

Vöktun á snefilefnum í Þingvallavatni vegna Nesjavallavirkjunar

Finnur Ingimarsson¹, Natasa Desnica², Hrönn Ólína
Jörundsdóttir², Haraldur Rafn Ingvason¹, Stefán Már
Stefánsson¹

¹ Náttúrufræðistofa Kópavogs
² Matís ohf.

Fjölrit nr. 1-2020



Matís Ltd. - Icelandic Food and Biotech R&D



Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur

Vöktun á snefilefnum í Þingvallavatni vegna Nesjavallavirkjunar



Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur

Finnur Ingimarsson¹, Natasa Desnica², Hrönn Ólína Jörundsdóttir², Haraldur Rafn
Ingvason¹, Stefán Már Stefánsson¹

¹ Náttúrufræðistofa Kópavogs
² Matís ohf.

Fjölrit nr.1-2020



Náttúrufræðistofa
Kópavogs

Hamraborg 6a - 200 Kópavogur - natkop.is



Vínlandsleið 12 - 113 Reykjavík - matis.is

Ágrip

Gerð er grein fyrir mælingum á snefilefnum í sýnum úr Þingvallavatni, en vöktun þeirra hófst árið 1989. Vöktunarverkefnið er á vegum Orkuveitu Reykjavíkur og beinist, einkum að losun á affallsvatni frá Nesjavallavirkjun sem rennur um Nesjahraun til Þingvallavatns. Meginmarkmið vöktunarinnar er að fylgjast með hugsanlegum áhrifum ólífrænna snefilefna í affallsvatni virkjunarinnar á lífríki Þingvallavatns þannig að bregðast megi við ef áhrifa má vænta. Sýnatökur hafa að jafnaði farið fram með um 5 ára millibili en nýjustu mæliniðurstöður eru úr sýnatöku sem fram fór haustið 2019. Hér eru niðurstöður 2019 settar fram með niðurstöðum fyrri mælinga eins og gert var í síðustu skýrslu árið 2013 til að hægt sé að átta sig betur á þróun mála í tíma. Eftirfarandi efni hafa verið mæld: kvikasilfur (Hg), arsen (As), selen (Se), króm (Cr), kopar (Cu), kadmíum (Cd), blý (Pb), járn (Fe), sink (Zn) og mangan (Mn).

Hér eru birtar niðurstöður mælinga úr sýnum af botnseti, gróðri (síkjamara), vatnabobbum (sniglar) og fiski, bæði tekin á áhrifastað Nesjavallavallavirkjunar, Varmagjá, og hins vegar á viðmiðunarstað við Miðfell. Sex til átta mælingar sem hingað til hafa verið gerðar og liggja til grundvallar við tölfræðilega meðhöndlun gagnanna leiða í ljós að ekki er um tölfræðilega marktækan mun að ræða í meðalstyrk efna milli áhrifa- og viðmiðunarstaðar, nema hvað varðar kopar og kadmíum í vatnabobbum og dvergbleikju. Er þá styrkurinn hærri á áhrifastað. Styrkur kadmíums er einnig heldur hærri í maranum og liggur nærri marktæknimörkum. Það sama gildir fyrir arsen í vatnabobbum og fiski. Marktækur munur finnst í styrk mangans í síkjamara og vatnabobbum og fiski en þar er styrkurinn hærri á viðmiðunarstað við Miðfell.

Fyrir liggja mælingar á arsen, króm, kopar, nikkell, og sink, auk kadmíum og selens í skilju og þéttivatni frá Nesjavallavirkjun. Sýna þær að fimm fyrst nefndu efnin eru í örlítið hækkuðum styrk og liggur hann aðeins ofan viðmiða sem skilgreind eru í reglugerðum (nr. 536/2001 um neysluvatn og nr. 796-1999 um varnir gegn mengun grunnvatns). Það er einungis kopar sem hér kemur fram bæði í affallsvatninu og í marktækt hækkuðum styrk í umhverfisbreytum, mældum í þessari rannsókn.

Arsen, blý, kadmíum og kvikasilfur eru þau efni sem hingað til hafa helst verið talin geta haft neikvæð áhrif á lífríki í Þingvallavatni í tengslum við affallsvatn frá Nesjavallavirkjun. Niðurstöður mælinganna sem nú liggja fyrir benda ekki til neinna tölfræðilegra marktækrar aukningar þessara snefilefna í umhverfinu.

Mangan mælist í hærri styrk á viðmiðunarstaðnum. Ekki er víst af hverju þetta stafar en orsakanna gæti verið að leita í óþekktum staðbundnum mengunarföldum.

Extended summary

Results are presented on ecotoxicological measurements of trace elements in the biota of Lake Þingvallavatn in relation to a monitoring project run by the firm Reykjavík Energy on wastewater disposal by Nesjavellir geothermal co-generation power plant. The report provides new results from the year 2019 and, comparison of previous results from 1989, 1994, 1995, 1996, 2000, 2003, 2006 and 2012. Collection of data was performed at impact sites and reference sites and included measurements in sediment, macrophytes (*Myriophyllum alterniflorum*), the pulmonate snail *Radix balthica*, and dwarf morph of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*), a stationary fish and specialized snail eater. The trace elements measured were Hg, As, Se, Cr, Cu, Cd, Pb, Fe, Zn and Mn.

When the results from the eight sampling occasions during the period 1989–2019 were compared, no statistically significant differences in average concentrations of trace elements between impact and reference sites in sediment, macrophytes, snails or fish were observed, except for Cu in macrophytes, snails and fish liver and Cd in snails and fish liver. Cu and Cd were elevated at the impact site, whereas Mn was elevated at the reference sites in macrophytes, snails and fish liver. Elevated Cu concentrations are weakly matched by elevated concentrations in effluent water at the impact sites.

The trace elements As, Pb, Cd and Hg have been regarded as the potentially most hazardous elements for the biota in lake Þingvallavatn in conjunction with wastewater from the Nesjavellir co-generation power plant. However, the present results do not show any statistically significantly elevated concentrations at the impact site.

Mn was the only element that measured in greater concentrations at the reference sites. The reasons for this are unclear but probably they are due to local source.

Efnisyfirlit

Ágrip.....	4
Extended summary	5
Efnisyfirlit	6
Töfluskrá	7
1. Inngangur	8
2. Efni og aðferðir	9
2.1 Sýnataka.....	9
2.2 Mælingar á sýnum	10
2.3 Tölfræðimeðhöndlun.....	13
3. Niðurstöður og umræður	14
3.1 Snefilefni í seti	14
3.2 Snefilefni í síkjamara.....	15
3.3 Snefilefni í vatnabobba	16
3.4 Snefilefni í fiskum	18
3.5 Niðurlag	19
4. Heimildir.....	21
Viðauki	23

Töfluskrá

1. tafla.	Hitastigsforrit örbylgjuofns.	11
2. tafla.	Niðurstöður gæðaeftirlits hjá Matís ohf.	12
3. tafla.	Stillingar massagreinis (ICP-MS).	12
4. tafla.	Magn snefilefna og járns í setsýnum.	14
5. tafla.	Magn snefilefna í síkjamara (<i>Myriophyllum alterniflorum</i>).	16
6. tafla.	Magn snefilefna í vatnabobba (<i>Radix balthica</i>).	17
7. tafla.	Magn snefilefna í dvergbleikju.	18
8. tafla.	Magn snefilefna í dvergbleikju leiðrétt m.t.t. aldurs.	19
9. tafla.	Magn snefilefna í murtu, síla- og kuðungableikju og urriða.	20

1. Inngangur

Frá árinu 1989 hefur verið fylgst með ákomu snefilefna í Þingvallavatn í tengslum við losun á affallsvatni frá Nesjavallavirkjun. Mæliniðurstöður byggja á sýnatöku úr lífríki Þingvallavatns sem hin seinni ár hefur farið fram á haustin. Náttúruferðistofa Kópavogs komið að verkefninu síðan 1994, síðast árið 2019. Í þessari skýrslu er gerð grein fyrir nýjustu mælingum á snefilefnum í sýnum sem tekin voru í september 2019 og þær bornar saman við fyrri mælingar.

