



**Athugun á virkni veira í grunnvatni á Íslandi með notkun
MS2 og PhiX174 sem staðgengla**

Berglind Dögg Ómarsdóttir



**Líf- og umhverfisvísindadeild
Háskóli Íslands
2017**

Athugun á virkni veira í grunnvatni á Íslandi með notkun MS2 og PhiX174 sem staðgengla

Berglind Dögg Ómarsdóttir

15 eininga ritgerð sem er hluti af
Baccalaureus Scientiarum gráðu í líffræði

Leiðbeinendur
Eva Benediktsdóttir
María J. Gunnarsdóttir

Líf- og umhverfisvísindadeild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Reykjavík, maí 2017

Athugun á virkni veira í grunnvatni á Íslandi með notkun MS2 og PhiX174 sem staðgengla.

15 eininga ritgerð sem er hluti af *Baccalaureus Scientiarum* gráðu í líffræði

Höfundarréttur © 2017 Berglind Dögg Ómarsdóttir
Öll réttindi áskilin

Líf- og umhverfisvísindadeild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Askja, Sturlugötu 7
101 Reykjavík

Sími: 525 4000

Skráningarupplýsingar:

Berglind Dögg Ómarsdóttir, 2017, *Athugun á virkni veira í grunnvatni á Íslandi með notkun MS2 og PhiX174 sem staðgengla*, BS ritgerð, Líf- og umhverfisvísindadeild, Háskóli Íslands, 17 bls.

Prentun: Háskólaprent
Reykjavík, maí 2017

Útdráttur

Faraldrar af völdum nóróveiru hafa komið upp víða um heim. Nóróveirur valda sjúkdómum í mönnum og þá aðallega slæmrar magakveisu. Hér á landi hafa verið skráðir nokkrir faraldrar. Helstu smitleiðir sjúkdómsins er með menguðu vatni. MS2 og PhiX174 fagar voru notaðir sem staðgenglar fyrir nóróveirur. Þeim var sprautað í dialysuslöngur og komið fyrir í borholu í Kaldárseli þar sem markmiðið var að rannsaka hversu lengi veirur geta verið virkar í grunnvatni við íslenskar aðstæður. Helsti áhrifaþátturinn er hitastig og eru veirur virkar mun lengur í köldu vatni en heitu. Styrkur MS2 minnkaði um $1,8\text{-log}_{10}$ á 35 dögum, úr upphafsstyrknum $1,32 \cdot 10^9$ í $1,9 \cdot 10^7$, og styrkur PhiX174 minnkaði um $0,3\text{-log}_{10}$ á sama tímabili, úr upphafsstyrknum $6,7 \cdot 10^8$ í $2,1 \cdot 10^8$. Styrkur MS2 minnkaði því mun hraðar en PhiX174. Þessar niðurstöður leiða í ljós að veirur óvirkjast á löngum tíma við þessar aðstæður.

Abstract

Norovirus outbreaks have occurred worldwide. Noroviruses cause acute gastrointestinal illnesses in humans. Several waterborne outbreaks have been reported here in Iceland. The main pathways of the disease are contaminated water. In this research MS2 and PhiX174 phages were used as surrogates for norovirus. They were injected into dialysis tubes and placed in a borehole in Kaldársel where the aim was to investigate how long viruses are active in groundwater under Icelandic conditions. The main influencing factor is temperature, as viruses are active much longer in cold water than in warm. The concentration of MS2 decreased $1,8 \log_{10}$ in 35 days, from baseline $1,32 \cdot 10^9$ to $1,9 \cdot 10^7$, and the concentration of PhiX174 decreased $0,3 \log_{10}$, from baseline $6,7 \cdot 10^8$ to $2,1 \cdot 10^8$. The concentration of MS2 decreased much faster than PhiX174. These results show that viruses take a long time to be inactive.

