



Fjölrit nr. 1-08

MENGUNARFLOKKUN Á REYKJAVÍKURTJÖRN

Unnið fyrir Umhverfis- og samgöngusvið Reykjavíkurborgar

Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson,
Haraldur Rafn Ingvason og Stefán Már Stefánsson

Júlí 2008



Náttúrufræðistofa
Kópavogs

Hamraborg 6a - 200 Kópavogur - natkop.is

Ágrip

Ástand Reykjavíkurtjarnar m.t.t. örvera og efna- og eðlisþátta var kannað á tímabilinu maí 2007–apríl 2008 og vatnsgæði tjarnarinnar metin og tjörnin mengunarflokkuð í samræmi við ákvæði reglugerðar nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

Á heildina litið var ástand tjarnarinnar slæmt m.t.t. næringarefna og övera, en skárna m.t.t. málma. Fosfór (Tot-P), ammóníak (NH_3) og lífrænt kolefni (TOC) mældust í sérlega miklu magni og er Reykjavíkurtjörn í næstlakasta mengunarflokki, flokki D, sem verulega snortið vatn m.t.t. þessara efna. Hvað varðar fosfat (PO_4), köfnunarefni (Tot-N) og blaðgrænu-a er tjörnin í þriðja mengunarflokki, flokki C, sem nokkuð snortið vatn. Umtalsverð saurmengun mældist í tjörninni og ratar hún í mengunarflokk D m.t.t. saurkólígerla og mengunarflokk C m.t.t. enterókokka. Mest magn saurkólígerla var í Vatnsmýrartjörn sem rataði í versta mengunarflokkinn, flokk E, með ófullnægjandi ástand vatns. Hvað varðar blý (Pb) lendir Reykjavíkurtjörn í mengunarflokk C sem nokkuð snortið vatn. Styrkur annarra málma var lítill og ratar tjörnin í mengunarflokk A (ósnortið vatn) og B (lítið snortið vatn) m.t.t. kopars (Cu), sinks (Zn), kadmíums (Cd), króms (Cr), nikkels (Ni) og arsens (As).

Samkvæmt greiningu á vegum Heilbrigðiseftirlits Reykjavíkur telst mengunarálag á Reykjavíkurtjörn vera mikið. Auk röskunar og mengunar frá fyrri tíð, þ.m.t. eyðing votlendis, uppfyllingar, skólplosun og sorpurðun, er helsti uppruni næringarefna- og málmengunar nú til dags rakin til ofanvatns, einkum frá umferðargötum, og til lífrænnar ákomu frá fuglum. Saurmengun er rakin til fuglalífs og skólplosunar, sem líklega er frá flugvallarsvæðinu.

Mengun í Reykjavíkurtjörn hefur sett mark sitt á lífríkið. Einna skýrasta dæmið um þetta er hvarf síkjamara (*Myriophyllum alterniflorum*) úr tjörninni á framanverðri 20. öld. Eyðing síkjamarans og sú staðreynd að hann hefur ekki átt afturkvæmt er rakin til efnamengunar, m.a. til útfellinga á járnsúlfíðum, og til lítils skyggis í vatninu vegna sviflægra þörunga og uppróts á setögnum af botninum. Önnur dæmi um áhrif mengunar lýsa sér í blóma blágrænuþörunga, sem fundist hafa í umtalsverðu magni sum árin, og hárrí hlutdeild vatnaflóa af ættkvíslunum *Alona* og *Chydorus*.

Samkvæmt gr. 8.1 og 8.3 í reglugerð nr. 796/1999 ber sveitarstjórnnum að skilgreina langtímamarkmið fyrir vötn og grípa til aðgerða í því skyni að varðveita náttúrulegt ástand þeirra og vernda gegn mengun af manna völdum. Stefna ber að því að vötn falli í flokk A sem ósnortið vatn, eða flokk B sem lítið snortið vatn. Í þessu sambandi eru settar fram fjórar tillögur: 1) að koma í veg fyrir að óhreinsað ofanvatn berist út í tjörnina, 2) að kanna stöðu fráveitumála á flugvallarsvæðinu og koma í veg fyrir líklega skólplosun og saurmengun, 3) að huga að endurheimt síkjamara í tjörninni, en líklega gegndi hann lykilhlutverki á sínum tíma við að halda vatninu hreinu og tæru, og 4) að kanna fýsileika þess að fjarlægja að hluta eða öllu leyti efsta 50–60 cm setlagið af botni tjarnarinnar, en í setlaginu eru birgðir af næringarefnum og þungmálum.

Lagt er til að vakta ástand vatnsgæða í Reykjavíkurtjörn með því að mæla næringarefni, kolefni, blaðgrænu-a og örverur árlega, en málma á 3–5 ára fresti. Jafnframt er mælt til þess að árlega verði fylgst með smádyralífi, einkum vatnaflóm, sem er áberandi hópur í lífríkinu og hentar vel sem metill á gæði vatnsins.

Summary

The surface water quality of lake Reykjavíkurtjörn in central Reykjavík was assessed during May 2007–April 2008 and the lake categorised in accordance with regulation no. 796/1999 for the prevention of water pollution. The regulation depicts five water categories, from category A with un-impacted, natural state of water, to category E, with heavily impacted, unsatisfactory state of water.

Overall (all dates and three sampling stations pooled), lake Reykjavíkurtjörn was considerably affected by high loads of nutrients and faecal bacterial pollution. In terms of total phosphorus (Tot-P, $94 \pm 39 \mu\text{g/l}$ (mean \pm s.d., $n = 18$)), ammonium ($\text{NH}_3\text{-N}$, $105 \mu\text{g/l}$ (geometric mean, $n = 18$)) and total organic carbon (TOC, $8.0 \pm 2.6 \text{ mg/l}$ (mean \pm s.d., $n = 18$)), the lake entered in category D, the second worst category, indicating considerably affected water with negative effects on the biota. For phosphate ($\text{PO}_4\text{-P}$, $46 \pm 22 \mu\text{g/l}$ (mean \pm s.d., $n = 18$)), total nitrogen ($1.025 \pm 269 \mu\text{g/l}$ (mean \pm s.d., $n = 18$)) and chlorophyll-a ($22.8 \pm 15.0 \mu\text{g/l}$ (mean \pm s.d., $n = 18$)), the lake entered in category C, indicating some impacts with significant biological effects. For faecal coliform bacteria (820 ind./100 ml (geometric mean, $n = 36$)) lake Reykjavíkurtjörn entered in category D, and in category C for enterococci (108 ind./100 ml (geometric mean, $n = 36$)). At one sampling station, faecal coliform bacteria counts overrode category E criteria in 10 out of 12 (83 %) cases. For all metals, except lead (Pb), concentrations were low. For copper (Cu, $2.83 \pm 1.39 \mu\text{g/l}$ (mean \pm s.d., $n = 18$)) and cadmium (Cd, $0.012 \pm 0.006 \mu\text{g/l}$ (mean \pm s.d., $n = 18$)) the lake entered in category B, and in category A for zinc (Zn, $4.91 \pm 2.87 \mu\text{g/l}$ (mean \pm s.d., $n = 18$)), chromium (Cr, $<0.3 \mu\text{g/l}$), nickel (Ni, $<1.0 \mu\text{g/l}$) and arsenic (As, $<0.05 \mu\text{g/l}$). For lead (Pb, $1.432 \pm 1.153 \mu\text{g/l}$ (mean \pm s.d., $n = 18$)), the lake entered in category C.

The bad water quality of lake Reykjavíkurtjörn is attributed mainly to human impacts and pressures of different origin, of which some have been acting for the last 200 years since urbanisation of the capital Reykjavík. In the late 19th. and early 20th. century, the catchment was impacted by peat mining, wetland draining and landfills. At present, the main source of chemical pollution is related to road traffic, entering the lake both by air and run-off water. Faecal pollution is traced to droppings from dense populations of birds utilising the lake, as well as to insufficient sewage system, probably in the Reykjavík airport area.

Pollution has taken its toll on the biota of lake Reykjavíkurtjörn. Most prominently, the macrophyte alternate water-milfoil (*Myriophyllum alterniflorum*) has disappeared. The milfoil probably served an important role in keeping the lake clean and transparent.

In accordance with reg. no. 796/1999, authorities must act and aim for category A or B for a particular lake if its water quality complies with category C, D or E. For this purpose we present four suggestions for consideration: 1) prevent inlet of direct run-off water, 2) fix the sewage system, 3) restore alternate water-milfoil in the lake, and 4) remove the topmost 50-60 cm, polluted layer of sediment in the lake.

Efnisyfirlit

Ágrip.....	3
Summary	4
Myndaskrá.....	6
Töfluskrá	6
1. Inngangur.....	7
1.1 Álagsgreining	7
1.2 Fyrri rannsóknir á efnafræði og örverum	8
1.3 Röskun á vatnasviðinu.....	9
1.4 Lífríkið.....	10
2. Staðhættir, efni og aðferðir	12
2.1 Staðhættir.....	12
2.2 Sýnataka og mælingar	14
2.3 Meðhöndlun gagna og mengunarflokkun.....	15
3. Niðurstöður og umfjöllun.....	17
3.1 Eðlisþættir.....	17
3.2 Næringarefni, kolefni og blaðgræna.....	19
3.3 Örverur	24
3.4 Málmar	28
4. Langtímamarkmið, aðgerðir og vöktun	31
4.1 Langtímamarkmið og aðgerðir	31
4.2 Vöktun	33
5. Samantekt	36
5.1 Helstu mæliniðurstöður	36
5.2 Álag og áhrif.....	39
5.3 Aðgerðir og vöktun.....	40
7. Heimildir	42
8. Viðaukar	45

Myndaskrá

Mynd 1. Loftmynd af Reykjavíkurtjörn.....	13
Mynd 2. Vatnshiti og sýrustig í Vatnsmýrartjörn, Suðurtjörn og Norðurtjörn.....	18
Mynd 3. Styrkur fosfórs, köfnunarefnis, lífræns kolefnis og blaðgrænu-a eftir stöðvum.....	21
Mynd 4. Styrkur næringarefna, lífræns kolefnis og blaðgrænu-a eftir dögum og stöðvum.....	22
Mynd 5. Gerlafjöldi eftir sýnastöðvum.....	26
Mynd 6. Gerlafjöldi eftir sýnatökudögum og stöðvum.....	27
Mynd 7. Styrkur kopars, sinks, kadmíums og blýs eftir sýnastöðvum.....	29
Mynd 8. Styrkur kopars, sinks, kadmíums og blýs eftir dögum og stöðvum.....	30

Töfluskrá

Tafla 1. Vatnafræðileg einkenni Reykjavíkurtjarnar.....	12
Tafla 2. Flokkar vatns með hliðsjón af mengunarástandi.....	15
Tafla 3. Flokkar vatns með hliðsjón af umhverfismörkum.....	16
Tafla 4. Mæliniðurstöður á vatnshita, sýrustigi og rafleiðni.....	17
Tafla 5. Næringarefni, lífrænt kolefni, blaðgræna-a og ástandsflokkun Reykjavíkurtjarnar.....	20
Tafla 6. Örverur og ástandsflokkun Reykjavíkurtjarnar.....	25
Tafla 7. Málmar og ástandsflokkun Reykjavíkurtjarnar.....	28
Tafla 8. Samanteknar mæliniðurstöður, núverandi ástandsflokkun og langtímamarkmið.....	31
Tafla 9. Tillaga að vöktun þátta í Reykjavíkurtjörn.....	34
Tafla 10. Heildaryfirlit mæliniðurstaðna, ástandsflokkun og vöktunaráætlun.....	37

1. Inngangur

Í þessari skýrslu er greint frá niðurstöðum í samstarfsverkefni Umhverfis- og samgöngusviðs Reykjavíkurborgar og Náttúrufræðistofu Kópavogs um mat á ástandi og flokkun á vatnsgæðum Reykjavíkurtjarnar í samræmi við ákvæði reglugerðar nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns. Markmið reglugerðarinnar er að koma í veg fyrir og draga úr mengun vatns og umhverfis þess af manna völdum, takmarka afleiðingar mengunar sem þegar hefur orðið og stuðla að almennri verndun þess.

Það er hlutverk heilbrigðisnefnda að sjá um að ákvæðum reglugerðar nr. 796/1999 sé framfylgt. Auk þess að flokka vötn (grunn- og yfirborðsvatn) m.t.t. mengunar ber að setja langtímamarkmið fyrir vatnsgæði og vöktun vatnanna í því skyni að viðhalda náttúrulegu ástandi þeirra.

Við framkvæmd verkefnisins var höfð hliðsjón af ritinu *Handbók um aðgerðaráætlanir og flokkun vatns* (Umhverfisstofnun 2004), en þar er að finna leiðbeiningar um gæðaflokkun vatns á því sviði sem hér um ræðir. Einnig var horft til rammatilskipunar Evrópubandalagsins um stefnu í vatnsmálum (Stjórnartíðindi EB 2000).

1.1 Álagsgreining

Ein af forsendunum fyrir skilvirkri mengunarflokkun á vötnum er svokölluð álagsgreining, sem er kortlagning og mat á helstu þáttum sem valdið geta álagi á vistkerfi (Umhverfisstofnun 2004). Ráðist var í slíka greiningu fyrir vatnasvið Reykjavíkurtjarnar á vegum Heilbrigðiseftirlits Reykjavíkur.

Heilbrigðiseftirlit Reykjavíkur telur mengunarálag á tjörnina vera mikið (Svava S. Steinarsdóttir 2008). Helsti uppruni mengunarinnar er álitinn vera frá umferðargötum, fuglalífi og lífrænni ákomu tengdri því, frárennsli ofanvatns og vegna skólps. Einnig er talin hætta á að mengun berist af flugvallarsvæðinu. Þá rennur heitt vatn inn í Norðurtjörn við Iðnó (Ísbryggju), en upplýsingar um rennslismagn voru ekki tiltækar hjá Orkuveitu Reykjavíkur. Ekki er talið líklegt að efnamengunar gæti í tjörninni í tengslum við úrgang á gömlum uppfyllingum og sorpurðunarstöðum á vatnasviðinu.

Ofanvatn af götum er leitt út í tjörnina á nokkrum stöðum. Vatn frá niðurföllum í Sæmundargötu rennur út í Hústjörn og frá Njarðargötu í gegnum olúgildru út í frárennslisskurð og þaðan í Vatnsmýrartjörn. Afrennsli af Eggertsgötu er leitt út í mýrina vestan við hús Íslenskrar erfðagreiningar. Skurðir liggja einnig frá Skógarhlíð, Bústaðavegi og hluta Flugvallarveggar um flugvallarsvæðið og rennur vatn eftir þeim um ræsi undir Njarðargötu og út í Vatnsmýrartjörn. Vísbendingar eru um að skólpmengað vatn berist út í Vatnsmýrartjörn eftir síðastnefndu leiðinni (Svava S. Steinarsdóttir 2008). Afrennsli hluta götuniðurfalla umhverfis Suður- og Norðurtjörn rennur út í tjarnirnar við Skothúsveg og við göngustíginn á milli Þorfinns- og Suðurtjarnar.

Í nágrenni tjarnarinnar eru nokkur fyrirtæki með starfsleyfi heilbrigðisnefndar. Starfsemi flestra fyrirtækjanna er þó með þeim hætti að lítil hætta er talin vera á

mengun. Helst er talin hættu á mengun frá flugvallarsvæðinu í tengslum við notkun á afísingarefni og vegna olíumengunar (Svava S. Steinarsdóttir 2008).

1.2 Fyrri rannsóknir á efnafræði og örverum

Nokkrar efnamælingar hafa áður verið gerðar á vatnasviði Reykjavíkurtjarnar. Í júlí 1978 voru næringarefni mæld í vatns- og botnssýnum í Reykjavíkurtjörn og nálægum tjörnum og skurðum (Gunnar Steinn Jónsson o.fl. 1978, Jón Ólafsson 1979). Á tímabilinu júní 1990 til apríl 1991 voru næringarefni einnig mæld í vatnssýnum í fimm skipti á svipuðum slóðum og 1978 (Ólafur K. Nielsen 1992a). Niðurstöður framangreindra rannsókna, sem tóku m.a. til fosfórs og köfnunarefnis, gáfu til kynna nokkurt álag á vistkerfið, sér í lagi í Norðurtjörninni. Ofauðgun næringarefnanna var rakin til afrennslis af götum, skólpmengunar frá ræsum og rotþróm, áburðarnotkunar á túnum og útskolunar á afísingarefni frá Reykjavíkflugvelli (Gunnar Steinn Jónsson o.fl. 1978, Jón Ólafsson 1979, Ólafur K. Nielsen 1992a). Um tíma rann skólþlandaður sjór í tjörnina um útfallið við svokallað Lækjargöturæsi hjá Iðnó, en í ræsinu gætti áhrifa sjávarfalla (Jón Ólafsson 1979). Árið 1989 var skólþdælustöð tekin í gagnið við Ingólfsgarð og tók þá fyrir áhrif sjávarfalla í tjörninni.

Viðamesta efnafræðiúttektin til þessa í Reykjavíkurtjörn fór fram árið 2002 þegar efnainnihald var mælt í vatnssýnum og botnseti í tengslum við fyrirhugaða byggingu bílastæðahúss (Gunnar Ólafsson 2003a, b). Í botnseti voru mæld ýmis spilliefni, næringarefni og þungmálmur. Veruleg þungmálmamengun reyndist vera í yfirborðslagi botnsetsins (efstu 20–30 cm) í Norðurtjörninni, sérstaklega nyrst og austast í henni (Gunnar Ólafsson 2003a). Einkum var magn blýs (Pb), sinks (Zn) og kopars (Cu) mikið, en efnin má rekja m.a. til bifreiðaumferðar og ofanvatns sem berst af götunum. Styrkur annarra efna en þungmálma mældist almennt lítil í yfirborðslögum botnsetsins árið 2002 og var undir mengunarmörkum og töluvert minni en mældist 1990–1991 og sér í lagi 1978. Svipaða sögu var að segja af efnastyrk í vatnssýnum sem tekin voru í ágúst 2002. Styrkur flestra efna, þ.m.t. fosfórs og köfnunarefnis, var lítil og lægri en mælt hafði í fyrri rannsóknum.

Efnamælingarnar í janúar 2002 á botnseti í Norðurtjörninni leiddu í ljós að efnastyrkur í neðri lögum botnsetsins, þ.e. í seti undir 30 cm, var almennt mjög lítil og undir mengunarmörkum (Gunnar Ólafsson 2003a). Botnset Reykjavíkurtjarnar er allt að 200 cm þykkt og tvískipt m.t.t. litur og áferðar (Margrét Hallsdóttir 1988, 1992, Árni Einarsson og Sesselja Bjarnadóttir 1992, Gunnar Ólafsson 2003a). Efst í setinu er 30–65 cm þykkt lag, svart á lit og myndlaust, en þar undir er allt að 140 cm þykkt lag, ljósbrúnt og trefjaríkt. Að gefnum ákveðnum forsendum um þykkunarhraða setsins hefur verið reiknað út að svarta setlagið svarar nokkurn veginn til þess sets sem sest hefur til á síðustu 150–200 árum (Margrét Hallsdóttir 1988, 1992). Upphaf þessa tímabils svarar til þess tíma sem þéttbýli tók að myndast í Reykjavík, þ.e. frá og með seinni hluta 18. aldar (Guðjón Friðriksson 1992).

Athuganir á ástandi Reykjavíkurtjarnar m.t.t. örvera eru af skornum skammti. Fyrsta örverurannsóknin á vegum Reykjavíkurborgar fór fram haustið 2006 þegar sýni voru tekin 10. og 11. október á nokkrum stöðum á vatnasviðinu (Erpur Snær Hansen og Svava S. Steinarsdóttir 2007). Þær mælingar bentu til umtalsverðrar mengunar á

saurkólí- og enterókokkagerlum, sérstaklega í Vatnsmýrar- og Þorfinnstjörn. Á meðal tegunda sem greindust í tjörninni og kunnar eru af því að geta valdið sjúkdómum í mönnum voru *Escherichia coli*, *Camphylobacter* tegundir (*C. jejuni*, *C. lari* og *C. coli*), *Clostridium* tegundir, *Pseudomonas aeruginosa* og *Salmonella typhimurium* (WHO 2006).

1.3 Röskun á vatnasviðinu

Samhliða fólksfjölgun og þéttbýlismyndun í Reykjavík á undanförunum tveimur öldum hefur Reykjavíkurtjörn og vatnasviðið allt orðið fyrir margskonar röskun og álagi. Hið náttúrulega vatnasvið tjarnarinnar með grónu votlendi í Vatnsmýrinni hefur dregist saman og breyst svo um munar, fyrst með mótekju á 18. og 19. öld, síðan með framræslu, skurðgreftri og túnrækt á ofanverðri 19. öld og fram á fyrri hluta 20. aldar (Guðjón Friðriksson 1992). Um og upp úr miðri 20. öld þrengir síðan enn meira að vatnasviðinu með ýmsum byggingaframkvæmdum og tilheyrandi raski, þ. á m. með flugvallargerð breska hersins og jarðvegsskiptum og uppfyllingum á svæðum milli Háskóla Íslands og Njarðargötu þar sem nú hafa risið Norræna húsið, Askja og hús Íslenskrar erfðagreiningar.

