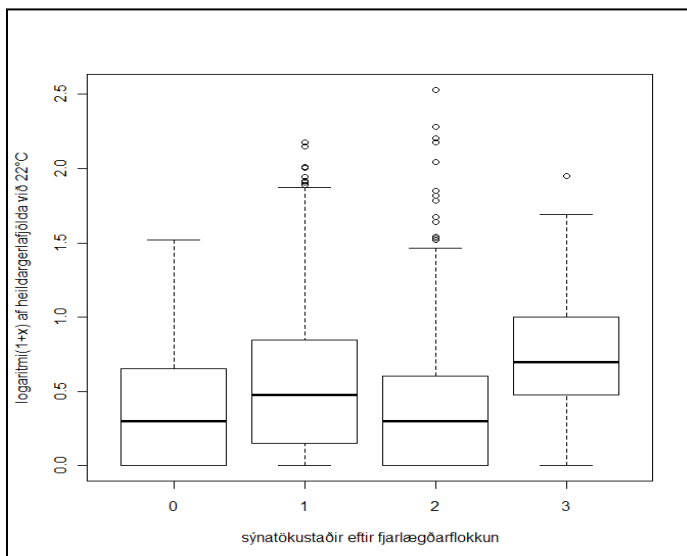
Gerð var tilraun til að byggja upp módel fyrir niðurstöður rannsókna við reglubundið eftirlit. Notast var við heildargerlafjölda við 22°C sem útkomubreytu. Vegna góðra niðurstaða úr rannsókn á heildargerlafjölda við 22°C sköpuðust vandkvæði við gerð móðelsins þar sem gögnin voru mjög hægri skekkt og með mörg núll gildi. Í gagnasafninu voru 363 núllgildi af 1390 sýnum sem er 26% af niðurstöðum gagnasafnsins. Reynt var að umbreyta gögnum til að fá normaldreifingu. Notast var við aðferðir til að umbreyta gögnum vegna þess að sumar tölfræðiaðferðir krefjast normaldreifingar. Útkomubreytan var umbreytt með kvaðratrót, log og $\log(1+x)$ en ekki náðist að gera gögnin normaldreifð. Einnig voru notaðar „nonparametric“ aðferðir en þær krefjast ekki normaldreifingar. Ekki fannst marktækur munur milli útkomubreytu og stýribreyta og þess vegna voru gögnin sett upp í boxplot til að athuga hvort það væri sjáanlegt samband milli útkomubreytu og stýribreyta.

Á mynd 17 er sýndur heildargerlafjöldi við 22°C (umbreyttur með logaritma $(x+1)$) og flokkað eftir 15 sýnatökustöðum og þeim raðað eftir fjarlægð frá uppsprettu. Dreifingin á gögnunum er mikil og ekki sjáanlegur marktækur munur á heildargerlafjölda við 22°C eftir því hversu langt sýnatökustaðurinn er frá uppsprettu.



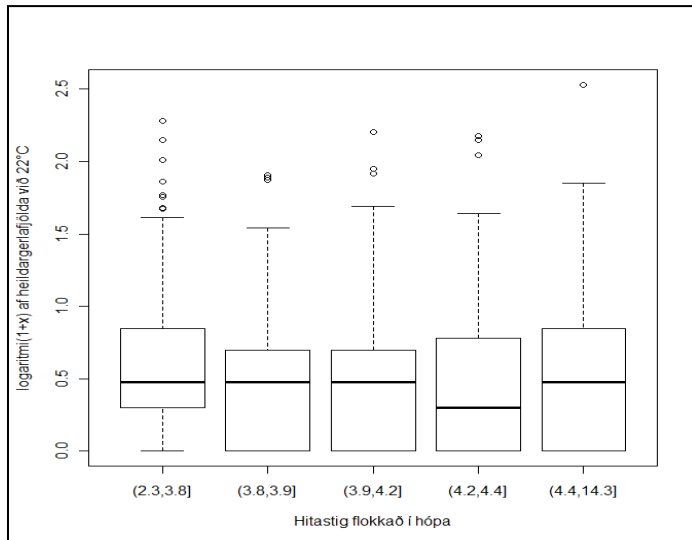
Mynd 17. Logaritmi af $(1+x)$ af heildargerlafjölda við 22°C sem fall af sýnatökustöðum raðað eftir fjarlægð frá uppsprettu.

Á mynd 18 sést heildargerlafjöldi við 22°C (umbreyttur með logaritma $(x+1)$) og sýnatökustaðir flokkaðir í fjóra flokka eftir lengd frá uppsprettu. Það má lesa út úr myndinni að einhver tilhneiging er til að heildargerlafjöldi hækki við lengri fjarlægð frá uppsprettu en að dreifingin á gögnum er samt mikil og ekki marktækur munur milli flokka.



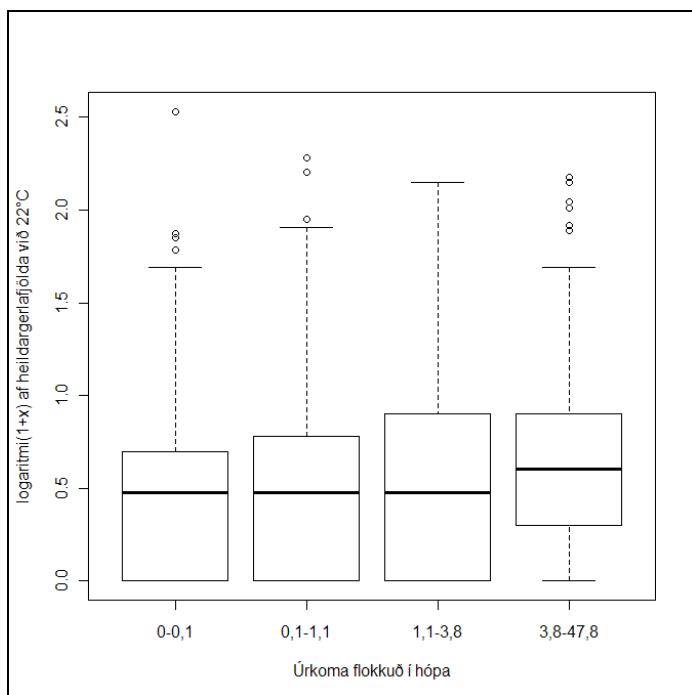
Mynd 18. Logaritmi af $(1+x)$ af heildargerlafjölda við 22°C sem fall af sýnatökustöðum eftir fjarlægðarflokkun.

Á mynd 19 er heildargerlafjöldi við 22°C (umbreyttur með logaritma $(x+1)$) og hitastig við sýnatöku skipt í fimm flokka þannig að í hverjum flokki eru jafn mörg sýni. Dreifingin er mikil og það sést engin tilhneiging í þá átt að við hækkandi hitastig hækki heildargerlafjöldinn.



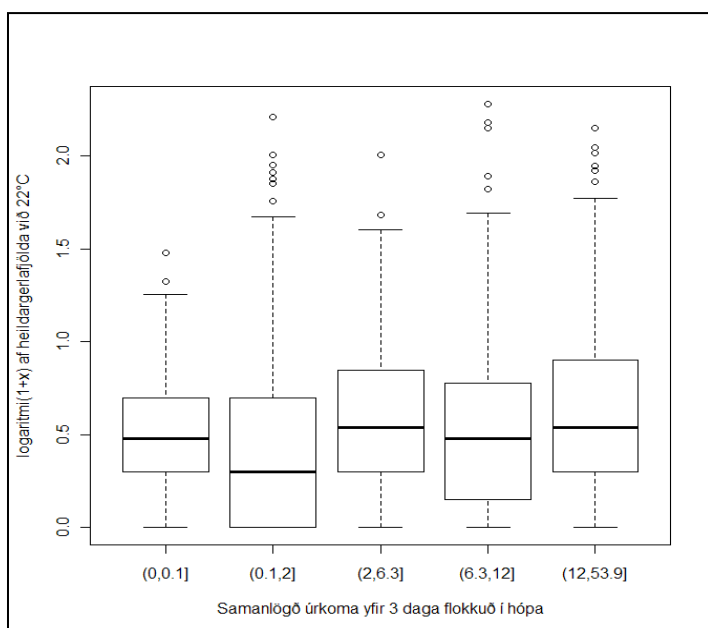
Mynd 19. Logaritmi af $(1+x)$ af heildargerlafjölda við 22°C sem fall af flokkuðu hitastigi við sýnatöku.

Á mynd 20 er heildargerlafjöldi við 22°C (umbreyttur með logaritma $(x+1)$) og magn úrkomu á þeim degi sem sýnið var tekið flokkað í fjóra flokka. Dreifing á niðurstöðum er mjög mikil og eins og sést er ákveðin leitni að með meiri úrkomu þá hækkar heildargerlafjöldi við 22°C en þessi leitni er ekki tölfræðilega marktæk.



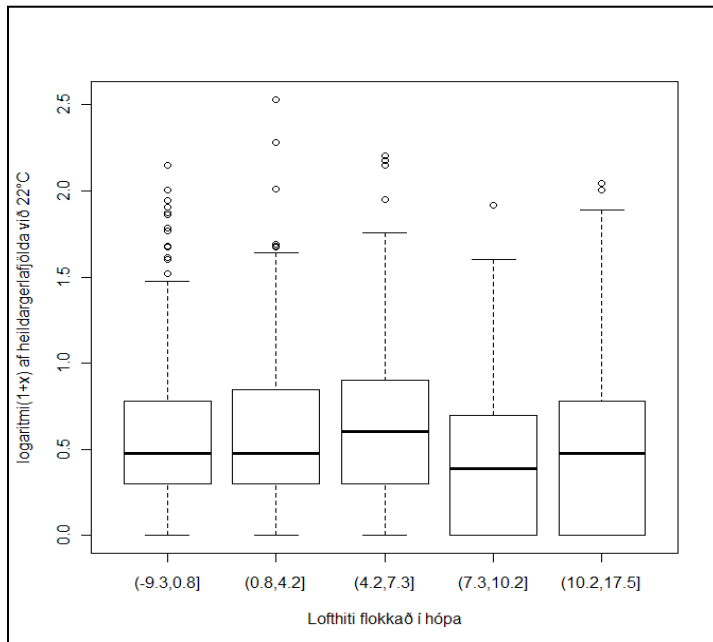
Mynd 20. Logaritmi af $(1+x)$ af heildargerlafjölda við 22°C sem fall af flokkaðri úrkomu samdægurs.

Á mynd 21 er sýndur heildargerlafjöldi við 22°C (umbreyttur með logaritma $(x+1)$) og samanlögð úrkoma tvo daga fyrir sýnatöku og úrkomu þann dag sem sýnið er tekið, sem sagt úrkoma yfir þrjá daga. Eins og sést þá er ekki mikill munur milli flokkanna.



Mynd 21. Logaritmi af $(1+x)$ af heildargerlafjölda við 22°C sem fall af flokkaðri samanlagðri úrkomu þrjá daga fyrir sýnatöku.

Á mynd 22 er sýndur heildargerlafjöldi við 22°C (umbreyttur með logaritma $(x+1)$) og lofthiti við sýnatöku flokkað í fimm hópa með jafn mörg sýni í hverjum hóp. Hérna sést að það er enginn munur á heildargerlafjölda við 22°C eftir lofthita.

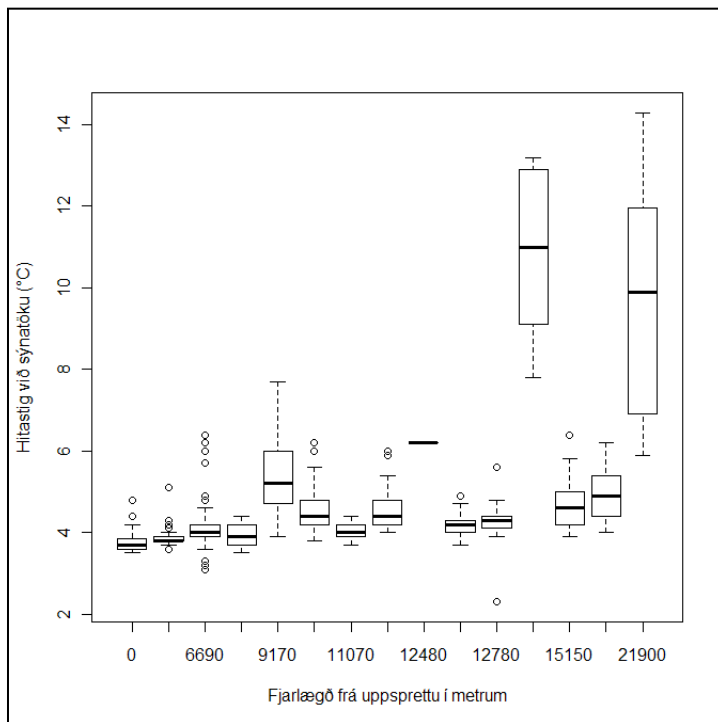


Mynd 22. Logaritmi af $(1+x)$ af heildargerlafjölda við 22°C sem fall af flokkuðum lofthita.

Niðurstöður þessara athugunar eru að það eru lítil fylgni milli útkomubreytunnar þ.e. heildargerlafjölda við 22°C og stýribreyta eins og fjarlægðar frá uppsprettu, hitastigi við sýnatöku, úrkomu og lofthiti. Ástæður fyrir þessu er að dreifing á gögnum er mikil og að ekki er um að ræða stýrða rannsókn, til dæmis eru sýnin ekki tekin á sama tíma. Til að koma í veg fyrir áhrif veðurfars á neysluvatnið var tekin upp hlákuáætlun 1997 og eftir þær breytingar hafa líkur á að veðurfar hafi áhrif á heildargerlafjölda við 22°C minnkað og eru þær því ekki sjáanlegar eins og þær voru á árunum fyrir 1997.

Á mynd 23 er teiknað upp hitastig við sýnatöku og 15 sýnatökustöðum raðað eftir fjarlægð frá uppsprettu. Eins og áður hefur komið fram hefur fjarlægð áhrif á hitastig neysluvatnsins þannig að hitasigið eykst með meiri fjarlægð en þetta sést vel á boxplotinu. Það eru þrjár sýnatökustaðir sem skera sig úr á þessari mynd. Þessir sýnatökustaðir eru við Gagnveg (9,2 km) en þar er hitastig hátt þar sem lögnin liggur við hitaveitulögn og hitar hún neysluvatnið og/eða vatnið á þeim sýnatökustað er staðnað. Síðan eru tveir sýnatökustaðir á Kjalarnesi þ.e. Hjúkrunarheimilið við Víðines (14,8 km) og Klébergsskóli (21,9 km). Þar

hefur hitastig sjávar áhrif á hitastig neysluvatnsins og er það því mun hærra og með meiri dreifingu en á öðrum sýnatökustöðum.



Mynd 23. Hitastig við sýnatöku sem fall sýnatökustöðum raðað eftir fjarlægð frá uppsprettu.

4.1.4 Niðurstöður mælinga úr heildarúttektum

Niðurstöðum heildarúttektar er skipt í fjóra flokka, þ.e. (1) efni sem eru óæskileg í miklu magni en eru ekki talin hættuleg heilsu manna, (2) þungmálmar sem eru taldir hættulegir heilsu manna fari þeir yfir viðmiðunarmörk, (3) efni sem eru hættuleg heilsu manna og (4) önnur efni sem hafa ekki hámarksgildi í neysluvatnsreglugerðinni.

Í töflum 17 til 20 eru sýnd meðalgildi efnamælinga sem gerðar hafa verið á neysluvatninu frá Heiðmörk á árunum 1997 til 2009. Einnig kemur fram í töflunum hámarksgildi sem gefið er upp í neysluvatnsreglugerðinni. Þá er gefið upp hæsta og lægsta gildi sem hefur verið mælt af viðkomandi efni. Fyrir aftan heiti sýnatökustaðanna sést hversu mörg sýni hafa verið tekin á hverjum sýnatökustað.

Á myndum 24 og 25 er sýnt vegið meðaltal af magni efna úr mælingum á heildarúttektarsýnum frá Heiðmörk á árunum 1997 til 2009. Vegið meðaltal er reiknað þannig að allir sýnatökustaðirnir átta sem sjást í töflum 17 til 20 hafa jafn mikið vægi á meðaltalið óháð hversu mörg sýni hafa verið tekin á hverjum sýnatökustað. Vegið meðaltal er

merkt með bláu striki og hæsta og lægsta mælda gildi er merkt með svartri línu. Hámarksgildi úr neysluvatnsreglugerðinni er merkt inn á myndina með rauðri línu. Y-ás fyrir mæligildin er í logaritmískum skala.

4.1.4.1 Efni sem eru óæskileg í miklu magni en eru ekki talin hættuleg heilsu manna

Í töflu 17 má sjá niðurstöður fyrir þau efni sem eru óæskileg í miklu magni en eru ekki talin hættuleg heilsu manna. Öll þessi efni hafa eingöngu mælst langt undir hámarksgildum á öllum sýnatökustöðum.

Ammoníum og nítrít eru alltaf undir greiningarmörkum mæliaðferðarinnar á öllum sýnatökustöðunum en þessi efni geta verið vísbending um mengun frá landbúnaði eða úrgang frá mönnum eða dýrum (WHO, 2009).

Nítrat hefur fundist í litlu magni í neysluvatninu en hæsta mælda gildi var 1,2 mg/l sem er 3% af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar. Hækkun á nítrati í neysluvatninu getur stafað af því að snemma á vorin er gróður ekki búinn að taka við sér og tekur ekki upp nítratið sem myndast við rotnun á plöntuleifum (WHO, 2009). Tímasetning á sýnatöku gæti skýrt mun milli hæsta og lægsta mælda gildis fyrir nítrat en hann var frá 0,033 til 1,2 mg/l. Í mikilli hláku á vorin er líklegt að magn nítrats sé hátt í neysluvatninu en minna á sumrin þegar gróðurinn á vatnstökusvæðinu tekur upp nítratið.

Meðaltal mælinga fyrir ál var frá 14,1 til 19,3 µg/l fyrir sýnatökustaðina. Hæsta mælda gildi fyrir ál var 20,5 µg/l sem er 9,8% af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar og fannst í svipuðu magni á öllum sýnatökustöðunum. Það ál sem finnst í neysluvatni er oftast af náttúrulegum uppruna en ál finnst í jarðvegi. Þó er notast við ál við meðhöndlun á neysluvatni víða erlendis (WHO, 2009).

Nokkur efnanna í töflu 17 finnast náttúrliga í grunnvatni en þau eru: bór, flúoríð, klóríð, mangan, natríum og súlfat (WHO, 2009).

Meðaltal mælinga fyrir bór var undir greiningamörkum á tveimur sýnatökustöðum en á þeim sýnatökustöðum þar sem bór mældist var meðaltalið frá 3,18 til 6,87 µg/l. Bór fannst í mjög litlu magni í neysluvatninu en hæsta mælda gildið var 13 µg/l sem er aðeins 1,3% af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar.

Fyrir flúoríð var hæsta mælda gildi 0,2 mg/l en það er rúmlega 13% af hámarksgildi en magn flúoríðs fer eftir gerð jarðlaga sem vatnið flæðir í gegnum (WHO, 2009). Meðaltal mælinga fyrir flúoríð var frá 0,04 til 0,16 mg/l fyrir sýnatökustaðina.

Tafla 17. Meðalgildi fyrir efni sem eru óæskileg í miklu magn eftir sýnatökustöðum og hæsta og lægsta mældu gildi.

	Ammoníum	Ál (Al)	Bór (B)	Flúoríð (F)	Járn (Fe)	Klóríð (Cl)	Kopar (Cu)	Mangan (Mn)	Natríum (Na)	Nítrat	Nítrít	Súlfat
Mælieining	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Hámarksgildi	0,5	200	1000	1,5	0,2	250	2000	50	200	50	0,5	250
Hæsta mældu gildi	u.g.	20,5	13	0,2	0,0083	12	0,9	0,09	13,3	1,2	u.g.	6,4
Lægsta mældu gildi	u.g.	12	2,27	0,04	0,0004	2,6	0,1	0,031	6,58	0,033	u.g.	1,9
Myllulækjasvæði (n=8)	u.g.	14,1	6,15	0,16	0,001	8,73	0,18	0,037	10,44	0,039	u.g.	2,3
Hraunbrú (n=5)	u.g.	16,1	6,87	0,16	0,0034	10,1	0,18	u.g.	11,52	u.g.	u.g.	2
Vatnsendakrika (n=9)	u.g.	18,2	5,28	0,12	0,0009	9,44	0,25	0,061	8,98	0,082	u.g.	2,1
Jaðarsvæði (n=7)	u.g.	18	4,1	0,07	0,0006	10,44	0,28	0,031	10,33	0,064	u.g.	2,1
Ánanaust (n=5)	u.g.	17,2	5,88	0,09	0,002	9,65	0,13	0,041	11,9	1,2	u.g.	4,2
Gvendarbrunnahús (n=3)	u.g.	16,1	u.g.	0,06	0,0034	10,33	0,73	0,058	10,67	1,2	u.g.	3,3
Laxalón (n=3)	u.g.	19,3	u.g.	0,04	u.g.	9,01	0,14	0,032	8,54	0,17	u.g.	2,2
Árbæjarstífla (n=3)	u.g.	17,3	3,18	0,06	0,0011	9,59	0,2	u.g.	11,13	0,43	u.g.	2,9

u.g. = undir greiningamörkum

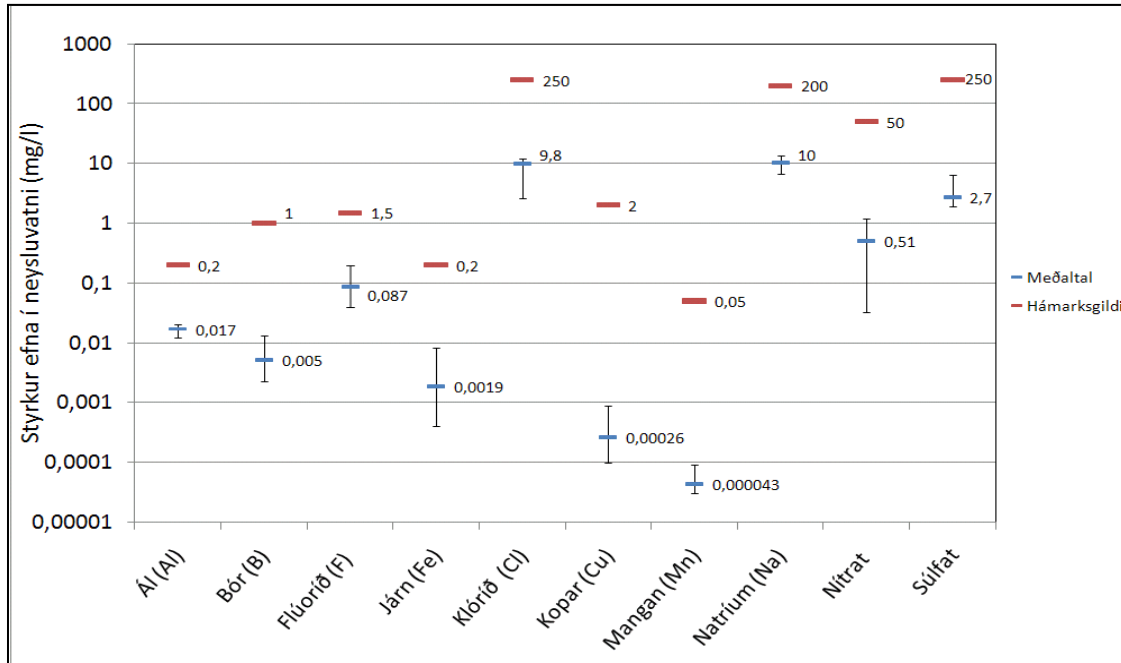
Meðaltal mælinga fyrir klóríð var frá 8,73 til 10,44 mg/l og hæsta mældu gildið var 12 mg/l sem er 21% af hámarkgildi neysluvatnsreglugerðarinnar. Klóríð getur verið af náttúrulegum upprunna þ.e. úrkomu, en klóríð getur líka komið frá skólpi, iðnaðarúrgangi og salti sem er notað við hálkuvarnir. Mikið magn klóríðs hraðar tæringu í lögnum og getur því aukið magn annarra málma í neysluvatninu (WHO, 2009).

Mangan finnst oft í grunnvatni og er í miklu magni í jarðskorpunni (WHO, 2009). Mangan getur einnig aukist við tæringu á lögnum (Liu, o.fl., 2001). Meðaltal mælinga fyrir mangan var frá 0,031 til 0,061 µg/l fyrir sýnatökustaðina. Hæsta mældu gildið var 0,09 µg/l sem er 0,18% af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar.

Natríum salt þ.e. natríum klóríð finnst í öllu neysluvatni (WHO, 2009). Meðaltal mælinga fyrir natríum var frá 8,54 til 11,9 mg/l fyrir sýnatökustaðina. Hæsta mældu gildið var 13,3 mg/l sem er 6,7% af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar. Meðaltal mælinga fyrir Vatnsendakrika og Laxalón var töluvert lægra en á öðrum sýnatökustöðum. Eins og hefur komið fram er dýpt borhola í Vatnsendakrika kringum 100 m miðað við 14-64 m djúpar borholur á öðrum vatnstökusvæðum. Það neysluvatn sem er í Laxalóni kemur beint frá Vatnsendakrika. Eina skýringin á þessum mismun milli styrk natríums milli sýnatökustaða er dýpi borholanna. Vegna meira dýpis á borholum í Vatnsendakrika þá síast meira magn natríum úr vatninu.

Súlfat í neysluvatni getur verið af náttúrulegum upprunna og það er ekki líklegt að það geti orðið heilsuspillandi. Magn súlfats getur haft áhrif á bragðgæði vatnsins og getur ýtt

undir tæringu á dreifilögnum (WHO, 2009). Meðaltal mælinga fyrir sulfat var frá 2,0 til 4,2 mg/l fyrir sýnatökustaðina. Hæsta mælda gildið var 6,4 mg/l sem er 2,3% af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar.



Mynd 24. Vegið meðaltal, hámarksgildi og lágmarksgildi á efnum sem eru óæskileg í miklu magni ásamt hámarksgildi úr neysluvatnsreglugerð.

Járn finnst oft í grunnvatni og er í miklu magni í jarðskorpunni. Í fersku vatni er járninnihald yfirleitt frá 0,5 til 50 mg/l. Járn hefur ekki heilsuspillandi áhrif á fólk en hefur áhrif á útlit og bragð neysluvatns (WHO, 2009). Meðaltal mælinga fyrir járn var frá 0,0006 til 0,0032 mg/l fyrir sýnatökustaðina. Hæsta mælda gildið fyrir járn var 0,0083 mg/l sem er 4,2% af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar. Það er mikill munur milli hæsta og lægsta gildis á mælingum af járn. Járninnihald neysluvatnsins getur aukist við tæringu á lögnum (Liu, o.fl., 2001) og getur það skýrt mikla dreifingu í gögnunum eins og sést á mynd 24.

Meðaltal mælinga fyrir kopar var frá 0,13 til 0,73 µg/l fyrir sýnatökustaðina. Hæsta mælda gildið fyrir kopar var 0,9 µg/l sem er 0,05% af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar. Kopar er notaður til að gera lagnir, loka og tengihluti. Þá er þekkt að nikkell, kopar og blý í krönum geti haft áhrif á magn þessara efna í neysluvatni. Þetta á sérstaklega við nýja krana en rannsóknir hafa sýnt að magn þessara efna getur bæði minnkað eða staðið í stað með tímanum (Fontenay, Andersen, Werner, Erning, 2009).

4.1.4.2 Þungmálmar sem eru taldir hættulegir heilsu manna

Í töflu 18 má sjá niðurstöður þungmálma sem eru taldir hættulegir heilsu manna. Antimon, blý og nikkell eru efni sem eru í lögnum og tengihlutum (WHO, 2009). Í flestum tilvikum hefur antimon verið undir greiningarmörkum en hæsta mældi gildi var 0,025 µg/l sem er 0,5 % af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar.

Blý getur komið frá látúni (e. brass) og lóðmálmum sem eru í innanhúslögnum og getur það skýrt mikinn mun á hæsta og lægsta mældi gildi fyrir blý. Einnig getur magn blýs hækkað við tæringu á lögnum. (Fontenay, Andersen, Werner, Erning, 2009). Meðaltal mælinga fyrir blý var frá 0,030 til 0,072 µg/l fyrir sýnatökustaðina. Hæsta mældi gildið fyrir blý var 0,157 µg/l sem er 1,3 % af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar.

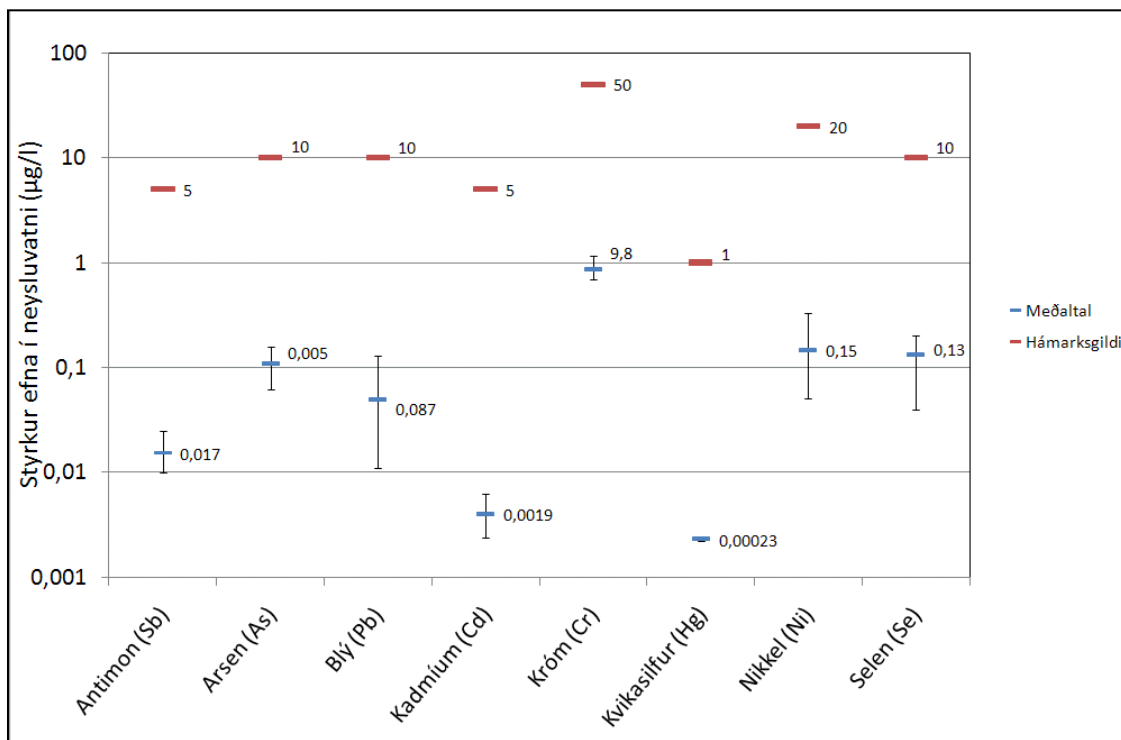
Nikkell er notað við framleiðslu á stáli og nikkell málmblöndum (WHO, 2009). Eins og hefur komið fram er nikkell notað við framleiðslu á krönum og lokum (Fontenay, Andersen, Werner, Erning, 2009). Töluverður munur var á milli hæsta og lægsta mældi gildis á nikkell eins og sést á mynd 25 en skýringin á því getur verið mismunandi tegund sýnatökukrana og/eða mismundi lagnaefni á viðkomandi sýnatökustað. Meðaltal mælinga fyrir nikkell var frá 0,075 til 0,199 µg/l fyrir sýnatökustaðina. Hæsta mældi gildið fyrir nikkell var 0,333 µg/l sem er 1,7 % af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar.