Efnisyfirlit

1	Inngangur	1
1.1	Grunnvatn	1
1.2	Vatnsveitur á Íslandi	1
1.3	Faraldrar.....	1
1.4	Nóróveirur.....	2
1.5	Smitleiðir nóróveira	2
1.6	Einkenni sýkinga af völdum nóróveira	2
1.7	Staðgenglar	2
2	Aðferðir	4
2.1	Veirur, hýsilbakteríur, efni og æti	4
2.2	Títurering á veirum	4
2.3	Dialysuslöngur	5
2.4	Tilraun.....	5
3	Niðurstöður	7
4	Umræður	9
5	Heimildaskrá	10

Þakkir

Ég vil koma fram þökkum til Vatnsveitu Hafnarfjarðar fyrir aðgang að borholunni við Kaldársel og gera hana aðgengilega fyrir þessa rannsókn og fyrir styrk sem veittur var fyrir rekstrarvörum fyrir rannsóknina. Einnig vil ég þakka leiðbeinendum mínum Evu Benediktsdóttur og Maríu J. Gunnarsdóttur.

1 Inngangur

1.1 Grunnvatn

Vatn til neyslu eru almenn mannréttindi þó svo að ekki allir íbúar jarðar hafi aðgang að hreinu vatni. Grunnvatn er mikilvæg auðlind sem drykkjarvatn á mörgum svæðum í heiminum. Gæði grunnvatns eru talin stöðugri en yfirborðsvatn með tilliti til örvera og minni hættu á að það mengist. Bæði er það vel varið og óhreinindi síast út á leið þess um jarðveginn og því ákjósanlegt sem neysluvatn. (Ogorzaly o.fl. 2010; María J. Gunnarsdóttir o.fl. 2013). Vernda þarf heilsu manna með því að tryggja að neysluvatn sé heilnæmt og hreint.

1.2 Vatnsveitur á Íslandi

Eftirlitsskyldar vatnsveitur á Íslandi eru um 800 talsins og þær sem þjóna fleirum en 500 íbúum voru 48 talsins árið 2012. Þær síðastnefndu þjóna 93% þjóðarinnar, en 7% fá vatn frá minni vatnsveitum eða einstökum vatnsbólum (María J. Gunnarsdóttir o.fl. 2016).

Neysluvatn hér á landi er að mestu grunnvatn tekið úr borholum, brunnum eða uppsprettum (95%) og er sjaldan meðhöndlað. Einnig getur neysluvatn verið yfirborðsvatn (5%) og er þá meðhöndlað með síun og sótthreinsað með geislun (María J. Gunnarsdóttir og Sigurður M. Garðarsson. 2015).

Neysluvatn á Íslandi er skilgreint sem matvæli og þarf að uppfylla matvælalög (nr. 93/1995). Til að tryggja heilnæmi neysluvatns er í gildi reglugerð frá 2001 (nr. 536/2001) sem var sett til að uppfylla kröfur Evrópusambandsins um neysluvatn frá 1998 (European Council. 98/83/EC. 1998). Þar er sagt til um eftirlitshætti og hversu oft þurfi að taka sýni í opinberu eftirliti.

1.3 Faraldrar

Frá árunum 1997-2010 voru tólf vatnsbornir sjúkdómsfaraldrar skráðir hér á landi. Flestir voru af völdum nóróveiru eða kampýlobakter. Orsakir faraldranna voru m.a. að rotþrær voru of nálægt vatnsbóli eða að yfirborðsvatn komst í vatnsleiðsluna. (María J. Gunnarsdóttir og Sigurður Magnús Garðarsson. 2015). Neysluvatn hér á landi er yfirleitt hreint, þ.e. laust við sjúkdómsvaldandi örverur og efni sem eru hættuleg heilsu manna. Örveruástand neysluvatns á Íslandi er oftast gott hjá stærri vatnsveitum en verra hjá minni vatnsveitum. Flestir vatnsbornir faraldrar hafa orðið hjá minni vatnsveitum sem þjóna ferðamönnum og sumarhúsagestum og er ástæðan fyrir því talin vera hversu frábrugðnar þær eru öðrum vatnsveitum; álag er mismunandi eftir árstíma, vinsælir ferðamannastaðir eru flestir í dreifbýli og oft er óljóst hver ber ábyrgð á að fyrirbyggja mengun (María J. Gunnarsdóttir og Sigurður Magnús Garðarsson. 2014).

1.4 Nóróveirur

Bráð iðrakveisa er einn algengasti sjúkdómur manna. Róta-, calici-, astro-, og enterískar adenoveirur eru helstu veirurnar sem valda iðrakveisu.

