

Flokkun vatna á Kjósarsvæði

Hafravatn



Júlí 2004



Háskólaþétturinn í Hveragerði

Framkvæmdaaðili Heilbrigðiseftirlit Kjósarsvæðis	Fulltrúar Þorsteinn Narfason	Tölvupóstfang thn@mos.is
Verktaki Háskólastríð í Hveragerði	Fulltrúi Tryggvi Þórðarson	Tölvupóstfang tryggvi@nedrias.is
Útgefandi Háskólastríð í Hveragerði	Höfundur Tryggvi Þórðarson	Fjármögnun Heilbrigðiseftirlit Kjósarsvæðis
Ár 2004	Blaðsíðufjöldi 31	
Íslenskur titill Flokkun vatna á Kjósarsvæði, Hafravatn.	English title Classification of lakes and rivers in the district of Kjos, Lake Hafravatn.	
Útdráttur Náttúrulegt og raunverulegt ástand Hafravatns er metið og vatnið flokkað í mengunarflokka í samræmi við reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns. Ennfremur eru gerðar tillögur um langtíamarkmið fyrir vatnið og vöktun þess. Yfirlit er gefið á síðu 5.	Summary The pristine and current state of Lake Hafravatn is assessed and the lake is classified according to the degree of human impact. Proposals are made for the long- term water quality goals and monitoring. An overview (in Icelandic) is presented on the following page.	
Efnisorð Hafravatn, efnasamsetning vatns, vatnsmengun, mengunarflokkun, vatnsgæði.	Subject words Lake Hafravatn, water chemistry, water pollution, classification of pollution, water quality.	

Efnisyfirlit

Inngangur.....	6
Verkefni.....	6
Mengunarflokkun vatna.....	6
Forsendur mengunarflokkunar.....	6
Aðferðir.....	8
Flokkunarþættir.....	8
Val sýnatökustaða.....	8
Sýnataka.....	8
Meðhöndlun, geymsla og flutningur sýna.....	9
Mælingar og efnagreiningar.....	9
Næmni efnagreininga og skekkjumörk.....	10
Meðferð gagna og túlkun.....	10
Rannsóknþættir.....	11
Næringarefni.....	11
Lífrænt efni.....	12
Blaðgræna α.....	13
Örverumengun.....	13
Málmar.....	13
Aðrir þættir.....	14
Lýsing á Hafravatni.....	14
Almennt.....	14
Mannleg umsvif og mengunarálag.....	14
Niðurstöður og umfjöllun um niðurstöður.....	14
Flokkun.....	16
Náttúrulegt ástand.....	16
Mengunarflokkun.....	20
Tillaga að langtímamarkmiðum.....	21
Tillaga að vöktun.....	22
Sérstök verndun, viðkvæm svæði og aðgerðaráætlanir.....	24
Heimildir.....	24
Viðauki.....	27

Töflulisti

Tafla 1.	Mengunarflokkar vatns.....	6
Tafla 2.	Umhverfismarkaflokkar.....	7
Tafla 3.	Efnagreiningaraðferðir og efnagreiningartæki.....	9
Tafla 4.	Shapiro-Wilk W-prófun á normaldreifingu ($\alpha=0,01$), frávikshlutföll og miðsæknigildi.....	11
Tafla 5.	Mat á raunverulegu og náttúrulegu ástandi.....	20
Tafla 6.	Mengunarflokkun Hafravatns.....	21
Tafla 7.	Langtímamarkmið fyrir einstaka flokkunarþætti.....	22
Tafla 8.	Tillaga að vöktun.....	23

Samantekt fyrir Hafravatn

Mat á ástandi, mengunarflokkun og tillögur um markmið og vöktun fyrir Hafravatn. Fyrstu tveir dálkarnir sýna meðaltöl mældra gilda og umhverfismarkaflokka þeirra (rautt letur). Næstu tveir dálkarnir sýna áætluð náttúruleg gildi og umhverfismarkaflokka þeirra (blátt letur). Fjórði dálkurinn sýnir flokkun árinna eftir mengunarástandi (frávik frá náttúrulegu ástandi). Fjórir næstu sýna tillögur að langtímamarkmiðum, fyrsti það markmið sem lagt er til, næsti þau umhverfismörk sem árvatnið þarf þá að falla undir, sá þriðju þann efnastyrk sem árvatnið þarf að uppfylla og sá fjórði hversu langur vegur er frá því að markmiðin séu uppfyllt. Þrír þeir síðustu eru tillögur um vöktun vatnsins, sá fyrsti þeirra sýnir æskilega tíðni, næsti hvenær næsta vöktun er lögð til og í þeim síðasta eru nánari útskýringar á vöktunartillögnum.