Tafla 18. Meðalgildi fyrir þungmálma sem eru taldir hættulegir heilsu manna eftir sýnatökustöðum og hæsta og lægsta mældi gildi.

	Antimon (Sb)	Arsen (As)	Blý (Pb)	Kadmíum (Cd)	Krómm (Cr)	Kvikasilfur (Hg)	Nikkell (Ni)	Selen (Se)	Sýaníð
Mælieining	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Hámarksgildi	5	10	10	5	50	1	20	10	50
Hæsta mældi gildi	0,025	0,157	0,129	0,0062	1,16	0,0023	0,333	0,2	u.g.
Lægsta mæla gildi	0,01	0,061	0,011	0,0024	0,69	0,0023	0,051	0,04	u.g.
Myllulækjasvæði (n=8)	0,025	u.g.	0,056	u.g.	0,82	u.g.	0,075	0,12	u.g.
Hraunbrú (n=5)	u.g.	u.g.	0,032	u.g.	0,88	u.g.	0,093	0,12	u.g.
Vatnsendakriki (n=9)	0,011	u.g.	0,072	0,0039	0,83	0,0023	0,196	0,12	u.g.
Jaðarsvæði (n=7)	0,01	u.g.	0,030	0,0051	0,96	u.g.	0,157	0,13	u.g.
Ánanaust (n=5)	u.g.	u.g.	0,048	u.g.	0,89	u.g.	0,145	0,11	u.g.
Gvendarbrunnahús (n=3)	u.g.	0,061	0,055	u.g.	0,75	u.g.	0,191	0,15	u.g.
Laxalón (n=3)	u.g.	u.g.	0,067	u.g.	0,8	u.g.	0,199	0,15	u.g.
Árbæjarstífla (n=3)	u.g.	0,157	0,034	0,0029	1,02	u.g.	0,106	0,15	u.g.

u.g. = undir greiningarmörkum

Arsen og króm er að finna víða í jarðskorpunni og er því í neysluvatni af náttúrulegum upprunna (WHO, 2009). Arsen var yfirleitt undir greiningarmörkum mæliaðferðarinnar en hæsta mælda gildi var 0,157 $\mu\text{g/l}$ sem er 1,6% af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar. Meðaltal mælinga fyrir króm var frá 0,75 til 1,02 $\mu\text{g/l}$ fyrir sýnatökustaðina. Hæsta mælda gildið fyrir króm var 1,16 $\mu\text{g/l}$ sem er 2,3 % af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar.



Mynd 25. Vegið meðaltal, hámarksgildi og lágmarksgildi á þungmálum sem eru taldir hættulegir heilsu manna ásamt hámarksgildi úr neysluvatnsreglugerð.

Kadmíum er málmur sem er notaður í stáliðnað og við gerð plastefna og rafhlaðna. Kadmíum í neysluvatni getur komið frá menguðu sinki sem er notað við að galvanísera lagnir og lagnaefni (WHO, 2009). Kadmíum var yfir greiningarmörkum mæliaðferðarinnar á þremur sýnatökustöðum. Meðaltal mælinga fyrir kadmíum var frá 0,0029 til 0,0051 $\mu\text{g/l}$ fyrir sýnatökustaðina. Hæsta mælda gildið fyrir kadmíum var 0,0062 $\mu\text{g/l}$ sem er 0,12 % af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar.

Kvikasilfur er m.a. notað í raftækjaframleiðslu en kvikasilfursmengun í neysluvatni er af völdum iðnaðar og búsetu fólks (WHO, 2009). Kvikasilfur hefur aðeins einu sinni mælst yfir greiningarmörk mæliaðferðarinnar en þá mældist 0,0023 $\mu\text{g/l}$ í Vatnsendakrika en það er 0,23% af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar.

Selen er náttúrulegt í jarðskorpunni en það er nauðsynlegt fyrir mannfólk í snefilmagni en getur valdið eitrun ef það er innbyrt í of miklu magni (WHO, 2009). Meðaltal mælinga fyrir selen var frá 0,11 til 0,15 µg/l fyrir sýnatökustaðina. Hæsta mælda gildið fyrir selen var 0,20 µg/l sem er 2 % af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar.

Sýaníð kemst í neysluvatn vegna mengunar frá iðnaði og búsetu fólks (WHO, 2009). Sýaníð var alltaf undir greiningarmörkum mæliaðferðarinnar.

4.1.4.3 Efni sem eru hættuleg heilsu manna

Í töflu 19 má sjá niðurstöður fyrir efni sem eru hættuleg heilsu manna. Eins og sést hafa viðkomandi efni aldrei greinst yfir greiningarmörk mæliaðferðarinnar. Þetta eru efni eins og bensen, bens(a)pyren og PAH efni (Arómatísk fjölhringja kolvatnsefni) sem eru í olíuvörum eða myndast við ófullkominn bruna. Trihalómetan er hópur efna sem myndast við klórun á vatni. Víníklóríð er notað við gerð plastlagna og getur mögulega komist í neysluvatnið þar sem notaðar eru plastlagnir. Tetraklóretan er notað í fatahreinsun og getur komist í grunnvatn vegna mengunar frá sorphaugum. Triklóretan er notað til að hreinsa málma og getur komist í grunnvatn vegna mengunar frá sorphaugum (WHO, 2009).

Tafla 19. Meðalgildi eftir sýnatökustöðum og hæsta og lágsta mælda gildi.

	1,2-díklóretan	Bens(a)pyren	Bensen	PAH efni	Tetraklóretan og triklóretan	Trihalómetan	Víníklóríð
Mælieining	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Hámarksgildi	3	0,01	1	0,1	10	100	0,5
Hæsta mælda gildi	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.
Lágsta mæla gildi	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.
Myllulækjasvæði (n=8)	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.
Hraunbrú (n=5)	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.
Vatnsendakriki (n=9)	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.
Jaðarsvæði (n=7)	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.
Ánanaust (n=5)	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.
Gvendarbrunnahús (n=3)	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.
Laxalón (n=3)	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.
Árbæjarstífla (n=3)	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.	u.g.

u.g. = undir greiningarmörkum

4.1.4.4 Önnur efni sem hafa ekki hámarksgildi í neysluvatnsreglugerðinni

Í töflu 20 eru þau efni sem hafa ekki hámarksgildi í neysluvatnsreglugerðinni en eru mæld í heildarúttekt. Tvö þessara efna hafa viðmiðunargildi í leiðbeiningum WHO. Þessi efni eru baríum en hæsta mælda gildi þess var 0,440 µg/l sem er 0,06% af viðmiðunargildi sem WHO gefur upp og molybdenum þar sem hæsta mælda gildi þess var 0,108 µg/l sem er 0,02% af viðmiðunargildi WHO. Sink getur komist í neysluvatn þar sem lagnaefni getur innihaldið sink en það smitast í neysluvatnið í litlu magni (WHO, 2009).

Tafla 20. Meðalgildi fyrir önnur efni eftir sýnatökustöðum og hæsta og lágsta mælda gildi.

	Baríum (Ba)	Brennisteinn (S)	Cobalt (Co)	Fosfór (P)	Kalíum (K)	Kalsíum (Ca)	Kísill (Si)	Magnesium (Mg)	Molybdenum (Mo)	Sink (Zn)	Strontium (Sr)
Mælieining	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Viðmiðunargildi WHO	700								700		
Hæsta mælda gildi	0,440	0,86	0,0110	90,0	1,04	5,51	7,96	1,28	0,108	9,00	4,23
Lágsta mæla gildi	0,016	0,53	0,0070	14,0	0,41	3,79	5,73	0,71	0,051	0,31	0,86
Myllulækjiasvæði(n=8)	0,094	0,75	u.g.	40,3	0,43	5,07	6,62	0,82	0,079	0,80	2,03
Hraunbrú(n=5)	0,052	0,82	u.g.	47,4	0,52	4,65	6,02	0,86	0,056	5,63	2,40
Vatnsendakriki(n=9)	0,084	0,71	0,0072	39,6	0,54	5,06	6,65	0,90	0,071	1,06	2,78
Jaðarsvæði(n=7)	0,044	0,75	0,0095	33,1	0,51	4,49	6,76	0,87	0,077	0,87	2,63
Ánanaust(n=5)	0,108	0,79	u.g.	36,3	0,65	4,90	6,63	0,85	0,065	0,93	2,70
Gvendarbrunnahús(n=3)	0,260	0,81	u.g.	15,5	0,46	4,12	6,65	1,18	0,070	0,63	4,20
Laxalón(n=3)	0,225	0,69	0,0093	19,1	0,43	4,92	6,81	0,90	0,075	0,88	2,81
Árbæjarstífla(n=3)	0,040	0,81	0,0070	16,9	0,44	4,91	6,80	0,85	0,079	1,02	2,40

u.g. = undir greiningarmörkum

Í töflu 21 eru önnur efni sem hafa verið greind í heildarúttektarsýnum frá 2001 og hafa aldrei verið mæld yfir greiningarmörkum. Aðallega er um að ræða lífræn efni og lífræn klórefnasambönd.

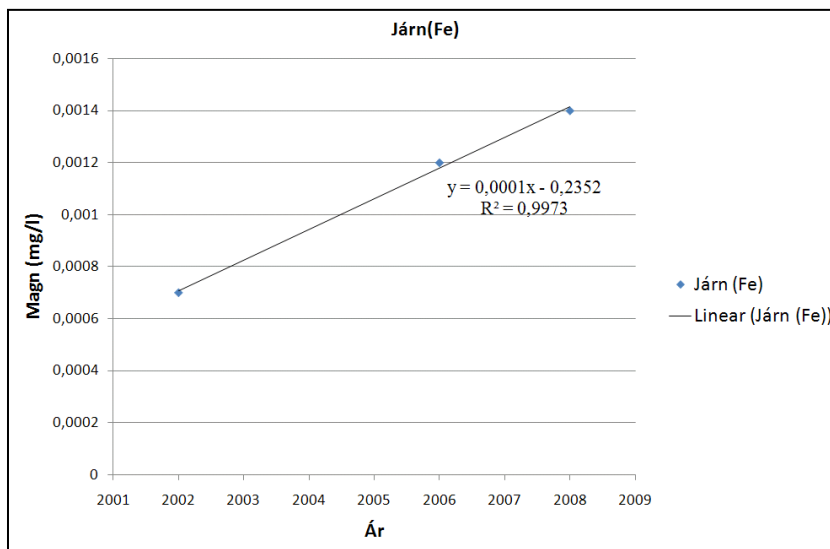
Tafla 21. Önnur efni sem voru undir greiningarmörkum á árunum 2001-2009.

diklormetan	naftalen
1,1-dikloretan	acenaftýlen
1,2-diklorpropan	acenaften
cis-1,2-dikloreten	fluoren
trans-1,2-dikloreten	fenantren
tetraklormetan	antracen
1,1,1-trikloretan	fluoranten
1,1,2-trikloretan	pyren
toluen	bens(a)antracen
etylbenzen	krysen
summa xylener	dibens(ah)antracen

4.1.5 Þróun efna í heildarúttekt

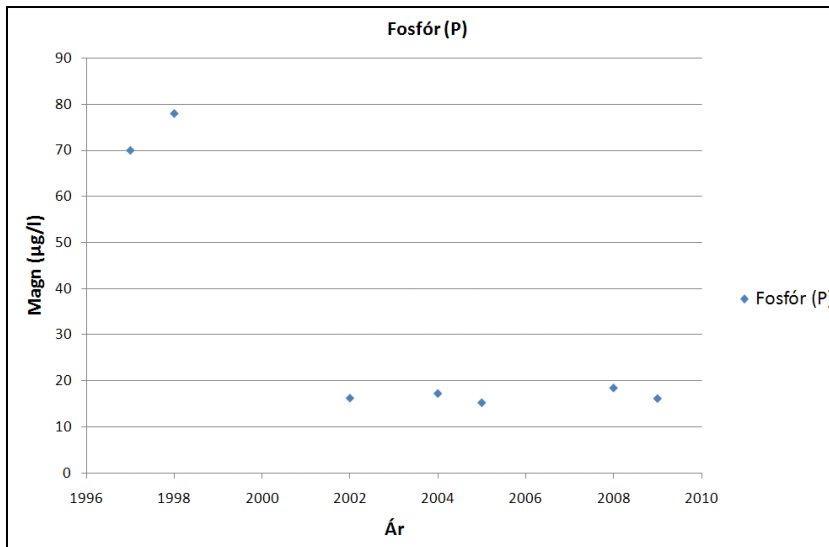
Fyrir hvern sýnatökustað voru teknar efnamælingar úr heildarúttektarsýnum og settar upp í graf sem sýnir magn efnis sem fall af tíma. Þetta var gert til að sjá hvort það séu einhver sjáanleg tímabróun á efnainnihaldi á viðkomandi sýnatökustað. Á myndum 26 til 36 eru sýndir þeir staðir þar sem einhver þróun hefur verið á undanförunum árum.

Á mynd 26 sést að magn járns hefur aukist örlítið frá 2002 til 2008 í lokahúsinu sunnan Árbæjarstíflu. Aukning á innihaldi járns getur gefið til kynna tæringu en þar sem aðeins er um að ræða þrjú sýni er ekki hægt að fullyrða að þetta sé raunveruleg aukning. Það kemur betur í ljós þegar fleiri sýni verða rannsökuð frá þessum sýnatökustað. Á öðrum sýnatökustöðum sést ekki sambærileg þróun á járnstyrkleika vatnsins. Hæsta gildi á járn frá lokahúsinu sunnan Árbæjarstíflu var lægra en meðaltal mælinga á sýnatökustöðunum í Gvendarbrunnahúsi, Ánanaust og Hraunbrún eins og sést í töflu 17.



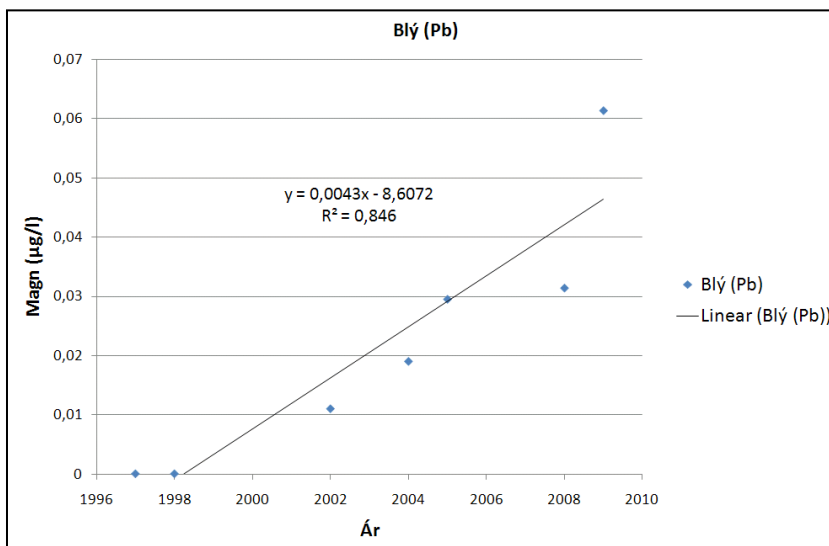
Mynd 26. Mælingar á járn í vatni frá lokahúsinu sunnan Árbæjarstíflu.

Á mynd 27 sést magn fosfórs í neysluvatni frá sýnatökustað á Jaðarsvæði. Eins og sést er mikill munur á mælingum á árunum 1997, 1998 og mælingunum frá 2002 til 2009. Eina skýringin á þessu er að með árunum hafi mæliaðferðir batnað og séu nú áreiðanlegri en áður.



Mynd 27. Mælingar á fosfór í vatni frá Jaðarsvæði.

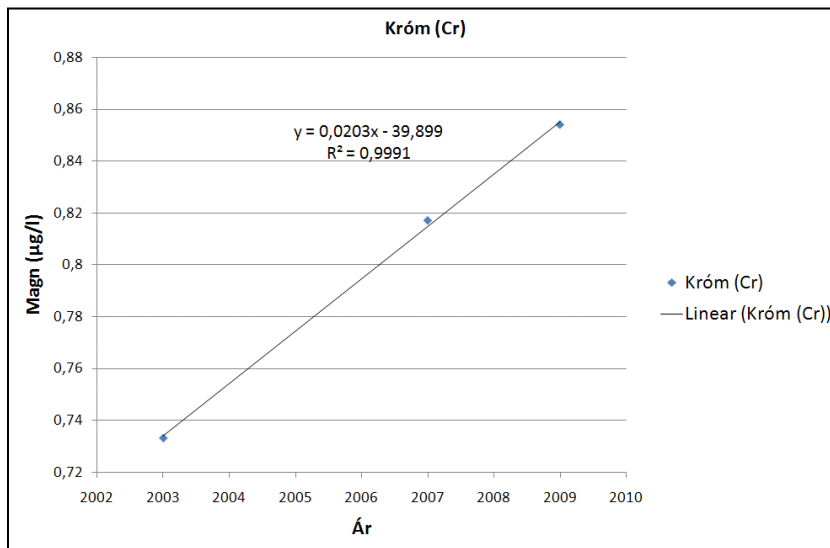
Á mynd 28 sést magn blýs í neysluvatni frá sýntökustað á Jaðarsvæði. Eins og sést er stöðug aukning magns af blýi. Alls hafa verið teknar sjö mælingar á þessum stað og sýna niðurstöður stöðuga aukningu. Þrátt fyrir þessa aukningu er hæsta gildi sem hefur verið mælt þarna meira en 100 sinnum lægra en hámarksgildi í neysluvatnsreglugerðinni. Það er samt nauðsynlegt að fylgjast með þessari þróun á næstu árum og bregðast við ef hún heldur áfram með svipuðum hætti.



Mynd 28. Mælingar á blý í vatni frá Jaðarsvæði.

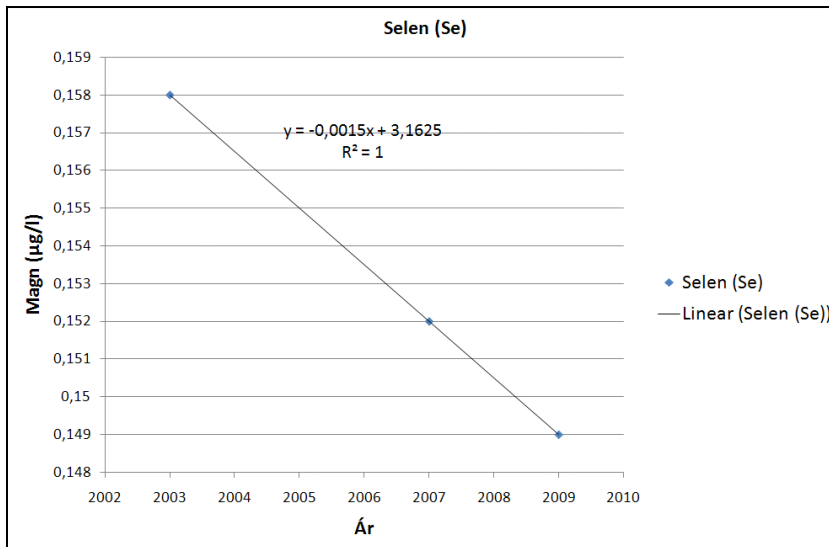
Á mynd 29 sést magn króms í neysluvatni á sýnatökustaðnum í Laxalóni. Á sýnatökustaðnum við Laxalón hafa verið tekin þrjú sýni og spurning hvort vöxtur á krómi sé

aðeins tilviljun þar sem aðeins er um að ræða þrjár mælingar. Mælingar í Bandaríkjunum, Hollandi og Indlandi hafa sýnt að króm í regnvatni í þessum löndum er frá 0,2 til 1,0 µg/l (WHO, 2003). Mælingarnar í Laxalóni voru frá 0,73 til 0,85 µg/l en vegið meðaltal allra sýnatökustaðanna var 0,87 µg/l. Hæsta mælda gildi á þessum sýnatökustað er 1,7% af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar.



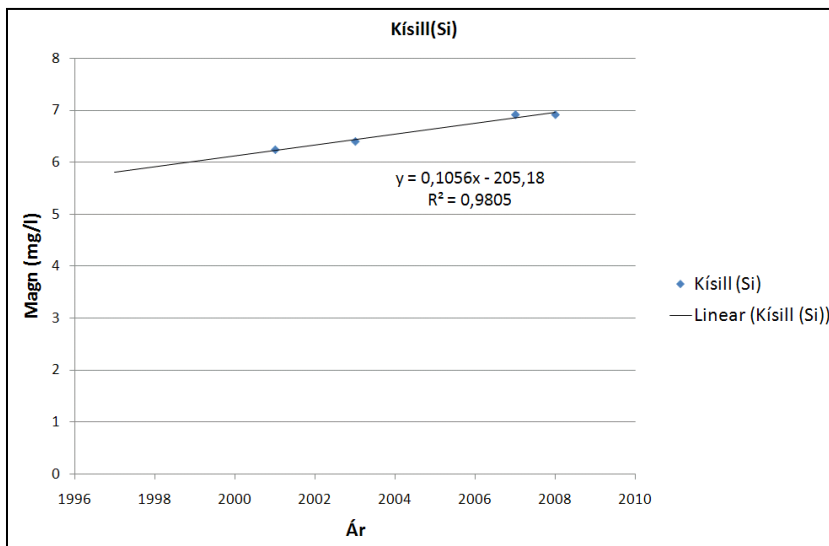
Mynd 29. Mælingar á króm í vatni frá Laxalóni.

Á mynd 30 sést magn selens í neysluvatni á sýnatökustaðnum í Laxalóni. Eins og hefur komið fram er aðeins um þrjár mælingar að ræða þannig að það eru möguleikar á því að þetta sé tilviljun. Vegið meðaltal allra sýnatökustaðanna var 0,13 µg/l og mælingarnar í Laxalóni voru frá 0,158 og niður í 0,149 µg/l.



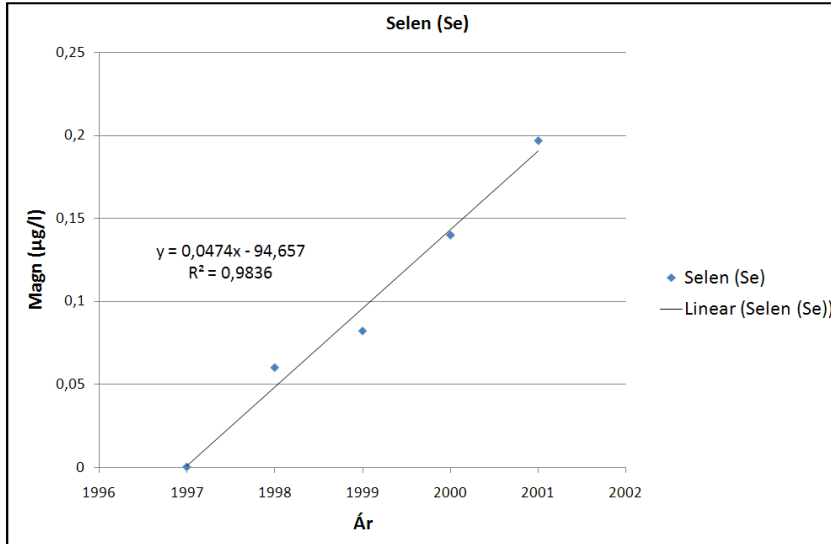
Mynd 30. Mælingar á selen í vatni frá Laxalóni.

Á mynd 31 sést magn kísils í neysluvatni á sýnatökustaðnum á Myllulækjasvæðinu. Þróun kísils á þessum sýnatökustað hefur verið upp á við frá 6,24 til 6,92 µg/l. Vegið meðaltal allra sýnatökustaðanna fyrir kísil var 6,62 µg/l og mælióvissa er um 1,0 µg/l þannig það þarf ekki að hafa miklar áhyggjur af þessari hækkun þar sem hún er fyrir innan mælióvissurnar.



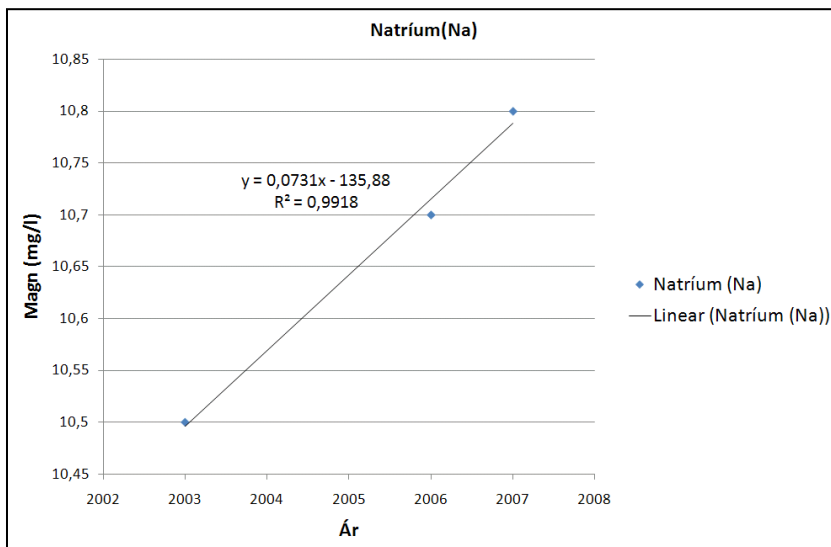
Mynd 31. Mælingar á kísil í vatni frá Myllulækjasvæði.

Á mynd 32 sést magn selen í neysluvatni á sýnatökustaðnum við Hraunbrún. Selen hefur aukist úr 0,06 í 0,197 $\mu\text{g/l}$ en hámarksgildi fyrir selen í neysluvatni er 10 $\mu\text{g/l}$ en hæsta mælda gildi er um 2% af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar.



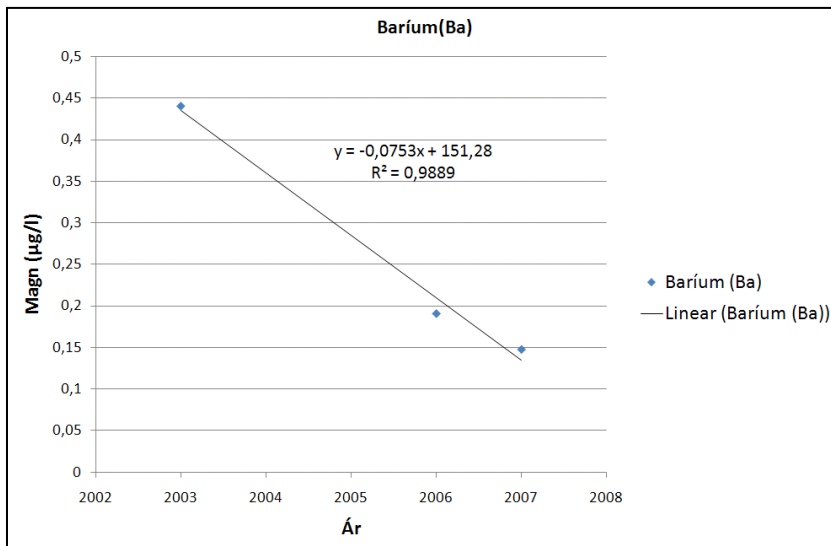
Mynd 32. Mælingar á selen í vatni frá Hraunbrún.

Á mynd 33 sést magn natríum í neysluvatni á sýnatökustaðnum í Gvendarbrunnahúsi. Um er ræða mjög litla hækkun þ.e. frá 10,5 í 10,8 $\mu\text{g/l}$ og munur milli lægsta og hæsta gildis er fyrir innan óvissumarka mælingarinnar. Hámarksgildi fyrir natríum í neysluvatni er 200 $\mu\text{g/l}$ þannig það þarf ekki að hafa áhyggjur af þessari þróun og eru miklar líkur á því að um tilviljun sé um að ræða.



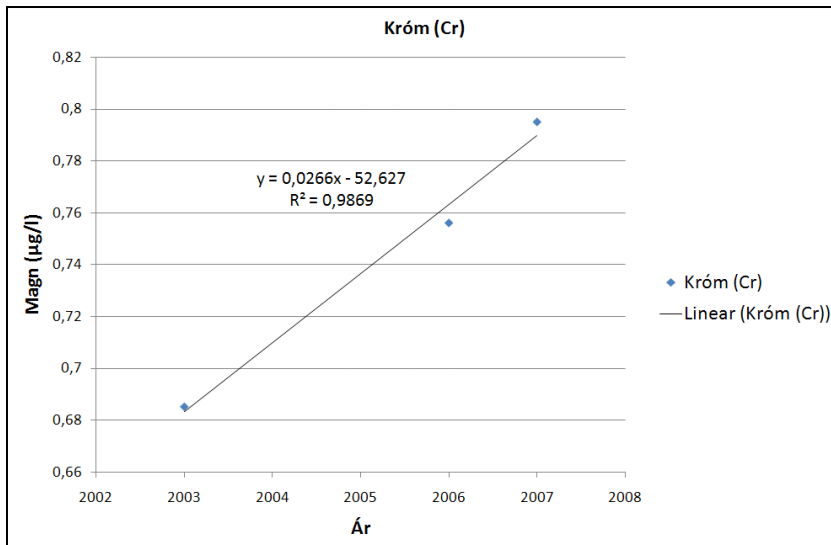
Mynd 33. Mælingar á natríum í vatni frá Gvendarbrunnahúsi.

Á mynd 34 sést magn baríum í neysluvatni á sýnatökustaðnum í Gvendarbrunnahúsi. Baríum hefur lækkað úr 0,44 í 0,148 $\mu\text{g/l}$ í vatni frá þessum sýnatökustað en vegið meðaltal allra sýnatökustaðanna var 0,11 $\mu\text{g/l}$. Baríum í neysluvatni kemur aðallega úr náttúrunni en viðmiðunargildi WHO er 700 $\mu\text{g/l}$ en það er meira 1500 sinnum hærra en hæsta gildi sem hefur verið mælt þ.e. 0,44 $\mu\text{g/l}$.