Nóróveirur eru óhjúpaðar, einþátta RNA veirur, 30-35nm í þvermál (Seitz o.fl. 2011) og flokkast undir caliciveirur. Þær greindust í fyrsta sinn í tengslum við hópsýkingu í grunnskóla í Norwalk, Ohio í Bandaríkjunum árið 1972 og er fyrsta veiran sem var tengd einkennum frá meltingarvegi (Embætti landlæknis. 2016).

1.5 Smitleiðir nóróveira

Smitleiðir nóróveira eru margar en helstu smitleiðirnar eru með saur/munn ferli. Þær smitast aðallega með menguðu drykkjarvatni eða fæðu og einnig milli manna með t.d. beinni snertingu eða með innöndun úða úr uppköstum (Embætti landlæknis. 2016). Koma má í veg fyrir sýkingar sem smitast með beinni snertingu að einhverju leyti með því að þvo hendur vel og vandlega með vatni og sápu (Nester o.fl. 2012). Þessi sjúkdómur er mjög smitandi og þarf mjög lítið af veirum til að sýkja. Ónæmi fyrir nóróveirum virkar í takmarkaðan tíma. Af þessum sökum geta einstaklingar fengið endurteknar sýkingar. Algengt er að sýkingar verði í hálflokuðum samfélögum eins og t.d. sumarbústöðum, skemmtiferðarskipum, sjúkrahúsum o.fl. (Nester o.fl. 2012).

1.6 Einkenni sýkinga af völdum nóróveira

Algengustu einkenni nóróveira eru uppköst, niðurgangur þar sem fylgt geta slæmir kviðverkir, beinverkir, höfuðverkur og stundum vægur hiti. Sjúkdómurinn gengur í langflestum tilfellum yfir á einum til tveimur sólarhringum án nokkurrar meðferðar (Embætti landlæknis. 2016). Einnig getur sjúkdómurinn valdið dauðsföllum víðs vegar um heim þó það sé lang algengast í þróunarlöndunum þar sem vatnið þar er mjög mengað. Talið er að um 50.000 börn deyi árlega af völdum nóróveiru í heiminum og eru nánast öll þau dauðsföll í þróunarlöndunum (Centers for Disease Control and Prevention. 2016). Ekki eru til nein bóluefni gegn nóróveirum (Nester o.fl. 2012).

1.7 Staðgenglar

Til að hægt sé að fá vitneskju um hversu lengi veirur í grunnvatni eru virkar, og þá með aðaláherslu á sjúkdómsvaldandi veirur, hafa verið notaðir staðgenglar. Þessir staðgenglar eru yfirleitt bakteríufagar sem sýkja ekki menn og er því óhætt að setja þá í grunnvötn til frekari rannsókna. Bakteríufagar sem eru notaðir líkjast veirum sem valda sjúkdómum í spendýrum mest, og þá aðallega í samanburði við stærð, byggingu og lífeðlisfræði. *E.coli* fagar eru ekki líklegir til að fjölfalda sig í umhverfinu þar sem þörf er á hýsilfrumu til þess, einnig er lágt hitastig vatns önnur ástæða (Collins o.fl. 2006). Mjög erfitt hefur reynst að rækta mannanóróveirur en tekist hefur að rækta músanóróveirur. Í rannsóknum sem gerðar hafa verið hefur verið komist að því að músanóróveirur þykja góðir staðgenglar fyrir mannanóróveirur þar sem þær eru erfðafræðilega séð mjög líkar mannanóróveirum og einnig stöðugar í umhverfinu (Bae, J. og Schwab, K.J. 2008). Ólíklegt er þó að leyfi fengist til að setja veirur sem sýkja spendýr í grunnvatnsæð.

Algengir staðgenglar sem notaðir eru í rannsóknum sem þessum eru MS2, PRD1 og PhiX174 (Collins o.fl. 2006). Í þessari rannsókn voru bakteríufagarnir MS2 og PhiX174 notaðir og þeim komið fyrir í borholu í Kaldárseli, þar sem þeir voru innilokaðir í dialysuslöngu.