Umhverfið allra næst Reykjavíkurtjörn hefur heldur ekki farið varhluta af umsvifum manna í gegnum tíðina. Bökkum tjarnarinnar hefur verið umturnað á nær alla kanta með uppfyllingum í tengslum við gatnagerð og húsbyggingar. Fyrst var þetta gert í norðurendanum seint á 19. öld, þá í byrjun 20. aldar þegar tjarnarbrekkan að vestan var rudd fram og loks á fyrri hluta 20. aldar þegar Fríkirkjuvegur var lagður og hús reist meðfram austurbakkanum (Guðjón Friðriksson 1992). Um 1911 var hafist handa við að hlaða undir Skothúsveg og greinilega ekki vandað til efnisvals því uppfyllingin ku einkum hafa verið hvers kyns heimilissorp og úrgangur. Öskuhaugar Reykvíkinga voru því um tíma staðsettir beinlínis ofan í Reykjavíkurtjörn og enda þótt þeir væru fluttir burt 1928, fóru þeir ekki langt, heldur enduðu þeir við suðurenda tjarnarinnar. Hljómskálagarðurinn hvílir að einhverju leyti á þessum fyrrum öskuhaugum. Þá er ógetið um skólþveitu út í Reykjavíkurtjörn, en strax á seinni hluta 19. aldar var kvartað yfir saurmengun og fýlu við tjörnina. Á fyrri hluta 20. aldar og líklega allt fram undir 1962 var skólpi veitt beint út í tjörnina með lokræsum (Guðjón Friðriksson 1992). Af tiltölulega nýlegum álagspætti, sem lítil haldgóð vitneskja er til um, en ekki má vanmeta, er brauðgjöf handa fuglum en henni getur fylgt umtalsvert álag vegna útskilnaðar á næringarefnum (Olson o.fl. 2005).

Að framansögðu má ljóst vera að samhliða uppbyggingu Reykjavíkurborgar á síðustu tvöhundrað árum hefur hvortveggja gerst, að gengið hefur verulega á vistfræðilega þjónustugetu vatnasviðs Reykjavíkurtjarnar og vistkerfi tjarnarinnar hefur orðið fyrir margvíslegu beinu álagi af völdum manna. Vistfræðilegt þjónustuhlutverk á grónum vatnasviðum felur í sér margvíslega efna- og vatnafræðilega þætti á borð við upptöku, bindingu og umbreytingu efna, efnahreinsun, jöfnun á vatnsrennsli og hitatemprun (Moss o.fl. 1997, Gulati o.fl. 2007). Enda þótt sumir álagspáttanna í Reykjavíkurtjörn séu til komnir fyrir margt löngu kunna áhrifin að koma fram seint og um síðir. Hér skiptir máli hvaða efni er um að ræða, bindigeta jarðvegs og botnsets, hraði ákomu og útskolun á efnunum o.fl.

1.4 Lífríkið

Rannsóknir á lífríki á vatnasviði Reykjavíkurtjarnar hafa verið töluverðar í gegnum tíðina. Einkanlega hafa rannsóknir beinst að fuglum og hafa þeir verið vaktaðir flest ár frá 1973, nú síðast sumarið 2007 (Ólafur K. Nielsen og Jóhann Óli Hilmarsson 2007). Gott yfirlit yfir fyrri rannsóknir, sögu og náttúru svæðisins fram til 1992 er að finna í bókinni *Tjörnin, saga og lífríki*, sem kom út 1992 í tengslum við byggingu ráðhússins við norðvesturhorn Reykjavíkurtjarnar (Ólafur K. Nielsen 1992a).

Auk athugana á fuglum hafa rannsóknir í Reykjavíkurtjörn beinst að fornsögu gróður- og dýraleifa (Margrét Hallsdóttir 1988, 1992, Árni Einarsson og Sesselja Bjarnadóttir 1992), þörungum (Gunnar Steinn Jónsson o.fl. 1978, Gunnar Ólafsson 2003b), smádýralífi á botni og í svifi (Fríða Pétursdóttir o.fl. 1986, Ólafur K. Nielsen 1991, Ólafur K. Nielsen o.fl. 1991, Jón S. Ólafsson og Sesselja G. Sigurðardóttir 2003) og hornsílum (Halldóra Skarphéðinsdóttir o.fl. 1991).

Lífríki Reykjavíkurtjarnar virðist að mörgu leyti ólíkt því sem gengur og gerist á meðal grunnra vatna á landinu. Mestu munar um að nær enginn háplöntugróður þrífst lengur í tjörninni (Margrét Hallsdóttir 1988, 1992). Sér í lagi er þetta áberandi með síkjamarara (*Myriophyllum alterniflorum*). Af ljósmyndum að dæma virðist hann vera nokkuð útbreiddur í tjörninni um aldamótin 1900 (sbr. Guðjón Friðriksson 1992, ljósmynd bls. 30) og í einhverjum mæli var hann til staðar allt fram á þriðja áratug síðustu aldar (Guðjón Friðriksson 1992, ljósmynd bls. 52). Ekki liggja fyrir haldgóðar upplýsingar um hvenær síkjamarinn hvarf alveg úr tjörninni. Síkjamari er einkennisplanta í grunnum vötnum á Íslandi og þrífst vel hér á höfuðborgarsvæðinu, s.s. í Rauðavatni, Elliðavatni, Vífilsstaðavatni og Urriðavatni (Hilmar J. Malmquist & Gísli Már Gíslason 2007, Hilmar J. Malmquist o.fl. 2004, 2006a, b). Að Vífilsstaðavatni undanskildu hafa öll framangreind vötn verið mengunarflokkuð með hliðsjón af reglugerð nr. 796/1999 og taldist ástand þeirra almennt mjög gott (Tryggvi Þórðarson 2003, 2006, 2008).

Flest bendir til þess að hvarf síkjamarans megi rekja til mengunar. Líklega eru nokkrir samverkandi þættir sem liggja þar að baki. Ekki er ólíklegt að þungmálmamengun í botnsetinu komi við sögu auk mengunar af völdum brennisteins, sem hefur mælt allmikill í svarta setlaginu (Gunnar Ólafsson 2003a). Brennisteinninn hefur m.a. verið rakinn til írennslis á hitaveituvatni á sínum tíma út í tjörnina (Gunnar Ólafsson 2003a). Líklega má einnig rekja brennistein til þess tíma þegar sjór gekk inn í tjörnina, en í sjó er jafnan mikið af brennisteini (Moss o.fl. 1997).

Við súrefnissnauðar aðstæður ofan í botnsetinu gengur brennisteinn m.a. í samband við járn og myndar sambönd af járn-súlfíðum (FeS). Þar á meðal myndast útfellingar af brennisteinskís (pyrite, FeS₂), en þær geta valdið skaða á rótum og stönglum plantna með því t.d. að hindra upptöku næringarefna og beislun á sólarorku. Útfellingar á brennisteinskís eru það miklar í efsta, svarta hluta setlagsins í Reykjavíkurtjörn að frjókorn í því eru nær ógreinanleg (Margrét Hallsdóttir 1988).

Svarti liturinn í efsta hluta botnsetsins í Reykjavíkurtjörn stafar aðallega af járn-súlfíðunum sem um getur hér að framan. Liturinn og áferðin ásamt brennisteinsfnyki eru vel þekkt fyrirbæri í botnseti vatna sem hafa orðið ofauðgun næringarefna að bráð (Moss o.fl. 1997). Svarta litinn má hugsanlega einnig rekja að

einhverju leyti til sótagna úr móösku sem talið er að hafi verið hent út í tjörnina, en mór úr Vatnsmýri var aðaleldsneyti Reykvíkinga fram yfir aldamótin 1900 (Guðjón Friðriksson 1992).

Ekki er ólíklegt að eyðingu síkjamara megi einnig rekja til lítillar rýni í tjörninni og þ.a.l. skorts á birtu til vaxtar á rótarsprotum. Takmarkað skyggni í tjörninni stafar einkum af því hve botnsetið er laust í sér og agnir þyrlast auðveldlega upp þegar vind hreyfir. Þrátt fyrir að botnlægar þörungategundir séu yfirgnæfandi í þörungaflóru tjarnarinnar þá er hlutdeild sviflægra þörunga umtalsverð (Gunnar St. Jónsson o.fl. 1978, Gunnar Ólafsson 2003b) og skýrir það einnig litla rýni.

Tegundasamsetning þörunga í tjörninni bendir nokkuð eindregið til ofauðgunar á næringarefnum. Þetta kom t.d. skýrt fram í rannsókninni sumarið 1977 en þá var vöxtur blágrænuþörunga óvenjumikill og meginuppistaðan tegundir af ættkvíslinni *Oscillatoria* sem valda svokölluðu leirlosi (Gunnar St. Jónsson o.fl. 1978). Af öðrum tegundum bar mikið á grænþörungum af ættkvíslinni *Cladophora* auk kísilþörungsins *Navicula viridula*. Framangreindir þörungar verða oft mjög áberandi í vötnum þar sem gætir mikillar ofauðgunar á næringarefnum (Moss o.fl. 1997, Smol 2008). Blágrænuþörungar, þ. á m. *Oscillatoria* tegundir, hafa áður verið greindar í Reykjavíkurtjörn, þ.e. sumarið 1946 (Sigurður Pétursson 1948) og 2002 (Gunnar Ólafsson 2003b).

Mengunarálag virðist einng hafa sett mark sitt á botndýrasamfélög tjarnarinnar. Þannig hefur tegundasamsetning vatnaflóa verið óvenju einsleit í tjörninni á okkar tímum og aðeins ein til þrjár tegundir verið allsráðandi. Þetta eru mánafló (*Alona quadrangularis*), kúlufló (*Chydorus sphaericus*) og burstafló (*Illiocryptus sordidus*) (Ólafur Karl Nielsen 1991, Jón S. Ólafsson og Sesselja Sigurðardóttir 2003). Í rannsókn á fornsögu lífríkis tjarnarinnar hafa einnig komið fram vísbendingar um að kúlufló hafi verið algengasta vatnaflóin í tjörninni á síðastliðnum tveimur öldum, þ.e. á þeim tíma sem áhrifa af aukningu næringarefna af manna völdum tekur að gæta (Árni Einarsson og Sesselja Bjarnadóttir 1992). Framangreindar krabbadýrategundir, einkum há hlutdeild kúluflóar og mánaflóar, eru oft taldar vera til marks um að áhrifa gæti vegna ofauðgunar af völdum fosfórs og eða köfnunarefnis (de Eyto og Irvine 2001, de Eyto o.fl. 2003, Mirosław-Grabowska og Niska 2005).

2. Staðhættir, efni og aðferðir

2.1 Staðhættir

Reykjavíkurtjörn hvílir í Kvosinni á grágrýti sem rann á hlýskeyði síðustu ísaldar ofan af dyngjunni Mosfellsheiði, líklega úr Borgarhólum (Margrét Hallsdóttir 1992). Talið er að tjörnin hafi myndast sem sjávarlón fyrir um 1200 árum, en þá hófst lífræn setmyndun í henni. Undir lífræna setinu eru sand- og malarlög, nokkrir metrar á þykkt sem liggja ofan á grágrýtinu (Margrét Hallsdóttir 1992, Vatnaskil 1987).

Reykjavíkurtjörn samanstendur af fimm misstórum tjörnum sem alls eru nær 10 hektarar að flatarmáli (tafla 1, mynd 1). Hústjörn, Vatnsmýrartjörn og Þorfinnstjörn eru allar manngerðar og það eru sömuleiðis allir hólmar í tjörnunum (Ólafur Karl Nielsen og Jóhann Óli Hilmarsson 1988). Tjarnirnar eru allar mjög grunnar og er meðaldýpi þeirra allra um 60 cm.

Tafla 1. Vatnafræðileg einkenni Reykjavíkurtjarnar. Heimildir: Ólafur K. Nielsen og Jóhann Óli Hilmarsson (1988) og Ólafur Karl Nielsen (1992a).

	Flatarmál (ha)	Meðaldýpi (cm)	Dýptarbil (cm)	Rúmmál (m ³)
Hústjörn	0,3	80		2.400
Vatnsmýrartjörn	0,4	80		3.200
Þorfinnstjörn	0,2	51	22–82	1.020
Suðurtjörn	2,2	50	40–61	11.000
Norðurtjörn	6,5	61	22–74	39.650
Samtals	9,6	57		57.270

Vatnasvið Reykjavíkurtjarnar er um 3 km² og fær tjörnin vatn sitt að langmestu leyti úr Vatnsmýri. Grunnvatnið streymir í norður undir tjörninni (Vatnaskil 1989). Samkvæmt mælingum á tímabilinu september 1988 til október 1989 var reiknað meðalársaðrennsli 41 l/s, minnst á tímabilinu júní–september (19 l/s) og mest á tímabilinu febrúar–maí (56 l/s) (Vatnaskil 1989). Rennslismælingar á nokkrum stöðum á vatnasviðinu, m.a. sunnan við Hringbraut, gefa til kynna að tæp 80% af írennsli í Reykjavíkurtjörn komi úr Vatnsmýrinni (Vatnaskil 1987, 1989). Að vetrarlagi geta einstaka flóð náð rúmlega 600 l/s rennsli (Vatnaskil 1989).

Eigin rennslismælingar sem framkvæmdar voru 3. mars 2008 voru í góðu samræmi við mælingar gerðar veturinn 1989 á sambærilegum stöðum (Vatnaskil 1989). Í læk við Njarðargötu mældist rennslið 32,5 l/s (við ræsi flugvallarmegin), 45,7 l/s í frárennsli Vatnsmýrartjarnar, 47,9 l/s í frárennsli Þorfinnstjarnar og 52,0 l/s í útfallinu við Iðnó.



Mynd 1. Loftmynd af Reykjavíkurtjörn tekin árið 2007. Sýndar eru sýnastöðvar í Vatnsmýrartjörn (1), Suðurtjörn (2) og Norðurtjörn (3). Heimild: <http://maps.google.com/> (skoðað 20.06. 2008).

Út frá rúmtaki Reykjavíkurtjarnar (0,057 gígalítrar, tafla 1) og meðalaðrennsli á ársgrundvelli (41 l/s) má ætla að viðstöðutími vatns í tjörninni, þ.e.a.s. hve lengi vatnið í vatnsskálinni er að endurnýjast, sé að jafnaði 16 dagar. Miðað við sumarrennsli (19 l/s) er viðstöðutíminn 35 dagar og miðað við vetrarrennsli (56 l/s) er hann 12 dagar. Þetta er ekki langur viðstöðutími og er áþekkur því sem mælst hefur í Urriðavatni í Garðabæ, 13–26 dagar (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2006b, Tryggvi Þórðarson 2006). Vatnið í Reykjavíkurtjörn endurnýjast m.ö.o. tiltölulega hratt.

Eins og rakið er í inngangskafnanum hefur vatnasviði Reykjavíkurtjarnar verið umbýlt á síðastliðnum tvö hundruð árum í kjölfar fólksfjölgunar og þéttbýlismyndunar. Nú orðið er vatnasviðið nær alfarið manngert með tilheyrandi skerðingu á votlendi, umskiptum á

jarðvegi, stórauðnum flötum með lokuðu yfirborði og tilbúnum vatnsbökkum svo fátt eitt sé nefnt. Afleiðingarnar eru skert geta vistkerfsins til að glíma við aðsteðjandi vandamál á borð við ofauðgun næringarefna, þungmálmamengun o.fl. Náttúra Reykjavíkurtjarnar hefur þegar látið á sjá vegna þessa og eitt skýrasta dæmið um það er hvarf síkjamara úr tjörninni á fyrrihluta síðustu aldar.

2.2 Sýnataka og mælingar

Í útboðslýsingu á verkefningu (Reykjavíkurborg 2007) var farið fram á að flokka Reykjavíkurtjörn og Vatnsmýri saman sem eina vatnafræðilega heild og óskað eftir sýnatöku á þremur stöðum. Þetta var gert m.a. í því skyni að greina hugsanlegan mun á álagsþáttum á vatnasviðinu. Valdir voru þrjár sýnatökustaðir, þ.e. í Vatnsmýrartjörn, Suðurtjörn og Norðurtjörn (mynd 1).

Samkvæmt útboði Reykjavíkurborgar (Reykjavíkurborg 2007) voru eftirfarandi atriði mæld og notuð við mengunarflokkunina (sjá einnig reglugerð nr. 796/1999): heildarfosfór (Tot-P), fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$), heildarköfnunarefni (Tot-N), ammóníak ($\text{NH}_4\text{-N}$), lífrænt kolefni (TOC), blaðgræna-a, magn saurkólí- og enterókokkagerla, kopar (Cu), sink (Zn), kadmíum (Cd), blý (Pb), króm (Cr), nikkell (Ni) og arsen (As).

Að blaðgrænu og örverum undanskildum fóru mælingar á efnabáttum fram hjá Norsk institutt for vannforskning (NIVA) í Osló. Efnagreiningarnar voru gerðar á ósíuðum sýnum. Upplýsingar um aðferðafræði og mælinákæmni við efnagreiningarnar eru að finna í riti á vegum NIVA (NIVA 2004).

Mælingar á magni blaðgræna-a voru gerðar af Náttúrufræðistofu Kópavogs. Eitt vatnssýni (1 l) var tekið í hvert skipti á 20–40 cm dýpi. Sýnin voru höfð í kæli ($\sim 5^\circ\text{C}$) í 5–12 klst., þá síuð á Whatman GF/C síupappír (Cat No 1822 047), síupappírinn frystur og blaðgrænan mæld síðar á rannsóknastofu. Til að leysa blaðgrænuna úr sýninu var síupappírinn lagður í 96% etanól og hafður í myrkri í kælikáp í 24 klst. Blaðgræna-a var mæld við bylgjulengdina 665 nm með ljósgleypnimæli (HACH, DR 5000) á Veiðimálastofnun.

Samhliða vatnssýnatöku fóru fram mælingar á vatnshita ($\pm 0,1^\circ\text{C}$), sýrustigi (pH $\pm 0,01$) og rafleiðni ($\pm 0,1 \mu\text{S/cm}$) og til þess notaður fjölþáttamælir af gerðinni YSI Model 63. Mæliniðurstöður á rafleiðni voru leiðréttar fyrir 25°C .

Heilbrigðiseftirlit Umhverfis- og samgöngusviðs Reykjavíkurborgar sá um sýnatökur á örverum en mælingar á þeim fóru fram á rannsóknastofu Matíss ohf. Sýni voru tekin í 500 ml sótthreinsuð glös u.þ.b. 10 cm undir vatnsyfirborði úr báti á stöðvum 2 og 3 fyrstu sex mánuðina. Næstu sex mánuði voru sýni tekin frá landi á Ísbryggju við Iðnó og við brúna yfir Skothúsveg. Að sýnatöku lokinni voru sýnin geymd í kælikassa fram að mælingu sem gerð var innan 24 klst. hjá Matís ohf. Líftala eða fjöldi örvera var ákvörðuð með síun gegnum himnu og með talningu kólónía. Aðferð ÖVA 6 var notuð til að ákvarða líftölu við 22°C og 37°C , aðferð ÖVA 12 var notuð til að ákvarða líftölu enterókokka og aðferð ÖVA 2 var notuð til að ákvarða líftölu saurkólí. Þessar aðferðir eru faggildar aðferðir hjá Matís ohf. og eru teknar út af sænsku löggildingastofunni Swedac. Þar sem saurkólí- og enterókokkagerlar eiga fyrst og fremst uppruna sinn í

iðrum manna og annarra dýra með heitt blóð og þrífast illa í vatni utan við meltingarveg bendir tilvist þeirra í yfirborðsvatni til þess að um utanaðkomandi saurmengun sé að ræða (WHO 2006).

Sýnatakan hófst seint í maí 2007 og voru örverusýni tekin alls 12 sinnum á mánaðarfresti (maí 2007–maí 2008) en önnur sýni sex sinnum með mánaðarmillibili (maí–október 2007). Sýnataka og mælingar fóru jafnan fram milli kl. 10 og 16.






Vatnssýni til mælinga á efnabáttum voru tekin með því að stútfylla 1,0 l plastflösku á 20-40 cm dýpi. Fyrir sýnatöku voru ílátin skoluð, fyrst með 0,1 N HCl og síðan með vatni á staðnum. Sýni voru höfð í lokuðum kælikassa í mesta lagi í tvær klst. þar til þau voru fryst (-20° C) og síðar send frosin til NIVA.