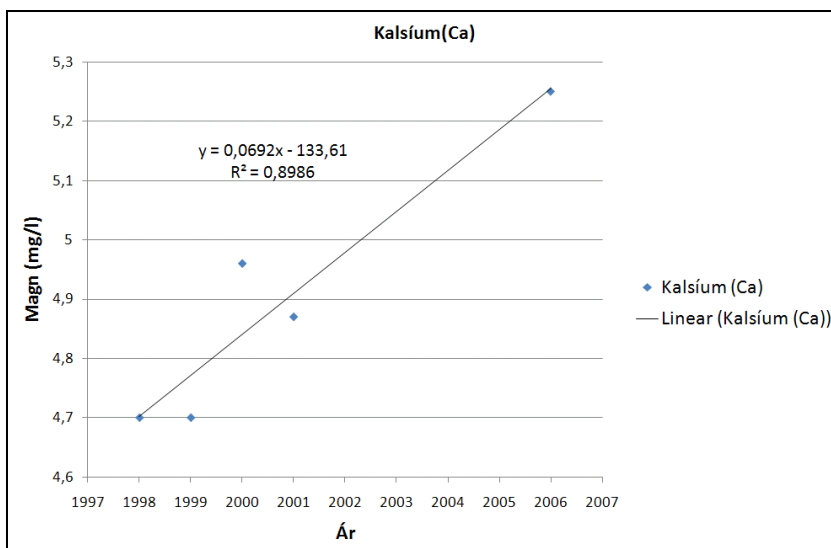
Mynd 34. Mælingar á baríum í vatni frá Gvendarbrunnahúsi.

Á mynd 35 sést magn króms í neysluvatni á sýnatökustaðnum í Gvendarbrunnahúsi. Krómið á þessum sýnatökustað hefur aukist úr 0,685 í 0,795 $\mu\text{g/l}$ en það er undir vegnu meðaltali allra sýnatökustaðanna sem var 0,87 $\mu\text{g/l}$ og munur milli lágsta og hæsta gildis er fyrir innan óvissumarka mælingarinnar.



Mynd 35. Mælingar á króm í vatni frá Gvendarbrunnahúsi.

Á mynd 36 sést magn kalsíum í neysluvatni á sýnatökustaðnum við Ánanaust. Kalsíum hefur aukist úr 4,7 upp í 5,25 µg/l. Vegið meðaltal allra sýnatökustaðanna var 4,77 µg/l og munur milli lægsta og hæsta gildis er álíka mikill og óvissumörk aðferðarinnar.



Mynd 36. Mælingar á kalsíum í vatni frá Ánanaust.

Eins og sést á myndum 26 til 36 þá er þróun efna á hverjum sýnatökustað hverfandi og þar sem hún á sér stað er hæsta gildi langt undir hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar. En þrátt fyrir það ætti Orkuveitan Reykjavíkur að fylgjast með þessari þróun og bregðast við ef einhver sjáanleg marktæk aukning á sér stað á komandi árum.

4.2 Verkhliuti 2 Áhrif dreifikerfisins á örveru- og eðlisgæði neysluvatns

4.2.1 Meðaltöl og dreifing örveru- og eðlismælinga

Í töflu 22 og 23 koma fram meðaltöl niðurstaðna úr örveru- og eðlismælingum flokkaðar eftir sýnatökustöðum úr rannsóknum á áhrifum dreifikerfisins. Einnig er sýnd dreifing mæliniðurstaðna á hverjum sýnatökustað.

Meðalheildargerlafjöldi við 22°C ræktaður á PCA agar fyrir alla sýnatökustaði er frá 0 til 5 kólóníu myndandi einingar í 1 ml sýnis. Minnsti heildargerlafjöldi er í sýnum sem eru tekin á Vatnsendakrika (T-3) en þar ræktaðist aldrei upp bakteríur í 1 ml sýnis. Hæsti meðalheildargerlafjöldinn var á Gagnvegi og Ánanaustum.

Meðalheildargerlafjöldi við 22°C ræktaður á PCA agar fyrir alla sýnatökustaði er frá 5 til 560 kólóníu myndandi einingar í 100 ml sýnis. Minnsti heildargerlafjöldi er í sýnum sem eru tekin á vatnstökusvæðinu á Vatnsendakrika (T-3) en þar mældist heildargerlafjöldinn frá tveimur til sjö kólóníu myndandi einingum í 100 ml sýnis á sjö sýnatökudögum. Hæsti heildargerlafjöldi við 22°C var í sýnum frá Gagnvegi en meðaltal sjö mælinga var 560 kólóníu myndandi einingar í 100 ml sýnis. Hámarksfjöldi á heildargerlafjölda við 22°C samkvæmt neysluvatnsreglugerð er 100 kólóníu myndandi einingar í 1 ml sýnis en það gerir 10.000 kólóníu myndandi einingar í 100 ml sýnis. Ekkert sýni fór yfir þetta hámarksgildi en hæsta mælda gildi var í T-4 en það var 1.100 kólóníu myndandi einingar í 100 ml sýnis en það er aðeins 11% af hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar.

Meðaltal heildargerlafjölda við 22°C í 100 ml sýnis ræktaður á R2A agar í 3 daga var alltaf með hærri meðaltal fyrir sýnatökustaðina en þegar sama sýni er ræktað á PCA agar eins og sést í töflu 22. Hæsta meðaltalið á heildargerlafjölda við 22°C í 100 ml sýnis ræktað í 3 daga á R2A agar var á sýnatökustaðnum við dælustöðina Austurströnd en lægsta meðaltalið var í safntankinum T-3. Þegar R2A agar var ræktaður í sjö daga í stað þriggja greindist mun meiri fjöldi eins og sést í töflunni. Hæsta meðaltalið var í safntankinum T-1 eða 12.000 kolóníu myndandi einingar í 100 ml sýnis og lægsta meðaltalið var á sýnatökustaðnum við Árbæjarstíflu. Á sýnatökustaðnum í safntankinum T-1 hækkað meðaltalið úr 90 í 12.000 kólóníu myndandi einingar við að rækta sýnin á R2A agar í 3 daga og 7 daga. Á öllu sýnatökustöðunum hækkaði þetta meðaltalið við að rækta sýnin lengur.

Í töflu 22 sést að kólígerlar og enterokokkar voru alltaf undir greiningarmörkum mæliaðferðarinnar í 250 ml sýnis.

Ger- og myglusveppir greindust á nokkrum sýnatökustöðum en greining á ger- og myglusveppum er ekki framkvæmd í reglulegu eftirliti á neysluvatni. Mikið magn myglusveppa getur bent til þess að það sé mikil örveruþekja í dreifikerfinu á viðkomandi stað (Geldreich, 1996). Í dælustöðinni við Gagnveg er mikið magn af myglusveppum í neysluvatninu og í nokkrum sýnum fer magnið yfir 100 kóloníu myndandi einingar í 100 ml sýnis en það er hámarksgildi samkvæmt sænsku neysluvatnsreglugerðinni (sænsk reglugerð um neysluvatn SLVFS 2001:30). Engin viðmiðunargildi eru fyrir ger- og myglusveppi í íslensku neysluvatnsreglugerðinni. Meðaltal sjö mælinga af sýnum frá dælustöðinni við Gagnveg var 74 kóloníu myndandi einingar í 100 ml sýnis. Sýnatökustaðurinn við Kringlumýrarbraut var með 14 kóloníu myndandi einingar og aðrir staðir með minna en 10 kóloníu myndandi einingar að meðaltali. Gersveppir greinast í mjög litlu mæli og á flestum sýnatökustöðum finnast þeir ekki í 100 ml sýnis. Þeir greinast aðeins í tveimur sýnatökustöðum þ.e. í lokahúsinu við Ánanaust og dælustöðinni við Vesturlandsveg.

Tafla 22. Niðurstöður örverumælinga á neysluvatni.

Sýnatökustaður		Heildargerlafrjöldi við 22°C í 1ml PCA	Heildargerlafrjöldi við 22°C í 1ml R2A	Heildargerlafrjöldi við 22°C í 100ml PCA	Heildargerlafrjöldi við 22°C í 100ml R2A	Heildargerlafrjöldi við 22°C í 100ml R2A (7 daga ræktun)	Myglusveppir í 100 ml	Gersveppir í 100 ml	Kólígerlar í 250 ml	Enterokokkar í 250 ml
T-1	Meðaltal	<1	<1	36	90	12000	<1	0	0	0
	Dreifing	0-1	0-3	27-45	40-200	1400-25000	0-1	0-0	0-0	0-0
T-2	Meðaltal	1	1	220	270	1700	<1	0	0	0
	Dreifing	0-4	0-4	57-640	79-570	390-4100	0-1	0-0	0-0	0-0
T-3	Meðaltal	0	<1	5	18	1900	<1	0	0	0
	Dreifing	0-0	0-1	2-7	7-50	71-11000	0-1	0-0	0-0	0-0
T-4	Meðaltal	2	3	340	410	1000	9	0	0	0
	Dreifing	0-4	0-11	65-1100	111-1200	580-1800	3-19	0-0	0-0	0-0
Árbæjarstífla	Meðaltal	1	1	62	180	310	7	0	0	0
	Dreifing	0-2	1-3	53-68	100-290	200-550	0-32	0-0	0-0	0-0
Lokahús við Laxalón	Meðaltal	3	2	280	370	900	0	0	0	0
	Dreifing	0-7	0-6	32-700	91-810	170-1800	0-0	0-0	0-0	0-0
Lokahús Ánanaustum	Meðaltal	5	7	260	650	1700	<1	<1	0	0
	Dreifing	0-19	0-30	69-720	170-1650	620-5500	0-1	0-1	0-0	0-0
Kringlumýrarbraut	Meðaltal	2	3	58	460	960	14	0	0	0
	Dreifing	0-5	0-9	42-73	160-910	390-13000	7-18	0-0	0-0	0-0
Dælustöð Eiríksgötu	Meðaltal	1	2	130	290	2500	<1	0	0	0
	Dreifing	0-2	0-5	53-290	140-510	620-7800	0-2	0-0	0-0	0-0
Lokahús Lokinhömrum	Meðaltal	1	1	54	140	2100	<1	0	0	0
	Dreifing	0-2	0-2	27-76	110-190	720-5200	0-2	0-0	0-0	0-0
Dælustöð Gagnvegi	Meðaltal	5	8	560	780	3300	75	0	0	0
	Dreifing	0-13	2-20	420-830	560-1100	1700-6700	17-110	0-0	0-0	0-0
Sundlaug Klébergsskóla	Meðaltal	1	2	92	300	2100	1	0	0	0
	Dreifing	0-2	0-3	58-110	170-680	1300-5000	0-2	0-0	0-0	0-0
Dælustöð Austurströnd	Meðaltal	1	6	230	830	1700	2	0	0	0
	Dreifing	0-1	0-10	60-630	480-1200	880-3000	0-3	0-0	0-0	0-0
Dælustöð Vesturlandsvegi	Meðaltal	1	<1	27	60	2700	1	1	0	0
	Dreifing	0-1	0-2	23-33	41-66	480-7600	0-4	0-3	0-0	0-0

Í töflu 23 koma fram meðaltöl eðlismælinga flokkað eftir sýnatökustöðum. Einnig er dreifing niðurstaðna sýnd í töflunni. Meðalneysluvatnshitastigið var frá 3,3°C til 9,8°C en neysluvatnshitastigið hækkar stöðugt því lengra sem sýnatökustaðurinn er frá uppsprettu. Það eru tvær undantekningar frá þessu en eins og kom fram í verkhluta 1 er neysluvatnshitinn hærri í dælustöðunni við Gagnvegi vegna lítils rennslisraða og upphitunar vegna nálægðar við hitaveitulögn og í sýnatökustaðnum í Klébergsskóla þar sem hitastig sjávar hitar upp neysluvatnið þegar það fer í gegnum sjólögn til Kjalarness. Þar sem neysluvatnið fer gegnum lögn sem er grafinn í jörðu fer meðalhitastigið upp í 5,0°C í Ánanaust og Austurströnd á Seltjarnanesi en þeir sýnatökustaðir eru 15,2 og 16,5 km frá uppsprettu.

Meðalsýrustigið fyrir sýnatökustaðina var frá pH 8,7 til pH 9,1. Lægsta meðalsýrustigið var í dælustöðinni við Gagnveg pH 8,7 en neysluvatnið kemur frá T-4 en á þeim sýnatökustað er meðalsýrustigið pH 9,0. Þessi lækkun á meðalsýrustiginu getur mögulega stafað af því að neysluvatnið í Gagnvegi taki í sig kolsýru frá andrúmsloftinu og við það lækkar sýrustigið (Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1998).

Meðalleiðni fyrir sýnatökustaðina var frá 78 til 88 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Meðalleiðni á neysluvatninu frá vatnstökusvæðinu á Vatnsendakrika (T-3) var nokkuð lægri en á öðrum vatnstökusvæðum (T-1, T-2) eða 78 $\mu\text{S}/\text{cm}$ á móti 83-84 $\mu\text{S}/\text{cm}$ á hinum vatnstökusvæðunum.

Meðalgrugg fyrir sýnatökustaðina er frá 0,10 til 0,33 NTU. Meðalgrugg er hæst í neysluvatni frá dælustöðinni við Gagnveg en skýring á því getur verið mikil örveruvirkni á þessum sýnatökustað en agnir geta losnað úr örveruþekjunni og aukið gruggið í neysluvatninu. Lægsta meðaltalið fyrir grugg var á sýnatökustaðnum við Ánanaust en engin sjáanleg skýring er á þessu lága gruggi.

Tafla 23. Niðurstöður eðlismælinga á neysluvatni.

Sýnatökustaður		Hítastig við sýnatöku (°C)	Sýrustig (pH)	Leiðni (µS/cm)	Grugg (NTU)
T-1	Meðaltal	3,6	9,1	84	0,24
	Dreifing	3,5-3,7	9,1-9,2	82-86	0,05-0,64
T-2	Meðaltal	3,3	9,0	83	0,16
	Dreifing	3,2-3,4	8,9-9,3	82-88	0,06-0,26
T-3	Meðaltal	3,3	9,0	78	0,20
	Dreifing	3,2-3,7	8,9-9,1	77-79	0,09-0,34
T-4	Meðaltal	3,6	9,0	79	0,14
	Dreifing	3,3-3,9	8,9-9,1	78-80	0,06-0,25
Árbæjarstífla	Meðaltal	3,8	9,0	85	0,24
	Dreifing	3,8-3,9	8,9-9,0	83-86	0,11-0,55
Lokahús við Laxalón	Meðaltal	3,8	8,9	79	0,15
	Dreifing	3,8-5,1	8,8-8,9	78-79	0,08-0,25
Lokahús Ánanaustum	Meðaltal	5,0	8,9	85	0,10
	Dreifing	4,8-5,1	8,8-9,0	83-88	0,05-0,21
Kringlumýrarbraut	Meðaltal	4,1	9,0	86	0,24
	Dreifing	4,1-4,6	8,9-9,0	85-88	0,06-0,91
Dælustöð Eiríksgötu	Meðaltal	4,6	8,9	87	0,21
	Dreifing	4,4-4,7	8,8-9,0	85-88	0,06-0,75
Lokahús Lokinhömrum	Meðaltal	4,1	8,8	87	0,21
	Dreifing	4,0-4,2	8,4-9,0	84-87	0,07-0,48
Dælustöð Gagnvegi	Meðaltal	6,7	8,7	80	0,33
	Dreifing	6,5-7,0	8,6-8,8	78-81	0,14-0,75
Sundlaug Klébergsskóla	Meðaltal	9,8	9,0	88	0,22
	Dreifing	7,6-10,0	8,9-9,1	86-89	0,07-0,79
Dælustöð Austurströnd	Meðaltal	5,0	9,0	88	0,28
	Dreifing	4,8-5,1	9,0-9,0	86-88	0,07-1,03
Dælustöð Vesturlandsvegi	Meðaltal	4,2	8,9	78	0,26
	Dreifing	4,1-4,4	8,8-9,0	76-80	0,1-0,8

4.2.2 Heildargerlafjöldi og eðlisþættir í dreifikerfinu

Á myndum 37 til 44 er sýnt með súluriti meðaltal heildargerlafjölda við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur mismunandi ætum PCA og R2A. Meðaltal eðlisþáttanna: hitastig við sýnatöku, sýrustig, leiðni og grugg eru sýnt inná súluritinu sem lína og kvarðinn er lengst til hægri. Sýnatökustöðunum í súluritinu er raðað eftir fjarlægð frá uppsprettu þannig að sýnatökustaðurinn sem er lengst til hægri er lengst frá uppsprettunni. Til að átta sig betur á þróun örveru- og eðlismælinga var gögnunum skipt í tvennt eftir því úr hvaða stofnæð neysluvatnið kom.

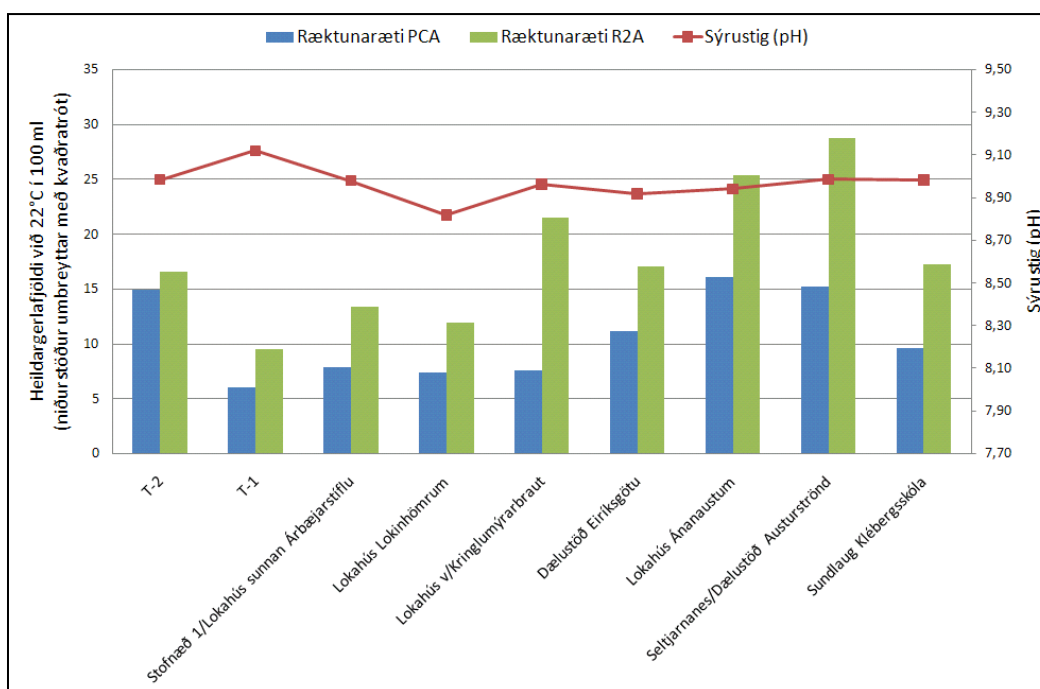
4.2.2.1 Heildargerlafjöldi og eðlisþættir í stofnæð nr. 1

Á mynd 37 sést meðaltal heildargerlafjölda við 22°C í 100 ml sýnis umbreytt með kvaðratrót á PCA og R2A ræktunarætum í súluritinu ásamt meðaltali hitastigs við sýnatöku. Hitastigið eykst með meiri fjarlægð og hátt hitastig vatnsins í Klébergsskóla stafar af upphitun í sjólögn eins og áður hefur komið fram. Í stofnæð nr. 1 blandast vatn frá safntönkunum T-1 og T-2. Samkvæmt mælingum Orkuveitu Reykjavíkur kemur að meðaltali yfir sýnatökudaganna 80% vatnsins frá T-1 og 20% frá T-2 (Tölvupóstur: Þórarinn Benedikz, 16.03.2011). Blandaða neysluvatnið fer síðan til Árbæjarstíflu. Heildargerlafjöldi við 22°C eykst með aukinni fjarlægð frá uppsprettu. Þó er heildargerlafjöldi við 22°C töluvert lægri í Klébergsskóla en á mörgum öðrum stöðum þrátt fyrir að vera í lengst frá uppsprettu eða 21,9 km frá Gvendarbrunnum. Eina skýringin á þessum niðurstöðum er að rennslis hraði til Kjalarnes er meiri en til annarra sýnatökustaða sem eru styttra frá Gvendarbrunnum. Hluti af skýringunni gæti einnig verið að lagnaefnið til Klébergsskóla er plast en rannsóknir hafa sýnt fram á að myndun örveruþekju er minni í plastlögnum en öðrum lagnarefnum (Niquette o.fl., 2001).



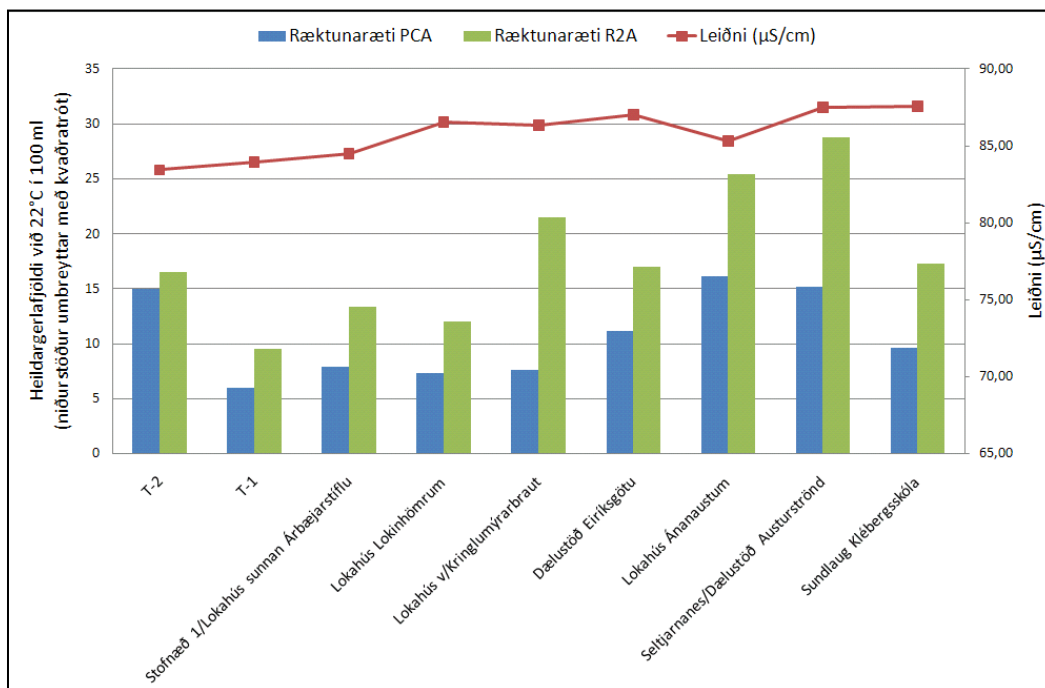
Mynd 37. Stofnæð 1. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og hitastig við sýnatöku.

Á mynd 38 er búið að setja meðalsýrustig inná myndina. Lítil munur var á meðalsýrustiginu milli sýnatökustaða. Neysluvatnið úr T-1 var með hæst meðalsýrustig pH 9,12 og í lokahúsinu við Lokinhamra var lægst meðalsýrustig eða pH 8,82. Mun lægra meðalsýrustig við Lokinhamra gæti bent til að neysluvatnið á þessum sýnatökustað sé staðnað.



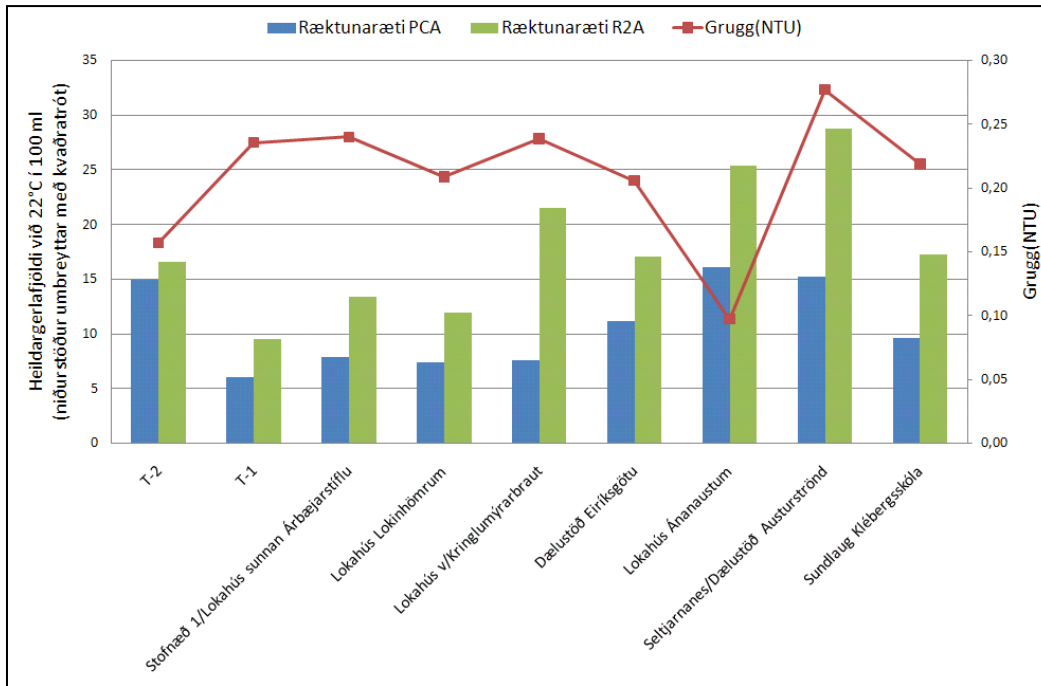
Mynd 38. Stofnæð 1. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og sýrustig.

Á mynd 39 er sýnt meðalleiðni á sýnatökustöðum frá stofnæð 1. Niðurstöðurnar sýna að meðalleiðni hækkaði á flestum sýnatökustöðunum með aukinni fjarlægð frá uppsprettu en leiðni mælir heildarmagn uppleystra jóna. Meðalleiðni í T-2 er 83,44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ og fer upp í 87,59 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í Klébergsskóla. Aukin leiðni getur stafað af tæringu í dreifikerfinu og einnig er dreifikerfið með mismunandi gamlar lagnir og lagnarefni eru ekki alltaf þau sömu. Það má gera ráð fyrir því að leiðni aukist ekki þegar neysluvatnið fer í gengum plastlagnir.



Mynd 39. Stofnæð 1. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og leiðni.

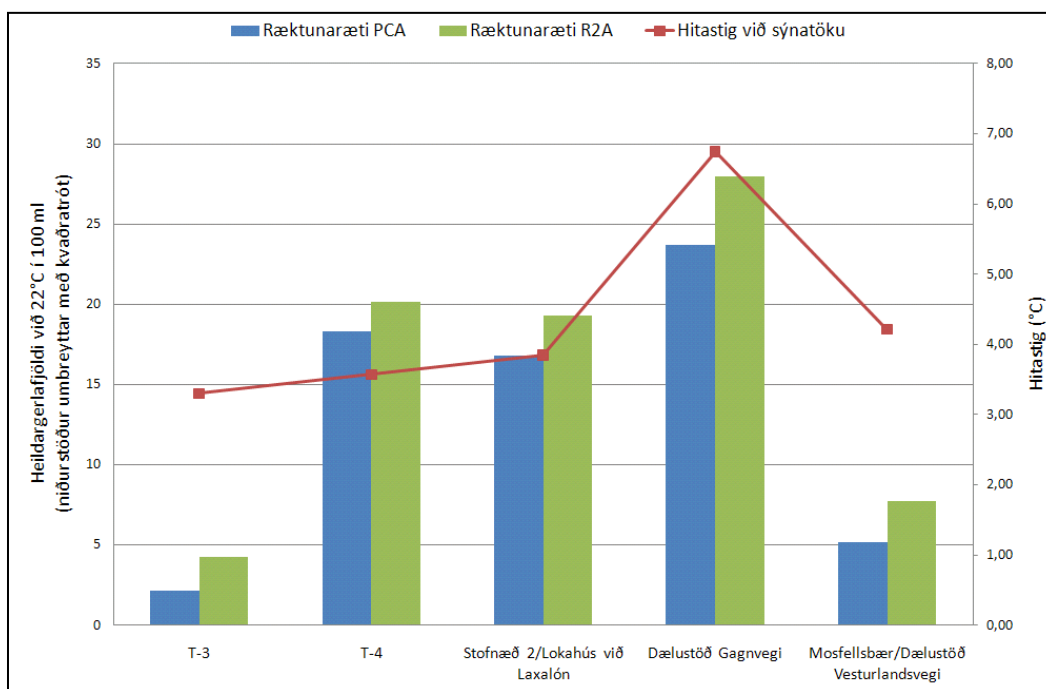
Á mynd 40 er sýnt meðalgrugg á sýnatökustöðum frá stofnæð 1. Hækkun á gruggi getur stafað af tæringu á lögnum, jarðvegsmengun og vegna lífræna agna frá örveruþekjum. Meðalgrugg er lægst í lokahúsinu við Ánanaust eða 0,10 NTU en þessi sýnatökustaður hefur einnig lægri meðalleiðni eins og sést á mynd 40.



Mynd 40. Stofnæð 1. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og grugg.