Við heilbrigðiseftirlit hefur verið ráðandi hversu stutt bakteríur lifa en minna er vitað um hversu lengi veirur haldast virkar. Allar vísbendingaörverur sem stuðst er við í reglugerðum eru bakteríur. Aðstæður í jarðvegi á Íslandi eru ólíkar því sem víða finnst erlendis. Það er oft miklu meira kalk og steinefni að finna í jarðvegi erlendis. Það er kaldara hér á landi og sýrustig grunnvatns er miklu basískara en erlendis þar sem svipaðar rannsóknir hafa verið gerðar, eða oftast um pH 8-9. Á Íslandi er að finna mun hreinnara og auðunnara ferskvatn en í flestum öðrum löndum (Freysteinn og Þórólfur. 1990). Aldrei áður hefur slík rannsókn verið gerð á Íslandi þar sem markmiðið er að athuga hversu lengi veirur haldast virkar í grunnvatni.

2 Aðferðir

2.1 Veirur, hýsilbakteríur, efni og æti

Hýsilbakteríurnar ásamt veirunum (fögunum) sem notaðar voru í þessari rannsókn voru keyptar. MS2 fagarnir ATCC 15597-B1 og hýsilbakterían *E.coli* ATCC 15597 voru keyptar frá LGC Standards stofnasafni í Þýskalandi en PhiX174 fagarnir DSM 4497 og hýsilbakterían *E.coli* DSM 13127 voru keyptar frá DSMZ stofnasafni í Þýskalandi. Mælt er með þessum gerðum baktería sem hýsilbakteríum fyrir þessar veirur.

Borholuvatn var sótt í flöskur úr krana við Kaldársel. Þetta borholuvatn var síðan notað þegar skipta þurfti á vatni í keilufloeskum sem innihéldu dialysuslöngur sem notað var sem viðmið og geymt á rannsóknarstofu í kæli við 4°C. Skipt var um vatn tvisvar sinnum í viku. Súrefnismettun var mæld í borholu V5 í Kaldárbotnum þann 16. desember 2016. Súrefnismettun var 96,2% á 28 metra dýpi, sem er það dýpi sem fagar voru á í borholunni. Mælinguna gerðu María J. Gunnarsdóttir og Vilhjálmur Sigurjónsson.

Fyrir hverja sýnatöku þurfti að setja upp hýsilbakteríurnar. Það var gert með því að hella um 20 ml af viðeigandi lausnum í tvær litlar keilufloeskur, bakteríum ýmist sáð af petriskál eða glösum úr frysti með lykkjum, blandað og komið fyrir í hitaskáp við 37°C. Bakteríurnar voru í miðjum vaxtarfasa eftir nokkrar klukkustundir.

Undirbúa þurfti agaræti fyrir hýsilbakteríur sem notaðar voru. Einnig var búinn til linagar fyrir báða fagana. Ræktunaræti hýsilbakteríunnar *E.coli* DSM 13127 innihélt 20 g tryptone, 5 g NaCl, 2,5 g MgSO₄ * 7 H₂O, 1 L eimað vatn. Fyrir 1% agar var 10 g af agar bætt við, en 5 g af agar fyrir 0,5% agar (linagar). TMGS bufferlausn fyrir PhiX174 innihélt 1,2 g Tris, 2,46 g MgSO₄*7 H₂O og 8,5 g NaCl. Ræktunaræti hýsilbakteríunnar *E.coli* ATCC 15597, A lausn, innihélt 10 g tryptone, 1,0 g ger, 8 g NaCl og 950 ml eimað vatn fyrir hvern líter af æti (Cormier og Janes. 2013). Fyrir 1% agar var 10 g af agar bætt við, en 5 g af agar fyrir 0,5% agar (linagar). 50 ml af lausn B var bætt við ræktunarætið eftir autoklaveringu, eftir að það var kælt niður í 45°C en lausn B innihélt 1,0 g glúkósa, 0,39 g CaCl₂ (H₂O)₂, 10 mg thíamín ásamt 50 ml af eimuðu vatni. A+B lausn var notuð sem bufferlausn fyrir MS2. A+B bufferlausn og TMGS bufferlausn voru notaðar við títrun á sýnunum úr borholu og á rannsóknarstofu.

Öll áhöld, ílát og efni voru dauðhreinsuð fyrir notkun, að undanskildum dialysuslöngunum. Borholuvatn og lausn B var dauðhreinsað með síun, skæri og pinsettur dauðhreinsuð með flamberingu og öll ílát dauðhreinsuð með autoklava.