Í reglugerð nr. 796/1999 er kveðið á um að mæla ójónað ammóníak (NH₃) en í efnagreiningu NIVA var mældur styrkur ammóníakjónarinnar NH₄⁺. Styrkur NH₃ var því reiknaður út frá magni NH₄ og H⁺ jóna, en jafnvægi ríkir milli efnanna samkvæmt jöfnunni NH₄⁺ ⇌ NH₃ + H⁺. Af þessari jöfnu leiðir að $K = \frac{[NH_3][H^+]}{[NH_4^+]}$, en jafnvægisfastinn K er háður vatnshita samkvæmt jöfnunni $pK = 0,09018 + 2,729,92 / 273,2 + T$, þar sem $pK = -\log_{10}K$ og T er vatnshiti í °C. Styrkur vetnisjónarinnar fæst samkvæmt sambandinu $pH = -\log_{10}[H^+]$ (EPA 1999).

2.3 Meðhöndlun gagna og mengunarflokkun

Í reglugerð nr. 796/1999 er að finna skilgreiningar á flokkum vatns m.t.t. mengunar og eru flokkarnir fimm talsins (tafla 2). Flokkunin nær til yfirborðs- og grunnvatns. Forsendum flokkunarinnar er nánar lýst í 10. gr. reglugerðarinnar og með hliðsjón af fylgiskjali með reglugerðinni þar sem umhverfismörk einstakra efna og efnasambanda eru skilgreind fyrir ástand vatns. Samkvæmt 8. gr. reglugerðar nr. 796/1999 skulu heilbrigðisnefndir skilgreina langtímamarkmið fyrir vatn og miða þau við flokka A og B.

Tafla 2. Flokkar vatns með hliðsjón af mengunarástandi. Samkvæmt 9. gr. reglugerðar nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns. Forsendum flokkunarinnar er nánar lýst í 10. gr. reglugerðarinnar. Litamerkingar vísa til litar á skýringaruppráttum við deiliskipulagsgerð.

Flokkur	Ástand	Litamerking	
A	Ósnortið vatn	Blátt	
B	Lítið snortið vatn	Grænt	
C	Nokkuð snortið vatn	Gult	
D	Verulega snortið vatn	Appelsínugult	
E	Ófullnægjandi vatn	Rautt	

Forsendur vatnaflokkanna eru skv. 10. gr. reglugerð nr. 796/1999 eftirfarandi:

Flokkur A. Ósnortið vatn. Engar eða litlar vísbendingar eru um áhrif frá mannlegri starfsemi á lífríki eða á efna- og eðlisfræðilegt umhverfi þess. Lífríki og efna- og eðlisfræðilegar breytur eru í samræmi við náttúrulegt ástand eða skilgreind bakgrunnsgildi.

Flokkur B. Lítið snortið vatn. Lítil og ekki skaðleg áhrif eru greinanleg á lífríki og efna- og eðlisfræðilegt umhverfi þess vegna mannlegrar starfsemi. Efna- og eðlisfræðilegar breytur víkja lítillaga frá skilgreindu bakgrunnsgildi, sbr. umhverfismörk í fylgiskjali með reglugerðinni.

Flokkur C. Nokkuð snortið vatn. Marktæk áhrif eru á lífríki og efna- og eðlisfræðilegt umhverfi þess vegna mannlegrar starfsemi. Lífríki víkur nokkuð frá þeirri gerð sem við mætti búast ef umhverfi væri óraskað. Efna- og eðlisfræðilegar breytur víkja nokkuð frá skilgreindu bakgrunnsgildi, sbr. umhverfismörk í fylgiskjali með reglugerðinni.

Flokkur D. Verulega snortið vatn. Veruleg og skaðleg áhrif á líffræðileg samfélög og efna- og eðlisfræðilegt umhverfi þeirra vegna mannlegrar starfsemi. Efna- og eðlisfræðilegar breytur víkja verulega frá skilgreindu bakgrunnsgildi, sbr. umhverfismörk í fylgiskjali með reglugerðinni.

Flokkur E. Ófullnægjandi vatn. Ófullnægjandi ástand vatns utan þynningarsvæða fyrir losun efna frá mengandi starfsemi.

Í fylgiskjali með reglugerð nr. 796/1999 eru skilgreindir fimm flokkar vatns m.t.t. umhverfismarkna á nokkrum mengunarpáttum, þ. á m. fyrir saur-, málma- og næringarefnamengun (tafla 3). Umhverfismörkin byggjast á viðmiðunargildum sem tilgreind eru í fylgiskjalinu fyrir hvern mengunarpátt.

Tafla 3. Flokkar vatns með hliðsjón af umhverfismörkum fyrir saurmengun, málma, næringarefni og lífræn efni í yfirborðsvatni. Samkvæmt fylgiskjali með reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

Umhverfis- mörk	Saurmengun	Málmar	Næringarefni
I	Mjög lítil eða engin saurmengun	Mjög lítil eða engin hætta á áhrifum	Næringarfátækt (oligotrophic)
II	Lítill saurmengun	Lítill hætta á áhrifum	Lágt næringarefnagildi (oligo-/mesotrophic)
III	Nokkur saurmengun	Áhrifa að vænta á viðkvæmt lífríki	Næringarefnaríkt (meso-/eutrophic)
IV	Mikil saurmengun	Áhrifa að vænta	Næringarefnaauðugt (eutrophic)
V	Ófullnægjandi ástand vatns/ þynningarsvæði	Ávallt ófullnægjandi ástand vatns fyrir lífríki/þynningarsvæði	Ofauðugt (hypertrophic)

Við mengunarflokkunina voru meðaltöl á styrk viðkomandi efna notuð sem viðmið og útreikningarnir gerðir fyrir hverja stöð fyrir sig og allar stöðvarnar saman. Í þeim tilvikum þar sem gögn voru ekki normaldreifð var stuðst við geómetrísk meðaltöl í mengunarflokkuninni. Þetta átti við um ójónað ammóníak (NH₃) og magn saurgerla.

3. Niðurstöður og umfjöllun

3.1 Eðlisþættir

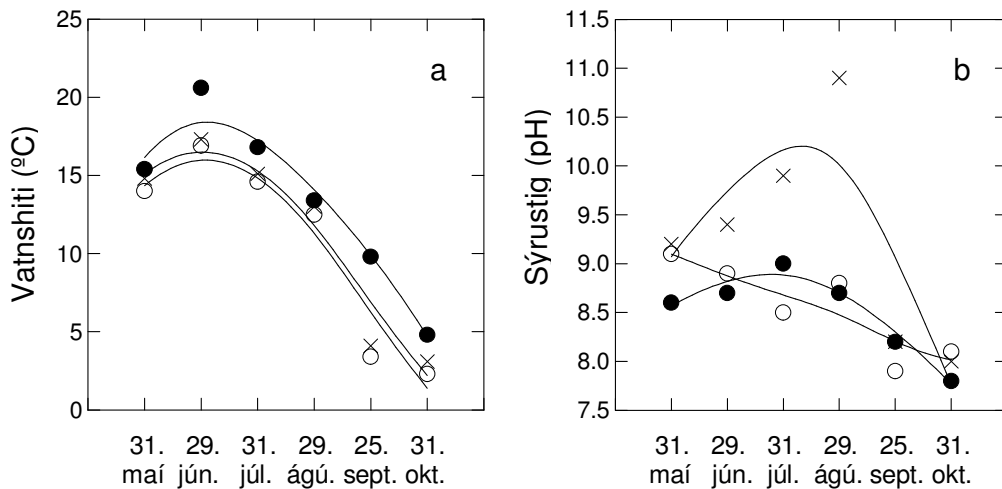
Vatnshiti í tjörnunum þremur lék á bilinu 2,3–20,6° C (tafla 4) og voru hitaferlar yfir rannsóknartímabilið mjög svipaðir í hverri tjörn fyrir sig (mynd 2a). Í öll skiptin var vatnshiti eilítið hærri í Norðurtjörn en hinum tjörnunum, en ekki reyndist þó um marktækan mun að ræða í meðalhita á milli stöðvanna þriggja ($F_{2,15} = 0,381$, $p = 0,698$).

Hitastigsgildin sem mældust í Reykjavíkurtjörn eru á því róli sem búast má við í grunnu vatni og svipar til gilda sem mælt hafa í öðrum grunnum vötnum á höfuðborgarsvæðinu, t.d. í Urriðavatni (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2006b, Tryggvi Þórðarson 2006), Rauðavatni (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2006a, Tryggvi Þórðarson 2008) og Elliðavatni (Tryggvi Þórðarson 2003, Hilmar J. Malmquist o.fl. 2004).

Í fyrri mælingum hafa staðbundin áhrif af völdum heitavatnsmengunar verið staðfest í tjörninni (Gunnar St. Jónsson o.fl. 1978, Vatnaskil 1987). Engin slík áhrif komu fram í aðalrannsókninni sem fram fór á tímabilinu maí til október 2007. Snemma í mars 2008 mældust hins vegar greinilega staðbundin hitaáhrif á vatnasviði tjarnarinnar (viðauki III). Í læknum við Njarðargötu þar sem hann rennur undir götuna af flugvallarsvæðinu mældist vatnshiti 13,0° C, en aðeins 5,4° C í Vatnsmýrartjörn, 3,6° C í Suðurtjörn og 2,8° C í Norðurtjörn. Þessar niðurstöður eru í samræmi við mælingar sem gerðar voru í desember 1987 á nær sömu stöðvum (Vatnaskil 1987).

Tafla 4. Niðurstöður mælinga á vatnshita, sýrustigi og rafleiðni í Reykjavíkurtjörn á tímabilinu 31. maí til 31. október 2007.

Stöð	Dags.	Vatnshiti ° C	Sýrustig pH	Rafleiðni v. 25° C µS/cm
Vatnsmýrartjörn (1)	31.5.2007	14,8	9,2	611
"	29.6.2007	17,3	9,4	636
"	31.7.2007	15,1	9,9	605
"	29.8.2007	13,0	10,9	528
"	25.9.2007	4,1	8,2	592
"	31.10.2007	3,1	8,0	884
Suðurtjörn (2)	31.5.2007	14,0	9,1	602
"	29.6.2007	16,9	8,9	692
"	31.7.2007	14,6	8,5	584
"	29.8.2007	12,5	8,8	508
"	25.9.2007	3,4	7,9	686
"	31.10.2007	2,3	8,1	593
Norðurtjörn (3)	31.5.2007	15,4	8,6	655
"	29.6.2007	20,6	8,7	639
"	31.7.2007	16,8	9,0	461
"	29.8.2007	13,4	8,7	405
"	25.9.2007	9,8	8,2	617
"	31.10.2007	4,8	7,8	604



Mynd 2. Vatnshiti (a) og sýrustig (b) í Vatnsmýrartjörn (krossar), Suðurtjörn (hringir) og Norðurtjörn (svartir punktar) á tímabilinu maí–október 2007. Vegnar línur eru dregnar milli mæligilda með aðferð minnstu kvaðrata (dwls).

Sýrustig mældist á bilinu pH 7,8 til 10,9 (tafla 4) og var að meðaltali 8,8 ($\pm 0,78$). Þrátt fyrir þá tilhneigingu að sýrustig væri jafnan hæst í Vatnsmýrartjörn (mynd 2b) var ekki um marktækan mun að ræða á meðaltalsgildum milli stöðvanna þriggja ($F_{2,15} = 2,104$, $p = 0,156$).

Í Norðurtjörn náði sýrustigið hámarki um mitt sumar, þ.e. um mánaðamótin júlí–ágúst, sem skýrist sennilega af virkni þörungum sem var í hámarki um þetta leyti (sbr. mynd 4f). Á hinn bóginn féll sýrustigsferillinn í Vatnsmýrartjörn ekki vel að ferlinum fyrir þörungamagninu í tjörninni (mynd 4f).

Sýrustig í Reykjavíkurtjörn var mjög svipað því sem mælst hefur í öðrum grunnum vötnum á höfuðborgarsvæðinu. Sem dæmi má nefna Rauðavatn með pH á bilinu 7,3–9,7 (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2006a) og 7,1–9,1 (Tryggvi Þórðarson 2008), Urriðavatni með pH 7,5–9,8 (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2006b) og 6,9–9,2 (Tryggvi Þórðarson 2006) og Elliðavatn með pH á bilinu 7,5–9,9 (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2004) og 7,1–10,0 (Tryggvi Þórðarson 2003). Framangreind sýrustigsgildi eru öll fremur há og benda til mikillar virkni frumframleiðenda, eins og vænta má í grunnum vötnum.

Rafleiðni mældist almennt mjög há og nokkuð stöðug í öll skiptin á öllum þremur stöðvum (tafla 4). Ekki var um marktækan mun að ræða á meðaltalsgildum milli stöðvanna þriggja ($F_{2,15} = 0,924$, $p = 0,418$). Ein rafleiðnimæling vék töluvert frá öðrum mælingum í Vatnsmýrartjörn, þ.e. í lok október þegar rafleiðnin mældist óvenjuhá, eða 884 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tafla 4). Þetta kann að benda til staðbundinnar mengunar og tengist hugsanlega yfirborðsvatni sem berst af flugvallarsvæðinu eins og vikið var að hér að framan varðandi hitaáhrif. Rafleiðnimælingar sem fram fóru í mars 2008 samhliða hitastigsmælingum í læknum við Njarðargötu og víðar á vatnasviði tjarnarinnar renna stoðum undir þetta. Þannig mældist rafleiðnin afar há eða 1.158 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í læknum rétt austan við Njarðargötu, en 676 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í Vatnsmýrartjörn, 794 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í Suðurtjörn og 716 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í Norðurtjörn (viðauki III).

Rafleiðni á því bili sem mældist í þessari rannsókn í Reykjavíkurtjörn hefur hvorki mælst áður svo há í tjörninni né er vitað um önnur fersk stöðuvötn með jafn háa rafleiðni. Iðulega mælist rafleiðni í ferskum stöðuvötnum hér landi á bilinu 70–160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2004, 2006a og b, Tryggvi Þórðarson 2003, 2006 og 2008). Hin háa rafleiðni í Reykjavíkurtjörn bendir eindregið til mengunar og ójafnvægis í efnabúskap vatnsins.

3.2 Næringarefni, kolefni og blaðgræna

Styrkur næringarefna, sér í lagi fosfórs (Tot-P), mældist hér á öllum þremur stöðvunum og hið sama gilti um ójónað ammóníak (NH_3), lífrænt kolefni (TOC) og blaðgræna-a (tafla 5, sjá einnig viðauka I). Á heildina litið (gögn frá öllum þremur stöðvum tekin saman) ratar Reykjavíkurtjörn í mengunarflokk D m.t.t. fosfórs, ójónaðs ammóníaks og lífræns kolefnis, þ.e. tjörnin er verulega snortið, næringarefnaríkt vatn m.t.t. þessara þriggja efna. Hvað varðar köfnunarefni, fosfat og blaðgræna-a lendir tjörnin í mengunarflokki C sem nokkuð snortið og næringarefnaríkt vatn.

Styrkur fosfórefna mældist töluvert hærrí í þessari rannsókn en í fyrri rannsóknum í Reykjavíkurtjörn. Í júlí 1978 mældist fosfór í sömu þremur tjörnum og mælt var í nú á bilinu 21,7–59,7 $\mu\text{g}/\text{l}$ (39,0 $\mu\text{g}/\text{l}$ að meðaltali) og fosfat (PO_4) mældist 9,3–31,0 $\mu\text{g}/\text{l}$ (20,2 $\mu\text{g}/\text{l}$ að meðaltali) (Gunnar St. Jónsson o.fl. 1978). Frá júní 1990 til apríl 1991 mældist fosfat í fimm skipti í þremur sömu tjörnum og nú var mælt í á bilinu 9–124 $\mu\text{g}/\text{l}$ (30 $\mu\text{g}/\text{l}$ að meðaltali) (Ólafur K. Nielsen 1992b). Í ágúst 2002 mældist fosfór í Norðurtjörninni í einu sýni 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ og fosfat 40 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Gunnar Ólafsson 2003b). Þessi samanburður á milli rannsókna bendir nokkuð eindregið til þess að álag af völdum fosfórs hafi aukist fremur en minnkað með árunum.

Köfnunarefni (Tot-N) mældist nú einnig meira í Reykjavíkurtjörn en í fyrri athugunum. Í júlí 1978 mældist það á bilinu 581–836 $\mu\text{g}/\text{l}$ (726 $\mu\text{g}/\text{l}$ að meðaltali) (Gunnar St. Jónsson o.fl. 1978). Mæling á sýni úr Suðurtjörn skar sig úr en þar var köfnunarefnisstyrkur óvenjuhár, eða 2.160 $\mu\text{g}/\text{l}$. Frá júní 1990 til apríl 1991 mældist uppleyst ammóníak (NH_4) á bilinu 42–490 $\mu\text{g}/\text{l}$ (165 $\mu\text{g}/\text{l}$ að meðaltali) (Ólafur K. Nielsen 1992a). Í ágúst 2002 var köfnunarefni mælt í einu sýni og reyndist vera aðeins 40 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Gunnar Ólafsson 2003b), sem er óvenju lágt og ber að líta á sem útgildi. Líkt og gilti um fosfór benda tiltækar rannsóknir í Reykjavíkurtjörn einnig til þess að álag af völdum köfnunarefnis sé meira nú en áður.

Magn blaðgræna-a hefur aðeins verið mælt í einni annarri rannsókn í Reykjavíkurtjörn, í júní og júlí 1978, og var þá á svipuðu róli og nú, eða á bilinu 22,1–42,8 $\mu\text{g}/\text{l}$ (32,8 $\mu\text{g}/\text{l}$ að meðaltali) (Gunnar St. Jónsson o.fl. 1978).

Í samanburði við önnur álíka grunn vötn á höfuðborgarsvæðinu mældist styrkur næringarefnanna verulega hærrí í Reykjavíkurtjörn. Í Urriðavatni í Garðabæ hefur fosfór og fosfat mælt á bilinu 3,4–6,2 $\mu\text{g}/\text{l}$ og köfnunarefni 254–544 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Tryggvi Þórðarson 2006). Í júní og júlí 2005 mældist fosfór í Rauðavatni 9 og 34 $\mu\text{g}/\text{l}$, fosfat 4 og 21 $\mu\text{g}/\text{l}$ og köfnunarefni 155 og 490 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2006a). Á tímabilinu apríl–september 2006 mældist fosfór í Rauðavatni 8,3–10,3 $\mu\text{g}/\text{l}$, fosfat 7,8–8,7 $\mu\text{g}/\text{l}$ og köfnunarefni 262–517 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Tryggvi Þórðarson 2008). Í Ástjörn í Hafnafirði

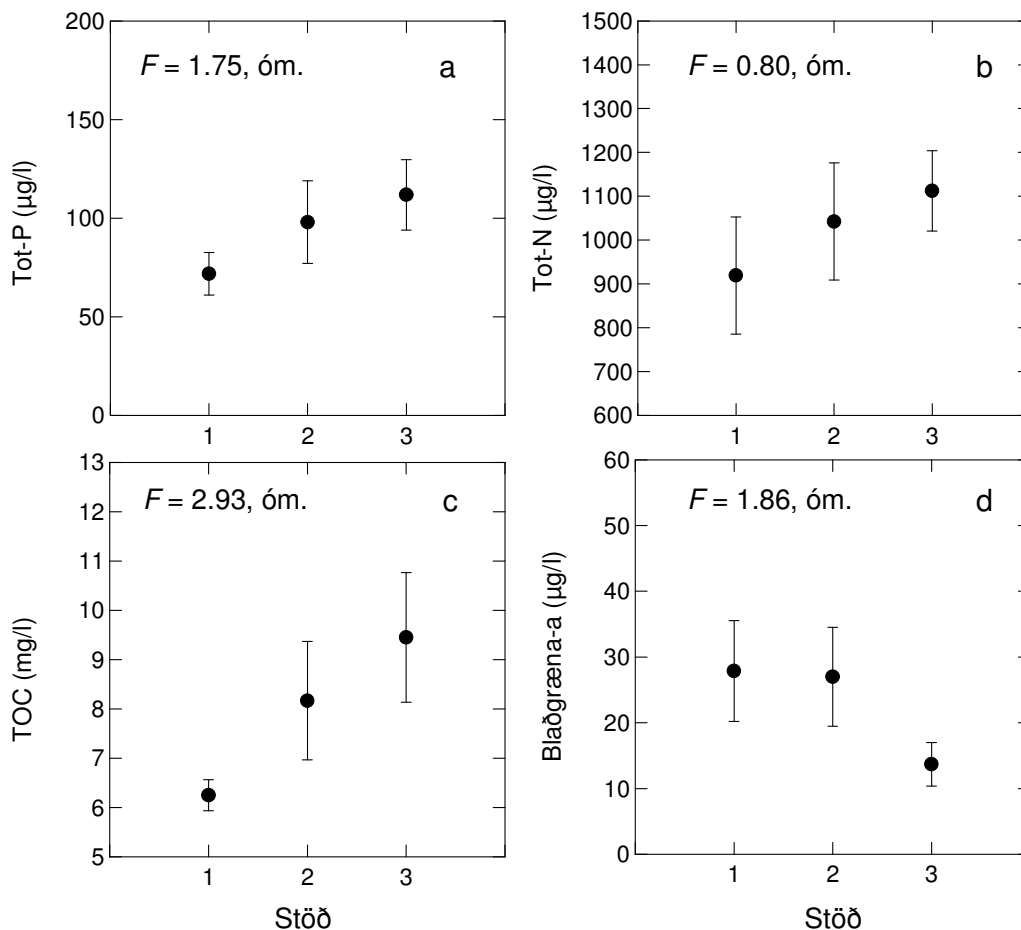
hefur fosfór mælst 8-19 µg/l, fosfat 1–3 µg/l og köfnunarefni 144-355 µg/l (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2001). Í september 2000 mældist fosfór í Elliðavatni 6,2 µg/l, fosfat 2,1 og 3,3 µg/l og köfnunarefni 99 og 104 µg/l (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2004). Á tímabilinu júlí 2001 til júní 2002 mældist fosfór í Elliðavatni 12,8–25,1 µg/l, fosfat 4,1–7,4 µg/l og köfnunarefni 38–152 µg/l (Tryggvi Þórðarson 2003). Í tjörninni við Flensborgarskóla í Hafnarfirði hefur fosfór mælst 26–36 µg/l, fosfat 14–24 µg/l og köfnunarefni 225–325 µg/l (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2001).