Meginmarkmið verkefnisins er að fylgjast með magni ákveðinna ólífrænna snefilefna í affallsvatni frá Nesjavallavirkjun sem geta haft skaðleg áhrif á lífríki Þingvallavatns. Affallsvatn virkjunarinnar samanstendur af heitu efnaríku jarðhitavatni sem notað er ásamt gufu til að framleiða rafmagn og hita upp kalt, ferskt vatn úr borholum í Grámel við Þingvallavatn. Þessu upphitaða vatni er dælt til höfuðborgarsvæðisins þar sem það er notað til húshitunar. Þéttivatni og skiljuvatni sem kemur úr borholunum er dælt aftur niður í jörðina ofan í niðurdælingarholur. Affallsvatni (umframvatn sem ekki er nýtt til í hitaveitu) er bæði dælt um borholur aftur niður í jörðina og það látið renna í læk og sprungur á svæðinu (Zarandi & Ivarsson 2010, Árni Hjartarson & Sigurður Garðar Kristinsson 2011). Undanfarin misseri hefur verið unnið að því að koma auknu hlutfalli þessa affallsvatns niður í borholur sem til eru á Mosfellsheiði (Orkuveita Reykjavíkur 2018a). Með því er minkað það magn sem rennur á yfirborði og í gegn um Nesjahraun til Þingvallavatns.

Kveðið er á um vöktun á snefilefnum í affallsvatni í starfsleyfi Nesjavallavirkjunar. Í ljósi brýnna náttúruverndarhagsmuna Þingvallavatns er mikilvægt að upplýsingar um ástand vatnsins og vatnasviðsins séu áreiðanlegar og uppfærðar reglulega. Vöktunarverkefnið á að gagnast Orkuveitu Reykjavíkur til að bregðast við og gera viðeigandi ráðstafanir komi fram eindregnar vísbendingar um óásættanleg umhverfisáhrif af völdum snefilefna.

Helstu lög og reglugerðir sem snerta Þingvallavatn með beinum hætti og stuðla að verndun þess eru lög nr. 47/2004 um þjóðgarðinn á Þingvöllum ásamt reglugerð nr. 848/2005 og lög nr. 85/2005 um verndun vatnasviðs Þingvallavatns ásamt reglugerð nr. 650/2006. Um nyrsta hluta Þingvallavatns gilda einnig verndarákvæði í samræmi við alþjóðasáttmála UNESCO um verndun menningar- og náttúruarfleifðar heimsins.

Afallsvatn frá Nesjavallavirkjun kann að hafa í för með sér áhrif á Þingvallavatn með tvennum hætti. Annars vegar vegna hitamengunar frá heitu affallsvatninu og hins vegar hættu á efnamengun. Hitamengun hefur verið staðfest í vatninu suðvestanverðu meðfram strandlengjunni frá Þorsteinsvík og austur í Eldvík (Sigurður S. Snorrason o.fl. 2011). Þrátt fyrir minkað flæði heits vatns á yfirborði hefur hitastig í lindum í Varmagjá ekki lækkað svo neinu nemi (Orkuveita Reykjavíkur 2018b). Hvað efnamengun varðar hafa áhyggjur manna einkum beinst að þungmálmum á borð við arsen, blý, kadmíum og kvikasilfur (Jón Ólafsson 1992, Ingibjörg E. Björnsdóttir 1996, Wetang'ula 2004). Að kvikasilfri slepptu hefur styrkur þessara efna í vatnsupplausn, sem og styrkur áls (Al), bórs (B), kísils (SiO₂), sulfats (SO₄), natríums (Na), kalíums (K) og kalsíums (Ca), aukist í

affallsvatninu þar sem það kemur fram í Þingvallavatni (Ingibjörg E. Börnsdóttir 1996, Sigurður S. Snorrason & Gunnar St. Jónsson 2000, Wetang'ula 2004, Wetang'ula & Snorrason 2005, Zarandi & Ivarsson 2010, Sigurður S. Snorrason o.fl. 2011). Hækkunin í efnastyrk hefur þó í öllum tilvikum mælst innan viðmiðunarmarka sem talin eru geta ógnað lífríkinu.

Sýni hafa verið tekin og mæld í sex skipti áður í vöktuninni, þ.e. 1989, 1994, 1995, 1996, 2000, 2006 og 2012. Hafa niðurstöður fyrir öll árin verið birtar í þar að lútandi skýrslum (Guðjón Atli Auðunsson 1995, 1996a, 1996b, 1997, Sigurður S. Snorrason og Gunnar St. Jónsson 1995, 1996, 2000, Hilmar J. Malmquist o.fl. 2013). Efnagreining sýnanna hefur verið á hendi Rannsóknastofnunar fiskiðnarins, Iðntæknistofnunar og Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands, en sýni frá árunum 2012 og nú, 2019, voru mæld á Matís ohf. Hafa ber í huga að mismunandi efnagreiningaraðferðir hafa verið notaðar milli ára sem eykur óvissu í samanburði gagna. Hér eru tiltæk gögn birt til samanburðar við nýjustu mælingar. Gegnum tíðina hefur verið nokkuð misjafnt hvaða efnabættir hafa verið mældir hvert sinn og einnig hafa sýnatökustaðir hnikast til. Fyrst var viðmiðunarstaður valinn við Vatnaskot í landi Þjóðgarðarins á Þingvöllum en í ljós kom að þar var álag frá blýi vegna sportveiði og var viðmiðunarstaðurinn því fluttur árið 2006 að Miðfelli.

2. Efni og aðferðir

2.1 Sýnataka

Eins og í undanförunum sýnatökum voru sýnin árið 2019 tekin á tveimur stöðum. Annarsvegar á áætluðum áhrifastað við Þorsteinsvík og Varmagjá, þar sem heitt lindavatn af Nesjavallasvæðinu rennur út í Þingvallavatn, og hins vegar á viðmiðunarstað við Miðfell/Mjóanes þar sem talið er að áhrifa gæti ekki. Sýnum af síkjamara, seti og vatnabobba var safnað 2. október í Varmagjá. Silunganet, með 15,5 og 18,5 mm möskvastærð voru lögð rétt norðan Varmagjár 9.–10. október og látin liggja yfir nótt. Jafnan hefur verið miðað að því að ná í dvergbleikju þar sem talið er að hún sé mest staðbundin af silungategundum og afbrigðum bleikjunnar í vatninu. Á viðmiðunarstað við Miðfell var sýnum af vatnabobba, seti, og síkjamara safnað dagana 9. og 11. október og lögð voru silunganet 9.–10. október, á sama tíma og við Varmagjá. Sýnataka á seti, vatnabobba og síkjamara hefur ekki verið vandkvæðum bundin undan farin ár er nokkuð misjafnt hefur verið hversu veiðanleg dvergbleikja hefur verið, einkum við Varmagjá. Árið 2012 var meiri hluti sýna úr murtu sem veiddist á staðnum en nú náðist fullnægjandi sýni af dvergbleikju á báðum stöðum.