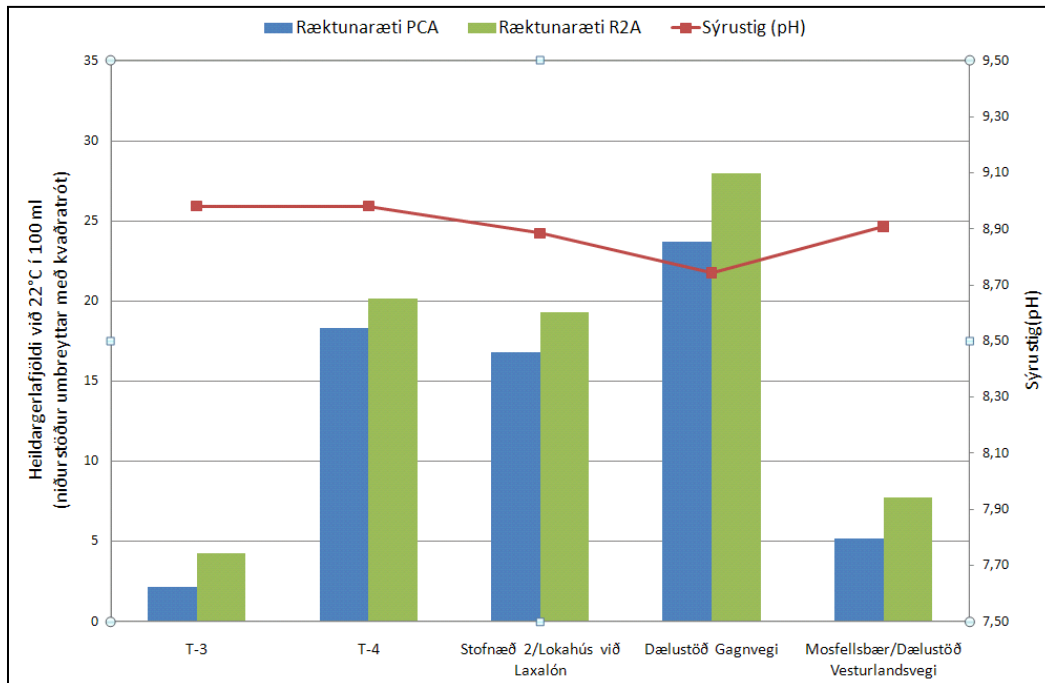
4.2.2.2 Heildargerlafjöldi og eðlisþættir í stofnæð nr. 2

Á mynd 41 sést meðaltal heildargerlafjölda við 22°C í 100 ml sýnis umbreytt með kvaðratrót á PCA og R2A ræktunarætum ásamt meðalhitastigi á sýnatökustöðum. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml var mjög lítill í T-3 en jókst töluvert eftir dælingu og geymslu í safngeymi T-4 á Reynisvatnsheiði. Safngeymirinn T-4 getur innihaldið 11 milljónir lítra og miðað við notkun í dag er meðalgeymslutími neysluvatnsins um sólarhringur sem skýrir hækkun á heildargerlafjölda (Tölvupóstur: Sigurbjörn Búi Sigurðsson, 24.11.2010). Heildargerlafjöldinn í dæluhúsinu við Vesturlandsveg var nokkuð lágur miðað við aðra staði. Þarna er rennslishraðinn meiri þar sem neysluvatnið fer úr 800 mm seigsteypujárnslögn í 350 mm plastlögn. Meiri rennslishraði og breyting á lagnaefni getur útskýrt þennan mun á heildargerlafjölda á þessum sýnatökustað í samanburði við þá sem koma á undan. Með meiri rennslishraða og sléttara yfirborði plastlagna á örveruþekjan erfiðara með að myndast innan á lögnunum. Hinir sýnatökustaðirnir eru allir með seigsteypujárnsagnir.



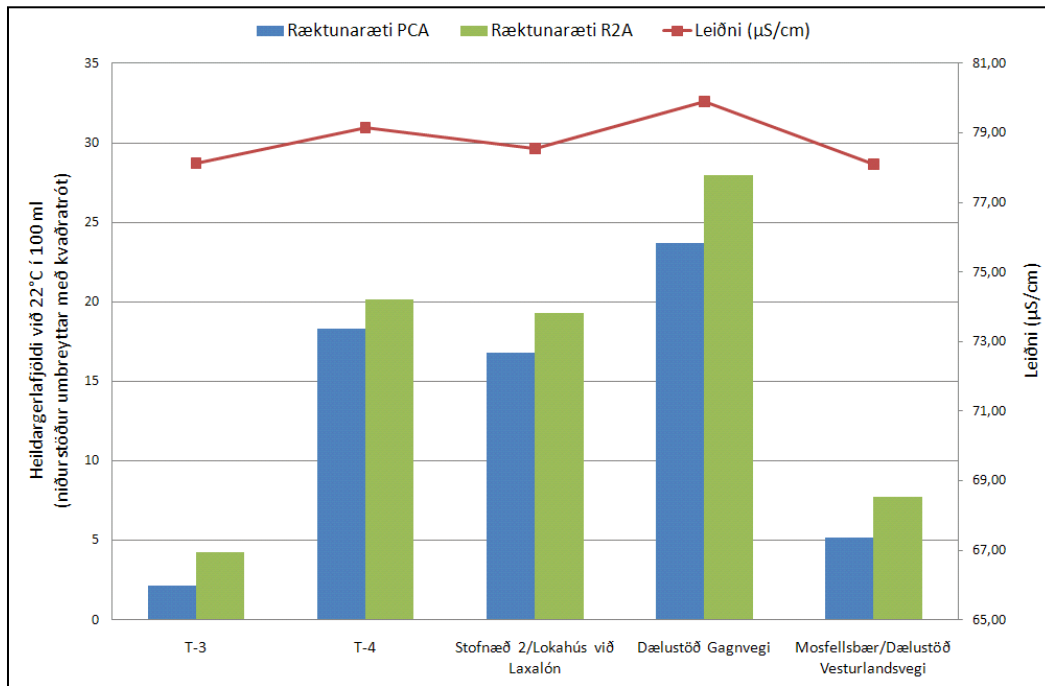
Mynd 41. Stofnæð 2. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og hitastig við sýnatöku.

Á mynd 42 er sýnt meðalsýrustig á sýnatökustöðum frá stofnæð 2. Sýrustigið virðist lækka aðeins þegar vatnið nær að staðna í lögnunum eins og sjá má í dælustöðinni við Gagnveg.



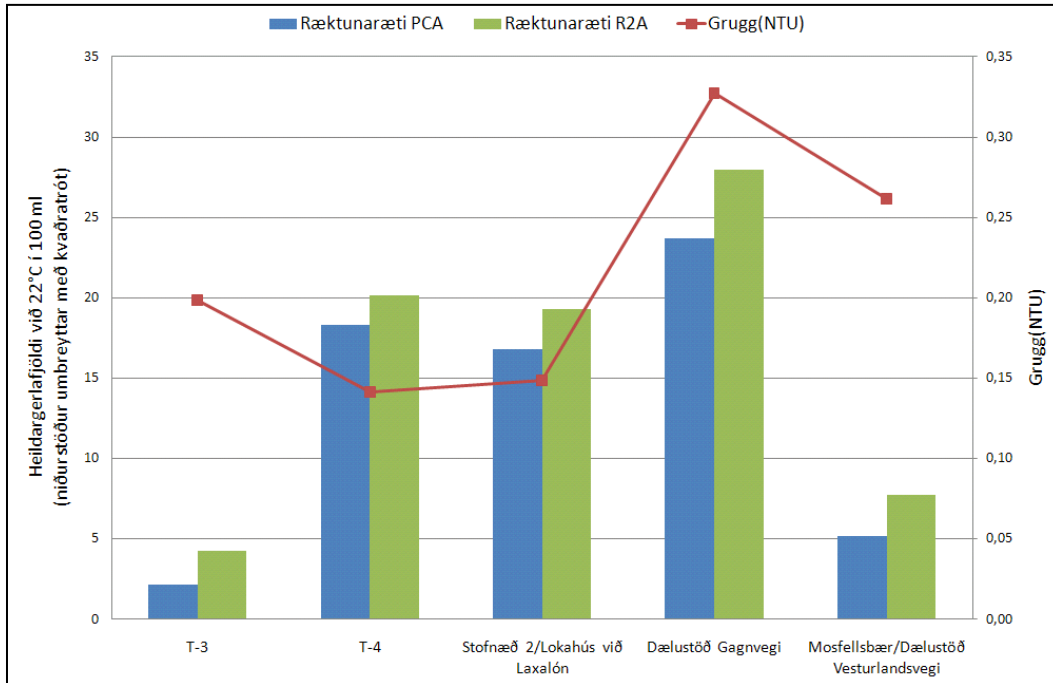
Mynd 42. Stofnæð 2. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og sýrustig.

Á mynd 43 er sýnt meðalleiðni á sýnatökustöðum frá stofnæð 2. Meðalleiðni var hæst í dælustöðinni við Gagnveg en það fer saman við hátt hitastig á þeim stað og lágt sýrustig. Eins og í stofnæð 1 hækkar meðalleiðni með aukinni fjarlægð frá uppsprettu, en dælustöðin við Vesturlandsveg er undantekning frá þeirri reglu. Hugsanleg skýring á því getur verið að neysluvatnið kemur í dælustöðina í gegnum plastlagn.



Mynd 43. Stofnæð 2. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og leiðni.

Á mynd 44 er sýnt meðalgrugg á sýnatökustöðum frá stofnæð 2. Meðalgrugg var hæst í dælustöðinni við Gagnveg og er líklegt að skýring á því sé að á þessum sýnatökustað var hærri heildargerlafjöldi við 22°C en á öðrum sýnatökustöðum.



Mynd 44. Stofnæð 2. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á tveimur ætum og grugg.

4.2.3 Tölfræðileg fylgni milli eðlisþátta og heildargerlafjölda við 22°C

Í töflu 24 er sýnd fylgni milli heildargerlafjölda við 22°C og nokkurra eðlisbreytna á niðurstöðum fengum frá stofnæð 1. Heildargerlafjöldi við 22°C var tekinn á tveimur ræktunarætum með mismunandi aðferðum PCA áhellingaraðferð og síunaraðferð ræktað í 3 daga og R2A áhellingaraðferð og síunaraðferð ræktað í 3 daga og 7 daga.

Tafla 24. Fylgni milli heildargerlafjölda við 22°C og eðlismælinga í stofnæð 1.

	Heildargerlafjöldi við 22°C					
	<i>PCA</i>	<i>R2A</i>	<i>R2A</i>	<i>PCA</i>	<i>R2A</i>	<i>R2A</i>
	<i>3 daga</i>	<i>3 daga</i>	<i>7 daga</i>	<i>3 daga</i>	<i>3 daga</i>	<i>7 daga</i>
	<i>1 ml</i>			<i>100 ml</i>		
Hitastig við sýnatöku (°C)	0,14	0,12	0,33	0,23	0,25	0,28
Sýrustig (pH)	-0,14	-0,02	-0,16	-0,08	-0,03	-0,11
Leiðni (µS/cm)	0,32	0,41	0,62	0,61	0,72	0,30
Grugg (NTU)	-0,06	-0,08	-0,13	-0,04	0,06	-0,09
Fjarlægð (km)	0,28	0,34	0,60	0,44	0,57	0,35

Eðlisbreyturnar eru hitastig við sýnatöku, sýrustig, leiðni, grugg og fjarlægð frá uppsprettu. Jákvæð fylgni er milli heildargerlafjölda og hitastigs við sýnatöku en samt ekki mikil eins og sést í töflunni. Í öllum tilvikum er neikvæð fylgni milli heildargerlafjölda og sýrustigs en hún er mjög lítil. Sterkasta fylgnin er á milli heildargerlafjölda og leiðni en hún er jákvæð þannig að við hærri heildargerlafjölda hækkar leiðnin. Fylgni milli heildargerlafjölda og gruggs er nánast engin en fyrirfram mætti búast við að það yrðu jákvæð fylgni. Fylgni milli heildargerlafjölda og fjarlægðar frá uppsprettu er jákvæð en hún er mest á R2A ætinu sem er ræktað í 7 daga með áhellingaraðferð og R2A ræktað í 3 daga með síunaraðferð.

Tafla 25 er samskonar og tafla 24 fyrir utan að gögnin eru úr sýnatökustöðum frá stofnæð 2. Jákvæð fylgni er milli heildargerlafjölda og hitastigs við sýnatöku. Eins og í stofnæð 1 er neikvæð fylgni milli heildargerlafjölda og sýrustigs en fylgnin er sterkari í stofnæð 2. Neikvæð fylgni merkir að með hærri heildargerlafjölda því lægra verður sýrustigið og öfugt.

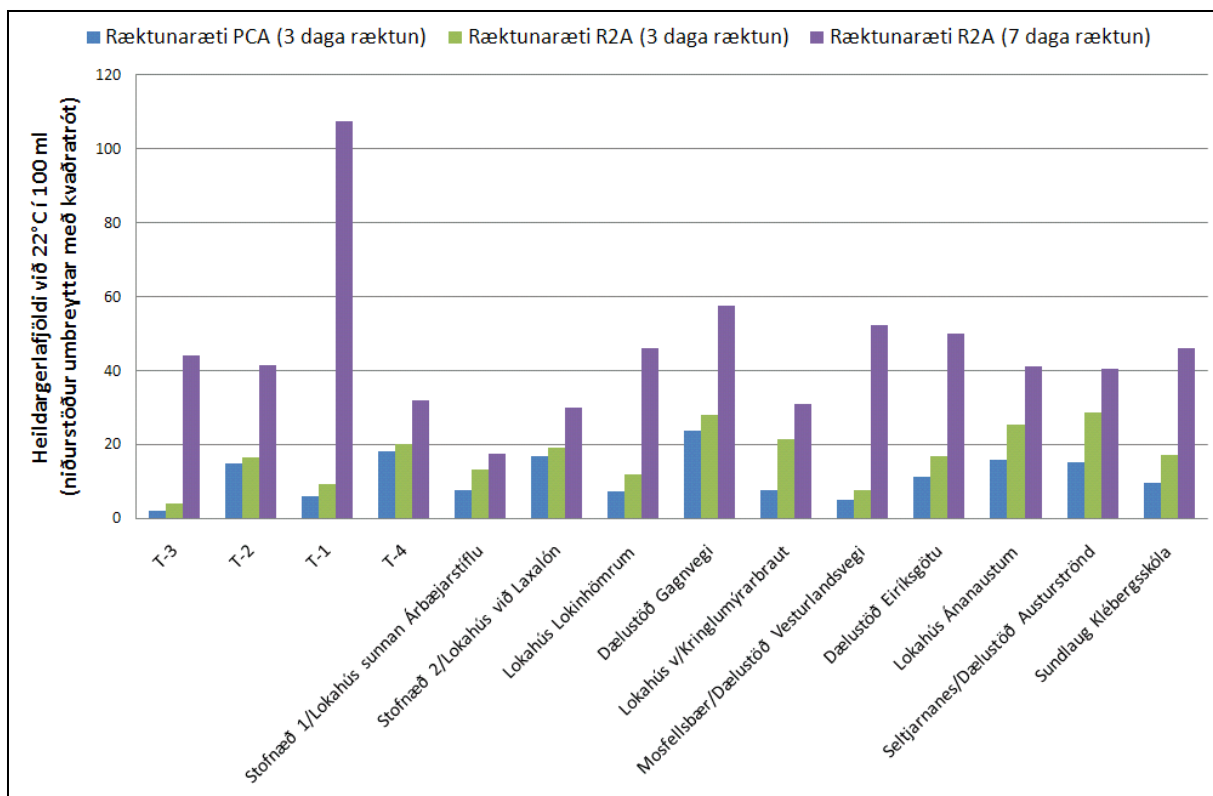
Tafla 25. Fylgni milli heildargerlafjölda við 22°C og eðlismælinga í stofnæð 2.

	Heildargerlafjöldi við 22°C					
	PCA	R2A	R2A	PCA	R2A	R2A
	3 daga	3 daga	7 daga	3 daga	3 daga	7 daga
	1 ml			100 ml		
Hitastig við sýnatöku (°C)	0,48	0,57	0,51	0,53	0,56	0,19
Sýrustig (pH)	-0,44	-0,45	-0,50	-0,53	-0,51	0,21
Leiðni (µS/cm)	-0,29	-0,06	-0,44	-0,22	-0,19	0,65
Grugg (NTU)	0,07	0,25	-0,18	0,00	-0,07	0,34
Fjarlægð (km)	0,26	0,15	0,42	0,13	0,13	-0,25

Fylgni milli heildargerlafjölda og leiðni er í flestum tilvikum neikvæð nema þegar heildargerlafjöldi er ræktaður á R2A með síunaraðferð í 7 daga en þá er fylgnin 0,65. Fylgni heildargerlafjölda og gruggs er lítil en þó eru hún meiri á R2A en PCA. Það er jákvæð fylgni milli heildargerlafjölda og fjarlægðar frá uppsprettu nema þegar heildargerlafjöldi er rannsakaður með R2A æti með síunaraðferð og ræktað í 7 dag en þá er neikvæð fylgni en hún mjög lítil.

4.2.4 Samanburður á ætum, aðferðum og ræktunartíma

Á mynd 45 sést hversu mikill munur er á heildargerlafjölda við 22°C í 100 ml þegar R2A ætið er ræktað í 3 daga og síðan í 7 daga. Eins og kom fram í inngangi er R2A næringarsnautt æti sem er líkara aðstæðum í neysluvatn en PCA ætið sem er næringarríkt. Greinilegt er að það er mikill fjöldi örvera sem nær ekki að vaxa upp á þremur dögum en verða sjáanlegar eftir 7 daga ræktun. Þessar örverur eru hægvaxta. Mesta aukning var í safntankinum T-1 en hann er úr Gvendarbrunnum þar sem borholurnar eru grunnar eða 10 til 23 m djúpar. Þar eiga jarðvegsgerlar greiðari aðgang í holurnar en koma samt ekki fram fyrir en eftir langa ræktun á næringarsnauðu æti eins og R2A.



Mynd 45. Heildargerlafjöldi við 22°C í 100 ml umbreytt með kvaðratrót á PCA ræktað í 3 daga og R2A ræktað við 3 daga og 7 daga.

Í töflu 26 sést meðaltal heildargerlafjölda við 22°C í 1 ml á tveimur tegundum æta og með tveimur mismunandi aðferðum. Heildargerlafjöldi við 22°C er ræktaður í 3 daga með PCA agar og með R2A agar fyrst í 3 daga og áfram í 7 daga fyrir aflestur niðurstaðna. Notast var við parað t-próf til að athuga hvort það væri marktækur munur milli meðaltala áhellingaraðferðar og síunaraðferðar fyrir hvert ræktunaræti og ræktunartíma.

Tafla 26. Samanburður á ræktunarætum og ræktunartíma.

Tegund ætis	Aðferð	Ræktunartími	Örveru myndandi einingar í 1 ml Meðaltal allra mælinga
PCA	áhellingaraðferð	3 dagar	1,68
	síunaraðferð	3 dagar	1,68
R2A	áhellingaraðferð	3 dagar	2,69
	síunaraðferð	3 dagar	3,46
R2A	áhellingaraðferð	7 dagar	14,78
	síunaraðferð	7 dagar	22,39

Fyrir ræktunarætið PCA er meðaltalið það sama (p -gildi= 0,3143) og því ekki marktækur munur. Hinsvegar er áhellingaraðferð með marktækt ($p < 0,05$) lægra meðaltal en

súnaraðferðin fyrir ætið R2A bæði eftir 3 daga og 7 daga. Þá er R2A ætið með áhellingaraðferð ræktað í 3 daga með 60% hærra meðaltal en PCA ætið ræktað í 3 daga. R2A ætið með súnaraðferð ræktað í 3 daga með rúmlega 100% hærra meðaltal en sambærilegar ræktanir með PCA ætinu. R2A ætið sem ræktað var í 7 daga með áhellingaraðferð var með rúmlega 8,5 sinnum hærra meðaltal en sambærileg aðferð ræktað á PCA í 3 daga. R2A ætið með súnaraðferð ræktað í 7 daga var með rúmlega 13 sinnum hærra meðaltal en sambærilegar ræktanir með PCA æti í 3 daga.

Þegar ræktunartími er aukinn úr þremur dögum í sjö daga á R2A ætinu þá eykst heildargerlafjöldinn rúmlega fimmfalt fyrir áhellingaraðferð og sexfalt fyrir súnaraðferð.

Tafla 27. Paraður samanburður milli aðferð og æta.

	PCA síun	R2A áhelling	R2A síun	R2A áhelling	R2A síun
Æti/aðferð	3 daga	3 daga	3 daga	7 daga	7 daga
PCA áhelling 3 daga	EM	M	M	M	M
PCA síun 3 daga		M	M	M	M
R2A áhelling 3 daga			M	M	M
R2A síun 3 daga				M	M
R2A áhelling 7 daga					M

M= marktækur munur ($p \leq 0,05$), EM = Ekki marktækur munur

Eins og sést á töflu 27 er marktækur munur milli aðferða, ræktunaræta og ræktunartíma. Undantekning á því er munur milli áhellingaraðferðar og súnaraðferðar á ræktunarætinu PCA sem var ræktað í 3 daga.

4.3 Verkluti 3 Fjölbreytileiki örvera í vatnsveitum

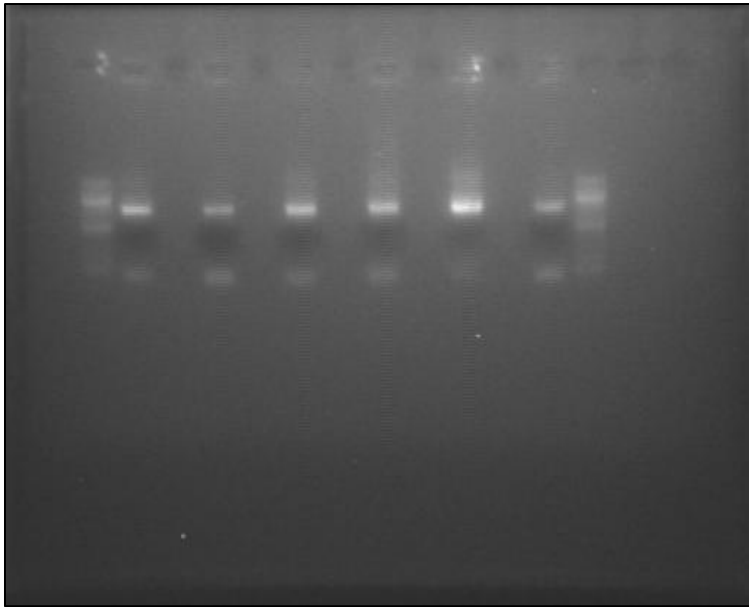
Í verkluta 3 voru tekin sex sýni úr dreifikerfinu en sýnatökustaðir og niðurstöður örveru- og eðlismælinga eru sýndar í töflu 28. Sýnin voru tekin 18. og 19. ágúst 2010 en sýnatökustaðir voru valdir vegna ólíkra aðstæðna hvers sýnatökustaðar. Tekin voru sýni úr dælustöðinni við Gagnveg vegna hækkunar á neysluvatnshitastigi og sýndu niðurstöður hærri heildargerlafjöldi við 22°C og meiri fjölda myglusveppa en á öðrum sýnatökustöðum. Sýnatökustaðurinn við Kringlumýrarbraut var valinn þar sem þó nokkuð var af myglusveppum í sýnunum. Tekið var sýni í Laxalóni þar sem örverufjöldinn var lítill. Ákveðið var að taka sýni í Klébergsskóla þar sem sá sýnatökustaðurinn var með hæsta neysluvatnshitastig þar sem neysluvatnið fer í gegnum sjólögn. Síðan voru tekin tvö sýni úr

safntönkunum T-1 og T-3 en í T-1 er neysluvatn sem kemur frá Jaðarsvæði og úr T-3 kemur neysluvatn frá borholum úr Vatnsendakrika en þar var heildargerlafjöldi lægstur samkvæmt rannsókn í verkhluta tvö.

Tafla 28. Örveru- og eðlismælingar á sýnatökudegi.

Sýnatökustaðir	Heildargerlafjöldi við 22°C PCA í 100 ml	Heildargerlafjöldi við 22°C R2A í 100 ml	Kólígerlar í 250 ml	Enterokokkar í 250 ml	Mýglusveppir í 100 ml	Gersveppir í 100 ml	Hítastig við Sýnatöku (°C)	Sýrustig (pH)	Leiðni (µS/cm)	Grugg (NTU)
Safntankur T-1 (T1)	51	77	0	0	0	0	4,2	9,11	81,8	<0,10
Safntankur T-3 (T3)	5	15	0	0	0	0	4,1	8,93	77,0	0,11
Dælustöð Gagnvegi (GA)	500	1100	0	0	44	0	8,1	8,82	77,8	0,18
Lokahús við Kringlumýrarbraut (KR)	380	450	0	0	17	0	5,3	8,92	84,6	0,13
Klébergsskóli (KL)	290	470	0	0	5	0	13,2	8,94	88,2	0,10
Lokahús við Laxalón (LA)	86	250	0	0	0	0	4,9	8,72	75,9	0,12

Sýnin voru síuð og erfðaeefni úr örverum voru einangruð. Skimað var eftir 16S rRNA (raunbakteríur og fornbakteríur). Það náðist að magna 16S rRNA úr raunbakteríum úr öllum sýnunum en engin mögnum tókst á 16S rRNA úr fornbakteríum. Á mynd 46 sést rafdráttur af erfðaeefni sem var einangrað úr sýnunum sex ásamt DNA staðli.



Mynd 46. Rafdráttur á sýnum úr dreifikerfinu.

4.3.1 Greining á 16S rRNA raunbaktería

Í töflu 29 kemur fram flokkun á þeim klónum sem greind voru með 16S rRNA greiningu. Í töflunni eru klónin flokkuð eftir fylkingum baktería. Alls voru raðgreind 249 bakteríuklón sem voru frá 198 til 657 basapör að lengd. Í sýnunum sex flokkuðust flest klónin eða 65% undir fylkinguna *Proteobacteria* (162 klón). Innan fylkingarinnar *Proteobacteria* flokkaðist mest undir *Beta-Proteobacteria* þ.e. 35 % (88 klón) og síðan koma í röð *Gamma-*, *Alpha-*, *Delta-* og *Epsilon-Proteobacteria* með 17% (42 klón), 8% (21 klón), 3% (7 klón) og 2% (4 klón). Í sýnunum komu einnig fram fylkingarnar: *Bacteroidetes* 4% (11 klón), *Actinobacteria* 3% (7 klón), *Chloroflexi* 2% (4 klón), *Firmicutes* 2% (4 klón), *Fibrobacteres* 0,5% (1 klón), *Planctomycetes* 1% (3 klón), *Verrucomicrobia* 0,5% (1 klón), Candidate divison TM7 2% (5 klón), Candidate divison OP3 1% (3 klón). Það voru 48 klón eða 19% sem ekki tókst að setja í ákveðna bakteríufylkingu og möguleiki á að um sé að ræða nýjar bakteríufylkingar. Alls voru það 27 klón sem voru í tveimur sýnum eða fleirum og 136 klón fundust aðeins í einu sýni.

Eins og sést í töflu 29 er Simpson fjölbreytileikastuðull hæstur í uppsprettu eða í safntönkum T-1 og T-3. Stuðulinn er lægstur í Klébergsskóla og síðan Gagnvegi en svo virðist sem fjölbreytileiki aukist frá uppsprettu.

Tafla 29. Prósentuhlutfall klóna flokkað í fylkingar baktería.

	T-1	T-3	Gagnvegur	Kringlumýrarbraut	Klébergsskóli	Laxalón
	(n = 38)	(n = 33)	(n = 50)	(n = 38)	(n = 48)	(n = 42)
<i>Beta-Proteobacteria</i>	73,7	63,6	34,0	5,3	14,6	31,0
<i>Gamma-Proteobacteria</i>	- ^a	3,0	14,0	10,5	45,8	19,0
<i>Epsilon-Proteobacteria</i>	10,5	-	-	-	-	-
<i>Delta-Proteobacteria</i>	-	-	4	13,2	-	-
<i>Alpha-Proteobacteria</i>	5,3	3,0	10,0	2,6	12,5	14,3
<i>Actinobacteria</i>	-	6,1	2,0	5,3	2,1	2,4
<i>Bacteroidetes</i>	-	6,1	4,0	5,3	2,1	9,5
<i>Chloroflexi</i>	-	3,0	2,0	-	-	4,8
<i>Firmicutes</i>	-	3,0	4,0	-	2,1	-
<i>Fibrobacteres</i>	-	-	2,0	-	-	-
<i>Planctomycetes</i>	-	-	2,0	2,6	2,1	-
<i>Verrucomicrobia</i>	-	-	-	2,6	-	-
Candidate divison TM7	-	-	10,0	-	-	-
Candidate divison OP3	-	-	-	7,9	-	-
Óflokkaðar	10,5	12,1	12,0	44,7	18,8	19,0
Simpson fjölbreytileiki	0,14	0,13	0,013	0,0043	0,049	0,020

^a, ekkert fannst

Í myndum 47 til 51 er ættartré fyrir raðgreind klón í sýnunum sex. Klónin eru merkt með upphafstöfum hvers sýnatökustaðar eins og kemur fram í töflu 28. Ef fleiri en eitt klón er eins þá er fjöldi þeirra sýndur í sviga fyrir aftan merkinguna eins og T1-15(11) merkir að klónin er úr safntanki T-1, númer 15 og það voru 11 klón eins í sýninu. Í ættartrénu eru einnig þær raðir sem eru líkastar klónunum sem voru í sýninu. Fyrst kemur heiti þeirra og fyrir aftan í sviga er tilvísunarnúmer og þannig er hægt að rekja viðkomandi röð í NCBI gagnagrunninn (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). Bakteríutegundin *Thermotoga maritima* (AJ401017) var notuð til að róta ættartrén. Við hlið ættartrjáanna er kvarði sem sýnir hversu skyldleikinn er mikil á milli klóna og þekktra viðmiðunarraða. Kvarðinn er ýmist 0,02 eða 0,05 sem merkir að lengd kvarðans jafngildir að skyldleikinn sé 2% og 5% frá viðkomandi röð.

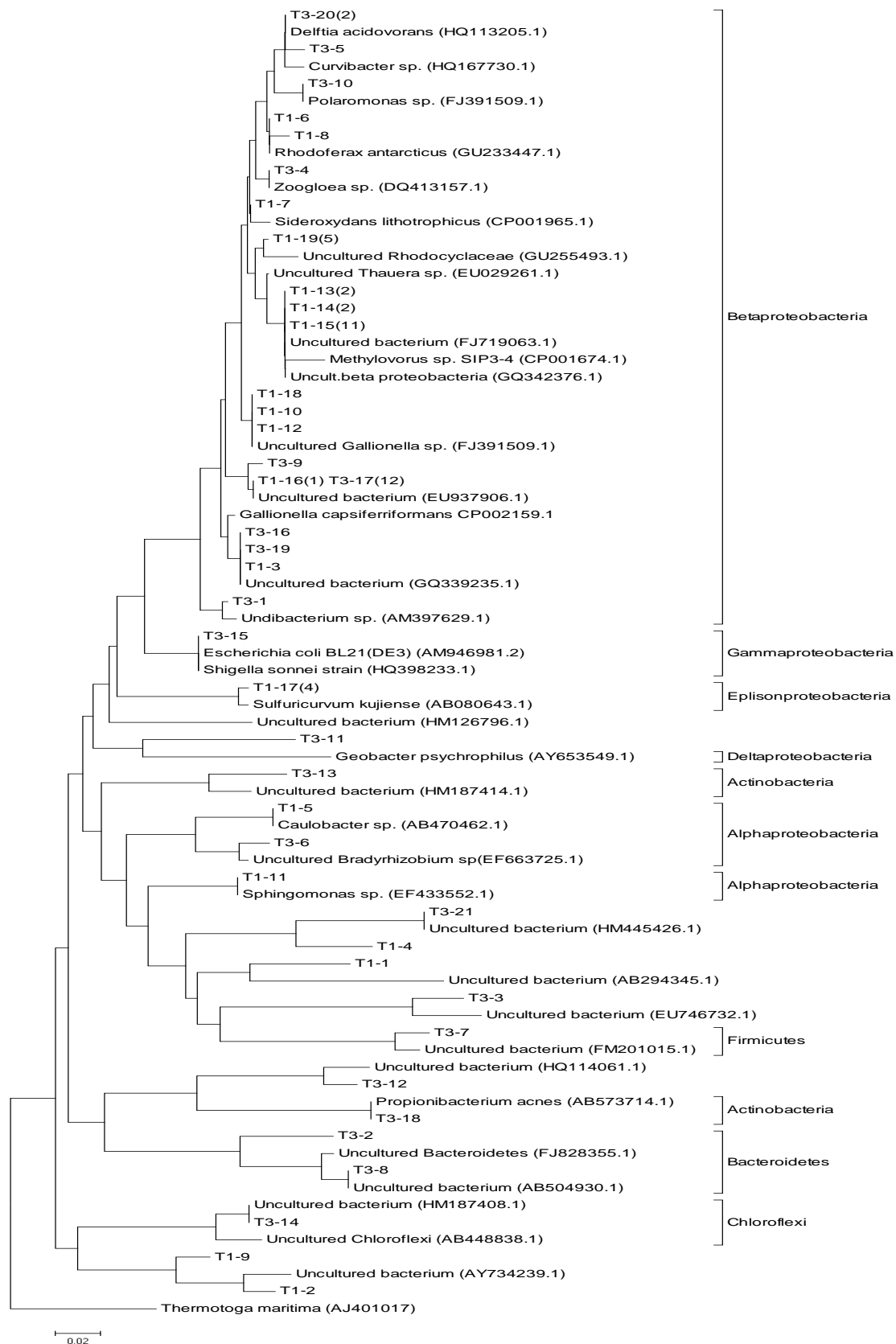
Í mynd 47 er ættartré fyrir klón úr safntönkunum T-1 og T-3. Flest klónin eru *Beta-Proteobacteria* eins og sést á myndinni og einnig í töflu 29. Flest klónin sem eru *Beta-Proteobacteria* eru undir ættunum *Comamonadaceae*, *Rhodocyclaceae* og *Gallionellaceae*. Þau klón sem fundust í sýnunum eru öll skyld tegundum sem hafa fundist í jarðvegi og/eða í vatni. Undir ættinni *Gallionellaceae* eru ættkvíslarnar *Sideroxydans* og *Gallionella* en báðar þessar ættkvíslir eru örloftháðar, oxa járn og geta valdið útfellingu þannig að neysluvatnið verður litað rauðum lit (Li o.fl., 2010). Fyrir nokkur klónin var aðeins hægt að finna fjarskylda röð þ.e. frá 90% til 97% lík þekktum röðum. Oft var um að ræða raðir sem hafa verið uppgötvaðar með raðgreiningu en þessar tegundir hefur ekki tekist að rækta upp á hefðbundnum ætum og það er ekki búið að gefa þeim heiti eða lýsa tegundinni.