Tafla 5. Niðurstöður mælinga á næringarefnum, lífrænu kolefni (TOC) og blaðgrænu-a í Reykjavíkurtjörn ásamt ástandsflokkun og umhverfismörkum í yfirborðsvatni (sbr. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns). Styrkur ójónaðs ammóníaks (NH₃) er útreiknaður (sbr. kafla 2.2).

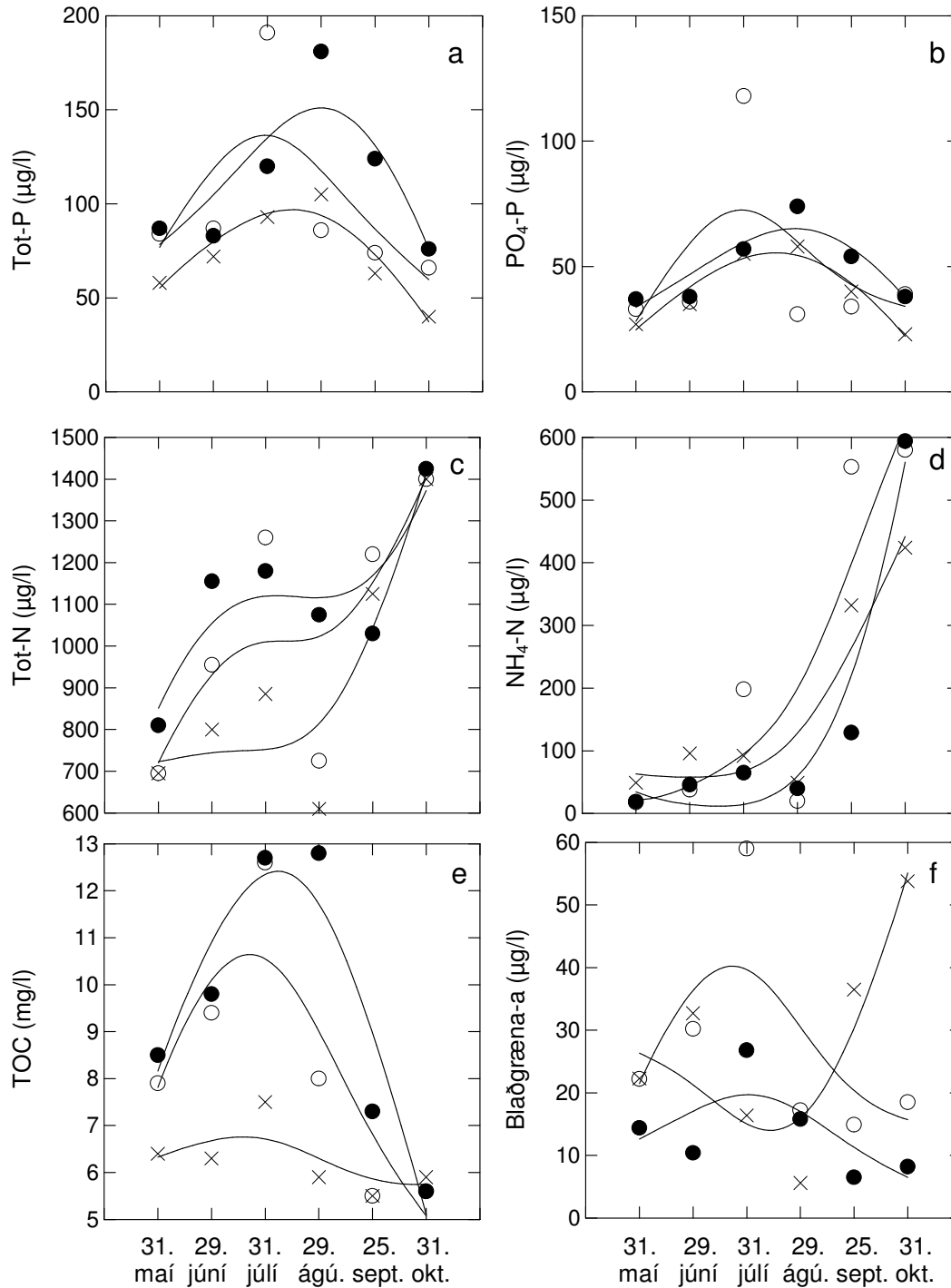
Stöð	Dags.	Tot-P µg/l	PO ₄ -P µg/l	Tot-N µg/l	NH ₄ -N µg/l	NH ₃ -N µg/l	TOC mg/l	Blaðgræna-a µg/l
Vatnsmýrartjörn (1)	31.5.2007	58	27	695	49	50	6,4	22,3
"	29.6.2007	72	35	800	96	96	6,3	32,7
"	31.7.2007	93	55	885	92	91	7,5	16,4
"	29.8.2007	105	58	610	49	46	5,9	5,6
"	25.9.2007	63	40	1.125	332	362	5,5	36,5
"	31.10.2007	40	23	1.400	424	468	5,9	53,8
Mengunarástand		C	C	C		D	C	C
Suðurtjörn (2)	31.5.2007	84	33	695	18	18	7,9	22,2
"	29.6.2007	87	36	955	38	39	9,4	30,2
"	31.7.2007	191	118	1.260	198	209	12,6	59,0
"	29.8.2007	86	31	725	20	21	8	17,2
"	25.9.2007	74	34	1.220	553	616	5,5	14,9
"	31.10.2007	66	39	1.400	580	640	5,6	18,5
Mengunarástand		D	C	C		D	D	C
Norðurtjörn (3)	31.5.2007	87	37	810	19	20	8,5	14,4
"	29.6.2007	83	38	1.155	46	48	9,8	10,4
"	31.7.2007	120	57	1.180	65	67	12,7	26,8
"	29.8.2007	181	74	1.075	40	42	12,8	15,8
"	25.9.2007	124	54	1.030	129	140	7,3	6,5
"	31.10.2007	76	38	1.425	594	664	5,6	8,2
Mengunarástand		D	C	C		C	D	B
Meðaltal		94	46	1.025	186	202	8,0	22,8
Staðalfrávik		39	22	264	211	235	2,6	15,0
50% hundraðsmark		85	38	1.053	79	79	7,4	17,8
10% hundraðsmark		60	28	695	19	20	5,5	7,0
90% hundraðsmark		164	69	1.400	572	633	12,7	48,6
Geometrískt meðaltal		88	43	970	86	105	7,8	19,7
Lágmark		40	23	610	18	18	5,5	5,6
Hámark		191	118	1.425	594	664	12,8	59,0
Fervik		1.543	489	69.960	44.314	55.404	6,5	225
Mengunarástand - heild		D	C	C		D	D	C
Umhverfismörk	I	<20	<10	<300		<10	<1,5	<8
	II	20-40	10-20	300-750		10-25	1,5-3	8-15
	III	40-90	20-50	750-1.500		25-100	3-6	15-30
	IV	90-150	50-100	1.500-2.500		100-250	6-10	30-45
	V	>150	>100	>2.500		>250	>10	>45

Magn lífræns kolefnis og blaðgrænu-a í Reykjavíkurtjörn var einnig umtalsvert meira en í öðrum grunnum vötnum á höfuðborgarsvæðinu. Í tjörninni við Flensborgarskóla hefur lífrænt kolefni mælt 0,5–1,5 mg/l og í Ástjörn 1,5–3,7 mg/l (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2001). Í Urriðavatn hefur það mælt 1,97–5,21 mg/l (Tryggvi Þórðarson 2006), í Elliðavatn 4,0–5,3 mg/l (Tryggvi Þórðarson 2003) og í Rauðavatni 1,7–5,6 mg/l (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2006a) og 6,67–8,02 mg/l (Tryggvi Þórðarson 2008). Magn blaðgrænu-a hefur mælt 0,9–2,8 $\mu\text{g/l}$ í Elliðavatn (Tryggvi Þórðarson 2003), 1,3–4,8 $\mu\text{g/l}$ í Urriðavatni (Tryggvi Þórðarson 2006) og 2,1–2,9 (22,5) $\mu\text{g/l}$ í Rauðavatni (Tryggvi Þórðarson 2008).

Ekki kom fram afgerandi munur í styrk næringarefna eftir stöðvum. Þó gætti tilhneigingar í þá veru að styrkur fosfórs, köfnunarefnis og sér í lagi lífræns kolefnis ykist frá Vatnsmýrartjörn til Norðurtjarnar (mynd 3a–c). Þetta mynstur kom einnig fram varðandi fosfór árið 1977 (Gunnar St. Jónsson o.fl. 1978) og 1990–1991 (Ólafur Karl Nielsen 1992a). Þetta kemur ekki á óvart. Í Norðurtjörninni er þéttleiki fugla einna mestur á tjörninni með tilheyrandi brauðgjöf og ákomu næringarefna. Hár efnastyrkur í Norðurtjörninni stafar einnig af flutningi efna sunnan að af vatnasviðinu og uppsöfnun þeirra fyrir framan útfallið við Iðnó.



Mynd 3. Styrkur fosfórs (a), köfnunarefnis (b), lífræns kolefnis (c) og blaðgrænu-a (d) eftir sýnatökustöðvum í Reykjavíkurtjörn á tímabilinu maí–október 2007. Sýnd eru meðatöl \pm staðalskekka. Stöð 1 er Vatnsmýrartjörn, stöð 2 er Suðurtjörn og stöð 3 er Norðurtjörn. F er F -gildi í ferveikagreiningu og óm. merkir ómarktækt ($p > 0,05$).



Mynd 4. Styrkur fosfórs (a), fosfats (b), köfnunarefnis (c), ammóníaks (d), lífræns kolefnis (e) og blaðgrænu-a (f) eftir sýnatökudögum í Vatnsmýrartjörn (krossar), Suðurtjörn (hringir) og Norðurtjörn (svartir punktar) á tímabilinu maí–október 2007. Vegnar línur eru dregnar milli mæligilda með aðferð minnstu kvaðrata (dwls).

Styrkur næringarefnanna ásamt kolefninu og blaðgrænni breyttist umtalsvert á rannsóknartímabilinu (mynd 4). Að blaðgrænni undanskilinni voru ferlarnir fyrir hvert efni áþekkir á öllum stöðvunum þremur.

Á öllum þremur stöðvunum var styrkur fosfórs og fosfats minnstur um vor og haust en náði hámarki seinnihluta sumars, þ.e. í ágúst (tafla 5, mynd 4a og b). Styrksferlar köfnunarefnis og ammóníaks voru með allt öðru móti, en styrkur beggja efnanna jókst í meginatriðum allan tímann frá vori og langt fram á haust (tafla 5, mynd 4c og d). Sérstaklega var aukningin í ammóníaki áberandi en um tífaldur munur var á styrknum snemma sumars og síðla hausts. Aukninguna í köfnunarefni um haustið má líklega rekja fyrst og fremst til rotnunar og niðurbrots á þörungum á þessum tíma.

Fosfat ásamt ammóníaki og nítрати (NO₃) eru þau form fosfórs og köfnunarefnis sem frumframleiðendur geta tekið upp og nýtt sér til vaxtar. Gróðurinn bindur næringarefni í N:P hlutfallinu 7,2:1 miðað við þunga (Brönmark og Hansson 2005). Við mikla grósku frumframleiðenda getur það næringarefni sem minna er af takmarkað vöxt og framleiðslu gróðursins. Oft er miðað við að ef N:P hlutfallið er <7,2 í framboði næringarefnanna í vötnum sé köfnunarefni takmarkandi vaxtarþáttur en sé það >7,2 má reikna með að fosfór sé takmarkandi.

Undir náttúrulegum kringumstæðum er fosfór fremur en köfnunarefni það næringarefni sem takmarkar frumframleiðslu í vötnum (Moss o.fl. 1997, Brönmark og Hansson 2005). Skýringin á þessu er m.a. sú að fosfór hvarfast auðveldar en köfnunarefni við önnur efni og er þ.a.l. sterkar bundið og síður uppleysanlegt en köfnunarefni. Í rannsókninni nú í Reykjavíkurtjörn var N:P hlutfallið á bilinu 5,8–35,0 og var að meðaltali 12,2 (11,3 geometrískt meðaltal) (sbr. Tot-P og Tot-N í töflu 5). Í 15 skipti af 18 (83%) var hlutfallið >7,2. Þetta bendir til þess að á heildina litið kuni fosfór fremur en köfnunarefni að hafa verið takmarkandi fyrir vöxt frumframleiðenda í tjörninni. Í öllu falli er ljóst að ekki var hörgull á köfnunarefni fyrir frumframleiðendurna eins og sést þegar ferlar fyrir blaðgrænu-a og köfnunarefni eru bornir saman (mynd 4c og f).

Hvað varðar takmarkandi þátt næringarefna ber að hafa í huga að ef styrkur þeirra er á annað borð mjög hár og framboð stöðugt, eins og oft á við þar sem mengunarflokkur gætir, er allt eins líklegt að aðrir þættir takmarki fremur frumframleiðsluna. Hér koma til greina þættir eins grugg, sólarljós og hitastig. Hvað snertir Norður- og Suðurtjörn lítur a.m.k. út fyrir að samdráttur í frumframleiðslu sé hafinn áður en framboð á fosfati eða köfnunarefni minnkar. Þetta kann einfaldlega að stafa af því að dagsbirtan er orðin lítil á þessum tíma og vatnshiti farinn að lækka og framleiðsla og virkni þörunganna þ.a.l. orðin lítil.

Ferill blaðgræunnar í Vatnsmýrartjörn var með allt öðru móti en í Norður- og Suðurtjörn. Í Vatnsmýrartjörn tók blaðgrænan kipp seint um haustið og náði hámarki í september og október (mynd 4f). Þessi ferill skítur skökku við og erfitt er að fjölyrða um orsakir hans. Ekki er hægt að útiloka að þarna séu á ferð blágrænuþörungur sem eru færir um að binda og nýta sér loftkennt köfnunarefni (N₂) og ekki háðir köfnunarefni í vatnslausn. Tilvist blágrænuþörunganna er vel þekkt í Reykjavíkurtjörn, m.a. hafa greinst þar tegundir af ættkvíslinni *Oscillatoria* (Sigurður Pétursson 1948, Gunnar St. Jónsson o.fl. 1978, Gunnar Ólafsson 2003b). *Oscillatoria* tegundir ásamt fleirum blágrænuþörungum verða oft mjög áberandi í vötnum þar sem mikillar ofauðgunar gætir á næringarefnum (Moss o.fl. 1997, Smol 2008). Áhugavert hefði verið að skoða tegundasamsetningu þörunganna í Reykjavíkurtjörn en ekki var gert ráð fyrir slíkri vinnu í verkefninu.

Fosfór er hvarfgjarn og binst öðrum efnum auðveldlega, m.a brennisteini og málmum eins og járn, og fellur þá út ofan í botnseti þar sem hann getur safnast fyrir. Styrkur fosfórs er því jafnan meiri í botnseti en í sjálfu vatninu fyrir ofan. Margir þættir ráða flæði fosfórs milli vatns og sets. Í grunnum vötnum losnar fosfór frekar úr seti en í djúpum vötnum vegna áhrifa vindknúinna ölduhreyfinga og botnróts í kjölfarið. Þá skiptir sýrustig miklu máli svo og magn súrefnis. Við fremur basískar aðstæður eins og virðast ríkja í Reykjavíkurtjörn, með sýrustig um og ofan 8,5 bróðurpartinn úr sumrinu, losnar fosfór tiltölulega vel úr setinu. Þetta kann að skýra að hluta til háan styrk fosfórs og fosfats síðsumars í tjörninni þegar sýrustigið er hátt.

Skýringa á háum styrk fosfórs í Reykjavíkurtjörn að sumarlagi er vafalítið einnig að leita í útskilnaði á saur frá fuglum, en á þessum tíma er einna mest af fuglum á tjörninni (Ólafur Karl Nielsen og Jóhann Óli Hilmarsson 1988, Ólafur Karl Nielsen 1992b). Brauðgjöf er líklega einnig með mesta móti á þessum tíma. Um haustið þegar dregur úr frumframleiðsu vegna þverrandi sólarorku og eftirspurn eftir fosfati minnkar, binst fosfatið járn og fleiri efnu og fellur út og sest fyrir ofan í botnsetinu. Í kjölfarið minnkar styrkur fosfórs í sjálfu vatninu.

Vegna tilhneigingar fosfats til að mynda torleyst efnasambönd er hætt við að fosfór safnist fyrir í botnseti vatna. Miklar fosfórbirgðir geta myndast með þessum hætti og við tiltekna aðstæður kann setið að verða meginuppspretta fosfórs í efnabúskap vatna, jafnvel svo áratugum skiptir eftir að tekið hefur verið fyrir utanaðkomandi fosfórmengun (Moss o.fl. 1997, Brönmark og Hansson 2005, Smol 2008).

3.3 Örverur

Magn saurkólígerla í Reykjavíkurtjörn var mjög mikið á heildina litið og sérstaklega var ástandið slæmt í Vatnsmýrartjörn (tafla 6, mynd 5a). Samkvæmt reglugerð nr. 796/1999 má magn saurkólígerla í 10% tilvika fara upp í 43/100 ml í yfirborðsvatni vegna útivistar. Fjöldi saurkólígerla í Vatnsmýrartjörn var í öllum 12 tilfellunum langt yfir þessum viðmiðunarmörkum. Í Suður- og Norðurtjörn var magn saurkólígerla yfir viðmiðunarmörkunum í 83% tilfella.

Vatnsmýrartjörn ratar í versta mengunarflokkinn, flokk E, hvað varðar magn saurkólígerla og telst ástandið samkvæmt því ófullnægjandi (sjá töflu 2 og 3). Ástandið var litlu skárri í Suður- og Norðurtjörn, en báðir þessir hlutar tjarnarinnar lenda í mengunarflokk D, sem telst vera vatn með mikilli saurmengun.

Hvað varðar magn enterókokka var ástandið í Reykjavíkurtjörn heldur betra en m.t.t. saurkólígerlanna (tafla 6, mynd 5b). Síst var þó ástandið í Vatnsmýrartjörn þar sem gætti töluverðrar saurmengunar og ratar hún í mengunarflokk C, líkt og Norðurtjörn.

Niðurstöður mælinganna nú eru keimlíkar þeim sem fengust haustið 2006 (Erpur Snær Hansen og Svava S. Steinarsdóttir 2007).

Tafla 6. Niðurstöður mælinga á saurkóligerlum og enterókokkum í Reykjavíkurtjörn ásamt ástandsflokkun og umhverfismörkum í yfirborðsvatni skv. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns. Við flokkunina var gengið út frá geómetrískum meðaltölum. Einnig eru sýndar niðurstöður á heildarfjölda gerla við ræktun við 22° C vatshita. Sjá viðauka II varðandi gerlafjölda við 37° C.