Sýnaílát (glerkrukkur og plastpokar) voru látin í té af Matís ohf. Eftirfarandi sýni voru tekin haustið 2019:

A. Vatnaset. Á hvorum stað voru tekin tvö setkjarnasýni með plexiglerröri. Annað sýnið var tekið í mynni Varmagjár á u.þ.b. 1 m dýpi og hitt sýnið í mynni Vatnsvíkur við norðanvert Mjóanes á u.þ.b. 10 m dýpi. Sýnin voru sneidd frá yfirborði setsins í þrjár 5

cm þykkar sneiðar; 0–5 cm, 5–10 cm og 10–15 cm. Hverri sneið var komið fyrir í glerkrukku og fryst samdægurs á Náttúrufræðistofu Kópavogs. Sýnin voru afhent Matís ohf. þann 15. október 2019. Mælingar á magni snefilefna voru gerðar hjá undirverktaka, GBA í Pinneberg í Þýskalandi en hlutfall ösku, glæðirest, var mælt hjá Matís ohf.

B. Vatnabobbi. Vatnabobbum (*Radix balthica*) var safnað í Varmagjá og Búðavík, 70–100 g (votvigt) á hvorum stað. Sniglarnir voru tíndir með plasttöngum af fjörugrjóti á 10–40 cm dýpi á báðum stöðum, en auk þess voru þeir tíndir af síkjamarstönglum í Varmagjá. Hverju sýni var komið fyrir í glerkrukku og fryst samdægurs á Náttúrufræðistofu Kópavogs. Sýnin voru afhent Matís ohf. þann 15. október 2019. Allt sýnið var frostþurkað og svo fín malað og blandað í matvinnsluvél, sem var hreinsuð með Na₂EDTA/Na₃ sítratlausn fyrir notkun.

C. Gróður. Safnað var vaxtarsprotum síkjamara (*Myriophyllum alterniflorum*) í Varmagjá og Búðavík, ríflega 200 g (votvigt) á hvorum stað. Fremsti hluti plöntunnar, um 5 cm, var slitinn af stönglinum og hirtur. Hverju sýni var komið fyrir í glerkrukku og fryst samdægurs á Náttúrufræðistofu Kópavogs. Sýnin voru afhent Matís ohf. þann 15. október. Sýnin voru frostþurrkuð og fín möluð til mælinga hjá Matís, eins og vatnabobbinn.

D. Dvergbleikja. Eins og í undanförunum sýnatökum var fiskur veiddur með lagnetum við hraunjaðarinn rétt norðan Varmagjár og við Dansvík, sunnan Mjóaness. Lögð voru tvö net með 15,5 og 18,5 mm legglengd á hvorum stað. Netin lágu úti í um sólarhring. Fiskurinn var tekinn úr netunum eftir að þau voru dregin og flokkaður eftir afbrigðum. Þar sem nóg veiddist af dvergbleikjum var eingöngu notast við þær. Alls veiddust 12 dvergbleikjur við Varmagjá og 12 við Dansvík. Fiskarnir voru sendir samdægurs og í heilu lagi, til Matís, sem sá um sýnatökuna úr þeim (Viðauki, I). Aldursgreining var gerð á Náttúrufræðistofu Kópavogs en þar sem kvarnir náðust úr frekar fáum fiskum var aldur ekki notaður frekar við úrvinnslu.

Á Matís var klauf lengd mæld (að næsta mm) og þyngd (votvigt að næsta g) og kvarnir teknar til aldursgreiningar (+ ár). Tekin voru sýni af lifur og roðlausu holdi allra fiskanna. Útbúin voru safnsýni af lifur annars vegar og holdi hins vegar sem voru frostþurkuð og svo mulin og blönduð í matvinnsluvél, sem var hreinsuð með Na₂EDTA/Na₃ sítratlausn fyrir notkun.

2.2 Mælingar á sýnum

Mæling ösku, glæðirest

Notast var við AE 5 mæliaðferð við mælingu á ösku og er aðferðin faggilt og mælir það sem eftir verður af sýninu eftir glæðingu og hitun í ofni við 550° C (ISO 5984-2002). Mælingar voru framkvæmdar á frostþurrkuðum sýnum, nema setsýnin sem voru öskuð beint. Öll sýni voru mæld hjá Matís.

Mælingar á snefilefnum

Eftirfarandi var mælt í sýnunum:

Set: Hg, As, Se, Cr, Cu, Cd, Fe, Mn. Kolefni (C).
 Síkjumari: Hg, As, Se, Cu, Cd, Pb, Mn. Þurrefni.
 Vatnabobbi: Hg, As, Se, Cu, Cd, Pb, Mn. Þurrefni.
 Dvergleikja: Hg (vöðvi), As, Se, Cu, Cd, Pb, Mn (lifur). Þurrefni.

Styrkur snefilefna í setsýnum var mældur hjá fyrirtækinu GBA í Pinneberg, Þýskalandi. Matís sá um mælingar á ólífrænum snefilefnum í öllum öðrum sýnum. GBA er faggiltur verktaki og mældi eftirtalin snefilefni í seti; arsen (As), króm (Cr), mangan (Mn), járn (Fe), kopar (Cu), kadmíum (Cd), kvikasilfur (Hg) og selen (Se) skv. eftirfarandi stöðlum: DIN EN 13657 - 2003-01 Characterization of waste - Digestion for subsequent determination of aqua regia soluble portion of elements in waste (niðurbrot) og DIN EN 16171 - 2017-01 Sludge, treated biowaste and soil - Determination of elements using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Magn kolefnis (C) var mælt skv staðlinum: DIN EN 15936 - 2012-11 Sludge, treated biowaste, soil and waste - Determination of total organic carbon (TOC) by dry combustion

Mælingar á krómi, járni, arseni, kopar, kadmíum, kvikasilfri og blýi (Pb) eru faggiltar hjá Matís ohf., en ekki mælingar á, mangan, og seleni. Þessar mælingar eru þó gerðar samtímis og falla því að öllu leiti undir sömu aðferðafræði og gæðaferli. Aðferðin sem notuð var við niðurbrot og mælingu sýna hjá Matís var byggð á lýsingu í grein Jens Sloth o.fl. (2005) og samkvæmt NMKL nr 186-2007 (NMKL 2007) og bestuð miðað við aðstæður hjá Matís, s.s. notkun á örbylgjuofni (UltraWave, Milestone) sem notaður er við niðurbrot sýnanna. Hvert sýni var mælt frá grunni í tvísýni. Hvert tvísýni var 150–200 mg (nákvæmni upp á $\pm 0,1$ mg) og komið fyrir í þar til gerð quartz niðurbrotsglös og bætt við 1 ml af saltpéturssýru (HNO_3) og 1 ml af vetnisperoxíði (H_2O_2). Glösum var lokað og þau sett í örbylgjuofninn þar sem sýnin voru brotin niður. Að loknu niðurbroti voru sýnin færð yfir í 50 ml polypropylen rör og þynnt með afjónuðu vatni að 50 ml. Snefilefni í sýnunum voru því næst mæld með ICP-MS-aðferð (e. *inductively coupled plasma mass spectrometer*). Hitastigsforritið sem notað var við niðurbrot sýnanna í örbylgjuofninum er sett upp í töflu 1.

Tafla 1. Hitastigsforrit örbylgjuofns

Stig	Afl W	%	Tími hitastigsaukningar mm:ss	Hámarks þrýstingur Bar	Hitastig °C	Hræring	Biðtími mm:ss
1	1500	100	20:00	130	240	Nei	10:00

Staðlar og efni fyrir snefilefna mælingar

Notast var við afjónað vatn (18,2 MΩ/cm), vetnisperoxíð (H_2O_2) 30% frá Fluka af hreinleikagráðunni TraceSelect og saltpéturssýru (HNO_3) 65% frá Honeywell af

hreinleikagráðunni Suprapure. Allir staðlar (stök frumefni í lausn) voru keyptir frá LabKings og eru vottaðir staðlar (Certified Reference Standards).