Í mynd 48 eru sýnd þau klón sem greindust úr sýni frá Gagnvegi. Flest klónin eru *Beta-Proteobacteria* og eins og á öllu sýnatökustöðunum er að finna járn-oxandi bakteríur í neysluvatninu. Eins og fyrr eru klónin skyld bakteríum sem hafa fundist áður í jarðvegi og vatni.

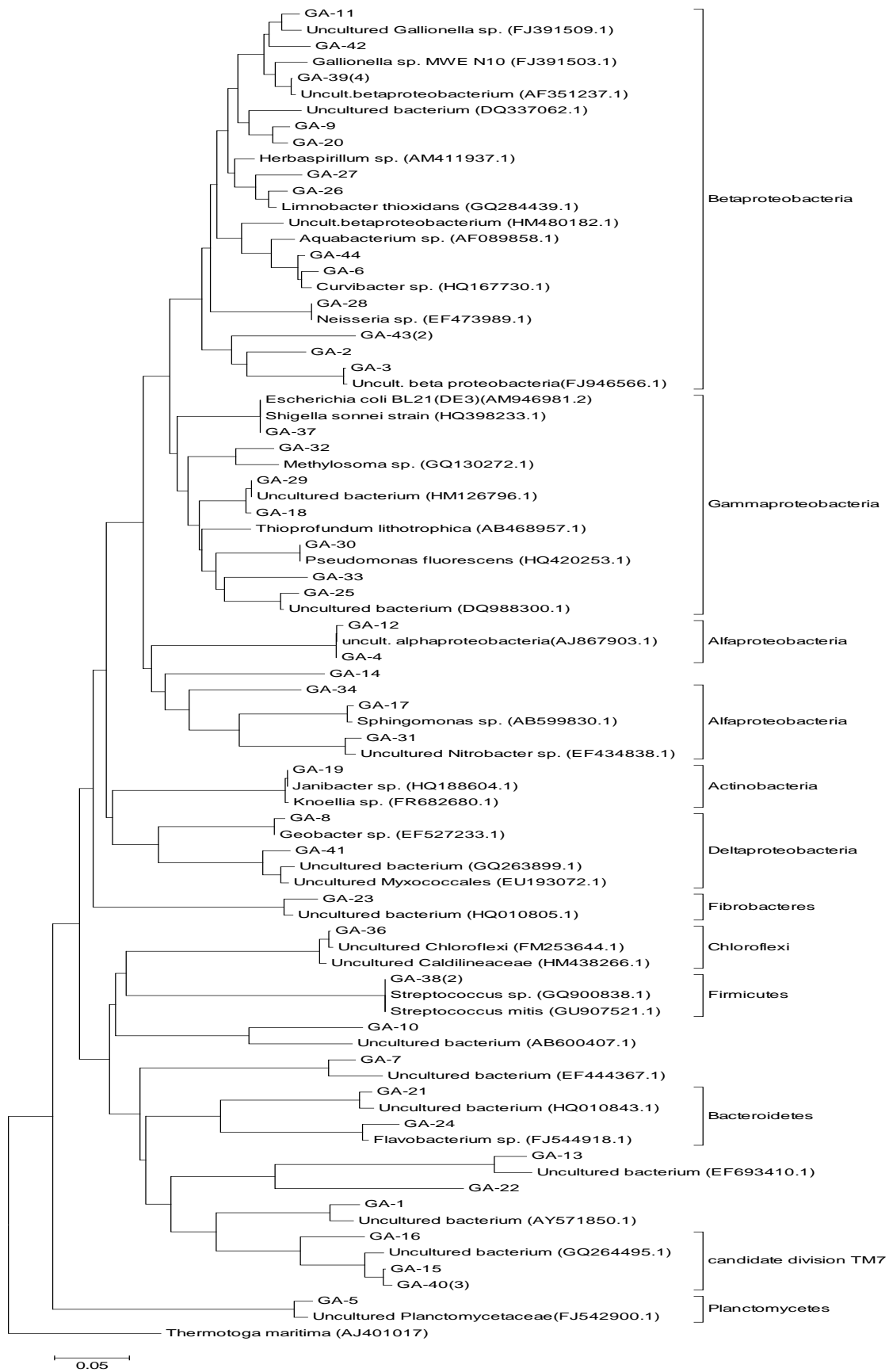
Flest klónin frá Kringlumýrarbraut á mynd 49 var ekki hægt að flokka undir ákveðna fylkingu. Það er vegna þess að þarna er um að ræða óræktanlegar bakteríur þ.e. bakteríur sem ekki hefur tekist að rækta upp en þær hafa verið greindar með sameindalíffræðilegum aðferðum og settar í gagnagrunni NBCI. Þær bakteríur sem klónin eru skyld hafa allar fundist áður í jarðvegi eða vatni.

Í mynd 50 eru sýnd þau klón sem greindust úr sýni frá Klébergsskóla. Flest klónin eru *Gamma-Proteobacteria* sem er frábrugðið frá öðrum sýnatökustöðum en það gæti verið vegna þess að á þessum sýnatökustað er hitastig neysluvatnsins mun hærra en á öðrum sýnatökustöðum eða 13,2°C. Klónið KL-3 er skyld röð sem er úr ættkvíslinni *Legionella* en ein tegund undir þeirri ættkvísl *Legionella pneumophila* getur valdið hermannaveiki sem er lífhættulegur lungnasjúkdómur. Til þess að bakterían geti valdið hermannaveiki þarf hún að ná að fjölga sér en það gerir hún við hátt hitastig eða yfir 20°C. Til þess að einstaklingur sýkist þarf hann að anda henni að sér þannig hún fari ofan í lungun. Helstu smitleiðir eru úr sturtum, loftræstikerfum eða öllum stöðum sem mynda úða. *Legionella* finnst oft í neysluvatni og veldur ekki sjúkdómum við neyslu vatns (Kuiper, 2006).

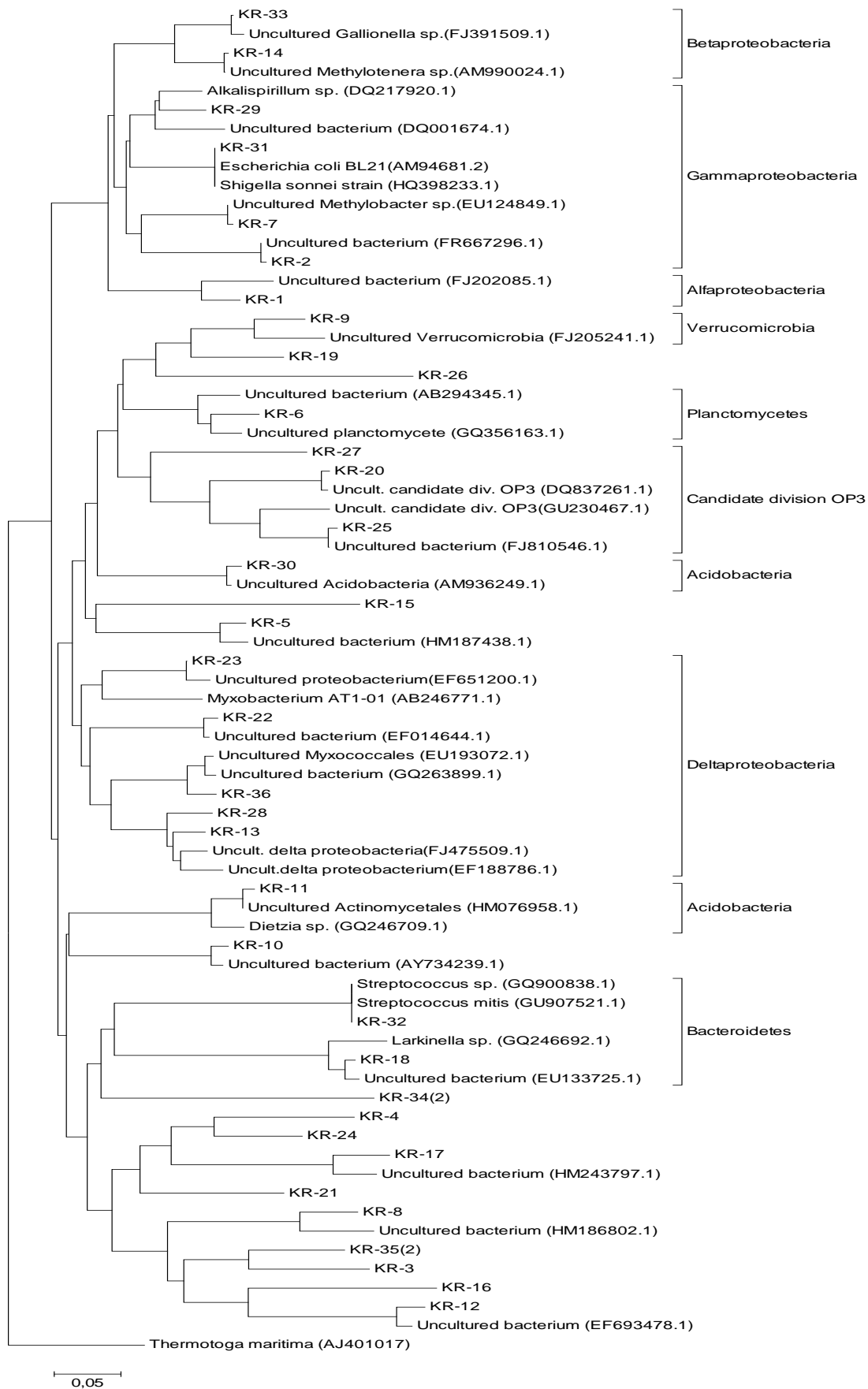
Í mynd 51 eru sýnd þau klón sem greindust úr sýni frá Laxalóni. Flest klónin eru *Beta-Proteobacteria*. Klónið LA-10 er skylt bakteríuættkvíslinni *Porphyromonas* en ein tegund undir þeirri ættkvísl er þekkt fyrir að valda tannskemmdum í fólki en þessi ættkvísl finnst í jarðvegi.



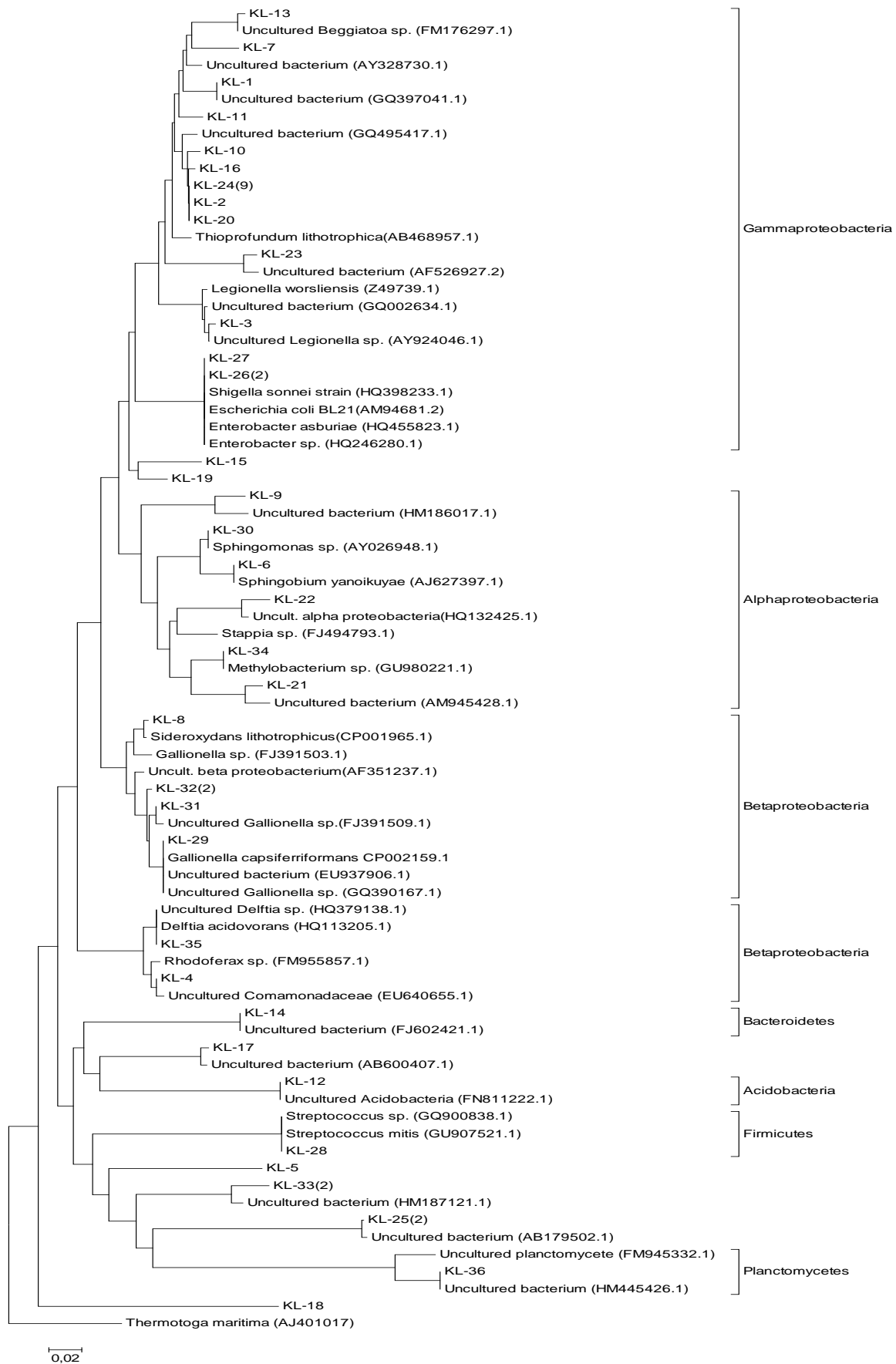
Mynd 47. Ættartré af klónum úr sýnum frá T-1 og T-3.



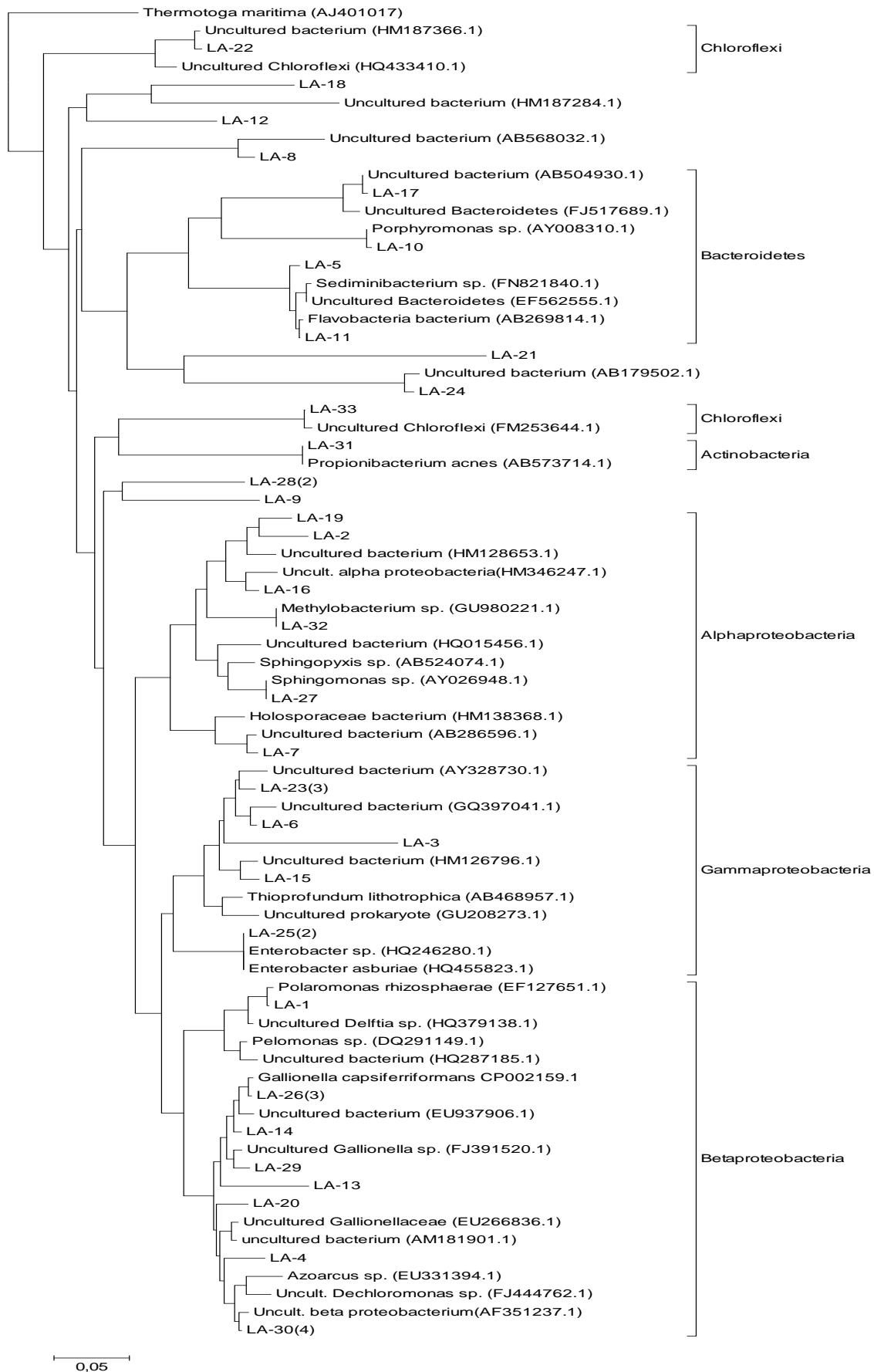
Mynd 48. Ættartré af klónum úr sýni frá Gagnvegi.



Mynd 49. Ættartré af klónum úr sýni frá Kringlumýrarbraut.



Mynd 50. Ættartré af klónum úr sýni frá Klébergsskóla.



Mynd 51. Ættartré af klónum úr sýni frá Laxalóni.

Tafla 30. Ættkvíslir/ættir sem hafa meira en 98% skyldleika við klón og fjöldi þeirra.

Ættkvísl/Ætt	Fjöldi klóna
Candidate division OP3	1
<i>Caulobacter sp.</i>	1
<i>Delftia sp.</i>	4
<i>Enterobacter sp.</i>	4
<i>Enterobacteriaceae</i>	4
<i>Gallionella sp.</i>	10
<i>Geobacter sp.</i>	1
<i>Janibacter sp.</i>	1
<i>Legionella sp.</i>	1
<i>Methylobacter sp.</i>	1
<i>Methylobacterium sp.</i>	2
<i>Methylothermobacter sp.</i>	1
<i>Neisseria sp.</i>	1
<i>Nitrobacter sp.</i>	1
<i>Polaromonas sp.</i>	3
<i>Porphyromonas sp.</i>	1
<i>Propionibacterium sp.</i>	2
<i>Pseudomonas sp.</i>	1
<i>Rhodospirillum rubrum</i>	2
<i>Sediminibacterium sp.</i>	1
<i>Sphingomonas sp.</i>	4
<i>Streptococcus sp.</i>	4
Óræktanlegar bakteríur	69
Samtals klón	120

Í töflu 30 sést fjöldi klóna sem eru með meira en 98% skyldleika við viðkomandi ættkvísl/ætt. Þau klón sem eru með meira en 98% skyldleika við þekktar raðir eru 120 af 249 klónum sem voru greind. Flest klónin sem voru með meira en 98% skyldleika eru raðir sem eru úr umhverfissýnum sem ekki hefur tekist að rækta upp og tegundargreina. Það eru 69 klón en þess ber að geta að 31 af þessum klónum voru náskyld *Gallionella* ættkvíslinni eða með skyldleika upp á 95-97% og 11 klón voru með 97% skyldleika við ættkvíslina *Rhodocyclus*. Næst flest klónin eru af ættkvíslinni *Gallionella* sem greindist tíu sinnum. Þar á eftir koma ættkvíslarnar *Delftia*, *Enterobacter*, *Sphingomonas*, *Streptococcus* og klón undir ættinni *Enterobacteriaceae* en þeir fundust fjórum sinnum hver. Aðrar ættkvíslir fundust sjaldnar.

Klónin T3-15, GA-37, KR-31 og KL-27 voru með 100% skyldleika við tegundirnar *Escherichia coli* og *Shigella sonnei* en þær eru báðar undir ættinni *Enterobacteriaceae* og eru náskyldar. Ekki var hægt að greina á milli bakteríanna en *Shigella sonnei* og tegundaafbrigði af *Escherichia coli* eru sýklar. Þessar tvær tegundir lifa ekki lengi í neysluvatni en það eru til dæmi þess að þær geta lifað í frumdýrum og þráðormum. Þráðormar og frumdýr virðast búa yfir ákveðnum ensímum sem vinna á bakteríuveggnum og melta bakteríurnar. Svo virðist vera að þessi ensím virki ekki á nokkrar tegundir baktería vegna tegundar á bakteríuvegg sem þær hafa og þar á meðal eru kólígerlar (*E.coli*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter agglomerous*, *Enterobacter cloacae*, *Klebsiella pneumonia* og *Klebsiella oxytoca*) sýklarnir (*Salmonella typhimurium*, *Yersinia enterocolitica*, *Shigella sonnei*, *Campylobacter jejuni*) og tækifærissýklar (*Legionella gormanii*) (Geldreich, 1996).

Í sýnum frá Klébergsskóla (KL-26) og Laxalóni (LA-25) greindust fjögur samskonar klón, það eru tvö klón í hverju sýni. Þessi klón voru með 99% skyldleika við *Enterobacter sp.*(HQ246280.1) og *Enterobacter asburiae*(HQ455823.1) en *Enterobacter* er hluti af

saurkólígerlum en eins og hefur komið fram þá getur *Enterobacter* verið upprunnin frá umhverfinu. Einnig er þekkt að *Enterobacter* geti fjölgað sér í örveruþekju inná lögnum dreifikerfisins (Lee o.fl.,2003).

Það voru fjögur klón sem voru með 100% skyldleika við *Streptococcus sp.* og *Streptococcus mitis* en tveir þeirra fundust í sýni frá Gagnvegi (GA-38), einn í sýni frá Kringlumýrarbraut (KR-32) og einn í sýni frá Klébergsskóla (KL-28). *Streptococcus* ættkvíslin finnst í jarðvegi, húð og slímhúð manna og dýra. *Streptococcus mitis* eru hluti af eðlilegri bakteríuflóru í munni, húð og þörmum og er með litla sýkingarhæfni og meinvirkni en getur valdið hjartapelsbólgu. *Streptococcus* tegundir finnast oft í neysluvatni (Allen o.fl., 2004).

Caulobacter er ættkvísl sem er þekkt fyrir að vera í ferskvatns örveruþekjum (Loy o.fl., 2005) en eitt klón úr safntankinum T-1 (T1-5) var með 99% skyldleika við *Caulobacter sp.* (AB470462.1) sem var einangraður úr fersku vatni.

Í töflu 31 sést prósentuhlutfall þeirra klóna sem hafa meira en 98% skyldleika við þekktar ættkvíslir. Í dálknum „óræktaðar bakteríur“ eru prósentuhlutfall þeirra klóna sem hefur ekki tekist að rækta upp á ræktunarætum eða hefur ekki verið lýst áður. Í dálknum „ættkvísl ekki greind“ eru prósentuhlutfall þeirra klóna sem voru með undir 98% skyldleika við þekktar bakteríuraðir í gagnagrunninum.

Tafla 31. Prósentuhlutfall ætt/ættkvísl eftir sýnatökustöðum.

Fylking og ætt/ættkvísl	T-1	T-3	Gagnvegur	Kringlumýrarbraut	Klébergsskóli	Laxalón
	(n= 38)	(n= 33)	(n= 50)	(n= 38)	(n= 48)	(n= 42)
Alphaproteobacteria						
<i>Caulobacter sp.</i>	2,6	- ^a	-	-	-	-
<i>Methylobacterium sp.</i>	-	-	-	-	2,1	2,4
<i>Nitrobacter sp.</i>	-	-	2,0	-	-	-
<i>Sphingomonas sp.</i>	-	-	2,0	-	4,2	2,4
Betaproteobacteria						
<i>Delftia sp.</i>	-	6,1	2,0	-	2,1	-
<i>Gallionella sp.</i>	7,9	3,0	-	2,6	2,1	9,5
<i>Methylotenera sp.</i>	-	-	-	2,6	-	-
<i>Neisseria sp.</i>	-	-	2,0	-	-	-
<i>Polaromonas sp.</i>	-	6,1	-	-	-	2,4
<i>Rhodoferax sp.</i>	2,6	-	-	-	2,1	-
Deltaproteobacteria						
<i>Geobacter sp.</i>	-	-	2,0	-	-	-
Gammaproteobacteria						
<i>Enterobacter sp.</i>	-	-	-	-	4,2	4,8
<i>Enterobacteriaceae</i>	-	3,0	2,0	2,6	2,1	-
<i>Legionella sp.</i>	-	-	-	-	2,1	-
<i>Methylobacter sp.</i>	-	-	-	2,6	-	-
<i>Pseudomonas sp.</i>	-	-	2,0	-	-	-
Actinobacteria						
<i>Janibacter sp.</i>	-	-	2,0	-	-	-
<i>Propionibacterium sp.</i>	-	3,0	-	-	-	2,4
Bacteroidetes						
<i>Porphyromonas sp.</i>	-	-	-	-	-	2,4
<i>Sediminibacterium sp.</i>	-	-	-	-	-	2,4
Firmicutes						
<i>Streptococcus sp.</i>	-	-	4,0	2,6	2,1	-
Candidate division OP3	-	-	-	2,6	-	-
Óræktaðar bakteríur	57,9	51,5	24,0	7,9	16,7	16,7
Ættkvísl ekki greind	28,9	27,3	56,0	76,3	60,4	54,8

^a, ekkert fannst

5 Umræður

5.1 Verkluti 1

5.1.1 Hitastig og aldur neysluvatns

Hitastig í neysluvatni skiptir miklu máli í myndun örveruþekja. Í norskri rannsókn sem var framkvæmd af Lund og Ormerod (1995) kom í ljós að myndun örveruþekju stöðvaðist þegar hitastig neysluvatnsins fór niður fyrir 5°C í neysluvatni sem var ósonerað og klórað. Í ómeðhöndluðu neysluvatni hægði mjög á myndun örveruþekju þegar hitastigið var komið niður fyrir 5°C en stöðvaðist ekki alveg. Þegar hitastig neysluvatnsins var komið í 5°C stöðvuðu þeir rennslið í þrjár vikur og við það hækkaði hitastigið í lögnum í 8-10°C og myndaðist þá örveruþekjan mjög hratt.

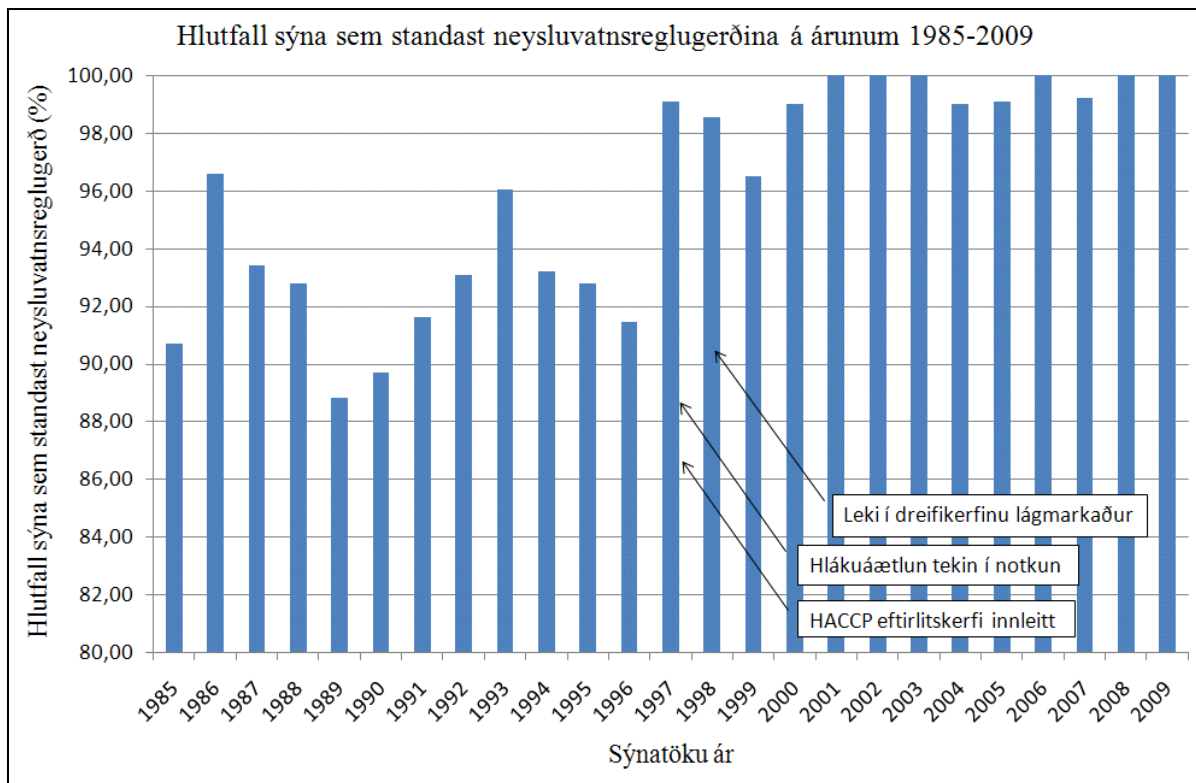
Hitastig neysluvatnsins á Heiðmerkursvæðinu er mjög kalt en samkvæmt mælingum í verkluta tvö í þessari rannsókn er það á bilinu 3,2 til 3,7°C í júní og júlí 2010. Eins og kemur fram í niðurstöðunum hefur lofthiti og fjarlægð frá uppsprettu áhrif á hitastig neysluvatnsins. Þegar neysluvatnið er komið til Seltjarnanes þá er meðalhitastig þess kominn í 5°C og sveiflast hitastigið eftir árstíðum.