2.2 Títrering á veirum

Á rannsóknarstofu var rúmmál sýnanna mælt með vigtun. Gerðar voru tífoldar þynningar á sýnunum. Fyrir títreringu á MS2 faga var 1 ml af B lausn, 1 ml af hýsilbakteríu, 100 µl af viðkomandi veiruþynningu ásamt 20 ml af bræddum linagar (0,5% agar) blandað saman og skipt á tvær agarskálar. Fyrir títreringu á PhiX174 faga var 200 µl af hýsilbakteríu, 200 µl af viðkomandi veiruþynningu ásamt 6 ml af bræddum linagar (0,5% agar) blandað saman og

skipt á tvær agarskálar. Agarskálunum var komið fyrir í hitaskáp við 37°C yfir nótt. Daginn eftir voru eyður taldar á agarskálunum og þær skráðar niður. Eyðurnar sögðu til um fjölda veira sem höfðu notað bakteríur sem hýsil. Sama aðferð við útrun var notuð á sýnum á rannsóknarstofu og á borholusýnum.

2.3 Dialysuslöngur

Fagarnir MS2 og PhiX174 var komið fyrir í dialysuslöngum. Dialysuslöngurnar komu frá Sigma, D9777, 25mm á breidd með „cut-off“ við 1400 Dalton. Dialysuslöngurnar voru klipptar niður í rúmlega 30 cm búta og meðhöndlaðar samkvæmt aðferð frá Cellu-Sep® T-series með lítilsháttar breytingu. Sett var 10 mM NaHCO₃ við 60°C í 30 mínútur, 10 mM EDTA við 60°C í 30 mínútur og eimað vatn í 60°C í 30 mínútur. Þá voru þær settar í sterílt borholuvatn og geymdar í kæli í 40 klst þar til þær voru notaðar. Sprautað var 1 ml af viðkomandi faga í hverja dialysuslöngu og bundið með 2 hnútum á sitt hvorn endann til að loka þeim. Til að geta aðgreint sýnin var 1 auka hnútur bundinn á dialysuslöngu sem tilheyrði PhiX174 og sú slanga því með 3 hnúta á öðrum enda en MS2 með 2 hnúta. Farið var með þessar dialysuslöngur í Kaldársel þar sem þær voru bundnar við járnstöng með útstæðum pinnum sem var svo sett í plasthólk með götum á svo vatninu var kleyft að flæða í gegn, sjá mynd 1.



Mynd 1: a) Borholan við Kaldársel ásamt plasthólknum. b) Járnstöngin með áföstum dialysuslöngum sem innihéldu MS2 og PhiX174 fagana.

2.4 Tilraun

Sýnunum var komið fyrir þann 21. febrúar 2017 þar sem plasthólkurinn var látinn síga niður í borholuna sem er á 30 m dýpi og var hitastigið á vatninu um 3,2°C. Sýnatökur í Kaldárseli fóru fram einu sinni í viku fyrst um sinn en síðar var farið aðra hvora viku. Þær dagsetningar sem um ræðir eru 28. febrúar, 7. mars, 14. mars, 28. mars og 11. apríl. Fjórar dialysuslöngur voru klipptar af járnstönginni við hverja sýnatöku, eða tvær af hvorri gerð og settar strax í 100 ml sterílt borholuvatn. Þegar niðurstöður fengust úr þessum sýnum var reiknað meðaltal tveggja sýna af sama faga.

Til viðmiðunar var sama fjöldi sýna í dialysuslögum komið fyrir í tveimur kolbum með sitt hvorri fagategundinni. Kolburnar innihéldu 2,5 l af sterilu borholuvatni, og voru hafðar við vægan hristing, 60 snún./mín., við 4 °C á rannsóknarstofunni. Skipt var um vatn í kolbunum tvisvar í viku.