Viðmiðunarsýni og gæðaeftirlit við snefilefnaþælingar

Með hverri snefilefnaþælingu voru keyrð viðmiðunarsýni með þekktan styrk efna (DORM-4, Dolt og Hijiki) til að fylgjast með gæðum niðurstaðnanna (2. tafla). Matís tekur einnig reglulega þátt í alþjóðlegri samanburðarrannsókn fyrir snefilefnagreiningar sem kallast Quality Assurance of Information for Marine Environmental Monitoring in Europe, QUASIMEME, (www.quasimeme.org). Niðurstöður síðustu QUASIMEME samanburðarrannsóknar sem Matís tók þátt í, Round QTM122BT og QTM123BT jan-may 2019, eru sýndar í 2. töflu.

Með sýnunum voru líka greind tóm sýni (blankar) til að fylgjast með mögulegri bakgrunnsmengun innan rannsóknarstofunnar og mengun sem gæti orsakast af meðhöndlun sýnanna. Greiningarmörk eru reiknuð út frá eftirfarandi aðferð: 20 blank sýni eru keyrð við gildingu aðferðar og staðalfráviknið (S.D.) reiknað. LOQ er metið sem 10 x S.D. í blank, LOD er metið sem LOQ/3.

Tafla 2. Niðurstöður gæðaeftirlits Matís (Z-Score* greininga).

Efni		Se	Cr	Hg	Zn	Pb	Cu	Cd	As
QUASIMEME	Greining 1	1,0	-0,9	-1,1	0,1	-0,8	0,1	-	0,6
	Greining 2	1,0	0,9	-0,1	1,1	-0,4	0,3	0,2	1,0
DORM-4, Fish protein CRM, NRC		0,55	0,26	0,11	-0,45	0,22	-0,03	-0,16	-0,06
DOLT, Dogfish liver, NRC		0,01	0,30	-0,31	0,41	-0,82	0,08	-0,27	-0,72

*Z-Score fyrir QUASIMEME er reiknað út frá öllum innsendum niðurstöðum fyrir hverja tilraun. Z-Score fyrir DORM-3 og TORT-

2 er reiknað út frá jöfnunni $z\ score = \frac{(\bar{X}_{found} - X_{certified})}{\left(\frac{X_{certified}}{100} \times 2(X_{certified} \times f)^{-0,1505}\right)}$. $|z| < 2$ er fullnægjandi, $2 < |z| < 3$ er vafasamt og $|z| > 3$ er ófullnægjandi.

Snefilefni í sýnunum voru magngreind frá 10 punkta staðalkúrfu. Ný staðalkúrfu var gerð daglega frá 1000 mg/L byrjunarlausn í 10% HNO₃ (v/v). Indíum (In) er notaður sem innri staðall (internal standard).

Tækjaupplýsingar fyrir snefilefnagreiningar

Notast var við Agilent 7900 ICP-MS (Agilent Technologies, California, USA) til að mæla snefilefni í fiskunum. Stillingar massagreinisins eru gefnar upp í 3. töflu.

Tafla 3. Stillingar massagreinis (ICP-MS)

<i>ICP-MS stillingar</i>	
Model Name	G8403A
RF afl (W)	1550
Flæði sýna gass (L/min)	1.09
Flæði plasma gass (L/min)	15
Flæði viðbótargass (Auxiliary gas) (L/min)	0.90
He flæði (ml/min)	5
Nebuliser	Micro mist
Spray klefi	Standard
Sample depth	10.0 mm
Keilur	Nikkel

2.3 Tölfræðimeðhöndlun

Við tölfræðiprófanir var beitt t-prófi tveggja óháðra úrtaka í samanburði á meðaltalsgildum snefilefna (t-2, e. independent two sample t-test). Í all nokkrum tilvikum eru gildin ekki normal dreifð og er þá beitt Mann-Whitney-prófi (Mann-Whitney Rank Sum Test).

3. Niðurstöður og umræður

3.1 Snefilefni í seti

Ekki fannst tölfraðilega marktækur munur milli áhrifa- og viðmiðunarstaða í meðalstyrk neins efnis í seti þegar allt tímabilið er skoðað (4. tafla). Það er helst selen sem liggur nálægt mörkum en heldur meira er af því á áhrifastað heldur en viðmiðunarstað. eru niðurstöður ársins 2019 mjög í samræmi við fyrri mælingar.

Tafla 4. Magn snefilefna og járn í setsýnum á áhrifa- og viðmiðunarstöðum í Þingvallavatni á árunum 1994–2019. Dýpi (cm) segir til um staðsetningu 5 cm þykkar setsneiðar frá yfirborði sets. DW% er hlutfall þurrefnismagns (%) af votvigt og Aska% er hlutfall ólfræna steinefna af heildarmassa. Mælingarnar eru gefnar upp í mg/kg þurrefnis. Meðaltöl eru reiknuð út frá mæligildum. Sýndar eru niðurstöður tölfraðiprófa á samanburði á meðalefnastyrk milli áhrifa- og viðmiðunarstaða. Í þeim tilvikum sem gögn eru ekki normal-dreifð er beitt Mann-Whitney Rank Sum Test, annars er beitt t-prófi (*).

Staður	Ár	Dýpi	As	Hg	Pb	Cr	Cu	Cd	Zn	Se	Fe	Mn	C	DW%	Aska%
Áhrifastaður															
Varmagjá	1994	0-5	3,80	0,010	1,45	16	32	0,04		7,9	1.450				
Varmagjá	1995	0-5	1,70	<0,010	5,11	48	73	0,23	119	4,8	19.300				
Varmagjá	1995	5-10	0,70	<0,010	2,57	57	80	0,19	95	3,1	32.100				
Varmagjá	1995	10-15	1,00	<0,010	1,30	47	71	0,20	64	5,6	27.200				
Varmagjá	2000	0-5	1,40	0,010	3,00	26	55	0,13	59	3,6	17.900				
Varmagjá	2003	0-5	0,75	0,052	3,10	73	51	0,14	38						
Varmagjá	2003	5-10	1,59	<0,040	56,00	65	68	0,28	157						
Varmagjá	2003	10-15	1,02	<0,040	2,21	67	43	0,15	27						
Varmagjá	2006	0-5	2,00	0,140	<10	79	71	<2,00	58	5,8	38.400	621	4,8		
Varmagjá	2006	5-10	<2,00	0,009	<10	38	44	<2,00	44	2,7	32.300	439	2,5		
Varmagjá	2012	0-5	0,69	0,013		57	84	0,14		2,4	42.000	650	3,5	17,0	92,5
Varmagjá	2012	5-10	0,38	<0,010		25	50	0,14		2,8	14.000	140	3,6	13,3	84,3
Varmagjá	2012	10-15	0,18	<0,010		19	39	0,10		2,3	9.700	87	3,1	15,9	85,7
Varmagjá	2019	0-5	<1	<0,1	1,10	36	64	<0,1	37	<2	47.400	756	0,6	48,8	60,62
Varmagjá	2019	5-10	1,10	<0,1	2,20	34	70	0,11	45	2,3	30.240	377	2,9	28,3	40,87
Varmagjá	2019	10-15	<1	<0,1	1,90	17	36	<0,1	26	<2	13.490	137	3,1	19,2	15,63
	Meðaltal		1,25	0,04	7,27	44,0	58,1	0,15	64,1	3,93	25.037	401	3,01	23,75	63,27
	St.sk.		0,26	0,02	4,88	5	4	0,02	12	0,6	3.782	92	0,4		
Viðmiðunarstaður															
Vatnskot	1994	0-5	1,70	0,010	1,82	46	53	0,27	170	3,8	66.800				
Vatnskot	1995	0-5	1,30	0,010	3,59	43	58	0,27	185	3,9	63.500				
Vatnskot	1995	5-10	1,10	0,010	2,70	39	55	0,20	174	3,3	52.100				
Vatnskot	1995	10-15	1,40	0,010	2,91	42	62	0,30	213	4,5	5.940				
Vatnskot	2000	0-5	0,90	0,040	42,00	35	43	0,14	193	1,0	46.200				
Miðfell	2006	0-5	<2,00	0,008	<10	83	37	<2,00	45	2,5	26.500	519	7,7		
Miðfell	2006	5-10	<2,00	0,008	<10	121	117	<2,00	84	1,0	68.900	1220	2,6		
Miðfell	2012	0-5	1,20	0,019		49	35	0,10		1,9	17.000	280	3,5	10,4	86,1
Miðfell	2012	5-10	0,96	0,014		50	40	0,13		1,6	21.000	330	2,7	19,0	89,8
Miðfell	2012	10-15	0,83	0,014		56	51	0,08		1,7	26.000	390	2,5	24,0	90,8
Miðfell	2019	0-5	1,50	<0,1	1,70	38	40	<0,1	29	<2	13.410	228	4,4	6,9	9,84
Miðfell	2019	5-10	1,40	<0,1	5,50	37	34	0,11	30	<2	15.410	238	3,1	14,2	12,16
Miðfell	2019	10-15	1,80	<0,1	7,60	42	50	0,16	55	<2	28.750	433	2,5	20,4	16,76
	Meðaltal		1,28	0,014	8,48	52,3	52,0	0,17	118	2,52	34732	455	3,63	15,8	50,9
	St.sk.		0,10	0,003	4,84	7	6	0,02	24	0,4	6.096	115	0,6		
	T (t*)		152	57	95	214	163	-0,679*	139,5	85	-1,351*	67	-0,819*		
	n (df)		11/13	6/10	8/11	13/16	13/16	20	10/12	10/11	24	8/8	14		
	p-gildi		0,417	0,54	0,231	0,43	0,174	0,505	0,113	0,084	0,189	0,959	0,426		