Eins og sést í niðurstöðukaflanum þá hækkar hitastig neysluvatnsins eftir því hversu langt neysluvatnið er flutt, með öðrum orðum þá hefur neysluvatnið meiri tíma til að hitna. Aldur neysluvatnsins er skilgreindur sem sá tími sem það tekur neysluvatnið að fara frá uppsprettu að sýntökustað. Ekki eru til gögn hjá Orkuveitu Reykjavíkur um hversu gamalt neysluvatnið er á hverjum stað. Til eru ýmsar aðferðir til að reikna út aldur neysluvatnsins í dreifikerfum en ein þessara aðferða er að nota íblöndunarefni eins og flúor og reikna út þann tíma sem það tekur fyrir efnið að berast á ákveðna staði í dreifikerfinu (Zhang, W., DiGiano, F.A, 2002). Hjá Orkuveitu Reykjavíkur er verið að vinna við gerð á rennslislíkani og með því verður hægt að uppgötva þá staði í dreifikerfinu sem eru með staðnað neysluvatn og endurhanna dreifikerfið þannig að líkur á myndun örveruþekju minnki (Munnleg heimild: Sigurbjörn Búi Sigurðsson, 03.12.2010). Til að staðfesta niðurstöður rennslislíkansins væri hægt að mæla hitastig neysluvatnsins á viðkomandi stöðum þar sem grunur er um að neysluvatnið sé staðnað en því eldra sem neysluvatnið verður því hærra verður hitastig neysluvatnsins.

Gott dæmi um stað þar sem þarf að grípa til aðgerða til að bæta gæði neysluvatnsins er dælustöðin við Gagnveg þar sem hitastigið var frá 6,5 til 7,0°C í verkhluta tvö í þessari rannsókn og heildargerlafjöldi við 22°C og fjöldi myglusveppa var hærri en á öðrum stöðum í dreifikerfinu. Þetta bendir til þess að neysluvatnið sé staðnað á þessu svæði en það ýtir undir meiri örverufjölgun. Hitastig neysluvatnsins á Kjalarnesi fylgir hitastigi sjávar en þrátt fyrir hátt hitastig á neysluvatninu er heildargerlafjöldi við 22°C tiltölulega lágur miðað við aðra sýnatökustaði. Það sem getur hugsanlega skýrt þetta er meiri rennslisraði vatnsins á Kjalarnesi og að lagnarefnið er úr plasti.

5.1.2 Mat á sýnum samkvæmt neysluvatnsreglugerð

Af 1390 sýnum sem voru tekin í reglubundnu eftirliti á árunum 1997 til 2009 voru aðeins 10 sýni sem stóðust ekki neysluvatnsreglugerðina fyrir allt tímabilið sem er 0,7% af heildarfjölda sýna. Til samanburðar þá uppfylltu ekki 7,5% sýni eldri neysluvatnsreglugerðina fyrir árin 1985-1997 en þetta kemur fram í skýrslu Vatnsveitu Reykjavíkur frá árinu 1997 (Loftur Reimar Gissurarson & Haraldur Arnar Haraldsson, 1997). Í þeirri skýrslu kemur einnig fram að í janúar til mars og síðan október er líklegast að neysluvatnið uppfylli ekki neysluvatnsreglugerðina. Vegna þeirra niðurstaðna var tekin upp fyrirnefnd hlákuáætlun en þá er hætt að dæla úr grynri borholum í Gvendarbrunnahúsinu. Þau sýni sem stóðust ekki neysluvatnsreglugerðina í þessari rannsókn greindust aðallega á tímabilinu nóvember til mars sem er svipað tímabil og var á árunum 1985 til 1997. Því virðist sem áhrif hláku gæti ennþá þrátt fyrir hlákuvarnir OR en áhrifin eru mun minni. Við frekari greiningu gagna úr ófullnægjandi sýnum kemur fram að níu sýni stóðust ekki neysluvatnsreglugerðina vegna þess að heildargerlafjöldi við 22°C fór yfir leyfilegt hámarksgildi (100/ml) og að eitt sýni stóðst ekki neysluvatnsreglugerðina vegna kólígerla og *E.coli* en það sýni var tekið í janúar. Til samanburðar greindust kólígerlar í 24 sýnum árin 1985 til 1997. Með þessu má sjá að gæði neysluvatnsins hafa aukist umtalsvert yfir tímabilið sem var til rannsóknar ef borið er saman við fyrra tímabil.



Mynd 52. Hlutfall sýna sem standast neysluvatnsreglugerðina á árunum 1985-2009.

Á mynd 52 er sýnt hlutfall sýna sem stóðust neysluvatnsreglugerð sem var í gildi á hverjum tíma á árunum 1985 til 2009 (Loftur Reimar Gissurarson & Haraldur Arnar Haraldsson, 1997). Á þessari mynd sést greinilega sá árangur sem hefur náðst með þeim aðgerðum sem gripið var til á undanförunum árum eins og hlákuáætlun, innleiðingu á HACCP eftirlitskerfi og lekaleit. Þó ber að geta þess að á þessu tímabili hefur val á sýnatökustöðum breyst þannig að fleiri sýni eru nú tekin úr sýnatökustöðum í aðaldreifikerfi OR. Áður fyrr voru sýni einnig tekin úr enda dreifikerfisins á sýnatökustöðum í eigu einkaaðila en þetta hefur áhrif á niðurstöður mælinga. Það er líklegra að þau sýni sem eru tekin í stofnæðum dreifikerfisins uppfylli neysluvatnsreglugerðina þar sem vatnið er yngra en vatn í endum dreifikerfisins. Heildargerlafjöldi eykst eftir því sem neysluvatnið eldist.

Meðaltal allra mælinga fyrir heildargerlafjölda við 22°C á árunum 1997 til 2009 var 6,2 kólóníu myndandi einingar í ml. Fyrir tímabilið 1985-1997 var heildargerlafjöldi við 22°C 33,9 kólóníu myndandi einingar úr sýnum teknum í vatnsveitunni en eins og sést hefur meðalheildargerlafjöldinn lækkað þó nokkuð frá fyrra tímabili (Loftur Reimar Gissurarson & Haraldur Arnar Haraldsson, 1997). Samanburður við aðrar rannsóknir er erfiður vegna þess að rannsóknnaðilar nota mismunandi æti og ræktunarhitastig í sínum rannsóknum. Sem dæmi þá

var heildargerlafjöldi við 35°C ræktað á R2A 13,8 kólóníu myndandi einingar í 1 ml sýnis í rannsókn á neysluvatni í Quebec Kananda (Francisque ofl., 2009).

Sýrustig neysluvatnsins var frá pH 6,7 til 9,5 en sá tími sem líður frá sýnatöku til mælingar skiptir miklu máli þar sem sýrustigið lækkar með tímanum og það gæti skýrt mikinn mun á hæsta og lágsta mælda gildi.

Eins og kom fram í niðurstöðunum var dreifing mælinga fyrir grugg frá greiningarmörkum mæliaðferðarinnar til 1,5 NTU og meðaltal allra mælinga var 0,15 NTU. Samkvæmt nógildandi neysluvatnsreglugerð skal neysluvatnið vera fullnægjandi fyrir neytendur og það skal ekki verða nein óeðlileg breyting á gruggi. Stefnt skal að því að mælingin fari ekki yfir 1,0 NTU (Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001). Eins og kemur fram í niðurstöðunum voru aðeins fimm sýni sem voru yfir 1,0 NTU.

5.1.3 Tölfræði úrvinnsla á gagnagrunni

Í verkhluta eitt voru gögn frá 1997 til 2009 skoðuð og athugað hvort það væri hægt að finna einhverja marktæka breytingar sem hafi orðið á örveru-, efna- og eðlisfræðilegum eiginleikum neysluvatnsins á þessu tímabili og bera saman við fyrri tímabil. Notast var við gögn úr reglubundnu eftirlit en tekin eru að jafnaði tvö neysluvatnssýni á viku allt árið um kring. Útbúinn var gagnagrunnur með niðurstöðum úr örveru- og eðlismælingum, skilgreind lengd sýnatökustaðar frá upptökum og bætt við veðurfarsgögnum. Til að kanna áhrif veðurfars og annarra þátta á neysluvatnið var notast við heildargerlafjölda við 22°C í 1 ml sýnis sem útkomubreytu og aðrir þættir eins og veðurfar og eðlismælingar voru notaðar sem stýribreytur.

Margar tölfræðiaðferðir krefjast þess að gögn séu normaldreifð og eru til margar aðferðir til að umbreyta gögnum þannig að normaldreifing fáiast, til dæmis með því að taka logaritma af gögnunum. Þar sem gæði neysluvatnsins frá Heiðmörk eru mjög góð er mikið af niðurstöðum úr gagnagrunninum undir greiningarmörkum og mikið um lágar tölur. Þetta leiðir til þess að gögnin verða mjög hægri skekkt og ekki er hægt að umbreyta þeim þannig að þau verði normaldreifð. Þetta er þekkt vandamál þegar verið er að skoða líffræðigögn en í yfirlitsgrein eftir Kevin L. Delucchi og Alan Bostrom (2004) er gert grein fyrir því hvernig hægt er að leysa úr þessum vandamálum.

Gerð var tilraun til að gera módel með aðferðum sem krefjast ekki normaldreifingar en ekkert samband fannst milli útkomubreytu og stýribreytna. Ákveðið var að teikna upp „boxplot“ af gögnum til að sjá hvort það væri eitthvað samband milli útkomubreytu og

stýribreytna. Þar kemur fram að það er lítil fylgni á milli útkomubreytu og stýribreytna. Tilgangur hlákuáætlunar Orkuveitu Reykjavíkur var að minnka líkur á því að veðurfar hefði áhrif á örverugæði neysluvatnsins og benda þessi gögn til þess að það hafi tekist. Þetta sést best á fjölda sýna á hverju ári sem hafa staðist neysluvatnsreglugerðina en þær niðurstöður eru sýndar myndrænt í mynd 52 þar sem árangur hlákuáætlunar sést mjög vel.

Í erlendum rannsóknum hefur verið notast við heildargerlafjölda sem útkomubreytu og athugaðir hvaða aðrir þættir hafa áhrif á hana (Francisque ofl., 2009; Carter ofl., 2000). Einnig hafa rannsakendur notast við kólígerla sem útkomubreytu eins og LeChevallier o.fl. (1996) sem rannsökuðu 31 vatnsveitu yfir tveggja vikna tímabil í Kanada og Bandaríkjunum og komust að því að tíðni kólígerla jókst marktækt þegar hitastig neysluvatns fór yfir 15°C og tíðni kólígerla jókst við meiri úrkomu. Ekki var hægt að nota kólígerla sem útkomubreytu í þessari rannsókn þar sem aðeins 1 sýni af 1390 sýnum í gagnagrunnunum innihélt kólígerla. Eins og kom fram í innganginum þá hafa margir þættir áhrif á gæði neysluvatns í dreifikerfinu. Ekki eru allir þessir þættir mældir í reglubundnu eftirliti eins og næringarefni í neysluvatninu á hverjum tíma. Ekki var tekið tillit til gerðar, gæða og aldurs lagna í dreifikerfinu en lagnaefnið er mjög mismunandi eftir sýnatökustöðum. Einnig hefur gerð lagnaefna breyst á rannsóknartímabilinu vegna endurbóta á dreifikerfinu og því er erfitt að nota þessar breytur þar sem sumstaðar hafa verið notaðar tvær gerðir af lagnaefni. Margir rannsakendur hafa notast við tilbúin neysluvatnskerfi við sínar rannsóknir til að koma í veg fyrir óskýrð áhrif raunverulegs dreifikerfis (Fass o.fl., 1996; Lee o.fl., 2003; Lehtola o.fl., 2004; Niquette o.fl., 2001).

5.1.4 Greining á heildarúttektarsýnum

Niðurstöður efnamælinga úr heildarúttektarsýnum hafa alltaf verið langt undir þeim leyfilegu hámarksgildum sem koma fram í neysluvatnsreglugerðinni.

Hæstu mældu gildi fyrir þau efni sem eru óæskileg í neysluvatni en eru ekki heilsuspillandi hafa aldrei farið yfir 21% af hámarksgildum neysluvatnsreglugerðarinnar. Fyrir þungmálma sem eru taldir hættulegir heilsu manna hefur hæsta mælda gildi aldrei farið yfir 2,3% af hámarksgildum neysluvatnsreglugerðarinnar og mælingar fyrir efni sem eru hættuleg heilsu manna hafa aldrei farið yfir greiningarmörk mæliaðferðarinnar. Samkvæmt úttekt Evrópusambandsins fyrir árin 2005 til 2007 hafa eftirfarandi efni farið yfir leyfileg hámarksgildi neysluvatnsreglugerðar sem nemur meira en 1% af þeim sýnum sem eru tekin í viðkomandi landi. Þessi efni eru: skordýraeitur, blý, nítrat, nikkell, arsenik, THM, flúoríð og

kopar. Aðeins eitt land í Evrópusambandinu var með 99% sýna undir hámarksgildum neysluvatnsreglugerðarinnar fyrir allar mælingar en það var Holland (KWR watercycle research institute, 2010).

Eins og sést í niðurstöðunum er sjáanleg þróun á nokkrum efnum á einstaka sýnatökustöðum. En þrátt fyrir ákveðna þróun í aukningu á styrkleika sumra þessara efna eru hæstu gildi langt undir leyfilegum hámarksgildum fyrir viðkomandi efni. Á sýnatökustaðnum á Jaðarsvæði hefur magn blýs hækkað síðustu ár en ekki fannst skýring á þessari hækkun. Þrátt fyrir þessa hækkun er hæsta mælda gildi á þessum sýnatökustað 100 sinnum minna en hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar. Mikilvægt er að fylgjast skipulega með framtíðarþróun þessara efnaþátta í vatninu til að hægt sé að bregðast við ef óeðlileg aukning kemur fram. Margir þættir geta haft áhrif á niðurstöður á heildarúttektarsýnum eins og sýnatakan, sýnatökustaðurinn, árstími, veðurfar, tæringar á lögnum og þær rannsóknadferðir sem eru notaðar. Mikilvægt er að sýnatakan sé framkvæmd rétt til að tryggja réttar niðurstöður sem eru samanburðarhæfar við eldri niðurstöður. Mikilvægt er að sýnatökuaðili átti sig á þeim þáttum sem geta haft áhrif á niðurstöður eins og t.d. sýnatökukrani sem gæti smitað frá sér óæskilegum efnum. Samkvæmt skýrslu Andersen og Fontenay (2008) er notast við fjölda efna í vatnskranu eins og arsenik, tin, króm, kadmíum, sink, kopar, blý og nikkell en þessi efni geta smitast í neysluvatnið við sýnatöku sem getur skýrt mun á milli sýnatökustaða. Eins og kom fram í niðurstöðunum rannsóknar Andersen og Fontenay á þetta sérstaklega við um krana sem eru nýir.

Þegar tekið er sýni fyrir málma þarf að varast að nota handáburð á hendur þar sem flestir handáburðir innihalda sink en það er mælt með að nota plasthanska við sýnatöku á málumum. Við tæringu á lögnum losna málmar úr lögnum eins og járn og mangan (Sarin ofl. 2004; Liu ofl. 2002). Eins og kemur fram í niðurstöðunum þá er mikil munur á milli hæsta og lægsta gildi fyrir járn og mangan sem er hægt að skýra með mismunandi tæringu á lögnum.

Mæliaðferðir eru í stöðugri þróun og geta þær útskýrt mismun milli mælinga þegar niðurstöður eru skoðaðar yfir langt árabíl eins og í þessari rannsókn. Dæmi um þetta má sjá á mælingum á fosfór á Jaðarsvæði þar sem mikill munur er á mælingu sem voru framkvæmdar 1997 til 1998 og mælingum sem voru framkvæmdar frá 2002 til 2009.

Veðurfar og árstíðir geta haft áhrif á niðurstöður mælinga t.d. í mikilli hláku geta ýmiss efni komist ofan í grunnvatnið, en eins og kom fram í niðurstöðukaflanum er möguleiki á því að nítrat komist í neysluvatn snemma á vorin þar sem nítrat myndast við rotnun á gróðri og gróðurinn sem nýtir sér nítratið til vaxtar er ekki búinn að taka við sér.

5.2 Verkhlyuti 2

5.2.1 Umræður um áhrif dreifikerfisins á örveru- og eðlisgæði neysluvatns.

Til að sannreyna og styðja þær upplýsingar sem komu úr greiningu á gagnagrunninum í verkhluta eitt var sett upp rannsókn á gæðum neysluvatns í dreifikerfinu. Eins og kom í ljós í verkhluta eitt er töluverð hækkun á hitastigi neysluvatnsins á sýnatökustöðunum á Kjalarnesi og á Gagnvegi og var það staðfest í þessari rannsókn. Í rannsókninni kom í ljós að mesti heildargerlafjöldi við 22°C á PCA agar var á Gagnvegi en það er ekki í samræmi við niðurstöðuna í verkhluta eitt þar sem meðaltal heildargerlafjölda við 22°C er 5 kólóníu myndandi einingar í 1 ml sýnis en það er með því lægra sem greindist. Alls voru tekin 47 sýni á Gagnvegi á þessu tímabilinu 1997 til 2009 og virðist það hafa verið tilviljun að heildargerlafjöldinn hafi aldrei farið yfir hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar eða að heildargerlafjöldinn hafi verið mjög hár þegar verkhluti tvö í rannsókninni var framkvæmdur þar sem hitastigið er mun hærra á sumrin en á öðrum árstímum. Meðalheildargerlafjöldi í verkhluta tvö er í flestum tilvikum lægri en meðalheildargerlafjöldinn í verkhluta eitt en ástæðan fyrir því gæti verið tímasetning á sýnatökunni. Í verkhluta eitt eru gögn úr sýnum sem eru tekin á öllum árstíðum en í verkhluta tvö eru sýnin aðeins tekin yfir stutt tímabil að sumri. Meðalhitastig við sýnatöku var sambærilegt milli verkhluta eitt og tvö fyrir utan sýnatökustaðinn við Gagnveg, en þar var meðalhitastigið nokkuð hærra. En sýnatakan var að sumri til og það hefur áhrif á niðurstöðuna. Meðalleiðni og meðalsýrustig er algjörlega sambærilegt milli verkhluta eitt og tvö en fyrir meðalleiðni er munur milli meðaltalanna aldrei meiri en 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ og fyrir meðalsýrustig er munur milli meðaltala aldrei meiri en pH 0,2.

Heildargerlafjöldi við 22°C virðist hækka með meiri fjarlægð frá uppsprettu en þessi tilhneigð hefur sést í öðrum rannsóknum á dreifikerfum í New Jersey, Durham, Raleigh í Bandaríkjunum og Sydney Ástralíu (LeChevallier o.fl, 1987; Zhang, W., DiGiano, F.A, 2002; Power, K.N., Nagy, L.A., 1999). Eins og sést í niðurstöðunum eru það tveir sýnatökustaðir sem eru undantekning á þeirri tilhneigingu að með meiri fjarlægð frá uppsprettu þá hækki heildargerlafjöldinn. Þessir sýnatökustaðir eru í Klébergsskóla og dælustöðinni við Vesturlandsveg en það sem er sameiginlegt með þessum sýnatökustöðum er að lagnaefnið er úr plasti. Eins og hefur komið fram hefur rannsókn á lagnaefni leitt í ljós að örveruþekja er minni á plastlögnum en öðru lagnaefni eins og járnlögnum og lögnum sem eru húðaðar með sementi eins og seig-steypujárn (Niquette o.fl., 2001). Þessi staðreynd gæti skýrt þessar undantekningar.

5.2.2 Tölfræðileg fylgni milli eðlisþátta og heildargerlafjölda við 22°C

Niðurstöður úr verkhluta 2 sýna jákvæða fylgni milli heildargerlafjölda við 22°C og fjarlægðar frá uppsprettu í stofnæðum nr. 1 og 2. Einnig er fylgni milli heildargerlafjölda og hitastigs við sýnatöku eins og kemur fram í niðurstöðunum. En þetta er sambærilegt við aðrar rannsóknir (LeChevallier o.fl, 1987; Zhang, W., DiGiano, F.A, 2002; Power, K.N., Nagy, L.A., 1999). Það er lítil fylgni milli heildargerlafjölda og magns gruggs í þessari rannsókn en aðrar rannsóknir hafa sýnt fram jákvæða fylgni milli þessara þátta (LeChevallier o.fl, 1987; Zhang, W., DiGiano; Power, K.N., Nagy, L.A., 1999). Fylgni milli heildargerlafjölda og sýrustigs er neikvæð þannig að þegar heildargerlafjöldi eykst þá lækkar sýrustigið. Skýring á þessu gæti tengst því að það eru tengsl milli aldur neysluvatnsins og sýrustigsins þannig að því eldra sem neysluvatnið er því lægra verður sýrustigið og jafnframt eykst heildargerlafjöldinn á sama tíma. Þegar neysluvatnið tekur í sig kolsýru úr andrúmslofti lækkar sýrustigið (Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1998) og spurning hvort sýrustigið lækkar meira því eldra sem neysluvatnið verður.

5.2.3 Samanburður á ætum, aðferðum og ræktunartíma

Samkvæmt ákvæðum neysluvatnsreglugerðarinnar er heildargerlafjöldi við 22°C ákvarðaður með því að nota áhellingaraðferð og niðurstöður eru gefnar upp í 1 ml sýnis. Eins og kemur fram í niðurstöðunum þá hafa 26% niðurstaðna verið undir greiningamörkum á tímabilinu 1997 til 2009 eða minna en ein kólóníu myndandi eining í 1 ml sýnis. Heildargerlafjöldi við 22°C er rannsakaður til að athuga hreinleika neysluvatnsins, áreiðanleika dreifikerfisins og mögulega myndun á örveruþekju. Til að geta fengið nákvæmari upplýsingar um breytingar og sveiflur í örverufjölda á neysluvatninu frá Heiðmörk væri betra að nota síunaraðferð og rannsaka heildargerlafjölda í stærra rúmmáli af sýni. Eins og fram kemur í niðurstöðum í örverumælingum úr verkhluta tvö er ekki marktækur munur milli áhellingaraðferðar og síunaraðferðar með pöruðu t-prófi. Meðaltal 98 sýna var það sama og þessar tvær aðferðir eru algjörlega sambærilegar. Með því að ákvarða heildarörverufjölda neysluvatnsins í 100 ml sýnis í stað 1 ml sýnis fást nákvæmari upplýsingar og hægt er að uppgötva breytingar á dreifikerfinu sem munu ekki uppgötvast ef haldið verður áfram að nota áhellingaraðferð.

Eins og kemur fram í niðurstöðunum þá vex töluvert meiri heildargerlafjöldi á R2A agar en PCA agar og ef R2A agarinn er ræktaður í 7 daga í stað 3 daga þá vex ennþá meira upp á ræktunarskálunum. Þessar niðurstöður eru í samræmi við aðrar rannsóknir þar sem þessi bæði æti voru notuð (Reasoner, D.J., Geldreich, E.E., 1985; Carter ofl., 2000).

5.2.4 Örveruþekja í dreifikerfinu

Í rannsókn Servais og fleiri (2004) á örveruþekjum í dreifikerfi úthverfis Parísar þá kom fram að í 100 mm lögn er 25 sinnum fleiri bakteríur fastar við innra yfirborð lagnanna en í neysluvatninu miðað við ákveðna lengd lagna. Þeir álykta að fjölgun baktería í neysluvatninu sé hverfandi miðað við fjölgun baktería í örveruþekjunni og því sé nauðsynlegt til að viðhalda góðum gæðum á neysluvatninu til að lágmarka myndun örveruþekju innan á lögnum í dreifikerfinu. Víða erlendis er notast við klórun á neysluvatninu til sótthreinsunar og til að koma í veg fyrir myndun á örveruþekju. Samkvæmt rannsókn Servais og fleiri (2004) þá myndaðist 40 sinnum meira magn af örveruþekju í vatni sem er ekki klórað. Klórinnihald vatnsins minnkar þegar það fer í gegnum dreifikerfið m.a. vegna bindingar þess við lífræn efni. Að viðhalda háu klórmagni í öllu dreifikerfinu er ekki æskilegt þar sem hár styrkur klórs getur valdið myndun óæskilegra efna eins og trihalomethanes (THM) og þess vegna er klórun ekki góð leið til að halda niðri myndun á örveruþekju í dreifikerfum. Önnur leið til að halda niðri myndun á örveruþekju er að lágmarka magn næringarefna sem komast inn í dreifikerfið. Hægt er að koma í veg fyrir þetta með því að nota grunnvatn og hafa borholur djúpar og fóðraðar eins og þær eru í Vatnsendakrika í Heiðmörk. Hins vegar virðast næringarefni eiga greiða leið inni dreifikerfið í Reykjavík á Gvendarbrunnasvæðinu í hlákutíð. Það hefur verið skoðun sérfræðinga að við hlákutíð í Reykjavík þá eigi jarðvegsbakteríur greiða leið í dreifikerfið sem veldur því að hækkun verður á heildargerlafjölda við 22°C í neysluvatninu (Garðar Sigurbórsson & Sigurður V. Hallsson, 1995, Loftur Reimar Gissurarson & Haraldur Arnar Haraldsson, 1997). Fyrrgreind rannsókn Servais og fleiri (2004) bendir til þess að við hlákutíð eigi næringarefni greiðari aðgang í neysluvatnið sem skýrir einnig að hluta þá hækkun sem verður á heildargerlafjölda við 22°C. LeChevallier og fleiri (1996) sýndu fram á að við ákveðin skilyrði er möguleiki á því að kólígerlar vaxi upp í dreifikerfinu.

Eins og áður hefur komið fram þá hefur Orkuveita Reykjavíkur komið upp hlákuáætlun til að koma í veg fyrir að neysluvatnið fari ekki yfir örverufræðileg hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar. Samkvæmt niðurstöðum í verkhluta tvö er heildargerlafjöldi við

22°C í 100 ml sýnis lægstur í Vatnsendakrika en á því svæði eru borholur sem eru ekki ennþá virkjaðar og það er möguleiki að fá meira magn frá því svæði. Í Gvendarbrunnum eru grynstu borholurnar og mesta hættu á því að næringarefni komist inni dreifikerfið eins og kom fram í hlákurannsókn sem var framkvæmd 1995 en það er spurning hvort það sé hægt að leggja niður dælingu á þessu svæði og nota það sem vara vatnstökusvæði.

Til að minnka mögulegt magn næringarefna sem kemst í dreifikerfið er spurning hvort aukið gróðurfar á vatnstökusvæðum hafi áhrif á magn þeirra næringarefni sem komast í dreifikerfið í hlácutíð. Með því að hafa skógrækt á vatnstökusvæðum þá aukast þau næringarefni sem eru ofan á jarðveginum eins og með aukningu á lífrænum efnum eins og laufblöðum. En þetta á aðeins við ef grunnvatnsborholur eru grunnar og að síun í gegnum jarðveginn sé lítil.

Eins og kemur fram í kaflanum „Þættir sem hafa áhrif á örveruvöxt“ fer örveruvirkni eftir gerð, aldri og gæðum lagnaefnisins og verður að taka það með í reikninginn þegar skoðaðar eru niðurstöður úr þessari rannsókn. Í rannsókn Patrick Niquette og fleiri (2000) var mældur lífmassi í örveruþekju á mismunandi gerð af lögnum. Niðurstöður þeirra rannsókna var að plastlagnir voru með minnstan lífmassa í örveruþekjunni. Járnlagnir höfðu mestan lífmassa í örveruþekjunni, stál kom þar á eftir og svo sementborin efni eins og seigsteypujárn. Yfirborð plastefnanna er sléttara en annarra lagna, og þess vegna nær örveruþekjan sér ekki eins á strik. Tæringarmyndun getur haft áhrif á magn örveruþekjunnar í lögnum sem eru úr járn.

5.3 Verkhloti 3

5.3.1 Óræktanlegar bakteríur

Þær bakteríur sem ekki hefur tekist að rækta upp og við raðgreiningu á 16S rRNA falla ekki undir neina þekkta fylkingu baktería fá heitið „candidate divisions“. Þetta heiti kom fyrst fram í rannsókn Hugenholtz og fleiri (1998) til að flokka bakteríur úr umhverfissýnum þar sem fjöldi 16S rRNA raða líktist ekki þekktum röðum úr ræktanlegum bakteríum. Í þeirri rannsókn voru 12 nýjar fylkingar greindar úr sýni frá heitum hverri í Yellowstone þjóðgarðinum sem heitir „Obsidian Pool“. Í dag eru 38 mismunandi fylkingar sem bera heitið „candidate divisions“ samkvæmt gagnagrunninum „National center for biotechnology information (NCBI flokkunarfræði á heimasíðunni <http://greengenes.lbl.gov>, gagnagrunnurinn

uppfærður 24. janúar 2011). Í þessari rannsókn greindust nokkur klón sem eru undir fylkingunum Candidate division TM7 og Candidate division OP3.