3 Niðurstöður

Í töflu 1 eru sýndar niðurstöður frá sýnum úr borholu við Kaldársel. Í töflu 2 má sjá niðurstöður frá sýnum við rannsóknarstofu. Valdar voru þær þynningar þar sem fjöldi eyða reyndist vera á milli 20-200 hjá MS2 og á milli 10-100 hjá PhiX174. Niðurstöður í töflu 1 og 2 sýna meðaltöl tveggja sýna fyrir sama faga, sem voru ýmist tekin úr borholu við hitastig 3,2°C eða af rannsóknarstofu við hitastig 4,0°C, sjá töflur 1 og 2.

Tafla 1: Niðurstöður frá sýnum úr borholu við Kaldársel við hitastig 3,2°C.

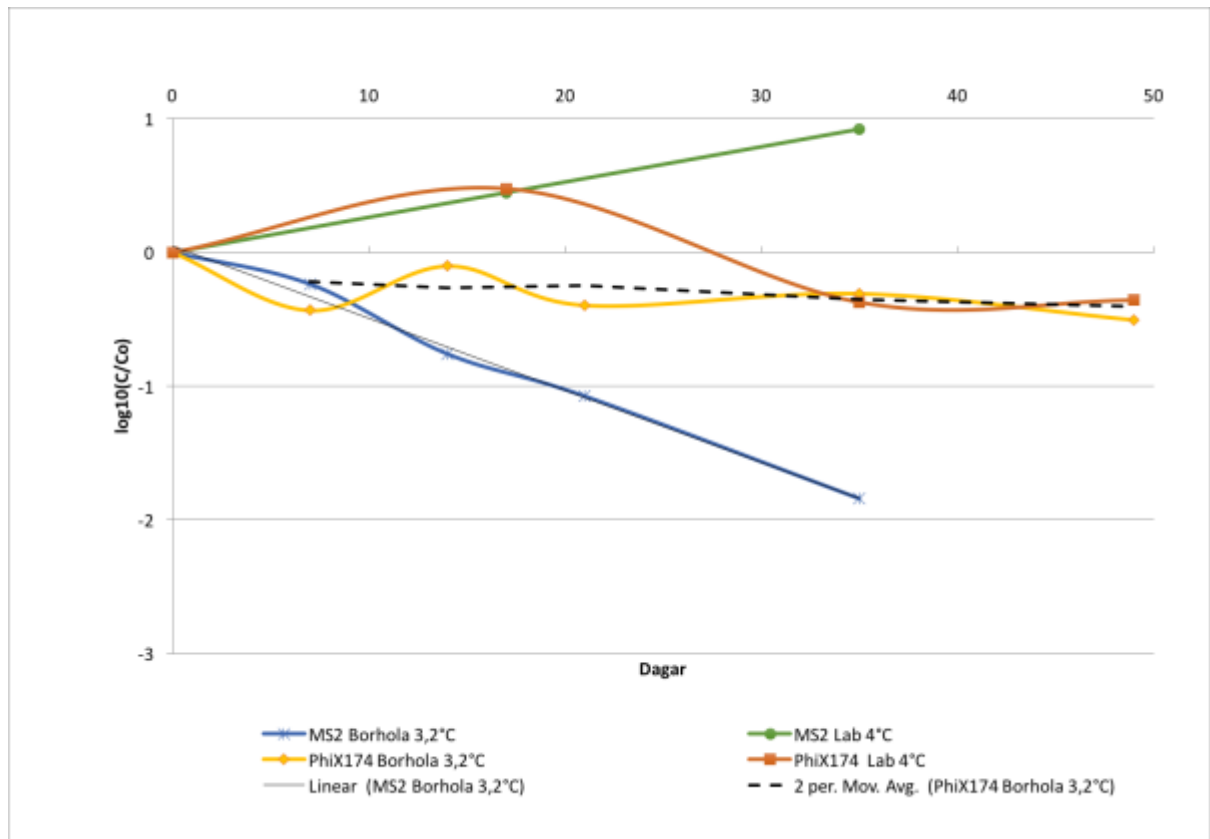
Borhola Kaldárseli, hiti í borholu 3,2 °C			
Dags	Fjöldi daga	MS2	PhiX174
21.feb	0	1,32*10⁹	6,7*10⁸
28.feb	7	7,65*10⁸	2,47*10⁸
7.mar	14	2,3*10⁸	5,3*10⁸
14.mar	21	1,11*10⁸	2,7*10⁸
28.mar	35	1,9*10⁷	3,3*10⁸
11.apr	49	X	2,1*10⁸

X= mistókst

Tafla 2: Niðurstöður frá sýnum úr rannsóknarstofu við hitastig 4,0°C.