Ekki eru til opinber viðmiðunarmörk fyrir þungmálma í ferskvatnsseti á Íslandi en í reglugerð nr. 796/1999 eru viðmið fyrir sjávarset. Ef þessi viðmið eru höfð til hliðsjónar

fellur styrkur nær allra mældra snefilefna innan marka ástandsflökks A (umhverfismarkaflokkur I, mjög lág gildi). Einungis kopar, kadmíum, blý og sink mælast í þeim styrkleika að þau falla í ástandsflokk B (umhverfismarkaflokkur II, lág gildi). Þarna er þó inni mælingar frá Vatnskoti en sink virðist vera að mælast í marktækt hærra magni þar en við Miðfell ($t=10,9$; $df=8$; $p<0,001$). Það gefur til kynna að sink sé í mismiklu magni á mismunandi stöðum í kringum vatnið. Hugsanlegt er að það geti tengst veiðiskap sem er mun meiri í landi þjóðgarðsins heldur en við austanvert vatnið. Í þessum síðustu mælingum eru greiningarmörk fyrir kvikasilfur hærra (LOD) en í fyrri mælingum.

3.2 Snefilefni í síkjamara

Það er aðeins fyrir mangan og kopar að marktækur munur fæst í styrk milli áhrifa- og viðmiðunarstaða (5. tafla). Ekki eru til opinber viðmiðunarmörk fyrir magn snefilefna í gróðri á Íslandi en bæði þessi efni eru nauðsynleg lífverum í snéfilmagni. Þungmálmar hafa verið mældir á vegum Náttúrufræðistofnunar Íslands í mosa á Íslandi og er talsverður breytileiki í bakgrunnsstyrk kopars eftir landsvæðum (Sigurður H. Magnússon 2013). Eins er nokkur breytileiki milli ára en bakgrunnsgildin eru að mælast á bilinu 2,74–57,55 mg/kg. Mælingar á vatnasviði Þingvallavatns eru á bilinu 4,18–8,46 mg/kg. Eru það nokkru lægri mælingar en fást hér úr maranum en sökum þess að ekki er um sömu tegund að ræða er þetta sett fram með fyrirvara. Kopar er einnig ekki að mælast svo neinu nemi í innrennsli til Þingvallavatns (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2018). Mangan er svo efni sem er að mælast í hærri styrk á viðmiðunarstaðnum við Miðfell. Samkvæmt eldir mælingum virðist styrkur þess einnig vera töluverður í Vatnskoti og mun meiri en í Varmagjá. Mangan er ekki mælt í áður nefndri athugun Náttúrufræðistofnunar. Ekki hefur fundist skýring á þessari niðurstöðu en hún verður ekki rakin til reksturs Nesjavallavirkjunar. Ekki eru heldur að koma fram breytingar í magninu eftir tíma. (Sigurður S. Snorrason og Gunnar St. Jónsson 2000, Wetang'ula og Snorrason 2005). Ekki eru til opinber viðmiðunarmörk fyrir mangan né aðra þungmálma í vatnablöntum á Íslandi.

Tafla 5. Magn snefilefna í síkjamara (*Myriophyllum alterniflorum*) á áhrifa- og viðmiðunarstöðum í Þingvallavatni á árunum 1994–2019. Mælingarnar eru gefnar upp í mg/kg þurrefnis. Meðaltöl eru reinkuð út frá mæligildum. Sýndar eru niðurstöður tölfræðiþróa á samanburði á meðalefnastyrk milli áhrifa- og viðmiðunarstaða. Í þeim tilvikum sem gögn eru ekki normaldreifð er beitt Mann-Whitney Rank Sum Test, annars er beitt t-prófi (*).

Staður	Ár	As	Hg	Pb	Mn	Cu	Se	Cd	Zn	Cr	Fe
Áhrifastaður											
Varmagjá	1994	2,20	<0,14	1,60			2,00	0,490	56,2		
Varmagjá	1995	0,64	0,03	0,38	14	158	2,63	0,379	75,7		
Varmagjá	2000	4,00	0,02	1,00	33	45	1,20	0,216	22,0		
Varmagjá	2003	0,26	0,02	0,77	104	47		0,191	24,0		
Varmagjá	2006	<0,14	0,01	1,02	39	86	0,47	0,295	24,5		
Varmagjá	2012	0,82	0,06	0,06	14	29	0,92	0,262			
Varmagjá	2019	0,62	<0,02	<0,07	33	76	0,79	0,354	23,9	1,96	114
	Meðaltal	1,42	0,03	0,80	39,5	73,3	1,33	0,312	37,7		
	St.sk.	0,58	0,01	0,22	14	19	0,33	0,039	9,3		
Viðmiðunarstaður											
Vatnskot	1994	1,80	<0,14	0,70			1,80	0,300	81,3		
Vatnskot	1995	0,56	0,02	175,00	191	33	1,39	0,045	87,0		
Vatnskot	2000	3,00	0,04	10,80	1055	27	1,61	0,320	22,0		
Miðfell	2006	2,80	0,02	0,41	870	6	3,36	0,041	19,7		
Miðfell	2012	2,49	0,06	0,32	635	13	2,57	0,013			
Miðfell	2019	0,87	<0,02	0,08	694	5	1,68	0,013	17,8	11,1	2255
	Meðaltal	1,92	0,04	31,22	689	16,7	2,07	0,122	45,6		
	St.sk.	0,42	0,01	28,81	144,54	5,59	0,31	0,06	15,79		
T (t*)		-0.69*	-0.703*	39	45	2.629*	30	29	27,500		
n (ft)		10	7	6/6	5/6	9	6/6	6/7	5/6		
p-gildi		0,506	0,505	1,00	0,004	0,027	0,18	0,073	0,662		

3.3 Snefilefni í vatnabobba

Eins og í fyrri mælingum sem og í mælingum á síkjamara þá kemur fram marktækur munur milli áhrifa- og viðmiðunarstaða í styrk mangans (6. tafla). Styrkur mangans mældist nokkru hærri á viðmiðunarstöðunum, rétt eins og styrkur mangans í síkjamara.