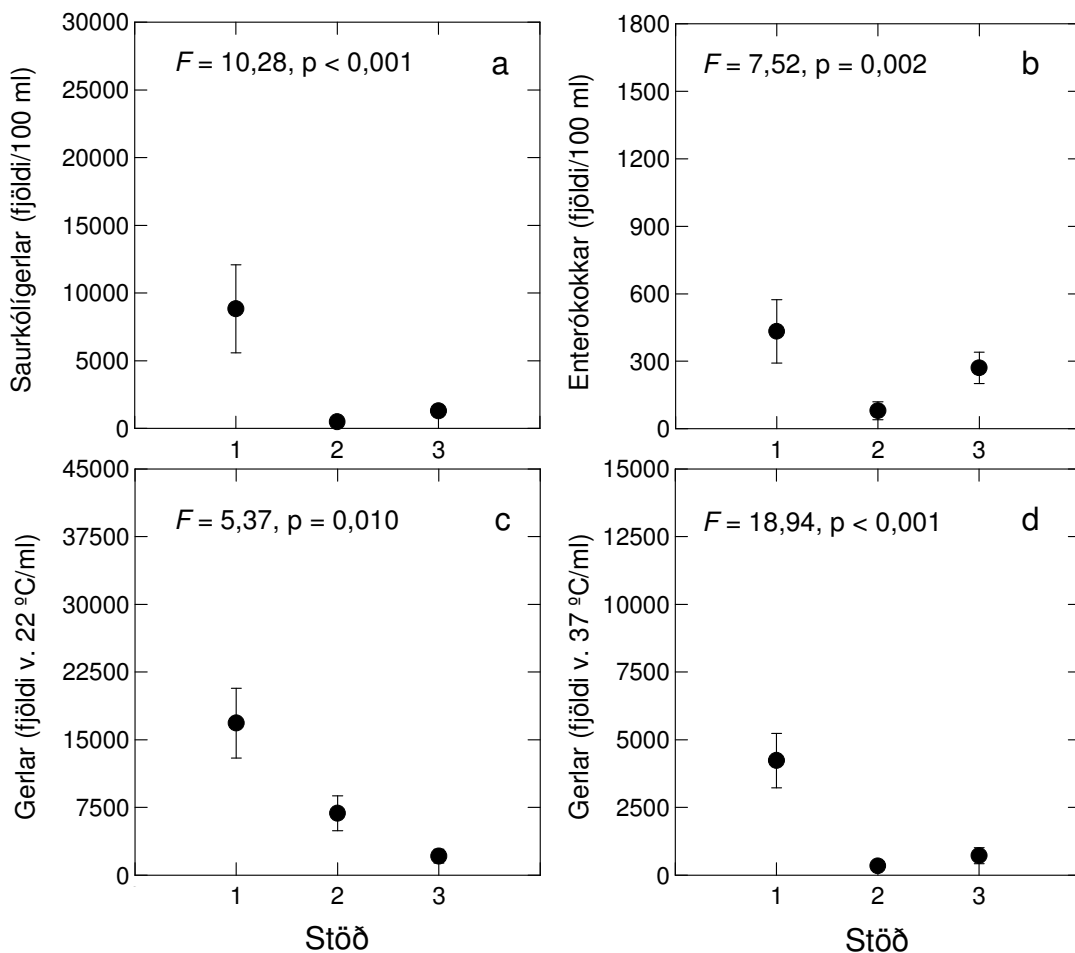
Dags.	Saurkóligerlar fjöldi/100 ml			Enterókokkar fjöldi/100 ml			Gerlar fjöldi v. 22° C/ml		
	Vatnsm.tj.	Suðurtj.	Norðurtj.	Vatnsm.tj.	Suðurtj.	Norðurtj.	Vatnsm.tj.	Suðurtj.	Norðurtj.
31.5.2007	3.300	85	2.600	30	8	180	37.000	140	490
29.6.2007	500	69	560	18	11	76	38.000	3.800	380
31.7.2007	2.300	280	95	150	38	130	31.000	6.800	190
29.8.2007	3.200	41	38	720	31	340	23.000	12.000	780
25.9.2007	9.500	320	19	310	14	23	11.000	9.500	380
31.10.2007	6.400	1.800	850	410	140	180	11.000	16.000	3.300
30.11.2007	500	960	700	1.400	470	560	18.000	11.000	3.300
28.12.2007	23.000	410	4.500	1.100	21	830	10.000	3.100	4.100
30.1.2008	29.000	1.400	1.800	800	160	220	720	640	480
28.2.2008	26.000	220	1.900	140	9	250	1.500	590	1.500
31.3.2008	1.300	96	350	26	21	360	11.000	18.000	8.900
29.4.2008	1.100	270	2.200	90	37	100	9.800	4.300	1.400
Meðaltal	8.842	496	1.301	433	80	271	16.835	7.156	2.100
Staðalfrávik	10.740	577	1.350	467	133	229	12.749	6.108	2.532
50% hundraðsmark	3.250	275	775	230	26	200	11.000	5.550	1.090
10% hundraðsmark	500	69	38	26	9	76	1.500	140	380
90% hundraðsmark	26.000	1.400	2.600	8.842	496	1.301	37.000	16.000	4.100
Geométrískt meðaltal	3.803	265	546	195	34	191	10.808	3.700	1.127
Lágmark	500	41	19	18	8	23	720	140	190
Hámark	29.000	1.800	4.500	1.400	470	830	38.000	18.000	8.900
Fervik	115.357.197	333.044	1.822.565	217.869	17.674	52.449	162.527.427	37.303.263	6.408.527
Mengunarástand	E	D	D	C	B	C			
Umhverfismörk I	<14			<14					
II	14-100			14-100					
III	100-200			100-200					
IV	200-1.000			200-1.000					
V	>1.000			>1.000					

Örverumagnið í Reykjavíkurtjörn var langt umfram það sem mælst hefur í öðrum grunnum vötnum. Til dæmis hefur fjöldi saurkóligerla í Elliðavatni, Rauðavatni og Urriðavatni mælst á bilinu 0 til 38 í 100 ml (Tryggvi Þórðarson 2003, 2006, 2008). Fjöldi enterókokka í sömu þremur vötnum hefur einnig mælst umtalsvert minni en í Reykjavíkurtjörn, eða á bilinu 0 til 25 í 100 ml.

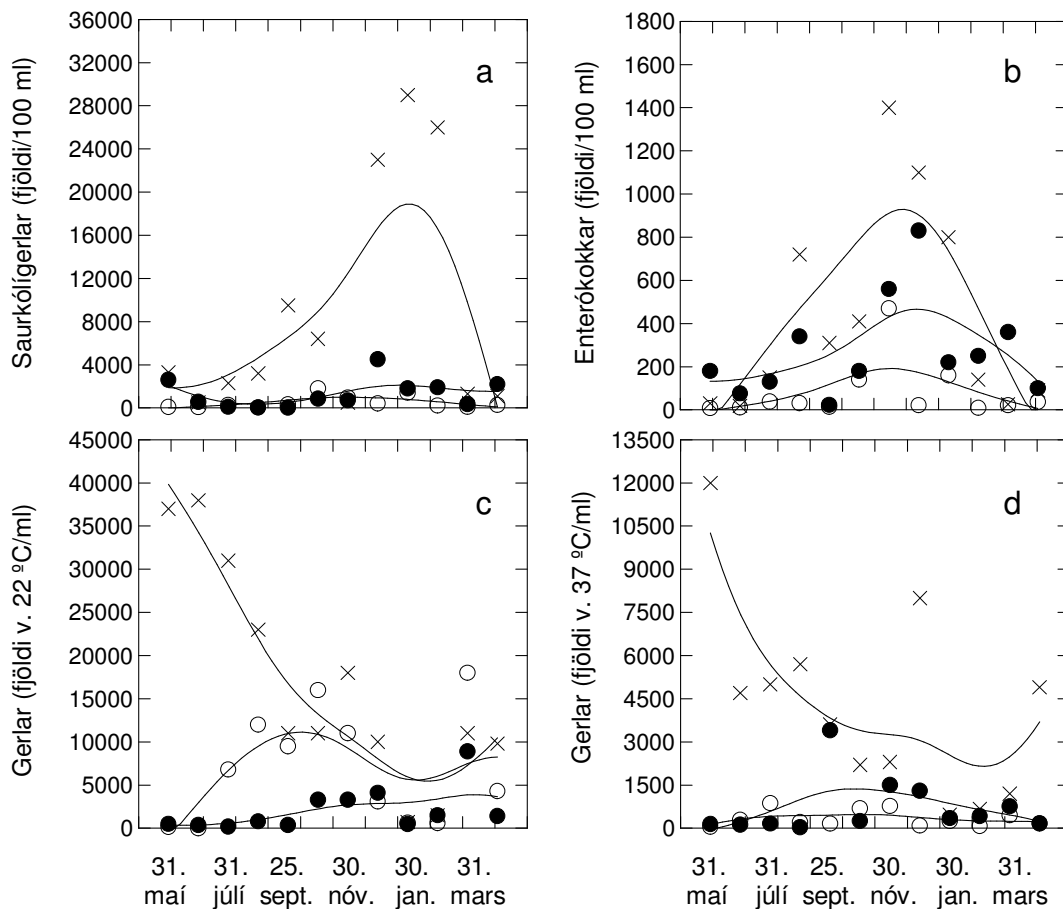
Þar sem uppruna saurkólí- og enterókokkagerla í ferskvatni má rekja að mestu leyti til manna og annarra dýra með heitt blóð (WHO 2006) berast böndin annars vegar að fráveitumálum við tjörnina og hins vegar að fuglalífínu. Einna nærtækast er að tengja saurgerlamengunina við tilvist fuglanna, en slík tengsl eru vel þekkt (sjá t.d. Lévesque o.fl. 1993, Alderisio og DeLuca 1999, Kirschner o.fl. 2004). Mikil saurgerlamengun í Reykjavíkurtjörn kemur ekki á óvart m.t.t. þess að þéttleiki fugla er mjög mikill á tjörninni og með því mesta sem gerist á vötnum hér á landi (Ólafur Karl Nielsen og Jóhann Óli Hilmarsson 1988, 2007).

Ekki kemur á óvart að örverumagn skuli vera hvað minnst í Suðurtjörn, en þar er þéttleiki fugla að jafnaði minni en í Vatnsmýrar- og Norðurtjörn (Ólafur Karl Nielsen og Jóhann Óli Hilmarsson 1988). Hins vegar skýtur skökku við að saurgerlamengunin skuli vera margfalt meiri í Vatnsmýrartjörn en Norðurtjörn, en þéttleiki fugla er jafnan ívið meiri á Norðurtjörn.

Ekki er hægt að útiloka að saurgerlamengunin í Vatnsmýrartjörn stafi af losun skólps af flugvallarsvæðinu, en vísbendingar þar að lútandi voru ræddar hér að framan í tengslum við mælingar á rafleiðni og vatnshita. Þessu til frekari stuðnings má benda á að niðurstöður í örverurannsókninni haustið 2006 bentu einnig til þess að rekja mætti saurgerlamengun í Vatnsmýrartjörn og Þorfinnstjörn til vandamála í fráveitumálum á flugvallarsvæðinu (Erpur Snær Hansen og Svava S. Steinarsdóttir 2007). Ganga þarf úr skugga um þennan möguleika með ítarlegri athugun á ástandi fráveitumála á svæðinu.



Mynd 5. Fjöldi saurkólígerla í 100 ml (a), fjöldi enterókokka í 100 ml (b), heildarfjöldi gerla í 1 ml við 22° C (c) og heildarfjöldi gerla í 1 ml við 37° C (d) á sýnastöðvunum þremur í Reykjavíkurtjörn á tímabilinu maí 2007 til apríl 2008. Sýnd eru meðatöl ± staðalskekkja. Stöð 1 er Vatnsmýrartjörn, stöð 2 er Suðurtjörn og stöð 3 er Norðurtjörn. *F* er *F*-gildi í fereikagreiningu (framkvæmd á log₁₀ umbreyttum tölugildum).



Mynd 6. Fjöldi saurkóligerla í 100 ml (a), fjöldi enterókokka í 100 ml (b), heildarfjöldi gerla í 1 ml við 22° C (c) og heildarfjöldi gerla í 1 ml við 37° C (d) eftir sýnatökudögum í Vatnsmýrartjörn (krossar), Suðurtjörn (hringir) og Norðurtjörn (svartir punktar) á tímabilinu maí 2007 til apríl 2008. Vegnar línur eru dregnar milli mæligilda með aðferð minnstu kvaðrata (dwls).

Mikill breytileiki var í magni örvera eftir árstíma og einkum var þetta áberandi í Vatnsmýrartjörn (mynd 6a–d). Saurkóligerlar náðu augljósu hámarki í Vatnsmýrartjörn um hávetur, þ.e. í sýnatökunum í desember, janúar og febrúar (tafla 6, mynd 6a). Ferill enterókokka (mynd 6b) var áþekkur, en kúfurinn var þó fyrr á ferðinni með hámarki í nóvember og desember. Sú staðreynd að saurkólí- og enterókokkagerlarnir mældust í mestu magni um veturinn kemur heim og saman við eiginleika örveranna. Líftími gerlanna er mun styttri á sumrin sem stafar einkum af því að þeir þola illa sólarljós (WHO 2006). Rannsóknir hér við land sýna einnig að líftími saurkóligerla í sjó getur verið allt að fimm sinnum meiri að vetri til en sumri, þ.e. tíu klst. í desember en tvær klst. í júlí (Ríkharður F. Friðriksson og Þorsteinn Narfason 2005, Vatnaskil 1991).

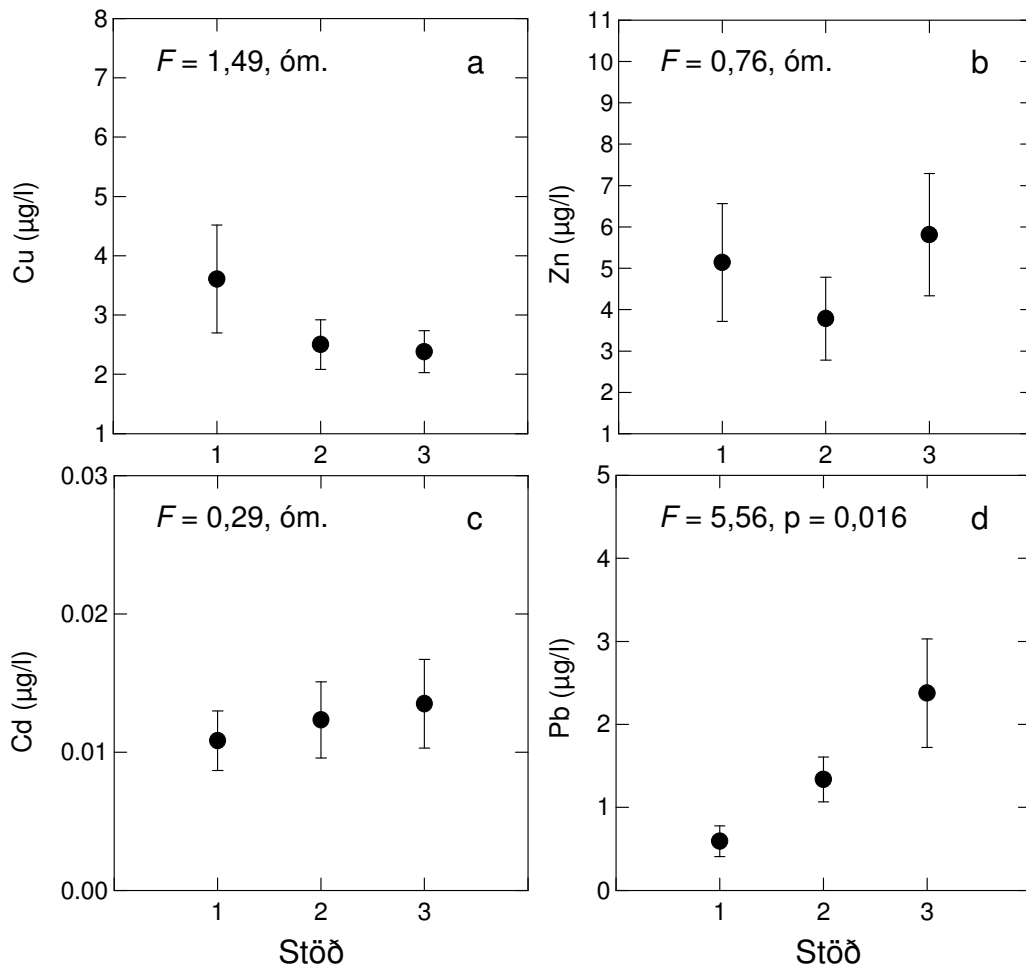
Ferlar fyrir heildarfjölda gerla við 22° C og 37° C voru með öðru móti en hjá saurkólí- og enterókokkagerlunum að því leyti að hámarki var náð að sumri til (mynd 6c og d). Meginástæðan fyrir þessu er sú að mælibreytan „heildarfjöldi gerla“ tekur til saurgerla og gerla af annarri gerð og þ. á m. til ýmssa „umhverfisgerla“ sem þrífast vel við hagstæð skilyrði eins og í næringaefnaríkum og hlýjum tjörnum að sumarlagi.

3.4 Málmar

Að blýi (Pb) undanskildu mældist styrkur flestra málma fremur lítill í Reykjavíkurtjörn (tafla 7). Króm (Cr), nikkell (Ni) og arsen (As) voru í langflestum tilvikum undir greiningarmörkum. Hvað varðar blý lendir Reykjavíkurtjörn í mengunarflokk C þegar á heildina er litið (gögn frá öllum stöðvum tekin saman), sem þýðir að áhrifa er að vænta á lífverur sem eru viðkvæmar fyrir blýi. Hvað aðra málma varðar ratar Reykjavíkurtjörn

Tafla 7. Niðurstöður mælinga á málum í Reykjavíkurtjörn ásamt ástandsflokkun og umhverfismörkum fyrir málma í yfirborðsvatni (sbr. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns). Króm (Cr), nikkell (Ni) og arsen (As) mældust yfirleitt undir greiningarmörkum (<).

Stöð	Dags.	Cu µg/l	Zn µg/l	Cd µg/l	Pb µg/l	Cr µg/l	Ni µg/l	As µg/l
Vatnsmýrartjörn (1)	31.5.2007	1,96	2,58	0,010	0,286	<0,1	<1	<0,05
"	29.6.2007	2,09	2,18	0,009	0,318	"	"	"
"	31.7.2007	4,68	7,07	0,010	0,865	0,45	"	"
"	29.8.2007	7,18	10,50	0,020	1,290	1,4	"	"
"	25.9.2007	3,08	4,48	0,010	0,517	<0,1	"	"
"	31.10.2007	2,65	4,05	0,006	0,287	"	"	"
Mengunarástand		C	B	B	B	A	A	A
Suðurtjörn (2)	31.5.2007	2,52	3,24	0,010	0,857	<0,1	<1	<0,05
"	29.6.2007	2,16	2,63	0,009	1,190	"	"	"
"	31.7.2007	1,77	2,10	0,009	0,987	"	1,0	"
"	29.8.2007	1,57	2,03	0,006	0,818	"	<1	"
"	25.9.2007	2,87	4,99	0,020	2,020	"	"	"
"	31.10.2007	4,12	7,72	0,020	2,150	"	"	"
Mengunarástand		B	A	B	C	A	A	A
Norðurtjörn (3)	31.5.2007	2,11	6,49	0,009	1,240	<0,1	<1	<0,05
"	29.6.2007	1,86	4,44	0,010	1,410	"	"	"
"	31.7.2007	1,97	3,47	0,010	2,430	"	2,0	"
"	29.8.2007	1,69	1,60	0,007	0,941	"	<1	"
"	25.9.2007	2,96	10,20	0,023	4,050	"	"	"
"	31.10.2007	3,70	8,68	0,022	4,190	"	"	"
Mengunarástand		B	B	B	C	A	A	A
Meðaltal		2,83	4,91	0,012	1,436			
Staðalfrávik		1,39	2,87	0,006	1,153			
50% hundraðsmark		2,34	4,25	0,010	1,089			
10% hundraðsmark		1,71	2,05	0,006	0,296			
90% hundraðsmark		4,51	9,74	0,021	3,564			
Geometrískt meðaltal		2,54	4,00	0,011	0,992			
Lágmark		1,57	1,60	0,006	0,286			
Hámark		7,18	10,50	0,023	4,190			
Fervik		1,94	8,22	0,000	1,330			
Mengunarástand - heild		B	A	B	C	A	A	A
Umhverfismörk	I	<0,5	<5	<0,01	<0,2	<0,3	<0,7	<0,4
	II	0,5-3	5-20	0,01-0,1	0,2-1	0,3-5	0,7-15	0,4-5
	III	3-9	20-60	0,1-0,3	1-3	5-15	15-45	5-15
	IV	9-45	60-300	0,3-1,5	3-15	15-75	45-225	15-75
	V	>45	>300	>1,5	>15	>75	>225	>75

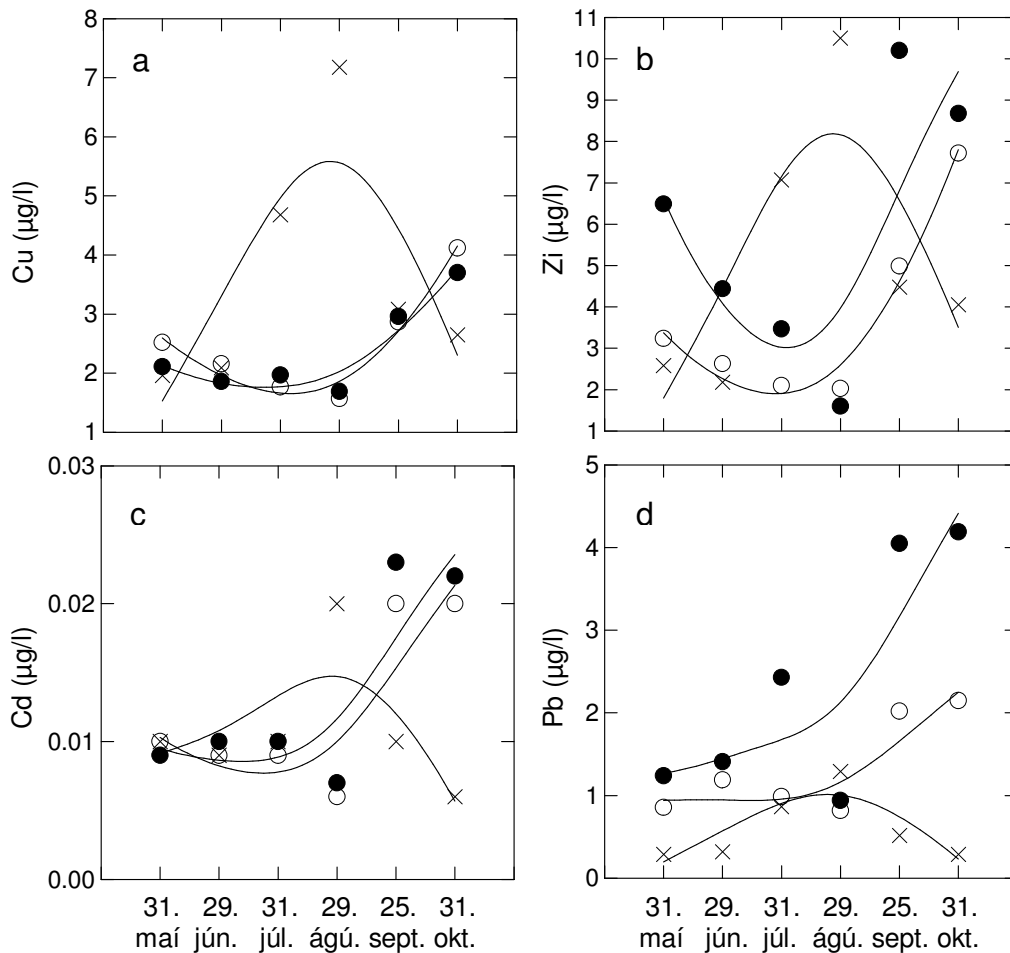


Mynd 7. Styrkur kopars (a), sinka (b), kadmíums (c) og blýs (d) eftir sýnatökustöðvum í Reykjavíkurtjörn á tímabilinu maí–október 2007. Sýnd eru meðatöl ± staðalskekkja. Stöð 1 er Vatnsmýrartjörn, stöð 2 er Suðurtjörn og stöð 3 er Norðurtjörn. F er F -gildi í fervikagreiningu og óm. merkir ómarktækt ($p > 0,05$).