5.3.2 Járn-oxandi bakteríur

Það vekur athygli að í öllum sýnunum sem voru rannsökuð með raðgreiningu á 16S rRNA voru bakteríur sem eru járnnoxandi þ.e. *Gallionella* og *Sideroxydans*. Eins og sést í niðurstöðunum er *Gallionella* algengasta þekktu bakteríu ættkvíslin sem finnst í neysluvatninu en tíu klón voru með meira en 98% skyldleika við hana. Þessar ættkvíslir baktería eru þekktar fyrir að valda útfellingu á járn þannig að neysluvatnið verður rautt á litin. Þetta á sér stað þegar vatn frá uppsprettu er mjög járnríkt og við tæringu í lögnum. Þær fjölga sér við örloftháðar aðstæður og hafa eftirfarandi þættir áhrif á myndun á rauðu vatni, en þeir eru hátt magn anjóna, sérstaklega brennisteins, lítið magn sótthreinsiefna, hár aldur neysluvatnsins, lágt magn súrefnis í neysluvatninu, hátt hitastig, lág basavirkni og hátt magn klóríðs. Aðrar rannsóknir benda til þess að járn-oxandi bakteríur séu alltaf til staðar í neysluvatni (Li o.fl., 2010). Tæring á lögnum er þekkt vandamál hér á landi og ef tæringin er af völdum örvera þá er möguleiki á því að vera með fyrirbyggjandi aðgerðir til að koma í veg fyrir slíkt. Það er nauðsynlegt að minnka líkur á því að óæskileg örveruflóra nái yfirhöndinni í örveruþekjunni t.d. með því að láta renna úr lögnum sem eru ekki í notkun yfir langan tíma eins og í yfirgefnum húsum, skólabyggingum, hótelum og öllum byggingum sem eru ekki í notkun yfir ákveðinn tíma. Þegar neysluvatn nær að staðna í lögnum hækkar hitastig neysluvatnsins og súrefni minnkar, en þá myndast kjöraðstæður fyrir örverur sem ýta undir tæringu í lögnum. Einnig þarf hönnun dreifikerfa og innanhúslagna að miða við notkun neysluvatns á hverjum stað. Ef dreifikerfið eða innanhúslagnakerfið er of stórt miðað við notkun þá staðnar vatnið í kerfunum og myndar góðar aðstæður fyrir örveruþekju og flýtir fyrir tæringu á lögnum.

5.3.3 *Pseudomonas* tegundir

Af 249 klónum sem voru raðgreind þá reyndist eitt þeirra vera með 99% samsvörun við tegundina *Pseudomonas fluorescens* en *Pseudomonas* ættkvíslin hefur oft fundist í neysluvatni þegar bakteríur sem eru ræktaðar upp eru teknar og tegundargreindar. Í þessari rannsókn er tekið erfðaeftirbúnað úr öllum bakteríum sem eru í sýnunum, hvort sem þær eru lifandi eða ekki. Með því að nota þessa aðferð fást einnig bakteríur sem ræktast ekki upp á

hefðbundnum ræktunarætum t.d. bakteríur sem ræktast ekki við loftháð skilyrði. En niðurstöður í þessari rannsókn staðfesta ekki að *Pseudomonas* sé mjög algeng í neysluvatnsdreifikerfum þar sem aðeins eitt klón af 249 klónum var skyldur *Pseudomonas* tegund. Niðurstöður úr þessari rannsókn eru sambærilegar rannsókn á átöppuðu vatni í Þýskalandi en þar fannst ekki *Pseudomonas* (Loy o.fl., 2005).

5.3.4 Heilnæmi neysluvatns

Þrátt fyrir að í neysluvatninu finnist ættkvíslir sem hafa bakteríutegundir sem eru sýklar og tækifærissýklar þá hafa rannsóknir sýnt fram á að heildargerlafjöldi í neysluvatni valdi ekki sýkingum í fólki. Þær bakteríur sem finnast í heildargerlafjölda hafa ekki meinvirkniþætti (e. virulence factors) í því magni sem þarf til að valda sjúkdómum í fólki. Rannsóknir á þeim stofnum sem finnast í heildargerlafjölda sýna að 1-2% stofna hafa mögulega meinvirkniþætti en þessar tegundir hafa ekki verið tengdar sjúkdómum. Rannsókn þar sem mikið magn baktería sem ræktast upp við mælingu á heildargerlafjölda var gefið ónæmisbældum tilraunamúsum, sýndi ekki fram á myndun sjúkdóma. Nokkrar faraldsfræðilegar rannsóknir sýndu ekki fram á tengsl milli heildargerlafjölda og maga- og garnabólgu (Edberg & Allen, 2004).

5.3.5 Samanburður við aðrar rannsóknir

Í rannsókn Poitelon og fleiri (2009) á neysluvatni í París, Frakklandi leiddi í ljós að flest klónin voru *Proteobacteria* eða frá 57,2 til 77,4% en í þessari rannsókn var *Proteobacteria* 31,6 til 89,5% í þeim sex sýnum sem voru til rannsóknar. Í rannsókninni á neysluvatninu í París var ekki hægt að flokka 6,3 til 36,5% klónin í þekktar fylkingar en þetta er sambærilegt við niðurstöður í þessari rannsókn þar sem ekki tókst að flokka 10,5 til 19% klóna.

Kormas og fleiri (2010) rannsökuðu neysluvatn í borginni Trikala í Grikklandi og kom í ljós að *Beta-Proteobacteria* var ríkjandi fylking við uppsprettu en minnkaði síðan þegar komið var í dreifikerfið. Sambærilega tilhneigingu er einnig að finna í neysluvatninu frá Heiðmörk en aðrir rannsakendur hafa komið með þá tilgátu að þetta sé vegna þess að *Beta-Proteobacteria* þoli verr sótthreinsun með klór (Williams o.fl, 2004). Þar sem niðurstöður í verkhluta þrjú sýndu fram á svipaða tilhneigingu þá er það augljóst að tilgáta þeirra um að

ástæðan sé vegna klórs stenst ekki. Það sem er líklegra er að samsetning baktería breytist þegar kemur inní dreifikerfið þar sem þær bakteríur sem eru í uppsprettunni finnast ekki í örveruþekjunni. Hluti baktería sem finnst í neysluvatninu kemur úr örveruþekjunni og samsetning baktería er önnur í uppsprettu en í dreifikerfinu. Einnig breytist neysluvatnshitastigið og næringarinnihald vatnsins því lengra sem komið er innan í dreifikerfið og því breytist samsetning örveruflórunnar.

5.3.6 Óræktanlegt ástand baktería

Óræktanlegar bakteríur eru þær bakteríur sem ekki hefur tekist að rækta upp á tilbúnum ræktunarætum. Ástæða fyrir því getur verið að ætisþarfir og ræktunaraðstæður eru ekki þekktar, þær geta aðeins lifa í sambylí við aðrar lífverur og vaxa ekki upp nema að þær séu til staðar eða aðrar bakteríutegundir geta hindrað vöxt þeirra þegar ræktun á sér stað. Einnig er það þekkt að bakteríur sem eru alla jafna ræktanlegar fari í óræktanlegt ástand við vissar aðstæður eins og sveltí, hitastigsbreytingar og breytingar á súrefnisstyrk. Það ástand hefur verið rannsakað töluvert en nokkur klón sem fundust í þessari rannsókn er náskyldir ættkvíslum sem geta farið í þetta ástand. Þessar ættkvíslir eru: *Enterobacter*, *Escherichia*, *Legionella*, *Pseudomonas*, *Shigella* og *Streptococcus* (Oliver, 2005).

Eins og hefur komið fram þá fundust fjögur klón sem voru af ættkvíslinni *Enterobacter* og fjögur klón voru með 100% skyldleika við *Escherichia coli* og *Shigella sonnei*. Bæði ættkvíslin *Enterobacter* og tegundin *Escherichia coli* falla undir hópinn kólígerla. Í rannsókn LeChevallier og fleiri (1991,1996) kom í ljós að við ákveðin skilyrði er líklegra að finna kólígerla í neysluvatni. Skilyrðin eru að hitastigið er yfir 15°C og þegar uppleyst lífrænt kolefni (AOC) er meira en 50 µg/l. Það er tekið fram að í kaldara loftslagi gæti lægra neysluvatnshitastig haft áhrif á greiningu á kólígerlum þ.e. undir 10°C. Í rannsókn Fass og fleiri (1996) á *E.coli* í tilbúnu dreifikerfi kom í ljós að ákveðnar týpur af *E.coli* geta komið sér fyrir í örveruþekju dreifikerfisins og fjölgað sér þar. *E.coli* getur lifað í örveruþekjunni í vikur og jafnvel mánuði eftir að hafa komist inní dreifikerfið.

Í rannsókn á afdrifum *E.coli* í neysluvatni með hefðbundnum ræktunaraðferðum og sameindalíffræðilegum aðferðum kom í ljós að *E.coli* fannst í 10 til 20 sinnum meira magni með sameindalíffræðilegum aðferðum en hefðbundnum aðferðum og bendir það til að bakterían fari í óræktanlegt ástand þegar hún fær ekki næga næringu yfir langan tíma (Bjergbæk & Roslev, 2005).

Rannsókn á örveruþekju úr dreifikerfum í fjórum Evrópulöndum leiddi í ljós að með ensím aðferðum (greining á β -glucuronidase), sameindalíffræðilegum og hefðbundnum ræktunaraðferðum fannst *E.coli* í öllum þessum dreifikerfum með sameindalíffræðilegum aðferðum en ekki með hefðbundnum ræktunaraðferðum. Til að staðfesta að um væri að ræða lifandi *E.coli* bakteríu þá voru sýnin sett í forrækt til að gera bakteríuna ræktanlega og það tókst í öllum tilvikum að rækta *E.coli* upp og staðfesta að um lifandi bakteríur væri að ræða. Örveruþekja var einnig meðhöndluð með flúorserandi merktum þreifara (e. probe) sem tengdist sérhæft við *E.coli* en þreifarinn tengist aðeins lifandi *E.coli* bakteríum. Sýnið var skoðað í flúrljómandi smásjá og greindust stakar *E.coli* bakteríur og drógu rannsakendur þær ályktanir að *E.coli* fjölgaði sér ekki í örveruþekjunni þar sem aðeins fundust stakar bakteríur (Juhan o.fl., 2007).

5.3.7 Efnatillífandi bakteríur

Þó nokkrar ættkvíslir sem fundust í neysluvatninu eru efnatillífandi bakteríur sem merkir að bakteríurnar fá kolefni frá CO₂ og að orkan er fengin úr ólífrænum sameindum eins og járn, brennisteini og köfnunarefnissamböndum. Þessar ættkvíslir eru *Gallionella*, *Sideroxydans* og *Rhodocyclus* sem oxa járn og ættkvíslirnar *Rhodoferax* og *Geobacter* sem afoxa járn. Ættkvíslirnar *Azoarcus*, *Bradyrhizobium*, *Herbaspirillum*, *Nitrobacter*, nýta sér köfnunarefnissambönd. Þær ættkvíslir sem geta nýtt sér brennisteinssambönd eru *Sulfuricurvum*, *Limnobacter*, *Thioprofundum*, *Beggiatoa*, *Rhodocyclus*. Súlfat afoxandi bakteríur eins og ættkvíslin *Beggiatoa* eru þekktar fyrir að geta ýtt undir tæringu en til þess þurfa þær hjálp annarra baktería í örveruþekjunni. Þær oxa súlfat og mynda vetnissúlfíð. Við oxun á brennisteins-járn losar auka vetni sem eykur tæringu í járnlögnum (Geldreich, 1996). Nokkrar af þeim ættkvíslum sem greindust í neysluvatninu innihalda tegundir sem eru tækifærissýklar í ónæmisbældu fólki en þessar ættkvíslir eru *Delftia*, *Methylobacterium* og *Sphingomonas* en allar þessar ættkvíslir finnast oft í neysluvatni.

5.3.8 Fjölbreytileiki baktería í örveruþekjum

Í rannsókn Martiny og fleiri á myndun örveruþekju í tilbúnu dreifikerfi neysluvatns yfir þriggja ára tímabil kom í ljós að fjölbreytileiki í eldri örveruþekju þ.e. 256 til 700 daga getur verið mjög mikill (Martiny o.fl. 2003). Í þessari rannsókn var mesti heildargerlafjöldi

við 22°C á sýnatökustaðnum við Gagnveg og má gera ráð fyrir að það stafi af mikilli örveruþekju á þessum sýnatökustað en þar er fjölbreytileikinn mikill. Simpson fjölbreytileika stuðull var 0,013 á þessum sýnatökustað. Fjölbreytileikinn var minni í neysluvatni frá safntönkum T-1 og T-3 eða 0,14 og 0,13 reiknað með Simpson-aðferð eins og kemur fram í niðurstöðunum. Hugsanleg skýring á auknum fjölbreytileika í dreifikerfinu getur stafað af því að þar eru einnig bakteríutegundir sem finnast ekki í grunnvatninu sem er dælt upp úr borholum en þessar bakteríutegundir hafa komist inn í kerfið og náð fótfestu í örveruþekjunni.

6 Ályktanir og tillögur

6.1 Ályktanir

Örverufræðileg gæði neysluvatns frá Heiðmörk hafa farið batnandi á undanförunum árum vegna þeirra ráðstafana sem hefur verið gripið til eins og hlákuáætlun, lekavörnum og innleiðingu HACCP gæðakerfis. Fyrir þetta rannsóknartímabil voru aðeins 0,7% sýna sem stóðust ekki neysluvatnsreglugerðina en til samanburðar voru það 7,5% fyrir tímabilið 1985 til 1997. Á þessum tíma hefur meðalheildargerlafjöldi farið úr 33,9 kólóníu myndandi einingum í ml fyrir tímabilið 1985 til 1997 í 6,2 kólóníu myndandi einingar fyrir tímabilið sem var til rannsóknar núna.

Við greiningu á gögnum frá 1997 til 2009 fannst ekki marktæk fylgni milli heildargerlafjölda, veðurfars- og eðlisþátta. En fyrri rannsóknir sýndu fram á tengsl milli heildargerlafjölda og veðurfars og var þá gripið til ráðstafanna til að koma í veg fyrir þessi áhrif og virðist það hafa tekist að mestu leiti.

Efnainnihald neysluvatnsins er alltaf langt undir hámarksgildum neysluvatnsreglugerðarinnar. Efni sem eru hættuleg heilsu manna voru alltaf langt undir hámarksgildum neysluvatnsreglugerðarinnar og mörg þeirra hafa aldrei verið mæld yfir greiningarmörkum. Breyting á styrk efna yfir tíma er mjög lítil en sýnatökustaðnum á Jaðarsvæði hefur mælst hækkun á magni blýs á þessu tímabili. Þrátt fyrir þessa hækkun er hæsta mælda gildi 100 sinnum lægra en hámarksgildi neysluvatnsreglugerðarinnar.

Í verkhluta tvö kom í ljós að heildargerlafjöldi hækkaði með meiri fjarlægð frá uppsprettu og auknu neysluvatnshitastigi. Einnig var neikvæð fylgni milli heildargerlafjölda og sýrustigs. Þeir sýnatökustaðir þar sem plastlagnir eru í dreifikerfinu eru með lægri heildargerlafjölda við 22°C miðað við sýnatökustaði sem eru með öðrum lagnarefnum og eru í svipaðri fjarlægð frá uppsprettu. Aðrar rannsóknir hafa sýnt fram á mikilvægi þess að

næringarefni komist ekki inn í dreifikerfið, en það getur t.d. gerst í hlácutíð og veldur því að heildargerlafjöldi við 22°C hækkar vegna vaxtar baktería í örveruþekjunni. Því er nauðsynlegt að hafa borholur vel varðar þannig að yfirborðsvatn komist ekki í grunnvatnið. Með meiri gróðurfari á vatnstökusvæði er möguleiki á því að meira magn næringarefna komist inn í dreifikerfin.

Við samanburð á ætum kom í ljós að mun meiri heildargerlafjöldi ræktaðist á R2A agar en PCA agar sem er í samræmi við aðrar rannsóknir og sýnir að ekki allar bakteríur í neysluvatninu ná að vaxa upp á næringarríku æti eins og PCA agar.

Í verkhluta þrjú kom í ljós að fjölbreytileiki fylkinga og ættkvísla baktería er mikill í neysluvatninu og eykst frá uppsprettu. Í neysluvatninu var fjöldi baktería sem eru járnnoxandi eins og *Gallionella* og *Sideroxydans* en þær geta ýtt undir tæringu lagna við vissar aðstæður. Algengasta bakteríufylkingin var *Proteobacteria*. Algengustu ættkvíslirnar sem greindust í neysluvatninu voru: *Gallionella*, *Delftia*, *Enterobacter*, *Sphingomonas*, *Streptococcus*.

6.2 Tillögur

Það eru tekin fjögur heildarúttektarsýni á ári á mismunandi sýnatökustöðum í Reykjavík. Ég legg til að þessi sýni verði dreifð jafnt yfir árið og teknir verða upp einn til tveir fastir sýnatökustaðir sem verði rannsakaðir á hverju ári. Sem dæmi þá er hægt að hafa þessa sýnatökustaði í lokahúsinu við Laxalón og lokahúsinu sunnan Árbæjarstíflu. Neysluvatnið í lokahúsinu við Laxalón kemur úr stofnæð nr. 2 og í lokahúsi sunnan Árbæjarstíflu kemur neysluvatn úr stofnæð nr. 1. Síðan yrði tekin tvö sýni úr mismunandi sýnatökustöðum í dreifikerfinu. Með þessu er hægt að fylgjast með gæðum neysluvatnsins á hverju ári frá þessum tveimur sýnatökustöðum og fylgjast með breytingum á gæðum neysluvatnsins.

Íbúar Kjalarnes fá neysluvatn frá Heiðmörk í gegnum sjólögn eins og sést á yfirlitsmynd yfir dreifikerfið (sjá mynd 4). Lögnin var tekin í notkun 2001 en á þessu tímabili hefur hún einu sinni lekið þegar akkeri reif gat á hana. Hitastig neysluvatnsins sveiflast eftir hitastigi sjávar en hitastig sjávar hefur sveiflast frá 0,8°C til 14,4°C og myndast hefur klaki innan á lögninni þannig það hefur komið upp hættu á að hún stíflist. Ef það myndast leki á sjólögninni og það kemur upp neikvæður þrýstingur þá er möguleiki á því að óæskilegar bakteríur komist inní neysluvatnslögnina. Til að tryggja öryggi neysluvatnsins þyrfti að finna betri lausn á neysluvatnsmálum í Kjalarnesi eins og að leggja neysluvatnslögnina í jörðu.

Eins og kom fram í inngangi þá eru nokkrir staðir á Íslandi sem notast við geislun með útfjólubláu ljósi til sótthreinsunar á neysluvatninu. Í flestum tilvikum er um að ræða yfirborðsvatn en það er næringarríkara en grunnvatn. Vegna hættu á örverufræðilegri mengun t.d. ef geislabúnaður er ekki að virka er nauðsynlegt að taka sýni oftár á þessum stöðum. Sýni eru oft tekin strax eftir geislun til að athuga virkni hreinsibúnaðar. En þar sem aukin næringveldur myndun örveruþekju í dreifikerfinu þá má gera ráð fyrir að örveruástand neysluvatnsins sé mun verra þegar það er komið til neytandans á þessum svæðum. Til er búnaður sem síar næringarefni úr vatni eins og „granular activated carbon“ (GAC) filter. Í rannsókn Liu og fleiri (2002) kom fram að með þess konar búnaði er hægt að minnka uppleyst lífrænt kolefni (AOC) um 60% en til að staðfesta að gæði neysluvatns sé ábótavant í dreifikerfum sem notast við geislað yfirborðsvatn þá þyrfti að gera rannsókn á því og ef þetta er staðfest þá þyrfti að huga að aðgerðum til að minnka næringarinnihald í þessum dreifikerfum.

Þar sem örverufræðileg gæði neysluvatnsins frá Heiðmörk er mjög góð væri skynsamlegt að greina heildargerlafjölda við 22°C í 100 ml sýnis með síunaraðferð í stað þess að mæla heildargerlafjöldann í 1 ml sýnis með áhellingaraðferð. Með þessu fæst nákvæmari upplýsingar um gæði neysluvatnsins en eins og kom fram í niðurstöðnum voru 26% niðurstaðna á tímabilinu 1997 til 2009 undir greiningarmörkum mæliaðferðarinnar. Samkvæmt neysluvatnsreglugerðinni er vísað í ákveðnar aðferðir fyrir hverja mælingu en þar er tekið fram að heimilt er að nota aðrar aðferðir ef hægt er að sýna fram á að niðurstöður séu að minnsta kosti jafn áreiðanlegar og þær aðferðir sem eru taldar upp í neysluvatnsreglugerðinni. Samanburður milli áhellingaraðferðar og síunaraðferðar í verkhluta tvö leiddi ljós að þessar aðferðir gefa sambærilegar niðurstöður þegar sýni eru mæld með báðum aðferðunum.

Heimildaskrá

Ainsworth, R.,(ritstj.)(2004) Safe Piped Water: Managing Micobial Water Quality in Piped Distribution Systems. Cornwall: IWA Publishing

Allen, M.J., Edberg, S.C., Reasoner, D.J., (2004) Heterotrophic plate count bacteria-What is their significance in drinking water? *International Journal of Food Microbiology*, 92 pp 265-274.

Andersen, A., Fontenay, F.,(2008) Metal release from drinking water installations, screening survey of metal release in 51 domestic installations on Zealand, Denmark. The Danish Enterprise and Construction authority.

Bjergbæk, L.A., Roslev, P., (2005) Formation of nonculturable *Escherichia coli* in drinking water. *Journal of applied microbiology* vol. 99, pp 1090-1098.

Böde, S., Gissurarson, L.R (2003). Chemical analysis of drinking water in Reykjavik for the past six years. Reykjavík: Orkuveita Reykjavíkur.

Carter, J. T., Rice, E. W., Buchberger, S. G., Lee, Y.,(2000) Relationships between levels of heterotrophic bacteria and water quality parameters in a drinking water distribution system. *Water Research* vol. 34 No 5, pp 1495-1502.

Delucchi, K.L., Bostrom, A., (2004) Methods for analysis of skewed data distributions in Psychiatric clinical studies: Working with many zero values. *Am J Psychiatry*; 161 pp 1159-1168.

Ductile.org(2011) Ductile Iron Data for Design Engineers. Skoðað 16. mars 2011 á <http://www.ductile.org/didata/Section12/12intro.htm>

Edberg, S.C., Allen, M.J.,(2004) Virulence and risk from drinking water of heterotrophic plate count bacteria in human population groups. *International journal of food microbiology*, vol. 92 pp. 255-263.

Fontenay, F., Andersen, A., Werner, W., Erning, W.,(2009) Nicel and lead release to drinking water – Danish and european results. Skoðað 29.01.2010 á vef FORCE Technology: http://www.forcetechnology.com/NR/rdonlyres/4DCD9786-E218-4C1E-9757-3940E3F84FD0/2635/EUROCORN_2009_Nice_711September2009_web.pdf

Francisque, A., Rodriguez, M.J., Miranda-Moreno, L.F., Sadiq, R., Proulx, F.,(2009) Modeling of heterotrophic bacteria counts in water distribution system. *Water Research vol. 43* No 4, pp 1075-1087.

Franklín Georgsson, 2010, kennslufni: Örverur og neysluvatn.

Freysteinn Sigurðsson, Árni Hjaltason, Þórólfur H. Hafstað (1998) Vatnsveituhandbók Samorku, kafli 4, vatnsleit og virkjun vatnsbóla. Sótt 15.02.2011 á <http://samorka.is/doc/1651?download=false>

Garðar Sigurþórsson & Sigurður V. Hallsson (1995) *Gerlamælingar á neysluvatni úr borholum Reykvíkinga í hláku tíð*. Óútféin innanhússkýrsla. Heilbrigðiseftirlit Reykjavíkur.

Geldreich, Edwin E. (1996). *Microbial Quality of Water Supply in Distribution Systems*. Florida: Lewis publishers.

Gleeson, C and Gray, N. (1997) *The Coliform Index and Waterborne Disease*, 1st edition. London, E & FN SPON.

Hageskal, G., Gaustad, P., Heier, B.T., Skaar, I., (2007) Occurrence of moulds in drinking water. *Journal of Applied Microbiology*, 102, pp 774-780.

Hilmar Garðarsson. (2007). *Saga vatnsveitu Reykjavíkur 1909-1999*. Reykjavík: Hilmar Garðarsson og Orkuveita Reykjavíkur

Hollustuvernd Ríkisins (2002). *Val og hönnun minni vatnsveitna*. Reykjavík: Hollustuvernd Ríkisins.

Hugenholtz, P., Pitulle, C., Hersberger, K.L., Pace, N. R.,(1998) Novel Division Level Bacterial Diversity in a Yellowstone Hot Spring. *Journal of Bacteriology Vol. 180*, No. 2, pp. 366–376

Juhna, T., Birzniece, D., Larsson, S., Zulenkovs, D., Sharipo, A., Azevedo, N.F., Ménard-Szczebara, F., Castagnet, S., Féliers, C., Keevil, C.W., (2007) Detection of *Escherichia coli* in biofilms from pipe samples and coupons in drinking water distribution networks, *Applied and environmental microbiology*, vol. 73, No.22, pp. 7456-7464

Kormas, K.A., Neofitou, C., Pachiadaki, M., Koufostathi, E., (2010) Changes of the bacterial assemblages throughout an urban drinking water distribution system. *Environmental Monitoring and Assessment Vol. 165*, Numbers 1-4 pp 27-38.

Kuiper, M.W., (2006), Occurrence of *Legionella pneumophila* and *Hartmannella vermiformis* in fresh water environments and their interactions in biofilms – doktorsritgerd, Thesis Wageningen University, Wageningen, Hollandi.

KWR watercycle research institute (2010) The quality of drinking water in the European Union 2005-2007, Synthesis report on the quality of drinking water in the Member States of the European Union in the period 2005-2007 Directive 98/83/EC, Nieuwegein, Holland

LeChevallier, M.W., Babcock, T.M, Lee, R.G., (1987) Examination and Characterization of distribution system biofilm. *Applied and environmental microbiology December; 53(12)*: pp 2714-2724

LeChevallier, M.W., Schulz, W., Lee, R.G., (1991) Bacterial nutrients in drinking water. *Applied and environmental microbiology March; 57(3)* pp 857-862.

LeChevallier, M.W., Welch, N.J., Smith, D.B., (1996) Full-scale studies of factors related to coliform regrowth in drinking water. *Applied and environmental microbiology July; 62(7)* pp 2201-2211.

Lee, D.G., Kim, S.J., (2003) Bacterial species in biofilm cultivated from the end of the Seoul water distribution system. *Journal of Applied Microbiology, 95(2)*, pp. 317-324.

Lehtola, M.J., Miettinen, I.T., Keinänen, M.M., Kekki, T.K., Laine, O., Hirvonen, A., Vartiainen T., Martikainen, P.J., (2004) Microbiology, chemistry and biofilm development in a pilot drinking water distribution system with copper and plastic pipes. *Water Research vol. 38* No 17, pp 3769-3779.

- Li, D., Li, Z., Yu, J., Cao, N., Liu, R., Yang, M., (2010) Characterization of bacterial community structure in a drinking water distribution system during an occurrence of red water. *Applied and environmental microbiology* vol. 76 No 21, pp 7171-7180.
- Liu, W., Wu, H., Wang, Z., Ong, S.L., Hu, J.Y., Ng, W.J.,(2002) Investigation of assimilable organic carbon (AOC) and bacterial regrowth in drinking water distribution system. *Water Research* vol. 36 No 4, pp 891-898.
- Loftur Reimar Gissurarson, Haraldur Arnar Haraldsson(1997). *Athugun á kalda vatninu frá Heiðmörk á árunum 1985-1997*, Reykjavík: Vatnsveita Reykjavíkur
- Loy, A., Beisker, W., Meier, H., (2005) Diversity of Bacteria growing in natural mineral water after bottling. *Applied and environmental microbiology* Vol. 71, No. 7, pp 3624-3632.
- Lund, V., Ormerod, K., (1995) The influence of disinfection processes on biofilm formation in water distribution systems. *Water Research* vol. 29 No 4, pp 1013-1021.
- Martiny, A.C., Jørgensen, T.M., Albrechtsen, H., Arvin, E., Molin, S., (2003) Long-Term succession of structure and diversity of a biofilm formed in model drinking water distribution system. *Applied and environmental microbiology* vol. 69, No. 11, pp. 6899-6907.
- Nawrocki, J., Stanislaviak, U.R., Swietlik, J., Olejnik, A., Sroka, M.J., (2010) Corrosion in a distributed system: steady water and its composition, *Water Research*, vol. 44 issue 6, pp 1863-1872.
- Niquette, P., Servais, P., Savoie, R., (2000) Impacts of pipe materials on densities of fixed bacterial biomass in a drinking water distribution system. *Water Research* vol. 34 No 6, pp 1952-1956 .
- Niquette, P., Servais, P., Savoie, R., (2001) Bacterial Dynamics in the drinking water distribution system of Brussels. *Water Research* vol. 35 No 3, pp 675-682 .
- Oliver, J.D., (2005) The viable but nonculturable state in bacteria. *The Journal of microbiology* vol. 43 no. S, pp 93-100.
- Orkuveita Reykjavíkur (2006). *Vatn-Undirstaða lífs á jörðinni*. Skoðað 9. október 2010 á <http://www.or.is/media/PDF/vatn.pdf>

Orkuveita Reykjavíkur (2010). *Umhverfisskýrsla Orkuveitu Reykjavíkur 2009*. Reykjavík: Orkuveita Reykjavíkur.

Poitelon, J.B., Joyeux, M., Welté, B., Duguet, J.P., Prestel, E., Lespinet, O., DuBow, M.S.,(2009) Assessment of phylogenetic diversity of bacterial microflora in drinking water using serial analysis of ribosomal sequence tags. *Water Research vol. 43* No 17, pp 4197-4206.

Power, K.N., Nagy, L.A., (1999) Relationship between bacterial regrowth and some physical and chemical parameters within Sydney's drinking water distribution system. *Water Research vol. 33* No 3, pp 741-750.

Reasoner, D.J., Geldreich, E.E., (1985) A new medium for the enumeration and subculture of bacteria from potable water, *Applied and environmental microbiology, vol. 49*. No 1 p. 1-7.

Reglugerð um neysluvatn nr. 319/1995

Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001

Sarin, P., Snoeyink, V.L., Bebee, J., Jim, K.K., Beckett, M.A., Kriven, W.M., Clement, J.A.,(2004) Iron release from corroded iron pipes in drinking water distribution systems: effect of dissolved oxygen, *Water Research vol. 38* No 5, pp 1259-1269.

Servais, P., Anzil, A., Gatel, D., Cavard, J.,(2004) Biofilm in the Parisian suburbs drinking water distribution system, *Journal of Water supply: Research and technology-AQUA vol. 53*, No.5, pp. 313-324.

Sigurbjörn Búi Sigurðsson, Orkuveita Reykjavíkur (tölvupóstur, 21.05.2010).

Sigurbjörn Búi Sigurðsson, Orkuveita Reykjavíkur (tölvupóstur, 24.11.2010).

Sænsk reglugerð um neysluvatn: Dricksvattenkungörelsen, SLVFS 30/2001.

Tilskipun ráðsins 98/83/EB um gæði neysluvatns. (1998) In EB(ed.), 98/83/EB (vol. 98/83/EB). Stjórnartíðindi EB.