Rannsóknarstofa, hiti við geymslu 4,0°C			
Dags	Fjöldi daga	MS2	PhiX174
21.feb	0	1,32*10⁹	6,7*10⁸
10.mar	17	3,7*10⁹	2,0*10⁹
28.mar	35	1,1*10¹⁰	2,85*10⁸
11.apr	49	X	2,95*10⁸

X= mistókst



Mynd 2: Niðurstöður rannsóknar. Óvirkjun MS2 og PhiX174 í borholu við 3,2°C og á rannsóknarstofu við 4,0°C.

Byrjunarstyrkur MS2 var $1,32 \cdot 10^9$ og PhiX174 var $6,7 \cdot 10^8$ þegar þeim var komið fyrir í borholu við Kaldársel þann 21. febrúar. Styrkur MS2 minnkaði hraðar en hjá PhiX174 eins og sjá má á myndinni og hafði styrkur þeirra minnkað niður í $1,9 \cdot 10^7$ hjá MS2 og í $2,1 \cdot 10^8$ hjá PhiX174 í lok rannsóknar.

4 Umræður

Í þessari rannsókn voru bakteríufagarnir MS2 og PhiX174 notaðir sem staðgenglar fyrir veirur þar sem kannað var hversu lengi veirur voru virkar í grunnvatni við íslenskar aðstæður. Með því að skoða niðurstöður á mynd 2 má sjá að PhiX174 virðist óvirkjast aðeins lítillega á rannsóknarstofu og það sama er að segja með sýnin í borholu. MS2 á rannsóknarstofu virðist aukast en er að líkindum mæliskekka, það er óhugsandi að veirurnar geti fjölgað sér í dialysuslöngunum. Þó má draga þá ályktun að MS2 á rannsóknarstofu er ekki að fækka. MS2 óvirkjast mun hraðar í borholu en á rannsóknarstofu. Viðmið á rannsóknarstofu og borholusýni eru í sama vatninu, og í næstum því sama hitastigi (munar 0,8°C), svo það ætti ekki að hafa svona afgerandi áhrif á virkni MS2 veira. Dialysuslöngurnar virðast ekki vera að hafa áhrif á virkni veira, þar sem þær eru bæði í borholu og á rannsóknarstofu. Það er greinilega eitthvað í grunnvatninu í borholunni sem gerir það að verkum að MS2 sé að óvirkjast. Skýringin getur verið umhverfisþáttur eins og súrefni í borholunni, það er ekki jafn mikið streymi á vatninu á rannsóknarstofu eins og í borholu. MS2 og PhiX174 eru *E.coli* fagar og þeir eiga heimkynni í ristlinum sem er mjög súrefnissnautt umhverfi. Þess vegna gæti verið að aukið magn súrefnis í borholu eigi sinn þátt í óvirkjun MS2 veiranna, þar sem súrefnismettunin mældist 96,2%.

MS2 virðist vera viðkvæmari fyrir umhverfinu en PhiX174. (Yates o.fl. 1985) prófuðu ýmsa umhverfisþætti og komust að því að hitastigið hafði mikil áhrif á líftíma veiranna, þ.á.m MS2. Hjá þeim minnkaði MS2 um 92% þegar hitastigið fór úr 23°C í 4°C. Á Íslandi er hitastig grunnvatns lágt og viðbúið að veirur haldist lengur virkar þess vegna samanborið við niðurstöður Yates. Ef grunnvatn mengast þá eru margir þættir sem ráða því hversu fljótt mengunin hverfur svo sem útþynning, kornastærð, síun, viðloðun við jarðveg, pH ofl. (M. J. Gunnarsdóttir o.fl. 2013). En það sem mælt var í þessari rannsókn var einungis óvirkjun faganna í vatninu. Aðrar rannsóknir hafa sýnt fram á að það sé lítil breytileiki á PhiX174 faga og er þá heppilegri en MS2 til rannsókna á saurmengun hér á landi (Bertrand, I. o.fl. 2012) sem er í samræmi við niðurstöður sem fengust í okkar rannsókn. Þetta segir okkur að veirur geta verið virkar í langan tíma í grunnvatni án þess að óvirkjast en þær eru mismunandi næmar fyrir umhverfisáhrifum.