Í mengunarflokka A og B, þ.e. styrkur málmanna var það lítil, að lítil eða engin hætta er talin vera á áhrifum þeirra á lífríkið.

Marktækur munur kom fram í styrk blýs eftir stöðvum og mældist hann hæstur í Norðurtjörn en lægstur í Vatnsmýrartjörn (mynd 7d). Að öðru leyti mældist ekki marktækur munur í styrk málma á milli stöðva. Ekki kemur á óvart að blý skuli mælast í jafnmiklum mæli og raun ber vitni í Reykjavíkurtjörn. Fyrri rannsóknir á innihaldi málma í botnseti staðfesta að verulegar blýmengunar gætir í Norðurtjörninni, einkum í norðurhlutanum og að austanverðu (Gunnar Ólafsson 2003a).

Meginuppsprettu nær allra málmanna sem mældir voru í rannsókninni má rekja til bifreiðaumferðar, aðallega vegna losunar við bruna eldsneytis og vegna slits á hjólbörðum, bremsuborðum, vélarhlutum og slitlagi gatna. Kadmíum og fleiri málma má einnig rekja að nokkru leyti til saltausturs og notkunar á garðáburði.



Mynd 8. Styrkur kopars (a), sinks (b), kadmíums (c) og blýs (d) eftir sýnatökudögum í Vatnsmýrartjörn (krossar), Suðurtjörn (hringir) og Norðurtjörn (svartir punktar) á tímabilinu maí–október 2007. Vegnar línur eru dregnar milli mæligilda með aðferð minnstu kvaðrata (dwls).

Styrkur málma breyttist töluvert á rannsóknartímabilinu, en þó með ólíkum hætti í Norður- og Suðurtjörn annars vegar og Vatnsmýrartjörn hins vegar (mynd 8a–d). Í Norður- og Suðurtjörn var styrkur málma einna minnstur um mitt sumar og eða að hann jókst fram á haust, en í Vatnsmýrartjörn var þessu þveröfugt farið. Þetta bendir til þess að um staðbundin áhrif sé að ræða, en hver þau eru er erfitt að segja til um.

Í samanburði við önnur grunn vötn á höfuðborgarsvæðinu var styrkur blýs og kopars í Reykjavíkurtjörn hár. Í Rauðavatni hefur kopar í botnseti mælst á bilinu 0,06–1,51 µg/l og 0,50 µg/l að meðaltali (Tryggvi Þórðarson 2008), í Elliðavatni 0,55–0,61 µg/l og 0,60 µg/l að meðaltali (Tryggvi Þórðarson 2003) og í Urriðavatni 0,31–1,61 µg/l og 0,61 µg/l að meðaltali (Tryggvi Þórðarson 2006). Tiltækar mælingar á blýi í botnseti annarra grunnra vatna eru aðeins til úr Urriðavatni og Elliðavatni. Í Urriðavatni var blý undir greiningarmörkum (Tryggvi Þórðarson 2006) en í Elliðavatni mældist það 0,024–0,037 µg/l og 0,031 µg/l að meðaltali (Tryggvi Þórðarson 2003). Styrkur sinks og kadmíums hefur mælst á svipuðu róli í framangreindum vötnum og í Reykjavíkurtjörn.

4. Langtímamarkmið, aðgerðir og vöktun

4.1 Langtímamarkmið og aðgerðir

Samkvæmt gr. 8.1 í reglugerð nr. 796/1999 ber heilbrigðisnefndum að skilgreina langtímamarkmið fyrir vötn í því skyni að varðveita náttúrulegt ástand þeirra og vernda gegn mengun af manna völdum. Þannig ber að stefna að því að vötn falli í flokk A sem ósnortið vatn, eða flokk B sem lítið snortið vatn (sbr. töflu 2). Í gr. 8.3 í sömu reglugerð er kveðið á um að sveitarstjórnir og heilbrigðisnefndir skuli grípa til aðgerða til að viðhalda vötnum í flokki A eða B. Í gr. 11.1 í reglugerðinni er fjallað lítillega um aðgerðir sem grípa má til svo ná megi langtímamarkmiðum.

Í rannsókninni nú mældust fosfór- og köfnunarefnissambönd, lífrænt kolefni, blaðgræna-a, saurkólígerlar, enterókokkar og blý í meira magni en kveðið er á um fyrir mengunarflokk B (tafla 8). Ofgnótt allra þessara efna og gerla er fyrst og fremst rakin til áhrifa mannlegra athafna, en einnig til áhrifa fugla eins og fjallað er um í þriðja kafla. Magn framangreindra efna og gerla í Reykjavíkurtjörn er mun meira en mælst hefur í öðrum grunnum vötnum þar sem umsvif manna og áhrif á vistkerfi eru lítil sem engin (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2007, 2008).

Þar sem styrkur framangreindra flokkunarþátta endurspeglar ekki náttúrulegt ástand ber að stefna að því langtímamarkmiði að flokkunarþættirnir tilheyri a.m.k. flokki B til að byrja með og að endingu helst flokki A. Til að uppfylla þessi markmið þarf að grípa til aðgerða til að draga úr og eða koma í veg fyrir álag af völdum mengunarfáttanna.

Tafla 8. Samantekt á mæliniðurstöðum flokkunarþátta og núverandi ástandsflokkun í Reykjavíkurtjörn ásamt ástandsflokkun í samræmi við langtímamarkmið. Króm (Cr), nikkell (Ni) og arsen (As) mældust undir greiningarmörkum (ug).

	Raunverulegt, mælt ástand			Langtímamarkmið	
	Geómetrískt			Flokkur B	Flokkur A
	Meðaltal	meðaltal	Flokkur	Gildi	Gildi
Tot-P (µg/l)	94	88	D	20-40	<20
PO ₄ -P (µg/l)	46	43	C	10-20	<10
Tot-N (µg/l)	1.025	970	C	300-750	<300
NH ₃ (µg/l)	202	105	D	10-25	<10
TOC (mg/l)	8	8	D	1,5-3	<1,5
Blaðgræna-a (µg/l)	23	20	C	8-15	<8
Saurkólígerlar fjöldi/100 ml	3.546	820	D	14-100	<14
Enterókokkar fjöldi/100 ml	261	108	C	14-100	<14
Cu (µg/l)	2,83	2,54	B	0,5-3	<0,5
Zn (µg/l)	4,91	4,00	A	5-20	<5
Cd (µg/l)	0,012	0,011	B	0,01-0,1	<0,01
Pb (µg/l)	1,436	0,992	C	0,2-1	<0,2
Cr (µg/l)	ug	ug	A	0,3-5	<0,3
Ni (µg/l)	ug	ug	A	0,7-15	<0,7
As (µg/l)	ug	ug	A	0,4-5	<0,4

Það ræðst af eðli og gerð hvers þáttar til hvaða aðgerða kann að verða nauðsynlegt að grípa. Í þessu sambandi skiptir uppspretta álagsþáttarins miklu máli.

Ofauðgun á fosfór og köfnunarefni, sem leiðir af sér ofgnótt af þörungum (blaðgrænu-a) og lífrænu kolefni, má að mestu leyti rekja til ofanvatns og loftborinna efna sem tengjast íbúðabygð og bílaumferð. Jafnframt kemur til brauðgjöf handa fuglum með tilheyrandi úrgangslosun. Líkt og næringarefnin berast málmar og ýmis önnur efni einnig út í tjörnina með svifryki og afrennsli frá gatnakerfum borgarinnar. Til að minnka álag af völdum framangreindra megunarpátta liggur beinast við að taka fyrir að óhreinsað ofanvatn renni út í Reykjavíkurtjörn, samanber niðurstöður álagsgreiningarinnar (Svava S. Steinarsdóttir 2008).

Reikna má með að næringarefnin, sér í lagi fosfór, hafi safnast fyrir í botnseti tjarnarinnar og að þar sé að finna umtalsverðar birgðir sem eigi eftir að losna út í vatnið um langa hríð. Mælingar á fosfór og köfnunarefni í botnseti tjarnarinnar staðfesta að óvenju mikið er af efnunum (Jón Ólafsson 1979, Gunnar Ólafsson 2003a). Mælingar staðfesta einnig að umtalsvert magn af þungmálmum, einkum blýi, sinki og krómi, er bundið í efstu 30-60 cm botnsetsins (Gunnar Ólafsson 2003a). Ekki er útlokað að rekja megi þungmálmamengunina að einhverju leyti til fyrrum öskuhauga og sorpfillingar umhverfis Suðurtjörn, en að öðru leyti stafar hún aðallega af mikilli bílaumferð og nálægð við götur.

Ljóst er að bággt ástand Reykjavíkurtjarnar liggur að hluta til í því að þrengt hefur verið að hinu náttúrulega vatnasviði. Hið gróna votlendi er þar ekki lengur og þ.a.l. hefur dregið verulega úr vistfræðilegri þjónustu við tjörnina. Hin vistfræðilega þjónusta fólst m.a. í bindingu efna til lengri og skemmri tíma og umbreytingu efna í meinlaust form. Úr þessum þætti kann að virðast erfitt að bæta. Þó er vert að velta fyrir sér möguleikum sem tengjast vatnagróðri ofan í sjálfri tjörninni. Hér er átt við síkjamara sem var algengur í tjörninni, en hvarf á fyrri hluta síðustu aldar, mjög líklega vegna aukinnar mengunar. Eyðing háplantna úr grunnnum stöðuvötnum í kjölfar ofauðgunar á næringarefnum og minnkandi rýnis ásamt eituráhrifum af völdum málma er allvel þekkt erlendis (Moss o.fl. 1997).

Umtalsverð þekking er til staðar á mikilvægi vatnaháplantna á borð við síkjamara í tengslum við efnafræðileg vatnsgæði (Moss o.fl. 1997, Brönmark og Hansson 2005, Gulati o.fl. 2007). Auk vistfræðilegs mikilvægis í sambandi við efnafræði, hreinleika og tærleika vatns, eru háplöntur mikilvægar sem búsvæði fyrir smádyr, sem aftur eru mörg hver fæða fyrir fugla og fiska. Síkjamaraþreiddur hafa einnig fagurfræðilegt gildi m.t.t. litar og áferðar á vatnsyfirborði.

Endurheimt síkjamara í Reykjavíkurtjörn er mjög áhugaverður kostur. Lagt er til að ráðist verði í tilraunaverkefni í Suðurtjörninni. Vitað er með vissu að þar óx síkjamari áður fyrr og jafnframt lítur út fyrir að þar hafi hann tórt einna lengst í tjörninni. Vegna hugsanlegra mengunaráhrifa í efsta lagi botnsetsins, m.a. vegna járnsúlfíða og fleiri efna, er ennfremur lagt til að gróðursetja síkjamara á tveimur mismunandi svæðum. Annars vegar á svæði með óhreyfðu botnseti og hins vegar á svæði þar efsti hálfí metrinn eða svo af botnsetinu hefur verið fjarlægður.

Varðandi betrubætur á ástandi Reykjavíkurtjarnar má einnig velta þeim möguleika fyrir sér að fjarlægja efsta hluta setlagsins úr allri tjörninni. Þessari hugmynd hefur nokkrum sinnum áður verið hreyft, líklega í fyrsta skipti laust fyrir aldamótin 1900 (Guðjón Friðriksson 1992). Sumarið 1917 var meira að segja hafist handa við framkvæmdir en verkið var ekki klárað. Fleiri hafa stungið upp á því að fjarlægja botnset úr tjörninni, t.d. á áttunda áratugnum í kjölfarið á fyrstu efnamælingunum á botnseti í tjörninni (Gunnar St. Jónsson o.fl. 1978).

Hugmyndin um að fjarlægja botnset er vel þess virði að kanna til hlítar. Erlendis liggur fyrir töluverð reynsla af framkvæmdum (Moss o.fl. 1997) og hérlendis byggja menn á reynslu af dælingu kísilgúrs af botni Mývatns. Ef ráðist yrði í þetta verkefni er skynsamlegt að miða við að fjarlægja efsta 50-60 cm lagið, þ.e. þann hluta botnsetsins sem er mengaður (Gunnar Ólafsson 2003a). Hafa ber hugfast að aðgerð af þessu tagi er, að öðru óbreyttu, tímabundin lausn á vanda tjarnarinnar. Þar sem uppsprettur mengunar verða að líkindum áfram til staðar mun mengunarástand tjarnarinnar sækja í fyrra horf með tíð og tíma.

Uppsprettu örverumengunar í Reykjavíkurtjörn virðist mega rekja bæði til óbeinnar og beinnar losunar. Hvað varðar beina losun lítur út fyrir að skólþ hafi verið losað í yfirborðsvatn á flugvallarsvæðinu. Hugsanlega skólþlosun á flugvallarsvæðinu þarf að kanna betur og koma í veg fyrir. Ekki einasta má búast við að magn örvera minnki í kjölfarið í tjörninni, heldur einnig að það dragi úr styrk næringarefna.

Óbein losun á örverum stendur einkum í sambandi við úrgangslausun fugla sem hafast við á tjörninni. Brauðgjöf í Norðurtjörninni hangir saman við úrgangslausunina og ýtir undir örveruflórana. Taka ætti fyrir brauðgjöf á vegum Reykjavíkurborgar (sbr. Svava S. Steinarsdóttir 2008).

4.2 Vöktun

Vöktun með reglulegum mælingum og sýnatöku er nauðsynleg til að fylgjast með ástandi vatnsgæða og hugsanlegum breytingum þar að lútandi. Með vöktun er kleift að meta hvort langtímamarkmið hafi náðst og hvort aðgerðir sem ráðist hefur verið í gagnist.

Í reglugerð nr. 796/1999 er ekki að finna ákvæði um tíðni mælinga. Í handbók Umhverfisstofnunar um aðgerðaráætlanir og flokkun vatns (Umhverfisstofnun 2004) er hins vegar að finna almennar leiðbeiningar í þessu sambandi og jafnframt er þar vísað í vatnatilskipun Evrópusambandsins.

Þar sem styrksgildi flokkunarþátta reyndust í mörgum tilfellum í lág- og hámarki í Vatnsmýrartjörn eða Norðurtjörn og jafnan í meðallagi í Suðurtjörn, er fullnægjandi að vakta Vatnsmýrar- og Norðurtjörn.

Hvað varðar næringarefnin er lagt til að vakta þau árlega á tveggja mánaða fresti (tafla 9). Þetta er gert í ljósi þess hve styrksgildi efnanna mældust há auk vísbendinga um neikvæð áhrif á lífríkið. Tíðar mælingar á þessum þáttum eru einnig skynsamlegar í

Ijósi þess að styrkur efnanna er allbreytilegur eftir árstíðum og einnig líklegur til að breytast á milli ára.

Tafla 9. Tillaga að vöktun þátta í Reykjavíkurtjörn með hliðsjón af mæliniðurstöðum (sbr. töflu 8). Lagt er til að mælingar fari fram í Vatnsmýrar- og Norðurtjörn. Í handbók Umhverfisstofnunar um aðgerðaráætlanir og flokkun vatns (Umhverfisstofnun 2004) er að finna almenn tilmæli um tíðni mælinga.

Vöktunarpáttur	Tíðni (ár)	Tíðni (mán.)	Næsta mæling	Athugasemdir	
Tot-P ($\mu\text{g/l}$)	1	6	2008	Mælingar á fosfór- og köfnunarefnum benda til ofauðgunar og bágs ástands. Vegna mikils breytileika og hraða í breytingum í styrk efnanna er ástæða til að fylgjast með þeim árlega.	
PO ₄ -P ($\mu\text{g/l}$)	1	6	2008		
Tot-N ($\mu\text{g/l}$)	1	6	2008		
NH ₃ ($\mu\text{g/l}$)	1	6	2008		
TOC (mg/l)	1	6	2008		
Blaðgræna-a ($\mu\text{g/l}$)	1	6	2008		
Saurkólígerlar fjöldi/100 ml	1	12	2008		Mjög bág ástand í saurgerlaflóru gefur fullt tilefni til að fylgjast grannt með gerlamagninu, sérstaklega þarf að fylgjast með Vatnsmýrartjörn.
Enterókokkar fjöldi/100 ml	1	12	2008		
Cu ($\mu\text{g/l}$)	3	6	2010		Ástand þungmálma er þokkalegt á heildina litið að blýi undanskildu. Kopar er einnig á mörkum þess að hafa mengandi áhrif. Því er mælt með tíðari mælingum á blýi og kopari en fyrir aðra málma.
Zn ($\mu\text{g/l}$)	5	6	2012		
Cd ($\mu\text{g/l}$)	5	6	2012		
Pb ($\mu\text{g/l}$)	3	6	2010		
Cr ($\mu\text{g/l}$)	5	6	2012		
Ni ($\mu\text{g/l}$)	5	6	2012		
As ($\mu\text{g/l}$)	5	6	2012		

Mælt er til þess að mæla lífrænt kolefni og blaðgrænu-a með sama hætti og næringarefnin. Bæði efnin eru verulega háð næringarefnaástandinu og þ.a.l. eru þau ágætir metlar á ástand og viðbrögð lífvera, einkum þörunga, við breytingum á ástandi næringarefnanna. Mæling þessara þátta er jafnframt fremur auðveld og ódýr.

Örverumagn er nauðsynlegt að vakta náðið með hliðsjón af því hve slæmt ástand hefur mælt í tjörninni. Sérstaklega er mikilvægt að fylgjast með ástandinu í Vatnsmýrartjörn og jafnframt þarf að grafast fyrir um hvort bein losun á skólpi eigi sér stað af flugvallarsvæðinu eða öðrum nærliggjandi svæðum.

Lagt er til að tíðni vöktunar á þungmálmum verði heldur lægri en fyrir næringarefnin og örverurnar. Þetta er aðallega vegna þess að ekki er við því að búast að þungmálmarnir sýni jafnmikinn breytileika í styrksgildum eins og hinir þættirnir. Verði ekkert að gert má fastlega gera ráð fyrir áframhaldandi uppsöfnun á flestum málmunum í botnseti tjarnarinnar.

Auk þess að vakta reglulega þá þætti sem hér hafa verið til umfjöllunar og tilgreindir eru í reglugerð nr. 796/1999 er mælt til þess að fylgst verði með nokkrum þáttum til viðbótar. Einkum er það vatnshiti og súrefni sem æskilegt er að mæla. Kanna ætti

möguleika á því að koma fyrir tveimur til þremur vatnshitasíritum í tjörninni. Mikilvægt er að fá vitneskju um súrefnismagn þar sem það ræður miklu um efnaskipti milli botnsets og vatnsmassa.