Ekki er að sjá neina ákveðna leitni til minnkunar eða aukningar yfir tímabilið í styrk mangans í vatnabobbonum úr Varmagjá þótt greina megi leitni til aukningar Við Miðfell. Styrkur kadmíums og kopars í vatnabobbonum mælist meiri á áhrifastaðnum og er munurinn nú marktækur (6. tafla) en það var hann ekki 2012 (Hilmar Malquist o.fl. 2013).

Ekki eru til opinber viðmiðunarmörk fyrir þungmálma í vatnahryggleysingjum á Íslandi. Nærtækasta samanburðinn er þó að finna í reglugerð nr. 265/2010 en þar kemur fram að hámarksgildi blýs í samlokum, sem eru lindýr eins og vatnabobbar og lifa m.a. á þörungum, má vera 1,5 mg/kg votvigt. Samkvæmt sömu reglugerð má hámarksmagn kadmíums í samlokum vera 1,0 mg/kg votvigt en mælingar hér fyrir bæði efnin eru langt undir þeim mörkum.

Snefilefni í Þingvallavatni 2019

Tafla 6. Magn snefilefna í vatnabobba (*Radix balthica*) á áhrifa- og viðmiðunarstöðum í Þingvallavatni á árunum 1994–2012. DW% er hlutfall þurrefnismagns (%) af votvigt. Mælingarnar eru gefnar upp í mg/kg þurrefnis. Meðaltöl eru reinkuð út frá mæligildum. Í þeim tilvikum sem gögn eru ekki normaldreifð er beitt Mann-Whitney Rank Sum Test, annars er beitt t-prófi (*).

Staður	Ár	As	Hg	Pb	Mn	Cu	Se	Cd	Zn	Cr	Fe	DW%	Aska%
Áhrifa staður													
Varmagjá	1994	2,20	<0,14	≤0,3			4,6	0,41	62				
Varmagjá	1995	1,80	0,017	0,34	29	92	2,3	0,38	43				
Varmagjá	2000	5,40	0,191	≤0,3	35	68	2,1	0,47	70				
Varmagjá	2003	2,83	<0,01	0,35	33	12		0,40	34				
Eldvík	2003	4,24	<0,01	0,07	87	48		4,24	24				
Varmagjá	2006	3,13	<0,013	0,75	58	86	1,6	0,29	42		15,3	69,4	
Varmagjá	2012	3,27	0,052	0,27	29	71	1,1	0,52			16,5		
Varmagjá	2019	2,80	<0,02	0,09	79	94	1,6	0,62	34	23	900	3,6	55,9
	Meðaltal	3,21	0,09	0,31	49,9	67,1	2,22	0,92	44,2				
	St.sk.	0,41	0,05	0,10	9,33	11,05	0,50	0,48	6,23				
Viðmiðunarstaður													
Vatnskot	1994	1,10	<0,14	1,80			3,4	0,24	54				
Vatnskot	1995	1,30	0,010	1,22	85	35	1,6	0,14	61				
Vatnskot	2000	2,60	0,046	0,80	118	54	3,1	0,27	116				
Miðfell	2006	2,83	0,024	0,09	128	18	3,7	0,15	37		18,5	51,2	
Miðfell	2012	2,47	0,063	0,08	171	30	2,2	0,11			17,3		
Miðfell	2019	2,92	<0,02	0,12	182	20	3,4	0,10	32	59	2256	32,6	56,8
	Meðaltal	2,20	0,04	0,69	136,79	31,33	2,90	0,17	59,90				
	St.sk.	0,32	0,012	0,29	18	7	0,3	0,03	15				
	T (t*)	1,837*	1,095*	34,0	-4,71*	2,501*	-1,117*	21,0	-1,085*				
	f.t.	12	5	6/6	10	10	10	6/8	10				
	p-gildi	0,091	0,323	0,485	<0,001	0,031	0,290	<0,001	0,303				

3.4 Snefilefni í fiskum

Ekki er um marktækan mun að ræða milli áhrifastaðar og viðmiðunarstaða í meðalstyrk neins efnis í dvergbleikjum yfir allt tímabilið nema í styrk kopars sem mældist nokkru hærri á áhrifastaðnum (7. tafla). Koparstyrkur í lifur dvergbleikju á áhrifastað við Varmagjá hefur mælst lágur í síðustu tvö skipti, einkum haustið 2012. Nú, 2019 mælist kopar rétt rúmlega helmingur af meðaltali mælinga fyrir 2012. Mælingar frá viðmiðunarstað falla innan þess breytileika sem sést hefur þar í fyrri sýnatökum. Þar sem aðeins fimm dvergbleikjur liggja að baki mælingunum frá áhrifastaðnum árið 2012 eykur það töluvert á óvissu með þá mælingu.

Tafla 7. Magn snefilefna í dvergbleikju á áhrifastað og viðmiðunarstað í Þingvallavatni á árunum 1989–2019. Aldur segir til um meðalaldur (+ár) fiskanna. Allar mælingarnar eru gefnar upp í mg/kg votvigt lifrar. Kvikasilfur (Hg) er mælt í holdi en önnur efni í lifur. DW% er hlutfall þurrefnismagns af votvigt holds. Í þeim tilvikum sem gögn eru ekki normaldreifð er beitt Mann-Whitney Rank Sum Test, annars er beitt t-prófi (*).

Staður	Ár	Aldur	As	Hg	Pb	Se	Cd	Zn	Mn	Cu	Cr	DW%
Áhrifastaður												
Þorsteinsvík	1989	<7	0,211	0,015	≤0,30	2,46	0,09	46,8				18
Þorsteinsvík	1989	>7	0,140	0,014	≤0,30	4,20	0,09	47,8				18
Þorsteinsvík	1994	6,5	0,143	0,018	≤0,30	5,16	0,09	42,2				19
Þorsteinsvík	1996	5,6	0,506	0,107	0,02	2,88	0,04	37,4	1,88	171		18
Þorsteinsvík	1996	9,1	0,926	0,012	0,04	2,48	0,06	33,9	1,63	365		20
Þorsteinsvík	2000	2,9	0,370	0,007	0,06	5,40	0,07	40,8	1,71	200		20
Þorsteinsvík	2000	4,0	0,390	0,006	<0,02	5,20	0,06	43,7	2,35	244		19
Þorsteinsvík	2000	5,6	0,360	0,007	<0,02	5,00	0,09	39,0	1,54	296		20
Þorsteinsvík	2003	?	<0,05	0,025	<0,02		0,05	30,7	1,47	248	0,03	
Þorsteinsvík	2003	?	<0,05	0,013	<0,03		0,04	25,8	1,30	242	0,03	
Þorsteinsvík	2006	4,9		0,006								
Þorsteinsvík	2012	4,2	0,230	0,076	<0,04	3,60	<0,03		1,40	21	0,12	e.m.
Þorsteinsvík	2019		0,236	0,015	<0,012	2,42	0,027	31,9	1,22	138	0,06	17
	Meðaltal		0,351	0,025	0,041	3,880	0,065	38,2	1,61	214		18,7
	St.sk.		0,074	0,009	0,012	0,40	0,01	2,1	0,11	33		0,3
Viðmiðunarstaður												
Vatnskot	1994	5,8	0,153	0,026	≤0,30	4,96	0,08	37,3				19
Vatnskot	1995	2,4	0,105	0,013	0,05	3,33	0,06	33,0	4,93	67		18
Vatnskot	1995	4,0	0,216	0,026	0,02	3,56	0,08	39,2	1,79	80		19
Vatnskot	1995	6,8	0,213	0,031	0,16	4,00	0,11	36,3	1,86	103		18
Vatnskot	1996	3,7	<0,750	0,094	0,04	2,71	<0,06	31,6	1,82	32		20
Vatnskot	1996	6,7	<0,750	0,019	0,12	1,78	0,09	24,3	1,74	18		19
Vatnskot	2000	3,8	0,200	0,013	<0,02	3,90	0,11	35,4	3,55	84		19
Vatnskot	2000	8,9	0,150	0,018	<0,02	4,90	0,05	40,0	1,94	34		18
Miðfell	2006	6,1		0,029								
Miðfell	2012	6,4	0,150	0,016	<0,04	2,00	<0,03		1,40	61	0,12	20
Miðfell	2019		0,335	0,011	<0,015	2,57	0,01	41,1	1,31	97	0,06	22
	Meðaltal		0,190	0,027	0,077	3,371	0,072	35,4	2,26	64		19,2
	St.sk.		0,025	0,007	0,026	0,35	0,01	1,7	0,40	10		0,3
	T (t*)		55	166,0	-0,997*	119	-0,6*	1,004*	67,500	4,365*		
	f.t.		8/10	11/13	6	10/10	17	18	9/9	16		
	p-gildi		0,068	0,105	0,357	0,307	0,557	0,329	0,122	<0,001		