Ýmsar rannsóknir hafa verið gerðar með því að nota MS2 og PhiX174 sem staðgengla fyrir veirur. Komist hefur verið að því að MS2 sé betri vísitægi fyrir enteroveirur en hinar hefðbundnu vísibakteríur (Bae, J. og Shwab, K.J. 2008). Með því að skoða niðurstöðurnar úr þessari rannsókn má fá nokkurs konar mat á það hversu langan tíma það tekur nóróveirur að óvirkjast ef þær á annað borð berast í vatnið hér á landi.

5 Heimildaskrá

- Bae, J. og Shwab, K.J.** 2008. Evaluation of Murine Norovirus, Feline Calicivirus, Poliovirus, and MS2 as Surrogates for Human Norovirus in a Model of Viral Persistence in Surface Water and Groundwater. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(2), 477-484.
- Bertrand, I., Schijven, J.F., Sánchez, G., Wyn-Jones, P., Ottoson, J., Morin, T., Muscillo, M., Verani, M., Nasser, A., de Roda Husman, A.M., Myrmet, M., Sellwood, J., Cook, N. og Gantzer, C.** 2012. The impact of temperature on the inactivation of enteric viruses in food and water: a review. *Journal of Applied Microbiology*, 112: 1059-1074.
- Centers for Disease Control and Prevention.** 2016. Norovirus Worldwide. <https://www.cdc.gov/norovirus/worldwide.html> (sótt 25.05.17)
- Collins, K.E., Cronin, A.A., Rueedi, J., Pedley, S., Joyce, E., Humble, P.J. og Tellam, J.H.** 2006. Fate and transport of bacteriophage in UK aquifers as surrogates for pathogenic viruses. *Geoenvironmental Engineering*, 37-44.
- Cormier, J. og Janes, M.** 2013. A double layer plaque assay using spread plate technique for enumeration of bacteriophage MS2. *Journal of Virological Methods*, 196, 86-92.
- Embætti landlæknis.** 2016. Nóróveirur. <http://www.landlaeknir.is/smit-og-sottvarnir/smitsjukdomar/sjukdomur/item13096/Noroveirur> (sótt 17.05.17).
- Freysteinn Sigurðsson og Þórólfur H. Hafstað.** 1990. Öflun nytjavatns á Íslandi. *Vatnið og landið*, 111-120.
- María J. Gunnarsdóttir og Sigurður Magnús Garðarsson.** 2014. Gæði neysluvatns í ferðabjónustu á Íslandi. *Verktækni Tímarit* 21/2015.
- María J. Gunnarsdóttir, Sigurður Magnús Garðarsson og H.O. Andradóttir.** 2013. Microbial contamination in groundwater supply in a cold climate and coarse soil: case study of norovirus outbreak at Lake Mývatn, Iceland. *Hydrology Research*. 1114-1128, 44(6).
- María J. Gunnarsdóttir, Sigurður Magnús Garðarsson og Sigrún Ólafsdóttir.** 2016. Íslenskt neysluvatn: Yfirlit og staða gæða. *Verktækni Tímarit VFÍ/TFÍ* 01/2016.
- Nester, E.W., Anderson, D.G., Roberts Jr, C.E. og Nester, M.T.** 2012. *Microbiology, A Human Perspective*. 7th edition. New York: McGraw-Hill.
- Ogorzaly, L., Bertrand, I., Paris, M., Maul, A. og Gantzer, C.** 2010. Occurrence, Survival, and Persistence of Human Adenoviruses and F-Specific RNA Phages in Raw Groundwater. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(24).
- Seitz, S.R., Leon, J.S., Schwab, K.J., Lyon, G.M., Dowd, M., McDaniels, M., Abdulhafid, G., Fernandez, M.L., Lindesmith, L.C., Baric, R.S. og Moe, C.L.** 2011. Norovirus Infectivity in Humans and Persistence in Water. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(19).
- Yates, M.V., Gerba, C.P. og Kelley, L.M.** 1985. Virus Persistence in Groundwater. *Applied and Environmental Microbiology*, 778-781.