Til viðbótar efna- og eðlisþáttum er einnig lagt til að fylgjast reglulega með smádýralífi. Vatnaflær henta vel í þessu skyni. Þær eru áberandi hópur í smádýrafánu tjarnarinnar (Ólafur Karl Nielsen 1992a, Jón S. Ólafsson og Sesselja Sigurðardóttir 2003), þekktar sem metlar á næringarefnaástand (de Eyto og Irvine 2001, de Eyto o.fl. 2003, Mirosław-Grabowska og Niska 2005) og eru fæða fyrir fiska og fugla. Vatnaflærnar eru jafnframt auðveldar viðfangs hvað varðar sýnatöku og greiningu. Æskilegt væri að vakta vatnaflærnar annað hvert ár, t.d. með sýnatöku á tveggja vikna fresti frá vori og fram á haust.

5. Samantekt

Ástand Reykjavíkurkjarnar m.t.t. næringarefna, örvera og þungmálma var mælt á tímabilinu maí 2007 til apríl 2008 og vatnsgæði tjarnarinnar metin og tjörnin mengunarflokkuð í samræmi við ákvæði reglugerðar nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns. Um var að ræða samvinnu milli Umhverfis- og samgöngusviðs Reykjavíkurborgar og Náttúrufræðistofu Kópavogs.

Sýni voru tekin í Vatnsmýrar-, Suður- og Norðurtjörn. Örverusýni voru tekin mánaðarlega í 12 skipti á tímabilinu 31. maí 2007–29. apríl 2008, en efnasýni voru tekin sex sinnum á tímabilinu 31. maí 2007–31. okt. 2007. Eftirfarandi 15 breytur voru mældar og notaðar við mengunarflokkunina: heildarfosfór (Tot-P), fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$), heildarköfnunarefni (Tot-N), ójónað ammóníak ($\text{NH}_3\text{-N}$), lífrænt kolefni (TOC), blaðgræna-a, magn saurkólí- og enterókokkagerla, kopar (Cu), sink (Zn), kadmíum (Cd), blý (Pb), króm (Cr), nikkell (Ni) og arsen (As). Auk þess var mældur vatnshiti, sýrustig, rafleiðni og heildarfjöldi gerla ræktaður við 22° C og 37° C.

5.1 Helstu mæliniðurstöður

Vatnshiti í tjörnunum þremur lék á bilinu 2,3–20,6° C og voru hitaferlar á rannsóknartímabilinu mjög svipaðir í öllum tjörnunum. Vatnshitinn í Reykjavíkurkjörn var á sama róli og mælst hefur í öðrum grunnum vötnum á höfuðborgarsvæðinu.

Rafleiðni var svipuð í tjörnunum þremur og nokkuð stöðug yfir rannsóknartímabilið og mældist afar há, eða á bilinu 405–884 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Jafn mikil rafleiðni hefur hvorki mælst áður í tjörninni né er vitað um önnur fersk stöðuvötn með svo háa rafleiðni. Hin háa rafleiðni í Reykjavíkurkjörn bendir eindregið til mengunar.

Í fyrri rannsóknum hafa staðbundin áhrif af völdum heitavatnsmengunar verið staðfest í Reykjavíkurkjörn (Gunnar Steinn Jónsson o.fl. 1978, Vatnaskil 1987), en engin slík áhrif komu fram í aðalrannsókninni nú. Í aukamælingum á eðlisþáttum í mars 2008 mældust hins vegar greinilega staðbundin hitaáhrif í afrennsli af flugvallarsvæðinu þar sem það rennur í ræsi undir Njarðargötu. Við ræsið mældist vatnshitinn 13,0° C en aðeins 5,4° C í Vatnsmýrartjörn, 3,6° C í Suðurtjörn og 2,8° C í Norðurtjörn. Þessar niðurstöður benda til þess að brotalöm sé í fráveitumálum á flugvallarsvæðinu.

Rafleiðnimælingar sem fram fóru í mars 2008 samhliða vatnshitamælingum í læknum við Njarðargötu renna stöðum undir um að ekki sé allt með felldu í fráveitumálum á svæðinu. Rafleiðnin mældist þá afar há eða 1.158 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í læknum við ræsið undir Njarðargötu, en aðeins 676 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í Vatnsmýrartjörn, 794 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í Suðurtjörn og 716 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í Norðurtjörn.

Sýrustig mældist á bilinu pH 7,8 til 10,9 í tjörnunum þremur sem er áþekkt því sem mælst hefur í öðrum grunnum stöðuvötnum á höfuðborgarsvæðinu.

Tafla 10. Samandregnar mæliniðurstöður 15 flokkunarþátta á stöðvunum þremur í Reykjavíkurtjörn, núverandi umhverfis-(UFL) og mengunarflokkun (MFL) ásamt langtímamarkmiðum í mengunar- (MFL) og umhverfismarkaflokkum (UFL) og tillögum um vöktun. M er meðaltal og GM er geómetrískt meðaltal. Tölugildi í dálki undir heitinu styrkur eru umhverfismörk fyrir mengunarflokk A og B skv. reglugerð nr. 796/1999. Króm (Cr), nikkell (Ni) og arsen (As) mældust undir greiningarmörkum (ug).

	Mælt ástand		Flokkun		Langtímamarkmið			Vöktun		
	M	GM	UFL	MFL	MFL	UFL	Styrkur	Ár	Mán.	Næst
Tot-P (µg/l)	94	88	IV	D	B	II	20-40	1	6	2008
PO ₄ -P (µg/l)	46	43	III	C	B	II	10-20	1	6	2008
Tot-N (µg/l)	1.025	970	III	C	B	II	300-750	1	6	2008
NH ₃ (µg/l)	202	105	IV	D	B	II	10-25	1	6	2008
TOC (mg/l)	8,0	7,8	IV	D	B	II	1,5-3	1	6	2008
Blaðgræna-a (µg/l)	23	20	III	C	B	II	8-15	1	6	2008
Saurkólígerlar fjöldi/100 ml	3.546	820	IV	D	B	II	14-100	1	12	2008
Enterókokkar fjöldi/100 ml	261	108	III	C	B	II	14-100	1	12	2008
Cu (µg/l)	2,83	2,54	II	B	B	II	0,5-3	3	6	2010
Zn (µg/l)	4,91	4,00	I	A	A	I	<5	5	6	2012
Cd (µg/l)	0,012	0,011	II	B	B	II	0,01-0,1	5	6	2012
Pb (µg/l)	1,436	0,992	III	C	B	II	0,2-1	3	6	2010
Cr (µg/l)	ug	ug	I	A	A	I	<0,3	5	6	2012
Ni (µg/l)	ug	ug	I	A	A	I	<0,7	5	6	2012
As (µg/l)	ug	ug	I	A	A	I	<0,4	5	6	2012

Á heildina litið ratar Reykjavíkurtjörn í mengunarflokk D, næstlakasta mengunarflokkinn, m.t.t. fosfórs (Tot-P), ójónaðs ammóníaks (NH₃) og lífræns kolefnis (TOC) (tafla 10). Tjörnin er m.ö.o. verulega snortið, næringarefnaríkt vatn m.t.t. þessara þriggja efna (sbr. töflu 2 og 3). Hvað varðar köfnunarefni (Tot-N), fosfat (PO₄) og blaðgrænu-a lendir tjörnin í mengunarflokk C sem nokkuð snortið og næringarefnaríkt vatn.

Ekki kom fram afgerandi munur í styrk framangreindra efna eftir stöðvum. Tilhneigingar gætti þó í þá veru að efnastyrkur, sér í lagi lífræns kolefnis, ykist frá Vatnsmýrartjörn til Norðurtjarnar. Þetta mynstur hefur áður verið staðfest fyrir fosfór (Gunnar Steinn Jónsson o.fl. 1978, Ólafur Karl Nielsen 1992b). Skýringa er m.a. að leita í því að í Norðurtjörn er þéttleiki fugla hvað mestur með tilheyrandi brauðgjöf og ákomu næringarefna. Hár efnastyrkur í Norðurtjörninni stafar einnig af flutningi efna sunnan að af vatnasviðinu og uppsöfnun þeirra fyrir framan útfallið við Iðnó.

Fosfór, fosfat, köfnunarefni og ammóníak hafa ekki fyrir mælst í jafnmiklum mæli í Reykjavíkurtjörn og flest bendir til þess að álag af völdum þessara efna sé meira nú en nokkru sinni áður.

Næringarefnastyrkur og magn lífræns kolefnis og blaðgrænu-a í Reykjavíkurtjörn var verulega meira en mælst hefur í álíka grunnum stöðuvötnum á höfuðborgarsvæðinu.

Styrkur fosfórs og fosfats var minnstur um vor og haust en náði hámarki síðsumars. Við fremur basískar aðstæður eins og virðast ríkja í Reykjavíkurtjörn, með pH hærra en 8,5 bróðurpartinn úr sumrinu, losnar fosfór tiltölulega vel úr setinu. Þetta kanna að skýra að hluta til háan styrk fosfórs og fosfats síðsumars í tjörninni. Skýringa á háum styrk fosfórs að sumri til er líklega einnig að leita driti fugla, en á þessum tíma er einna mest af fuglum á tjörninni (Ólafur Karl Nielsen og Jóhann Óli Hilmarsson 1988, Ólafur Karl Nielsen 1992b).

Styrksferlar köfnunarefnis og ammóníaks voru með allt öðru móti en fosfórs. Styrkur beggja efna jókst frá vori og fram á haust. Aukningu í köfnunarefni má líklega rekja fyrst og fremst til rotnunar og niðurbrots á þörungum.

Enda þótt þungahlutfall N:P í Reykjavíkurtjörn hafi verið $>7,2$ í 83% tilfella og þannig bent til þess að köfnunarefni femur en fosfór hafi verið takmarkandi fyrir vöxt þörungna þá er talið ólíklegt í ljósi þess hve styrkur næringarefnanna var almennt mikill. Líklegra er að aðrir þættir en næringarefni hafi takmarkað frumframleiðsluna.

Fosfór er hvarfgjarn og binst öðrum efnum auðveldlega, m.a brennisteini og málmum eins og járn, og fellur þá út ofan í botnseti þar sem hann getur safnast fyrir. Styrkur fosfórs er vegna þessa jafnan meiri í botnseti en sjálfu vatninu fyrir ofan. Vegna hvarfgirni fosfats og tilhneigingar til að mynda torleyst efnasambönd geta fosfórbirgðir í botnseti orðið meginuppspretta í efnabúskap vatna um langan tíma, jafnvel svo áratugum skiptir (Moss o.fl. 1997, Brönmark og Hansson 2005, Smol 2008). Þetta á líklega við um fosfór og ýmsa málma í botnseti Reykjavíkurtjarnar.

Magn övera var mjög mikið á heildina litið í Reykjavíkurtjörn og ratar tjörnin í næstlakasta mengunarflokkinn, flokk D, m.t.t. saurkólígerla og í mengunarflokk C m.t.t. enterókokka (tafla 10). Ástandið var sérstaklega slæmt í Vatnsmýrartjörn sem lenti í lakasta mengunarflokki, flokki E, með hliðsjón af saurkólígerlum. Í Vatnsmýrartjörn telst ástandið ófullnægjandi. Ástandið var litlu skárna í Suður- og Norðurtjörn, sem lentu í mengunarflokki D m.t.t. saurkólígerla, sem telst mikil saurmengun.

Samkvæmt reglugerð nr. 796/1999 má magn saurkólígerla í 10% tilvika fara upp í 43/100 ml í yfirborðsvatni vegna útivistar. Fjöldi saurkólígerla í Vatnsmýrartjörn var í öllum 12 tilfellunum langt yfir þessum viðmiðunarmörkum. Í Suður- og Norðurtjörn var magn saurkólígerla yfir viðmiðunarmörkunum í 83% tilfella.

Örverumagnið nú svipar til þess sem mældist í Reykjavíkurtjörn haustið 2006 (Erpur Snær Hansen og Svava S. Steinarsdóttir 2007). Örverumagn í Reykjavíkurtjörn er langt umfram það sem mælt hefur í öðrum álíka grunnum vötnum á höfuðborgarsvæðinu (Tryggvi Þórðarson 2003, 2006, 2008).

Þar sem uppruna saurkólí- og enterókokkagerla í ferskvatni má rekja að mestu leyti til manna og annarra dýra með heitt blóð (WHO 2006) berast böndin annars vegar að fráveitumálum við tjörnina og hins vegar að fuglalífínu.

Mikil saurgerlamengun í Reykjavíkurtjörn kemur ekki óvart m.t.t. þess að þéttleiki fugla er almennt mjög mikill á tjörninni (Ólafur Karl Nielsen og Jóhann Óli Hilmarsson 1988,

2007). Ekki kemur heldur á óvart að örverumagn skuli vera hvað minnst í Suðurtjörn, en þar er þéttleiki fugla að jafnaði minni en í Vatnsmýrar- og Norðurtjörn.

Ekki er hægt að útiloka að saurgerlamengunin í Vatnsmýrartjörn stafi af losun skólps á vatnasviðinu og berast böndin að flugvallarsvæðinu. Vísbendingar þar að lútandi komu einnig fram við mælingar á rafleiðni og vatnshita. Niðurstöður örverurannsóknna haustið 2006 bentu jafnframt til þess að rekja mætti saurgerlamengun í Vatnsmýrartjörn og Þorfinnstjörn til vandamála í fráveitumálum á flugvallarsvæðinu (Erpur Snær Hansen og Svava S. Steinarsdóttir 2007).

Að blýi (Pb) undanskildu mældist styrkur flestra málma fremur lítil í Reykjavíkurtjörn (tafla 10). Króm (Cr), nikkell (Ni) og arsen (As) voru í langflestum tilvikum undir greiningarmörkum. Hvað varðar blý lendir Reykjavíkurtjörn í mengunarflokki C á heildina litið, sem þýðir að áhrifa er að vænta á lífverur sem viðkvæmar eru fyrir blýi. Hvað varðar aðra málma raðast Reykjavíkurtjörn í mengunarflokka A og B, þ.e. styrkur málma var það lítil að lítil eða engin hætta er talin vera á áhrifum þeirra á lífríkið.

Styrkur blýs mældist mestur í Norðurtjörn en lægstur í Vatnsmýrartjörn. Að öðru leyti mældist ekki marktækur munur í styrk málma á milli stöðva. Ekki kemur á óvart að blý skuli mælast í jafnmiklum mæli og raun ber vitni í Reykjavíkurtjörn. Fyrri rannsóknir á málum í botnseti staðfesta að verulegrar blýmengunar gætir í Norðurtjörninni, einkum í norðurhlutanum og að austanverðu (Gunnar Ólafsson 2003a).

Meginuppsprettu nær allra málma sem mældir voru í rannsókninni má rekja til bifreiðumferðar, aðallega vegna losunar við bruna eldsneytis og vegna slits á hjólbörðum, bremsuborðum, vélarhlutum og slitlagi gatna. Kadmíum og fleiri málma má einnig rekja að nokkru leyti til saltausturs og notkunar á garðáburði.

5.2 Álag og áhrif

Vatnasviði Reykjavíkurtjarnar hefur verið umbylt á síðastliðnum 150–200 árum í kjölfar fólksfjölgunar og þéttbýlismyndunar. Nú orðið er vatnasviðið nær alfarið manngert með tilheyrandi skerðingu á votlendi, umskiptum á jarðvegi, uppfyllingum, stóruaknum flötum með lokuðu yfirborði og tilbúnum vatnsbökkum svo það helsta sé upptalið. Afleiðingarnar eru skert geta vistkerfisins til að glíma við aðsteðjandi vandamál á borð við ofauðgun næringarefna, þungmálmamengun o.fl.

Heilbrigðiseftirlit Reykjavíkur telur mengunarálag á tjörnina vera mikið (Svava S. Steinarsdóttir 2008). Helsti uppruni mengunarinnar í dag er frá umferðargötum, fuglalífi og lífrænni ákomu tengdri því, frárennsli ofanvatns og vegna skólps. Einnig er hætta talin vera á að mengun berist af flugvallarsvæðinu, m.a. vegna notkunar á afísingarefnum og olíu. Þá er ljóst að uppsöfnun mengun á málum og næringarefnum í botnseti tjarnarinnar er umtalsverð og að þaðan muni efni losna og berast upp í vatnið á næstu árum og áratugum verði ekkert að gert.

Áhrif mengunar á lífríki Reykjavíkurtjarnar eru umtalsverð. Einna skýrasta dæmið um þetta er hvarf síkjamarar úr tjörninni á fyrri hluta síðustu aldar. Síkjamarinn virðist hafa verið allalgengur í tjörninni en hann finnst þar ekki lengur. Eyðing síkjamarans stendur

mjög líklega í sambandi við mengun af völdum brennisteinssambanda og annarra efna ásamt aukningu í þörungavexti með tilheyrandi gruggi og þverrandi rýni í tjörninni. Eyðing háplöntugróðurs af þessum völdum í grunnum vötnum er vel þekkt fyrirbrigði í stórborgum Evrópu. Við brotthvarf síkjamarans hefur dregið úr getu vistkerfisins til að binda og fjarlægja óæskileg efni úr vatninu. Jafnframt hefur rót af botni og grugg aukist þar sem síkjamari er ekki lengur til staðar til að draga úr vindknúnu ölduróti.

Önnur merkjanleg áhrif á lífríki tjarnarinnar vegna ofauðgunar á næringarefnum felast í auknu magni blágrænuþörunga með tilheyrandi leirlosi (þörungablóma) og skertri rýni við botninn. Einsleitt samfélag vatnaflóa þar sem mánaflær og kúlufær eru áberandi bendir einnig til þess að áhrifa gæti vegna ofauðgunar á næringarefnum.

5.3 Aðgerðir og vöktun

Samkvæmt gr. 8.1 og 8.3 í reglugerð nr. 796/1999 ber sveitarstjórnnum að skilgreina langtímamarkmið fyrir vötn og grípa til aðgerða í því skyni að varðveita náttúrulegt ástand þeirra og vernda gegn mengun af manna völdum. Stefna ber að því að vötn falli í flokk A sem ósnortið vatn, eða flokk B sem lítið snortið vatn.

Í rannsókninni nú mældust fosfór (Tot-P), fosfat (PO_4), köfnunarefni (Tot-N), ammóníak (NH_3), lífrænt kolefni (TOC), blaðgræna-a, saurkólígerlar, enterókokkar og blý (Pb) í meira magni en kveðið er á um fyrir mengunarflokk B (tafla 10). Þetta eru alls níu af þeim 15 flokkunarbreytum sem mældar voru í rannsókninni. Þar sem styrksgildi framangreindra níu flokkunarbáttar endurspeglar ekki náttúrulegt ástand ber að stefna að því langtímamarkmiði að flokkunarbáttirnir tilheyri a.m.k. flokki B til að byrja með og að endingu helst flokki A (tafla 10).

Það ræðst af eðli og gerð viðkomandi þáttar til hvaða aðgerða er nauðsynlegt eða fýsilegt að grípa. Í þessu sambandi skiptir uppspretta álagsþáttarins miklu máli og má skipta tillögum um aðgerðir í tvo meginflokkka:

1. Aðgerðir í fráveitumálum

a) Ofanvatn

Taka ætti fyrir rennsli á óhreinsuðu ofanvatni af götum út í Reykjavíkurtjörn, samanber álagsgreiningu (Sava S. Steinarsdóttir 2008). Í kjölfarið má búast við að álag af völdum málma og næringarefna minnki umtalsvert.

b) Örverumengun

Örverumengun í Reykjavíkurtjörn virðist mega rekja að hluta til til beinnar losunar á skólpi. Sterkar vísbendingar eru um að yfirborðsvatn af flugvallarsvæðinu sé skólpmengað. Ganga þarf úr skugga um þetta og grípa til nauðsynlegra ráðstafana ef með þarf til að koma í veg fyrir óþrifnaðinn. Ekki einasta má búast við að magn örvera minnki í kjölfarið, heldur einnig að það dragi úr styrk næringarefna.

2. Aðgerðir í Reykjavíkurtjörn

Þar sem helstu uppsprettur næringarefna- og þungmálmamengunar í Reykjavíkurtjörn virðast vera allt í senn dreifðar, bundnar við botnsetið og sumpart leifar frá fyrri tíð getur verið erfitt að grípa til skilvirkra aðgerða til að minnka álag af völdum efnanna. Bryddað er upp á tveimur hugmyndum í þessu sambandi og þarf hvorug að útiloka hina:

a) Endurheimt síkjamara

Endurheimt síkjamara er áhugaverður kostur í því skyni að hreinsa vatn og draga úr gruggi vegna ölduróts á botnseti. Lagt er til að ráðast fyrst í afmarkað tilraunaverkefni í Suðurtjörninni. Vegna hugsanlegra mengunaráhrifa í efsta lagi botnsetsins er mælt til þess að gróðursetja síkjamara annars vegar á svæði með óhreyfðu botnseti og hins vegar á svæði þar sem efsti hálfí metrinn af botnsetinu hefur verið fjarlægður.

b) Mengað botnset fjarlægt

Gaumgæfa ber þann möguleika að fjarlægja efstu 50–60 cm af setlagi botnsins úr tjörninni allri eða að hluta til. Þetta lag er sá hluti botnsetsins sem er mjög mengaður. Við fjarlægingu á menguðu botnseti vinnst aðallega tvennt. Í fyrsta lagi dregur úr mengunarálagi af völdum næringarefna og málmna sem eru bundin í botnsetinu. Í öðru lagi dýpkar tjörnin og þ.a.l. má gera ráð fyrir að dragi úr vindknúnu ölduróti á setögnum og að tjörnin verði tærari. Reikna má með að í kjölfarið færast lífríki tjarnarinnar nær því horfi sem var fyrir 150-200 árum.