WHO (2003) *Chromium in drinking-water, Background document for development of WHO guidelines for Drinking-water quality*. Genf: World Health Organization

WHO Guidelines for Drinking-water Quality, First Addendum to 3ed edition (2006). World Health Organization. Genf, 2006. 515s.

www.who.int/vater_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf

WHO(2009). *Potassium in Drinking-water*. Genf: World Health Organization.

Wikipedia.com (2010) Ductile iron. Skoðað 8. desember 2010 á

http://en.wikipedia.org/wiki/Ductile_iron

Williams, M.M., Domingo, J.W.S., Meckes, M.C., Kelty, C.A., Rochon, H.S., (2004) Phylogenetic diversity of drinking water bacteria in distribution system simulator. *Journal of applied microbiology*, vol. 96 pp. 954-964.

Zacheus, O.M., Lehtola, M.J., Korhonen, L.K., Martikainen, P.J., (2001) Soft deposits, The key site for microbial growth in drinking water distribution network. *Water Research* vol. 35 No 7, pp 1757-1765.

Zhang, W., DiGiano, F.A.,(2002) Comparison of bacterial regrowth in distribution systems using free chlorine and chloramine: a statistical study of causative factors. *Water Research* vol. 36 No 6, pp 1469-1482.

Þórarinn Benedikz, Orkuveita Reykjavíkur (tölvupóstur, 16.03.2011).

Númer klóna	Tilvísun	Heiti raðar	Samsvörum	Tilvísun	Heiti raðar	Samsvörum
T1-1	AB294345.1	Uncultured bacterium gene for 16S rRNA, partial sequence, clone: SWB34	91%	HM103386.1	Mycoplasma sp. MVMB2 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	84%
T1-2	AY734239.1	Uncultured bacterium clone SDKAS1_8 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	AF110276.1	Beggiatota sp. MS-81-1c 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	86%
T1-3	GQ339235.1	Uncultured bacterium clone IS-174 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	98%	L07897.1	Gallionella ferruginea 16S ribosomal RNA (16S rRNA) gene sequence	97%
T1-4	HM126796.1	Uncultured bacterium clone SINI1148 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	95%	AF170423.1	Sulfur-oxidizing bacterium OAI12 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	89%
T1-5	HM799072.1	Uncultured Caulobacteriales bacterium clone PRTB8678 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	AB470462.1	Caulobacter sp. USHF008 gene for 16S ribosomal RNA, partial sequence	99%
T1-6	GU233447.1	Rhodofarax antarcticus strain ANT.BR 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	GU233447.1	Rhodofarax antarcticus strain ANT.BR 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%
T1-7	AY661971.1	Uncultured bacterium clone O15d-B11 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	97%	CP002159.1	Gallionella capsiferriformans ES-2, complete genome	97%
T1-8	GU996578.1	Uncultured bacterium clone MO302H1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	95%	EU434574.1	Thaera aromatica strain b66 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	95%
T1-9	AF407392.1	Uncultured bacterium clone RB9C1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	90%	GU233447.1	Rhodofarax antarcticus strain ANT.BR 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	90%
T1-10	AM988786.1	Uncultured bacterium partial 16S rRNA gene, clone CGA6Wt7a	99%	HQ117918.1	Sideroxydans sp. PNO22 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%
T1-11	GU200828.1	Uncultured bacterium clone 2031Rh 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	EF433552.1	Sphingomonas sp. WW11 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%
T1-12	FJ391509.1	Uncultured Gallionella sp. clone HC9 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	98%	HQ290514.1	Gallionellaceae bacterium SCGC AAA018-P13 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	96%
T3-1	HM565473.1	Uncultured bacterium clone MIGA11375 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	AM989102.1	Herbaspirillum sp. AKB-2008-TE24 partial 16S rRNA gene, strain AKB-2008-TE24	95%
T3-2	AM158366.1	Uncultured bacterium partial 16S rRNA gene, clone S401D	90%	EU672804.1	Mucilaginibacter gossypii strain Gh-67 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	89%
T3-3	EU746732.1	Uncultured bacterium clone TA3_115 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	91%	GU196832.1	Desulfonatronum sp. ASO3-6 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	83%
T3-4	HQ532999.1	Uncultured bacterium clone TG_BD_0.7_May_09_B011 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	95%	DQ413157.1	Zoogloea sp. EMB 108 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	94%
T3-5	AM940813.1	Uncultured Polaromonas sp. partial 16S rRNA gene, clone B6_50	100%	AB167241.1	Acidovorax sp. c112 gene for 16S rRNA, partial sequence	99%
T3-6	AM940387.1	Uncultured bacterium partial 16S rRNA gene, clone Rhag2-3	99%	AF308874.1	Arsenic resistant soil bacterium 7-02 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	98%
T3-7	FM201015.1	Uncultured bacterium partial 16S rRNA gene, clone MBR-30_HF_AS10	94%	AJ224540.1	Unclassified bacterial species 16S rRNA gene, isolate koll11	89%
T3-8	AB504930.1	Uncultured bacterium gene for 16S ribosomal RNA, partial sequence, clone: oze05837	98%	AF070444.1	Tuber borchii symbiont b-17B0 16S ribosomal RNA gene, complete sequence	93%
T3-9	AY989555.1	Uncultured soil bacterium clone L1A_14E12 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	AM397629.1	Uncultured bacterium sp. CUG 49012 partial 16S rRNA gene, strain CUG 49012	95%
T3-10	AJ387869.1	Unidentified bacterium oxSCC-24 partial 16S rRNA gene	99%	EF628494.1	Bacterium HTCC4112 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	98%
T3-11	FN662908.1	Uncultured bacterium partial 16S rRNA gene, clone C495	99%	EF140635.1	Endosymbiont of Acanthamoeba sp. KA/E9 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	89%
T3-12	HQ114061.1	Uncultured bacterium clone V201-46 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	94%	AY094118.1	Bdellovibrio sp. NASA 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	85%
T3-13	HM187414.1	Uncultured bacterium clone HDB_SISU545 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%	AY673350.1	Acidobacteria bacterium Ellin7184 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	85%
T3-14	HM187408.1	Uncultured bacterium clone HDB_SISU524 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	100%	CP002084.1	Dehalogenimonas lykanthroporepellens BL-DC-9, complete genome	87%
GA-1	AY571850.1	Uncultured bacterium clone 342B 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%	GU410617.1	TM7 phylum sp. oral taxon 355 clone _F061B 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	86%
GA-2	HM480182.1	Uncultured beta proteobacterium clone Kir51org c87.1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	94%	AF089858.1	Aquabacterium sp. Aqua2 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%
GA-3	FJ946566.1	Uncultured beta proteobacterium clone MWR-B12v 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	GU199453.1	Neisseriaceae bacterium Lie5-2 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	90%
GA-4	AJ867903.1	uncultured alphaproteobacterium partial 16S rRNA gene, clone A10-C12	99%	AF069496.1	Trojanella thessalonices 16s ribosomal RNA gene, partial sequence	87%
GA-5	FJ232647.1	Uncultured bacterium clone KIST-JY122 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	X81948.1	Planctomycetaceae partial 16S rRNA gene (Schlesner 670)	87%
GA-6	FJ517721.1	Uncultured Burkholderiales bacterium clone con40-3 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	AB452984.1	Beta proteobacterium HIBAF005 gene for 16S ribosomal RNA, partial sequence	96%
GA-7	EF444367.1	Uncultured bacterium clone D6E_050 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	94%	AJ229188.1	Unidentified eubacterium from anoxic bulk soil 16S rRNA gene (clone BSV26)	86%
GA-8	GU236089.1	Uncultured delta proteobacterium clone RAT24_41 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	98%	EF527233.1	Geobacter sp. Ply1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%
GA-9	DQ337062.1	Uncultured bacterium clone EV818SWSP13 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	94%	AM747393.1	Legionella dresdeniensis 16S rRNA gene for 16S ribosomal RNA, type strain W03-356T	91%
GA-10	AB600407.1	Uncultured bacterium gene for 16S rRNA, partial sequence, clone: hfmB036	89%	FJ405888.1	Verrucomicrobia bacterium YJF2-48 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	84%
GA-11	GQ388889.1	Uncultured bacterium clone Z50 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	HQ532999.1	Uncultured bacterium clone TG_BD_0.7_May_09_B011 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	95%
GA-12	AJ867903.1	uncultured alphaproteobacterium partial 16S rRNA gene, clone A10-C12	98%	AF069496.1	Trojanella thessalonices 16s ribosomal RNA gene, partial sequence	89%
GA-13	EF693410.1	Uncultured bacterium clone FW104-006 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	HQ290495.1	Bacterium SCGC AAA018-G4 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	83%
GA-14	DQ421388.1	Halotalea alkalilenta strain AW-7 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	88%	DQ421388.1	Halotalea alkalilenta strain AW-7 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	88%
GA-15	GQ264495.1	Uncultured bacterium clone WW3_39 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	GU410601.1	TM7 phylum sp. oral taxon 349 clone WWP_SS1_C06 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	91%
GA-16	HM124809.1	Uncultured bacterium clone MEC9-12 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	89%	EF527233.1	Geobacter sp. Ply1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	88%
GA-17	GQ454847.1	Sphingomonadaceae bacterium VUG-A41 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	HMS90832.1	Sphingopyxis sp. HME6679 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%
GA-18	HM126796.1	Uncultured bacterium clone SINI1148 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	95%	AB468957.1	Thiopfundum lithotrophica gene for 16S rRNA, partial sequence, strain: 106	92%
GA-19	HQ188604.1	Janibacter sp. N59(2010) 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	HQ188604.1	Janibacter sp. N59(2010) 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%
GA-20	GQ128185.1	Uncultured bacterium clone BACU-B9C12 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%	AM411937.1	Herbaspirillum sp. P-64 partial 16S rRNA gene, strain P-64	92%
GA-21	HQ010843.1	Uncultured bacterium clone F_SBR_68 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%	AB540005.1	Flexibacteraceae bacterium Kor gene for 16S rRNA, partial sequence	86%
GA-22	AY593430.1	Uncultured bacterium clone Amsterdam-MN13BT4-322 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	85%	CP001848.1	Pirellula staley DSM 6068, complete genome	76%

Númer klóna	Tilvísun	Heiti raðar	Samsvörun	Tilvísun	Heiti raðar	Samsvörun
GA-23	HQ010805.1	Uncultured bacterium clone F_SBR_30 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%	AY123806.1	Nitrosospora sp. Ka3 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	82%
GA-24	FJ532802.1	Uncultured Bacteroidetes bacterium clone MA161E03 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	FJ544918.1	Flavobacterium sp. KOPRI 25160 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%
GA-25	DQ988300.1	Uncultured bacterium clone LR A2-19 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%	AY741401.1	Legionella-like amoebal pathogen HT99 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%
GA-26	97472.1	Uncultured bacterium clone BSS36 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%	GQ284439.1	Limnobacter thioxidans strain TSWCSN35 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%
GA-27	GQ388884.1	Uncultured bacterium clone Z46 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	91%	AM411937.1	Herbaspirillum sp. P-64 partial 16S rRNA gene, strain P-64	89%
GA-28	FN826207.1	Uncultured bacterium partial 16S rRNA gene, clone UK14.22_V08198E_021	99%	EF473989.1	Neisseria sp. C144 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%
GA-29	HM126796.1	Uncultured bacterium clone SINI1148 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	AB468957.1	Thiopseudomonas lithotrophica gene for 16S rRNA, partial sequence, strain: 106	93%
GA-30	FJ933864.1	Uncultured bacterium clone Op7_106 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	HQ256531.1	Pseudomonas poae strain NBB19 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%
GA-31	GQ093827.1	Uncultured bacterium clone nbw425e11c1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	GU247516.1	Alpha proteobacterium ZLJ-0 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	94%
GA-32	EU340160.1	Uncultured bacterium clone SB2\3 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%	GQ130272.1	Methylosoma sp. TFB 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%
GA-33	GQ388884.1	Uncultured bacterium clone Z46 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%	FN377704.1	Marinomonas sp. M12-1 partial 16S rRNA gene, isolate M12-1	91%
GA-34	AF534212.1	Uncultured bacterium clone Phe41 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%	GQ260082.1	Pseudomonas fluorescens strain ICIRC97 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%
GA-35	FJ437903.1	Uncultured bacterium clone FGL12_B96 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	98%	CP002085.1	Desulfurcalculus baarsii DSM 2075, complete genome	82%
KR-1	FJ202085.1	Uncultured bacterium clone SGUS540 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%	AY174894.1	Sinorickettsia chlamys 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	91%
KR-2	FR667296.1	Uncultured bacterium partial 16S rRNA gene, clone Lle_064	96%	AF005188.1	Moraxella cuniculi 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	88%
KR-3	AY593430.1	Uncultured bacterium clone Amsterdam-MN13BT4-322 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	84%	CP001848.1	Pirellula staleyi DSM 6068, complete genome	77%
KR-4	GQ183338.1	Uncultured Nitrospirae bacterium clone 3.48 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	82%	AB080644.1	Sulfuricurvum kujijense gene for 16S rRNA, partial sequence, strain:YK-3	85%
KR-5	HM187438.1	Uncultured bacterium clone HDB_SISU653 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	Y18292.1	Hippea maritima 16S rRNA gene, partial	84%
KR-6	AB294345.1	Uncultured bacterium gene for 16S rRNA, partial sequence, clone: SWB34	94%	CP000975.1	Methylacidiphilum infernorum V4, complete genome	81%
KR-7	EU124849.1	Uncultured Methylobacter sp. clone LD_MO_12 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	AJ414655.1	Methylobacter tundripaludum 16S ribosomal RNA, type strain SV96T	98%
KR-8	HM186802.1	Uncultured bacterium clone HDB_SIO2718 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	92%	AF047574.1	Candidate division OP11 clone LGd8 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	84%
KR-9	FJ205241.1	Uncultured Verrucomicrobia bacterium clone B6H 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	90%	HQ290486.1	Bacterium SCGC AAA018-D10 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	83%
KR-10	AY734239.1	Uncultured bacterium clone SDKAS1_8 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%	EU084879.1	Candidatus Nitrospira bockiana 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	85%
KR-11	HM287913.1	Uncultured bacterium clone ncd652d08c1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	HM355703.1	Dietzia cinnamea strain BAC3114 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	95%
KR-12	EF693478.1	Uncultured bacterium clone FW104-088 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%	NR_025942.1	Wolinella succinogenes strain ATCC 29543 16S ribosomal RNA, partial sequence	80%
KR-13	FJ475509.1	Uncultured delta proteobacterium clone AhedenP24 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%	AY737507.1	Geobacter hephaestius 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	87%
KR-14	AM990024.1	Uncultured Methylothera sp. partial 16S rRNA gene, clone SCP-F32	99%	FR733702.1	Methylovorus glucosotrophus partial 16S rRNA gene, type strain DSM6874T	96%
KR-15	EU044443.1	Uncultured planctomycete clone GASP-77KA-755-C11 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	90%	AB127858.1	Bacterium DR2A-7G19 gene for 16S rRNA, partial sequence	87%
KR-16	EU246330.1	Uncultured organism clone MARS-B06 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	85%	AB360422.1	Bacterium RS30A gene for 16S ribosomal RNA, partial sequence	79%
KR-17	HM243797.1	Uncultured bacterium clone HWB1012-2-92 16S ribosomal RNA gene, complete sequence	92%	Y13595.1	Meiothermus cerbereus 16S rRNA gene, strain GY-5, partial	86%
KR-18	EU133725.1	Uncultured bacterium clone FFCH15253 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%	GQ246692.1	Larkinella sp. M2T2B15 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%
KR-19	HM445566.1	Uncultured bacterium clone KK1380054 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	91%	HQ290486.1	Bacterium SCGC AAA018-D10 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	85%
KR-20	FJ437841.1	Uncultured bacterium clone FGL12_B89 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	98%	FR686754.1	Myxococcaceae bacterium DSM 51041 partial 16S rRNA gene, strain An d66	79%
KR-21	GQ354953.1	Uncultured gamma proteobacterium clone 4-136 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	83%	AF170756.1	LPP-group cyanobacterium QSSC3cya 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	83%
KR-22	EF014644.1	Uncultured bacterium clone CbR3s.05 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	98%	AF129551.1	Achromatium sp. JD13 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	87%
KR-23	EF651200.1	Uncultured proteobacterium clone AUVF_05B10 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	AB246771.1	Myxobacterium AT1-01 gene for 16S rRNA, partial sequence	85%
KR-24	GQ183338.1	Uncultured Nitrospirae bacterium clone 3.48 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	84%	NR_025932.1	Heliobacterium chlorum ATCC 35205 16S ribosomal RNA, partial sequence	82%
KR-25	FJ810546.1	Uncultured bacterium clone JMYB12-23 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	95%	AJ224540.1	Unclassified bacterial species 16S rRNA gene, isolate koll11	88%
KR-26	HM990006.1	Uncultured bacterium clone U05 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	88%	AM285341.1	Candidatus Brocadia sp. 40 partial 16S rRNA gene, clone 40	80%
KR-27	HM186675.1	Uncultured bacterium clone HDB_SIOT912 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	90%	GQ863489.1	Desulfovibrio alkalitolerans strain HSRB-E1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	80%
KR-28	AY289453.1	Uncultured soil bacterium clone DS-7 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	95%	CP001124.1	Geobacter bemidjensis Bem, complete genome	88%
KR-29	DQ001674.1	Uncultured bacterium clone B91-35 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	92%	DQ217920.1	Alkalispirillum sp. Z 7008 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	92%
KR-30	GQ396965.1	Uncultured bacterium clone AK1DE1_02G 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	GU187030.1	Acidobacterium IGE-003 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%
KL-1	GQ397041.1	Uncultured bacterium clone AK4DE1_06F 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	98%	X84979.1	C.orbicularis symbiont 16S rRNA gene	91%
KL-2	GQ495417.1	Uncultured bacterium clone Bas-7-60 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	95%	X84979.1	C.orbicularis symbiont 16S rRNA gene	92%

Númer klóna	Tilvísun	Heiti raðar	Samsvörun	Tilvísun	Heiti raðar	Samsvörun
KL-3	GO002634.1	Uncultured bacterium clone nbu179b03c1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	98%	AF057017.1	Legionella sp. FM-1-679 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%
KL-4	EU640655.1	Uncultured Comamonadaceae bacterium clone GC12m-1-16 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	FM955857.1	Rhodferax sp. Asd M2A1 16S rRNA gene, strain Asd M2A1	98%
KL-5	EU491251.1	Uncultured bacterium clone P9X2b2B09 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	88%	HQ614973.1	Uncultured soil bacterium clone Zp16Sf1D06 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	89%
KL-6	EU195325.1	Sphingomonas sp. M10dp 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	100%	EU195325.1	Sphingomonas sp. M10dp 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	100%
KL-7	EF179845.1	Uncultured bacterium clone 5.1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	90%	CP001836.1	Dickeya dadantii Ech586, complete genome	89%
KL-8	CP001965.1	Sideroxydans lithotrophicus ES-1, complete genome	97%	HQ290504.1	Bacterium SCGC AAA018-L18 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	98%
KL-9	HM186017.1	Uncultured bacterium clone HDB_SIOI918 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	94%	AF533506.1	Candidatus Captivus acidiprotistae clone ASL45 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	90%
KL-10	GQ397041.1	Uncultured bacterium clone AK4DE1_06F 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	X84979.1	C.orbicularis symbiont 16S rRNA gene	91%
KL-11	GQ397041.1	Uncultured bacterium clone AK4DE1_06F 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	95%	X84979.1	C.orbicularis symbiont 16S rRNA gene	92%
KL-12	EU297367.1	Uncultured Firmicutes bacterium clone GASP-KA1W3_A12 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	HQ397556.1	Uncultured bacterium clone B5562 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%
KL-13	FM176297.1	Uncultured Beggiatoa sp. partial 16S rRNA gene, clone CL5.H29	95%	AY914060.1	Halomonas sp. A-9 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	89%
KL-14	FJ602421.1	Uncultured bacterium clone p02.E09 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	100%	HQ290493.1	Bacterium SCGC AAA018-G17 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	97%
KL-15	EU803983.1	Uncultured bacterium clone SC231660 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	90%	AB308363.1	Bacterium TG161 gene for 16S ribosomal RNA, partial sequence	89%
KL-16	GQ495417.1	Uncultured bacterium clone Bas-7-60 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	94%	AB468957.1	Thiopropfundum lithotrophica gene for 16S rRNA, partial sequence, strain: 106	93%
KL-17	AB600407.1	Uncultured bacterium gene for 16S rRNA, partial sequence, clone: hfmB036	98%	GQ495224.1	Delta proteobacterium BABL1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	86%
KL-18	DQ996953.1	Uncultured bacterium clone MD2896-3m.116 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	82%	HM117848.1	Kerstersia gyiorum strain HF2 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	77%
KL-19	AY328730.1	Uncultured bacterium DSSD31 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	91%	CP002159.1	Gallionella capsiferiformans ES-2, complete genome	90%
KL-20	GQ495417.1	Uncultured bacterium clone Bas-7-60 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%	AB468957.1	Thiopropfundum lithotrophica gene for 16S rRNA, partial sequence, strain: 106	92%
KL-21	AM945428.1	Uncultured bacterium partial 16S rRNA gene, clone Malla3.70	97%	FJ494793.1	Stappia sp. NH89-62 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	94%
KL-22	HQ132425.1	Uncultured alpha proteobacterium clone F-16 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%	AM989074.1	alpha proteobacterium AKB-2008-KU10 partial 16S rRNA gene, strain AKB-2008-KU10	95%
KL-23	AF526927.2	Uncultured bacterium clone T5-3 16S ribosomal RNA (rrn) gene, partial sequence	95%	EF450317.1	Marinomonas sp. R289 16S small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	88%
LA-1	GQ454858.1	Comamonadaceae bacterium VUG-A138 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	EF127651.1	Polaromonas rhizosphaerae strain UMS-142 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%
LA-2	HQ015456.1	Uncultured bacterium clone ZBAF-D11 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	92%	AB518773.1	Alpha proteobacterium TI_chim_Sur55-1 gene for 16S ribosomal RNA, partial sequence	91%
LA-3	GU366856.1	Uncultured bacterium clone C7 C15 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	85%	AM884346.1	Gamma proteobacterium SCSA5 partial 16S rRNA gene, strain SCSA5	83%
LA-4	AM181901.1	uncultured bacterium partial 16S rRNA gene, clone AV5-28	94%	NR_028678.1	Azovibrio restrictus strain S5b2 16S ribosomal RNA, partial sequence	93%
LA-5	EF562555.1	Uncultured Bacteroidetes bacterium clone CC_04 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%	FN821840.1	Sediminibacterium sp. PYM5-6 partial 16S rRNA gene, strain PYM5-6	97%
LA-6	GQ397041.1	Uncultured bacterium clone AK4DE1_06F 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	X84979.1	C.orbicularis symbiont 16S rRNA gene	92%
LA-7	AB286596.1	Uncultured bacterium gene for 16S rRNA, partial sequence, clone: 1538	97%	HM138368.1	Holospiraceae bacterium Serialkilleuse_9403403 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%
LA-8	AB568032.1	Uncultured bacterium gene for 16S rRNA, partial sequence, clone: 5B3-16	93%	GU187032.1	Acidobacteria bacterium IGE-017 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	89%
LA-9	HQ287185.1	Uncultured bacterium clone JW41-B010 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	98%	DQ291149.1	Pelomonas sp. On15 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%
LA-10	HM329400.1	Uncultured bacterium clone ncd964e04c1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	GQ900876.1	Porphyromonas sp. 1aAG15-1_x3 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%
LA-11	FR66745.1	Uncultured bacterium partial 16S rRNA gene, clone GBe_072	99%	AB269814.1	Flavobacteria bacterium KF030 gene for 16S rRNA, partial sequence	98%
LA-12	EU134480.1	Uncultured bacterium clone FFCH14760 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	88%	GU167986.1	Actinobacterium BGR 39 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	86%
LA-13	EU937906.1	Uncultured bacterium clone 3BR-10CC 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%	EF158391.1	Beta proteobacterium d8-2 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	91%
LA-14	CP002159.1	Gallionella capsiferiformans ES-2, complete genome	97%	CP002159.1	Gallionella capsiferiformans ES-2, complete genome	97%
LA-15	HM126796.1	Uncultured bacterium clone SIN1148 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	AB468957.1	Thiopropfundum lithotrophica gene for 16S rRNA, partial sequence, strain: 106	92%
LA-16	HM346247.1	Uncultured alpha proteobacterium clone Jab PLO1W1D3 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%	AB524074.1	Sphingopyxis sp. JAMH 0132 gene for 16S ribosomal RNA, partial sequence	92%
LA-17	AB504930.1	Uncultured bacterium gene for 16S ribosomal RNA, partial sequence, clone: oze05B37	99%	AF070444.1	Tuber borchii symbiont b-17B0 16S ribosomal RNA gene, complete sequence	93%
LA-18	HM187284.1	Uncultured bacterium clone HDB_SIPP586 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	93%	FJ823975.1	Meiothermus sp. L462 16S ribosomal RNA (rrnC) gene, partial sequence	81%
LA-19	HM128653.1	Uncultured bacterium clone SINN607 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	EU887727.1	Sphingomonas sp. J52 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	90%
LA-20	EU266836.1	Uncultured Gallionellaceae bacterium clone D12_32 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	93%	EU321394.1	Azoarcus sp. FRC_B1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	92%
LA-21	FJ628284.1	Uncultured bacterium clone Nit5A0622_574 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	82%	FJ217702.1	Arthrobacter sp. Z0B 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	78%
LA-22	HM187366.1	Uncultured bacterium clone HDB_SISU395 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	98%	EF081294.1	Thermodesulfovibrio hydrogeniphilus strain Hbr5 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	84%

Númer klóna	Tilvisun	Heiti raðar	Samsvörun	Tilvisun	Heiti raðar	Samsvörun
KL-24(9); LA-23(3)	AY328730.1	Uncultured bacterium DSSD31 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	94%	X84979.1	C.orbicularis symbiont 16S rRNA gene	91%
KL-25(2); LA-24	AB179502.1	Uncultured bacterium gene for 16S rRNA, partial sequence, clone: MIZ11	97%	AB260040.1	Clostridiales bacterium Yos55 gene for 16S rRNA, partial sequence	78%
KL-26(2); LA-25(2)	HQ455823.1	Enterobacter asburiae strain CT33 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	HQ455823.1	Enterobacter asburiae strain CT33 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%
T1-14(2)	FJ719063.1	Uncultured bacterium clone p04_A04 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	Q25455.1	Propionivibrio limicola strain GolChi1 16S ribosomal RNA, complete sequence	95%
T3-15; GA-37; KR-31; KL-27	AM946981.2	Escherichia coli BL21(DE3), complete genome	100%	AM946981.2	Escherichia coli BL21(DE3), complete genome	100%
T1-15 (11)	FJ719063.1	Uncultured bacterium clone p04_A04 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	AY928207.1	Bacterium N2441 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%
GA-38(2); KR-32; KL-28	HQ237045.1	Uncultured bacterium clone 384A11 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	100%	GQ900848.1	Streptococcus sp. sp3-iso-146x17 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	100%
T3-16; KL-29; LA-26(3)	CP002159.1	Gallionella capsiferriformans ES-2, complete genome	99%	CP002159.1	Gallionella capsiferriformans ES-2, complete genome	99%
KL-30; LA-27	AY026948.1	Sphingomonas sp. ML1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	100%	AY026948.1	Sphingomonas sp. ML1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	100%
T1-16(1); T3-17(12); KL-31	EU937906.1	Uncultured bacterium clone 3BR-10CC 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	CP002159.1	Gallionella capsiferriformans ES-2, complete genome	95%
T1-17(4)	EU443001.1	Uncultured bacterium clone N06May-19 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	AB080643.1	Sulfuricurvum kujijense gene for 16S rRNA, partial sequence, strain:YK-2	97%
LA-28(2)	GQ159679.1	Uncultured bacterium clone 16slp119-2g04.p1k 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	92%	DQ530071.1	Delftia acidovorans isolate Cl07 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	92%
T1-18; KR-33; LA-29	HQ290506.1	Bacterium SCGC AAA018-M4 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	98%	HQ290506.1	Bacterium SCGC AAA018-M4 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	98%
KR-34(2)	FJ810552.1	Uncultured bacterium clone JMYB12-55 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	95%	HM038000.1	Vampirovibrio chlorellavorus ATCC:29753 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	83%
KR-35(2)	AB177219.1	Uncultured bacterium gene for 16S rRNA, clone: ODP1230B5.17	82%	HM117848.1	Kerstersia gyiorum strain HF2 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	78%
T1-19 (5); GA-39(4); KL-32(2); LA-30(4)	AF351237.1	Uncultured beta proteobacterium clone 8-11 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	98%	NR_028678.1	Azovibrio restrictus strain S5b2 16S ribosomal RNA, partial sequence	95%
GA-40(3)	GQ264495.1	Uncultured bacterium clone WW3_39 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	97%	GU410601.1	TM7 phylum sp. oral taxon 349 clone WWP_SS1_C06 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	89%
T3-18; LA-31	HM340358.1	Uncultured bacterium clone ncd1051c07c1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	AB573714.1	Propionibacterium acnes gene for 16S ribosomal RNA, partial sequence, strain: JCM 6473	99%
GA-41; KR-36	GQ263899.1	Uncultured bacterium clone WC2_15 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	96%	DQ168651.1	Desulfuromonadales bacterium JN18_A94_J 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	90%
KL-33(2)	HM187121.1	Uncultured bacterium clone HDB_SIPO515 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	95%	HQ397095.1	Uncultured Verrucomicrobia bacterium clone NLS3.8 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	87%
T3-19; GA-42	AM167940.1	Uncultured Gallionella sp. partial 16S rRNA gene, clone BB15	94%	CP002159.1	Gallionella capsiferriformans ES-2, complete genome	95%
KL-34; LA-32	GU980221.1	Methylobacterium sp. CCGE4019 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%	GU980221.1	Methylobacterium sp. CCGE4019 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	99%
GA-43(2)	AM940890.1	Uncultured bacterium partial 16S rRNA gene, clone B9_57	87%	GU199448.1	Neisseriaceae bacterium Lie1-3 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	89%
T3-20(2); GA-44; KL-35	HQ379138.1	Uncultured Delftia sp. clone IODP_305_1309D_80_14 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	100%	HQ113205.1	Delftia acidovorans strain CL-9.07 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	100%
T3-21; KL-36	HM445426.1	Uncultured bacterium clone GP27677D08 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	98%	AY162122.1	Planctomycete GMD14H10 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	80%
GA-36; LA-33	FM253644.1	Uncultured Chloroflexi bacterium 16S rRNA gene, clone C04-2	97%	HQ397034.1	Uncultured Chloroflexi bacterium clone HAHS13.103 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	85%
T1-13(2)	GQ342376.1	Uncultured beta proteobacterium clone 50L24N 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	95%	GU202936.1	Dechloromonas sp. ECC1-pb1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	94%