Auk kopars má greina vísbendingu um að arsen í lifur sé í hærri styrk á áhrifastaðnum. Mælingar frá árinu 2003 úr Þorsteinsvík eru óvenju lágar en þótt þeim sé sleppt er munurinn ómarktækur.

Í reglugerð nr. 265/2010 (og EB reglugerð nr. 1881/2006) er kveðið á um hámarksgildi fyrir tiltekin aðskotaefni í matvælum á Íslandi. Þar á meðal er að finna hámarksgildi fyrir kvikasilfur (Hg), blý (Pb) og kadmíum (Cd) í holdi fiska, þ.m.t. vatnafiska eins og bleikju og urriða en mörkin eru (mg/kg blautvigt): Hg: 0,5; Pb: 0,3 og Cd: 0,05. Styrkur kvikasilfurs og blýs hefur í öllum tilfellum verið vel undir tilgreindum viðmiðunarmörkum og ekki var um að ræða marktækan mun milli áhrifa- og viðmiðunarstaða (7. tafla). Kadmíum mælist hins vegar í flestum tilfellum yfir þessum mörkum en það gerist á báðum stöðum sem bendir til bakgrunnsmengunar almennt í vatninu. Hugsanlegur uppruni þess hefur þó ekki verið kannaður. Blý og kadmíum hafa verið mæld úr lifur en þar sem viðmið reglugerðarinnar eru úr holdi gerir það samanburð aðeins erfiðann.

Helstu vandamál er varða samanburð milli ára í magni snefilefna í fiskum í þessu verkefni er að ekki hefur alltaf verið hægt að stóla á að nægilegt magn af dvergbleikju veiðist á stöðunum. Á þetta einkum við árið 2012 en þá veiddust aðeins 5 dvergbleikjur en til að fylla upp í sýnið var bætt við murtum. Árið 2006 náðust yfir 20 fiskar frá hvorum stað og nú, 2019, veiddust 12 dvergbleikjur á hvorum stað.

3.5 Niðurlag

Niðurstöður mælinga árið 2019 virðast vera í nokkuð góðu samræmi við mælingar fyrri ára. Í flestum tilfellum er ekki um að ræða marktækan mun í styrk milli áhrifastaðar í Varmagjá og viðmiðunarstaðar við Miðfell. Þær átta rannsóknir sem hér liggja til grundvallar sýna tölfræðilega marktækan mun í styrk kopars og kadmíums þar sem þessi efni mælast í hærri styrk í síkjamara og vatnabobba í Varmagjá. Kopar mælist að auki í hærri styrk í dvergbleikju. Selen mældist marktækt meira í seti frá Varmagjá árið 2012 en gerir það ekki nú. Arsen er svo í örlítið hærri styrk í Varmagjá en liggur rétt neðan við marktæknimörk fyrir vatnabobba og dvergbleikju. Mangan mælist marktækt hærra við Miðfell miðað við Varmagjá í síkajmaranum og vatnabobbanum, ekki liggur fyrir augljós skýring á þeirri niðurstöðu. Munur í manganstyrk mælist hvorki í seti né dvergbleikju.

Snefilefnamengun frá starfsemi virkjunarinnar er einkum tengd því að efni koma upp með gufu eða jarðhitavatni úr iðrum jarðar í gegn um borholur. Leið þeirra út er einkum með skilju- eða þéttivatni sem farið hefur í gegn um hverfla virkjunarinnar. Reynt er að koma þessu vatni aftur niður í jarðhitageyminn um niðurdælingarholur og koma þannig í veg fyrir að efni sem kunna að fylgja þessu vatni fari út í umhverfið. Fyrir liggja mælingar á snefilefnum úr skilju- og þéttivatni bæði frá Nesjavöllum og Hellisheiði. Samkvæmt þeim eru það arsen og selen sem mælast í styrk sem er nálægt viðmiðum fyrir styrk mengunarefna sem má finna í reglugerð nr. 536/2001 um neysluvatn og í reglugerð nr

796/1999 um varnir gegn mengun vatns. Í 8. töflu má sjá mælingar á þeim efnum sem koma upp með gufunni og helst er ástæða til að fylgjast með sökum þess að magn þeirra er yfir eða nálægt viðmiðunarmörkum. Eru þessar mælingar í góðu samræmi við niðurstöður mælinga sem gerðar voru í október 2003 (Wetang'ula, G.N. 2004).

Tafla. 8 Magn snefilefna í skilju- og þéttivatni sem á uppruna í gufu á Nesjavalla-svæðinu. Til samanburðar er magn sömu efna í upphituðu grunnvatni (hitaveituvatn) sem fengið er úr borholu í Grámel. Þá er viðmiðunarmörk sem gefin eru í reglugerðum 536/2001 um neysluvatn og 796/1999 um varnir gegn mengun vatns. Þá er gefinn mengunarflokkur skv. reglugerð 796/1999 fyrir þétti- eða skiljuvatn, eftir hvort er hærra. Allar mælingar eru í µg/ml.

Snefilefni	Skiljuvatn	Þéttivatn	Hitaveituvatn	536/2001	796/1999	Flokkun
Arsen (As)	58,3	0,09	2,93	10	0,4	IV
Króm (Cr)	0,43	3,87	0,36	50	0,3	II
Kopar (Cu)	2,47	<0,1	0,66	2000	0,5	II
Nikkel (Ni)	2,44	4,47	0,19	20	0,7	II
Sink (Zn)	8,19	2,39	4,73	3000	5	II
Selen (Se)	7,6	<0,5	1,95	10		
Kadmíum (Cd)	<0,002	<0,002	0,0	5	0,01	

Arsen mælist hæst þeirra efna sem mælast í hærri styrk á áhrifastað en viðmiðunarstað, og fellur styrkur þess í skiljuvatni í flokk IV skv reglugerð 796/1999. Það er þó aðeins í vatnabobbanum og dvergbleikjuni sem styrkurinn er örlítið hærri á áhrifastaðnum en munurinn milli staðanna nær þó ekki því að vera marktækur. Þessi efnastyrkur í skiljuvatni virðist því ekki koma með skýrum hætti fram í umhverfinu við Varmagjá. Styrkur kopars, nikkels og sinks í skilju- eða þéttivatni eru þarna að falla í flokk II skv. reglugerð 796. Eins og áður sagði er kopar að mælast í hærri styrk í Varmagjá en á viðmiðunarstað í öllum þeim sýnum sem tekin voru í þessu verkefni (að setsýnum frátöldum). Nikkel er ekki mælt í þessari rannsókn en sink er ekki að mælast í marktækt mismunandi styrk á milli staðanna.