Auk beinnar losunar á skólpi má rekja örverumengun í Reykjavíkurtjörn til óbeinnar losunar frá fuglum. Brauðgjöf í Norðurtjörninni hangir saman við úrgangslosun frá fuglunum og ýtir undir örveruflórana. Lagt er til að Reykjavíkurborg hætti að fódra fuglana eins og gert hefur verið þegar jarðbönn eru.

Vöktun með reglulegum mælingum og sýnatöku er nauðsynleg til að fylgjast með þróun vatnsgæða og til að meta hvort aðgerðir sem ráðast verður í gagnist. Lagt er til að vakta næringarefni (Tot-P, PO₄, Tot-N og NH₃) ásamt lífrænu kolefni og blaðgrænu-a árlega á tveggja mánaða fresti (tafla 9). Þetta er gert bæði í ljósi þess hve styrkur efnanna mældist hár og vegna breytileika í þessum efnabáttum eftir árstíma.

Örverur ber einnig að vakta mjög náið með hliðsjón af því hve slæmt ástand hefur mælt og er lagt til að mæla örverumagn mánaðarlega hvert ár. Vöktun málmna þarf ekki vera eins ítarleg og að framan greinir þar sem síður er við því að búast styrkur þeirra sýni breytileika í tíma. Blý og kopar ber að vakta þriðja hvert ár en aðra málmna á fimm ára fresti.

Þá er mælt til þess að fylgst verði reglulega með smádýralífi, t.d. vatnaflóm sem eru áberandi í vistkerfi tjarnarinnar og þekktar sem metlar á vatnsgæði.

7. Heimildir

Alderisio, A. K. og DeLuca, N. 1999. Seasonal enumeration of faecal coliform bacteria from the feces of ring-billed gulls (*Larus delawarensis*) and Canada geese (*Branta canadensis*). *Appl. Environ. Microbiol.*, 65: 5628–5630.

Árni Einarsson og Sesselja Bjarnadóttir. 1992. Saga lífríkis í Tjörninni. 2. kafli, bls. 19-29. Í: Tjörnin, saga og lífríki (ritstj. Ólafur Karl Nielsen). Reykjavíkurborg, Reykjavík.

Brönmark, C. og Hansson, L.-A. 2005. *The Biology of Lakes and Ponds*. Oxford University Press. 285 bls.

EPA. 1999. 1999 Update of Ambient Water Quality Criteria for Ammonia. United States Environmental Protection Agency. Office of Water – 4304. EPA-822-R-99-014. 147 bls.

de Eyto, E. og Irvine, K. 2001. The response of three chydorid species to temperature, pH and food. *Hydrobiologia*, 459: 165–172.

de Eyto, E., Irvine, K., Garcia-Criado, F., Gyllström, M., Jeppesen, E., Kornijow, R., Miracle, R. M., Nykänen, M., Bareiss, C., Cerbin, S., Salujõe, J., Frandsen, R., Stephins, D. og Moss, B. 2003. The distribution of chydorids (Branchiopoda, Anomopoda) in European shallow lakes and its application to ecological quality monitoring. *Arch. Hydrobiol.*, 156: 181 – 202.

Erpur Snær Hansen og Svava S. Steinarsdóttir. 2007. Könnun á örverufræðilegum gæðum vatns í Reykjavíkurtjörn 2006. Óbirt handrit. Umhverfissvið Reykjavíkurborgar. 11 bls.

Fríða Pétursdóttir, Jóhanna Stefánsdóttir og Snædís Valsdóttir. 1986. Líf í tjörnum Vatnsmýrar. Verkefni í líffræði við Kennaraháskóla Íslands. Handrit, 13 bls.

Guðjón Friðriksson. 1992. Tjörnin og mannlífið. 4. kafli, bls. 43-74. Í: Tjörnin, saga og lífríki (ritstj. Ólafur Karl Nielsen). Reykjavíkurborg, Reykjavík.

Gulati, R.D., Lammens, E., De Pauw, N. og Van Donk, E. (ritstj.). 2007. *Shallow Lakes in Changing World*. Springer. 466 bls.

Gunnar St. Jónsson, Konráð Þórisson og Stefán Kristmannsson. 1978. Næringarefni og þörungagróður í Tjörninni í Reykjavík. Fjölrit, 27 bls.

Gunnar Ólafsson. 2003a. Efnamælingar á botnseti og umfjöllun um umhverfispætti Norðurtjarnarinnar í Reykjavík. Rannsóknir vegna bílahúss. Línuhönnun, verkfræðistofa. 22 bls.

Gunnar Ólafsson. 2003b. Þörungar í Norðurtjörninni í Reykjavík. Rannsókn vegna bílahúss. Línuhönnun, verkfræðistofa. 35 bls.

Halldóra Skarphéðinsdóttir, Jóhanna B. Friðriksdóttir, Kristín Harðardóttir og Kristján Kristinsson. 1991. Hornsíli í Reykjavíkurtjörn, samanburður á milli þriggja búsvæða. Verkefni í vatnalíffræði við Háskóla Íslands. Handrit, 15 bls.

Hilmar J. Malmquist og Gísli Már Gíslason. 2007. Lífríki stöðuvatna á höfuðborgarsvæðinu: Gróður og smádyr. Bls. 59-65. Málþingsrit, *Vörn og vatnasvið á höfuðborgarsvæðinu – ástand og horfur*. 30. mars 2007, Hótel Loftleiðum, Reykjavík.

Hilmar J. Malmquist, Erlín E. Jóhannsdóttir og Finnur Ingimarsson. 2001. Smádyralíf og efnapættir í Hamarskotslæk og Ástjörn. Bls. 45-79. Í: *Náttúrufar á vatnasvæðum í landi Hafnarfjarðar*. *Umhverfisúttekt* (ritstj. Ingibjörg Kaldal). Orkustofnun, OS-2001/064. 140 bls.

- Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson og Haraldur Rafn Ingvason. 2006a. Grunnrannsókn á lífríki Rauðavatns. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 3-06. 41 bls.
- Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur R. Ingvason og Stefán Már Stefánsson. 2007. Áhrif Mýraelda á eðlis- og efnaþætti vatns sumarið 2006. *Fræðabing landbúnaðarins 2007*: 349-356.
- Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur R. Ingvason og Stefán Már Stefánsson. 2008. Áhrif Mýraelda vorið 2006 á eðlis- og efnaþætti vatns sumarið 2007. *Fræðabing landbúnaðarins 2008*: 422-430.
- Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson og Haraldur Rafn Ingvason. 2004. Vöktun á lífríki Elliðavatns: Forkönnun og rannsóknatillögur. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 1-04. 43 bls.
- Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson og Haraldur Rafn Ingvason. 2006b. Grunnrannsókn á lífríki Urriðavatns. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 1-06. 44 bls.
- Jón Ólafsson. 1979. Athuganir á kolefni, köfnunarefni og fosfór í botnseti Reykjavíkurtjarnar. Fjölrit. 7 bls.
- Jón S. Ólafsson og Sesselja G. Sigurðardóttir. 2003. Botn- og svifdýr í Reykjavíkurtjörn. Könnun í ágúst 2002. Líffræðistofnun Háskólans. Fjölrit nr. 68. 18 bls.
- Kirschner, A.T.K., Zechmeister, T.C., Kavka, G.G., Beiwl, C., Herzig, A., Mach, R.L. og Farnleitner, A.H. 2004. Integral strategy for evaluation of fecal indicator performance in bird-influenced saline inland waters. *Appl. Environ. Microbiol.*, 70: 7396-7403.
- Lévesque, B., Brousseau, P., Simard, P., Dewailly, E., Meisels, M., Ramsay D. og Joly, J. 1993. Impact of the ring-billed gull (*Larus delawarensis*) on the microbiological quality of recreational water. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59: 1228-1230.
- Margrét Hallsdóttir. 1988. Bráðabirgðaskýrsla um frjógreiningu borkjarna úr eðju Tjarnarinnar í Reykjavík. Raunvísindastofnun Háskólans. Fjölrit. 15 bls.
- Margrét Hallsdóttir. 1992. Saga lands og gróðurs. 1. kafli, bls. 11-17. Í: Tjörnin, saga og lífríki (ritstj. Ólafur Karl Nielsen). Reykjavíkurborg, Reykjavík.
- Mirosław-Grabowska, J. og Niska, M. 2005. Isotopic and Cladocera records of climate changes of Early Eemian at Besiekierz (Central Poland). *Geol. Quart.*, 49 (1): 67-74.
- Moss, B., Madgwick, J. og Phillips, G. 1997. A guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes. W.W. Hawes, U.K. 179 bls.
- NIVA. 2004. Anvendelse og prinsipp for analysemetodene. Informasjonsdokument til eksternt bruk. NIVA-dokument nr. Y 12. Norsk institutt for vannforskning. Utgave nr. 6. Dato: 2004-09-30. 99 bls.
- Olson, M.H., Hage, M.M., Binkley, M.D. og Binder, J.R. 2005. Impact of migratory snow geese on nitrogen and phosphorus dynamics in a freshwater reservoir. *Freshwater Ecology*, 50: 882-890.
- Ólafur Karl Nielsen. 1991. Dýralíf í botni Tjarnarinnar. Verkefni unnið fyrir Lífríkisnefnd Tjarnarinnar. Fjölrit. 27 bls.
- Ólafur Karl Nielsen. 1992a. Vistkerfið. 5. kafli, bls. 75-91. Í: Tjörnin, saga og lífríki (ritstj. Ólafur Karl Nielsen). Reykjavíkurborg, Reykjavík.
- Ólafur Karl Nielsen 1992b. Tjarnarfuglar. 6. kafli, bls. 93-153. Í: Tjörnin, saga og lífríki (ritstj. Ólafur Karl Nielsen). Reykjavíkurborg, Reykjavík.

Ólafur Karl Nielsen og Jóhann Óli Hilmarsson. 1988. Stofnstærð, varphættir og atferli fugla á Tjörninni 1988. Lífriksisnefnd Tjarnarinnar. Fjölrit. 56 bls.

Ólafur K. Nielsen og Jóhann Óli Hilmarsson. 2007. Fuglalíf Tjarnarinnar árið 2007. Fjölrit. 16 bls.

Ólafur Karl Nielsen, Erpur Snær Hansen og Jóhann Óli Hilmarsson. 1991. Rykmý (Chironomidae) við Tjörnina í Reykjavík. Verkefni unnið fyrir Lífriksisnefnd Tjarnarinnar. Fjölrit. 37 bls.

Reykjavíkurborg. 2007. Verðkönnun nr. 10967. Reykjavíkurborg. Þjónustu- og rekstrarsvið, Innkaupa- og rekstrarskrifstofa. R07050003. 3. maí 2007.

Ríkharður F. Friðriksson og Þorsteinn Narfason. 2005. Skólpmengun við strandlengju Mosfellsbæjar og Seltjarnarness. 2. útgáfa. Heilbrigðiseftirlit Kjósarsvæðis. 23 bls.

Sigurður Pétursson. 1948. Íslenskir vatnaþörungar. *Náttúrufræðingurinn*, 18: 1-8.

Smol, J.P. 2008. Pollution of lakes and rivers. A paleoenvironmental perspective. Blackwell Publishing. 383 bls.

Stjórnartíðindi EB. 2000. Tilskipun Evrópuþingsins og ráðsins 2000/60/EB frá 23. október 2000 um aðgerðarramma Bandalagsins um stefnu í vatnsmálum. 72 bls.

Svava S. Steinarsdóttir. 2008. Álagsgreining á vatnasvæði Tjarnarinnar í Reykjavík. Umhverfis- og samgöngusvið Reykjavíkurborgar. 5 bls.

Tryggvi Þórðarson. 2003. Mengunarstaða Elliðavatns 2001-2002. Háskólasetrið í Hveragerði. 60 bls.

Tryggvi Þórðarson. 2006. Mengunarflokkun á Urriðakotsvatni og ofanverðum Stórákrokslæk. Háskólasetrið í Hveragerði. 59 bls.

Tryggvi Þórðarson. 2008. Mengunarflokkun á Rauðavatni og Reynisvatni. Háskólasetrið í Hveragerði. 57 bls.

Umhverfisstofnun. 2004. Handbók um aðgerðaráætlanir og flokkun vatns. Skýrsla Umhverfisstofnunar. Fjölrit nr. 2004:32. 27 bls.

Vatnaskil. 1987. Grunnvatnsástand í miðborg Reykjavíkur. Verkfræðistofan Vatnaskil. Fjölrit nr. 87.14. 16 bls.

Vatnaskil. 1989. Mælingar á rennsli og grunnvatnshæð á vatnasviði Reykjavíkurtjarnar. Verkfræðistofan Vatnaskil. Fjölrit nr. 89.10. 17 bls.

Vatnaskil. 1991. Sjávarmengun frá skólpútrásun. Unnið fyrir Gatnamálastjóra Reykjavíkur. Verkfræðistofan Vatnaskil, desember 1991.

WHO. 2006. Guidelines for Drinking-water Quality. First addendum to third edition. Volume 1. Recommendations. Alþjóða heilbrigðismálastofnunin, World Health Organization (WHO). Genf, Sviss. Rafræn útgáfa fyrir veraldarvefinn. 515 bls.

8. Viðaukar

Viðauki I. Niðurstöður mælinga á efna- og eðlisþáttum í mengunarflokkun á Reykjavíkurtjörn. GPS-hnit á stöðvum: Vatnsmýrartjörn nr. 1 (N64.13964 W21,94326), Suðurtjörn nr. 2 (N64.14205 W21,94228) og Norðurtjörn nr. 3 (N64.14508 W21,94044). Efnamælingar voru gerðar af Norsk institut for vannforskning (NIVA) í Ósló, Noregi.

Stöð nr.	Dags.	T °C	Rafl.		pH	Tot-P µg/l	PO4-P µg/l	Tot-N µg/l	NH4-N µg/l	NH3 µg/l	TOC mg/l	Blaðgr µg/l	Cu µg/l	Zn µg/l	Cd µg/l	Pb µg/l	Cr µg/l	Ni µg/l	MS µg/l	As µg/l	MS µg/l
			µS/cm	µS/cm																	
1	31.5.2007	14,8	492	611	9,2	58	27	695	49	50	6,4	22,3	1,96	2,58	0,010	0,286	<0,1	<1	<0,05	<1	<0,05
1	29.6.2007	17,3	542	636	9,4	72	35	800	96	96	6,3	32,7	2,09	2,18	0,009	0,318	<0,1	<1	<0,05	<1	<0,05
1	31.7.2007	15,1	491	605	9,9	93	55	885	92	91	7,5	16,4	4,68	7,07	0,010	0,865	0,45*	<1	<0,05	<1	<0,05
1	29.8.2007	13,0	407	528	10,9	105	58	610	49	46	5,9	5,6	7,18	10,50	0,020	1,290	1,4*	<1	<0,05	<1	<0,05
1	25.9.2007	4,1		592	8,2	63	40	1125	332	362	5,5	36,5	3,08	4,48	0,010	0,517	<0,1	<1	<0,05	<1	<0,05
1	31.10.2007	3,1	514	884	8,0	40	23	1400	424	468	5,9	53,8	2,65	4,05	0,006	0,287	<0,1	<1	<0,05	<1	<0,05
2	31.5.2007	14,0	475	602	9,1	84	33	695	18	18	7,9	22,2	2,52	3,24	0,010	0,857	<0,1	<1	<0,05	<1	<0,05
2	29.6.2007	16,9	585	692	8,9	87	36	955	38	39	9,4	30,2	2,16	2,63	0,009	1,190	<0,1	<1	<0,05	<1	<0,05
2	31.7.2007	14,6	468	584	8,5	191	118	1260	198	209	12,6	59,0	1,77	2,10	0,009	0,987	<0,1	1	<0,05	<1	<0,05
2	29.8.2007	12,5	386	508	8,8	86	31	725	20	21	8	17,2	1,57	2,03	0,006	0,818	<0,1	<1	<0,05	<1	<0,05
2	25.9.2007	3,4		686	7,9	74	34	1220	553	616	5,5	14,9	2,87	4,99	0,020	2,020	<0,1	<1	<0,05	<1	<0,05
2	31.10.2007	2,3	336	593	8,1	66	39	1400	580	640	5,6	18,5	4,12	7,72	0,020	2,150	<0,1	<1	<0,05	<1	<0,05
3	31.5.2007	15,4	535	655	8,6	87	37	810	19	20	8,5	14,4	2,11	6,49	0,009	1,240	<0,1	<1	<0,05	<1	<0,05
3	29.6.2007	20,6	586	639	8,7	83	38	1155	46	48	9,8	10,4	1,86	4,44	0,010	1,410	<0,1	<1	<0,05	<1	<0,05
3	31.7.2007	16,8	389	461	9,0	120	57	1180	65	67	12,7	26,8	1,97	3,47	0,010	2,430	<0,1	2	<0,05	<1	<0,05
3	29.8.2007	13,4	316	405	8,7	181	74	1075	40	42	12,8	15,8	1,69	1,60	0,007	0,941	<0,1	<1	<0,05	<1	<0,05
3	25.9.2007	9,8		617	8,2	124	54	1030	129	140	7,3	6,5	2,96	10,20	0,023	4,050	<0,1	<1	<0,05	<1	<0,05
3	31.10.2007	4,8	371	604	7,8	76	38	1425	594	664	5,6	8,2	3,70	8,68	0,022	4,190	<0,1	<1	<0,05	<1	<0,05

Viðauki II. Niðurstóður mælinga á örverum í mengunarflokkun á Reykjavíkurtjörn. Sýnataka var framkvæmd af Heilbrigðiseftirliti Umhverfissviðs Reykjavíkurborgar og örverumælingar gerðar hjá Matís ohf. Stöð 1 er Vatnsmýrartjörn, stöð 2 er Suðurtjörn og stöð 3 er norðurtjörn.

Dags.	Saurkólígerlar fjöldi/100 ml			Enterókokkar fjöldi/100 ml			Gerlafjöldi v. 22° C/ml			Gerlafjöldi v. 37° C/ml		
	Stöð 1	Stöð 2	Stöð 3	Stöð 1	Stöð 2	Stöð 3	Stöð 1	Stöð 2	Stöð 3	Stöð 1	Stöð 2	Stöð 3
31.5.2007	3.300	85	2.600	30	8	180	37.000	140	490	12.000	47	140
29.6.2007	500	69	560	18	11	76	38.000	3.800	380	4.700	290	120
31.7.2007	2.300	280	95	150	38	130	31.000	6.800	190	5.000	870	160*
29.8.2007	3.200	41	38	720	31	340	23.000	12.000	780	5.700	210	33
25.9.2007	9.500	320	19	310	14	23	11.000	9.500	380	3.600	160	3400
31.10.2007	6.400	1.800	850	410	140	180	11.000	16.000	3.300	2.200	690	250
30.11.2007	500	960	700	1.400	470	560	18.000	11.000	3.300	2.300	770	1500
28.12.2007	23.000	410	4.500	1.100	21	830	10.000	3.100	4.100	8.000	92	1300
30.1.2008	29.000	1.400	1.800	800	160	220	720	640	480	470	250	350
28.2.2008	26.000	220	1.900	140	9	250	1.500	590	1.500	670	75	420
31.3.2008	1.300	96	350	26	21	360	11.000	18.000	8.900	1.200	450	760
29.4.2008	1.100	270	2.200	90	37	100	9.800	4.300	1.400	4.900	160	170

* Fyrir mistök var mældur gerlafjöldi við 30° C í stað 37° C

Viðauki III. Mælingar 3. mars 2008 á rennsli og eðlisþáttum á völdum stöðum á vatnasviði Reykjavíkurtjarnar.

Stöð	Dags. Tími	Dýpi (cm)	Breidd (cm)	Rennsli (m/s)	Rennsli (l/s)	T (°C)	Leiðni $\mu\text{S/cm}$	Leiðni v. 25° C $\mu\text{S/cm}$
Ræsi fyrir framan Njarðargötu (flugvallarmegin)	3.3.2008 15:35	17	65	0,288	32,5	7,77	13,0	893
Vatnsmýrartjörn (sunnan v. Hringbraut).	3.3.2008 16:00	26	140	0,126	45,7	7,84	5,4	423
Við ræsismunna milli Suður- og Þorfinnsstjarnar.	3.3.2008 15:00	54	153	0,058	47,9	7,88	3,6	470
Útfall við Iðnó.	3.3.2008 15:15	53	760	0,013	52,0	7,94	2,8	413
Ræsi v. Óskju	3.3.2008					7,18	5,7	421
								667