Eftirtekt veur að innbyrðis hlutföll efna í skiljuvatni skila sér ekki á sama hátt í niðurstöðum sýnatökunnar. Arsen, sem mælist í hæstum styrk í skiljuvatni, virðist ekki vera að skila sér út í umhverfið á sama hátt og kopar. Í rannsókn frá 2003 (Wetang'ula, G.N. 2004) veur athygli stigull í styrk arsens, bórs og áls eftir landfræðilegri stöðu sýnatökustaða undan Nesjahrauni. Styrkur þessara efna er lægstur við Varmagjá en hækkar eftir því sem austar dregur sem veur spurningar um staðsetningu sýnatökunnar. Setja má fram hugleiðingu um hvort endurtaka ætti mælingar á styrk þessara efna í heitu lindunum í, og austan við Varmagjá, undan Nesjahrauni eins og gert var 2003. Í framhaldi væri spurning um að athuga frekari mælingar við, eða austan Eldvíkur á vatnabobba og síkjamara ef hærri styrkur, einkum arsens, mælist þar aftur.

4. Heimildir

- Árni Hjartarson & Sigurður Garðar Kristinsson 2011. Grunnvatn við Nesjavallavirkjun. Skýrsla unnin fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. ÍSOR-2011/074. 34 bls.
- Eydís Salome Eiríksdóttir, Deirdre Clark, Carl-Magnus Mörth og Sigurður Reynir Gíslason 2018. Efnasamsetning Þingvallavatns 2007–2017. Jarðvísindastofnun Háskólans, Reykjavík. RH-11-2018. 47 bls.
- Guðjón Atli Auðunsson 1995. Könnun á snefilefnum í lífríki Þingvallavats. Skýrsla Rf 94.
- Guðjón Atli Auðunsson 1996a. Könnun II á snefilefnum í lífríki Þingvallavatns. Skýrsla Rf 128.
- Guðjón Atli Auðunsson 1996b. Niðurstöður mælinga á snefilefnum í murtu, sílableikju og kuðungableikju úr Þingvallavatni. Skjal Rf 2.09.1996.
- Guðjón Atli Auðunsson 1997. Könnun á ólifrænum og klórlífrænum snefilefnum í vistkerfi Þingvallavatns. Sýnataka 1994–1996. Skýrsla Rf 27.
- Hilmar J. Malmquist, Hrönn Ólína Jörundsdóttir, Natasa Desnica, Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason, Stefán Mór Stefánsson og Helga Gunnlaugsdóttir 2013. Vöktun á snefilefnum í Þingvallavatni vegna Nesjavallavirkjunar. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 2-2013. 24 bls. (English summary).
- Ingibjörg E. Björnsdóttir 1996. Metals and metal speciation in waste water from the Nesjavellir Geothermal power plant, SW-Iceland and possible effects on lake Thingvallavatn. Meistararitgerð við VA-technik Chalmers, Chalmers University of Technology, Svíþjóð. 57 bls. ásamt viðaukum.
- Jón Ólafsson 1992. Chemical characteristics and trace elements of Thingvallavatn. OIKOS 64: 151–161.
- Orkuveita Reykjavíkur 2018a. <https://arsskyrsla2018.or.is/> Sótt 14. Janúar 2020.
- Orkuveita Reykjavíkur 2018b. <https://arsskyrsla2018.or.is/umhverfi/> Sótt 14. Janúar 2020
- NMKL 2007. Nordic committee on food analysis, NMKL, 2007. Trace elements – As, Cd, Hg, Pb and other elements. Determination by ICP-MS after pressure digestion. 186–2007.
- Sigurður H. Magnússon 2013. Þungmálmur og brennisteinn í mosa á Íslandi 1990–2010, Áhrif iðjuvera. Náttúrufræðistofnun Íslands. Skýrsla nr. NÍ-13003, 90 bls.
- Sigurður S. Snorrason & Gunnar St. Jónsson 1995. Könnun á snefilefnum í nokkrum lífverum í varmagjá í Nesjavallahrauni og við Vatnskot. Könnun I. Líffræðistofnun Háskólans.
- Sigurður S. Snorrason & Gunnar St. Jónsson 1996. Könnun á snefilefnum í nokkrum lífverum í Varmagjá í Nesjavallahrauni og við Vatnskot. Könnun II. Líffræðistofnun Háskólans, 14 bls.
- Sigurður S. Snorrason & Gunnar St. Jónsson 2000. Könnun á snefilmálmum í nokkrum lífverum í Varmagjá í Nesjavallahrauni og við Vatnskot. Könnun III. Líffræðistofnun Háskólans, 18 bls.
- Sigurður S. Snorrason, Hilmar J. Malmquist, Hrefna B. Ingólfssdóttir, Þórey Ingimundardóttir & Jón S. Ólafsson 2011. Effects of geothermal effluents on macrobenthic communities in a pristine sub-arctic lake. Inland Waters 1: 146–157 (DOI: 10.5268/IW-1.3.363).
- Sloth, J., Julshamn, K. & Lundeby, A.K. 2005. Total arsenic and inorganic arsenic content in Norwegian fish feed products. Aquaculture Nutrition 11: 61–66.

Wetang'ula, G.N. 2004. Assessment of geothermal wastewater disposal effects: Case studies: Nesjavellir (Iceland) and Olkaria (Kenya). Meistararitgerð, Háskóli Íslands, Líffræðiskor. Reykjavík, apríl 2004. 177 bls.

Wetang'ula G.N. & Sigurður S. Snorrason 2005. Geothermal wastewater disposal: chemical stress assessment – Lake Thingvallavatn, Iceland. Proceedings World Geothermal Congress 2005. 249 April 2005. Antalya (Turkey). Bls. 1–15.

Zarandi, S.S.M.M. & Grétar Ívarsson 2010. A review on waste water disposal at the Nesjavellir geothermal power plant. Proceedings World Geothermal Congress 2010. 25–29 Apr 2010. Bali (Indonesia). Bls. 1–11.

Viðauki

Dvergbleikja, veidd 9. - 10. október 2019

Niðurstöður mælinga á lengd, þyngd, lifurþyngd og aldri

Staður	Nr.	Lengd (cm)	þyngd (gr)	lifur (gr)	aldur
Varmagjá	1	14,2	28,49	0,48	2
Varmagjá	2	14,3	25,93	0,19	4
Varmagjá	3	14,5	34,24	0,51	4
Varmagjá	4	16,3	37,96	0,58	6
Varmagjá	5	15,5	35,65	1,73	7
Varmagjá	6	13,5	25,26	0,13	8
Varmagjá	7	15,3	30,44	0,38	3
Varmagjá	8	15,5	40,48	0,97	3
Varmagjá	9	16,3	35,46	0,31	4
Varmagjá	10	17,3	43,88	0,43	
Varmagjá	11	13,3	26,63	0,62	
Varmagjá	12	15,2	41,29	1,26	
Meðaltöl		15,1	33,81	0,63	4,6
Miðfell	1	16,3	48,46	0,47	3
Miðfell	2	17,6	53,8	0,93	
Miðfell	3	20	70,59	1,07	4
Miðfell	4	14,2	28,7	0,53	
Miðfell	5	16	42,36	0,6	
Miðfell	6	16,3	39,33	0,59	
Miðfell	7	24,3	60,45	2,46	5
Miðfell	8	18	59,89	0,84	4
Miðfell	9	15,2	32,05	0,44	
Miðfell	10	14	23,65	0,28	
Miðfell	11	17,8	64,02	0,8	
Miðfell	12	17,2	48,52	0,61	3
Meðaltöl		17,2	47,65	0,80	3,8

Náttúrufræðisáskólinn í Reykjavík
Hamraborg 6a • 200 Kópavogur
Sími 570 0430
www.natkop.is