	Raunverulegt ástand		Náttúrulegt ástand		Mengunarflokkun	Tillaga að langtímamarkmiðum				Tillaga að vöktun		
	Meðaltal mældra gilda	Umhverfismarkaflokkur	Áætluð náttúruleg gildi	Umhverfismarkaflokkur		Mengunarflokkur	Umhverfismörk	Styrkur	Athugasemdir	Æskileg tíðni (ár)	Næsta vöktun	Skýringar
Saurkólí í 100 ml	1,4	I	1	I	A	A	I	<14	Uppfyllt	4	2008	Tillögurnar miðast við að uppbygging þéttbýlis í einhverri mynd muni eiga sér stað á vatnasviði Hafravats næstu áratugina. Jafnframt muni ýmis mannleg umsvif aukast. Sú tíðni sem lögð er til fyrir vöktun málma byggist á þeirri staðreynd að styrkur málma reyndist almennt lágur og ekki er útlit fyrir mikla aukningu málmengunar í bráð. Málmengun mun þó aukast eftir því sem hlutfall þéttra flata á vatnasviðinu eykst en þéttir fletir fylgja aðallega þéttbýli. Aðrir þættir þurfa tíðari vöktun enda mengunarpúpprettur þeirra þegar til staðar á vatnasviðinu, þ.e. sumarhúsa-byggð og landbúnaðarstarfsemi. Tíðustu vöktunina þarf fyrir þá þætti sem ekki flokkast í besta mengunarflokkinn. Einhverra aðgerða kann að vera þörf vegna þeirra og gert er ráð fyrir að fylgst verði frekar títt með þeim á meðan verið er að ná þeim niður. Flokkun á grundvelli heildarstyrks lífrænna kolefna (TOC) kom verst út. Þar sem saurbakteriur eru oft frá sömu mengunarpúpprettu og næringarefni er talið skynsamlegt að vakta þessi efni saman. Sama er að segja um blaðgrænu α en styrkur hennar ræðst að verulegu leyti af styrk næringarefna. Tillögurnar fyrir þessa þætti miðast því við þann þátt sem þarf tíðasta vöktun. Tíðni vöktunar þarf þó jafnan að taka mið af uppbyggingarhraðanum og vera endurskoðuð eftir hverja nýja úttekt. Tíðnin sem lögð er til er samræmd þannig að sýnataka mismunandi þátta fellur saman á ár.
t-P (mg/l)	6,56	I	7	I	A	A	I	<10	Uppfyllt	4	2008	
t-N (mg/l)	308	II	180	I	B	A	I	<300	Úr 308	4	2008	
NH ₄ -N (mg/l)	5,8	I	6	I	A	A	I	<10	Uppfyllt	4	2008	
Blaðgræna α (µg/l)	2,0*	I	1,8	I	A	A	I	<2	Naumlega uppfyllt	4	2008	
TOC (mg/l)	4,91	III	1,4	I	C	A	I	<1,5	úr 4,91	4	2008	
Cu (µg/l)	0,287	I	0,2	I	A	A	I	≤0,5	Uppfyllt	20	2024	
Zn (µg/l)	0,72	I	0,7	I	A	A	I	≤5	Uppfyllt	20	2024	
Cd (µg/l)	0,0110	II	0,011	II	A	A	II	<0,1	Uppfyllt	20	2024	
Pb (µg/l)	0,053	I	0,03	I	A	A	I	≤0,2	Uppfyllt	20	2024	
Cr (µg/l)	0,362	II	0,4	II	A	A	II	<5	Uppfyllt	20	2024	
Ni (µg/l)	0,155	I	0,2	I	A	A	I	≤0,7	Uppfyllt	20	2024	
As (µg/l)	0,0880	I	0,05	I	A	A	I	≤0,4	Uppfyllt	20	2024	

Inngangur

Verkefni

Verkefni það sem hér er kynnt er samstarfsverkefni Heilbrigðiseftirlits Kjósarsvæðis og Háskólasetursins í Hveragerði. Verkefnið er hluti stærra verkefnis þessara aðila sem styrkt er af Mosfellsbæ, Kjósarhreppi, Heilbrigðiseftirliti Reykjavíkur, veiðifélagi Leirvogsár og Veiðifélagi Laxár í Kjós og felst í mengunarflokkun helstu stöðu- og fallvatna á Kjósarsvæði á árunum 2001 - 2004. Markmiðið með verkefninu er að meta náttúrulegt og núverandi ástand vatnanna, flokka þau í samræmi við flokkunarkerfi reglugerðar nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns og gera tillögur um langtímamarkmið fyrir ástand þeirra svo og um umfang og tíðni áframhaldandi vöktunar. Verkefnið er í þremur áföngum og í fyrsta áfanga voru teknar fyrir árnar Úlfarsá, Varmá, Kaldakvísl, Leirvogsá, Laxá í Kjós og Bugða, í öðrum áfanga árnar Kiðafellsá, Fossá, Brynjudalsá og Botnsá og í þriðja og síðasta áfanga vötnin Hafravatn, Leirvogsvatn, Meðalfellsvatn og Hvalvatn. Gefin er út sérstök skýrsla um hverja á og stöðuvatn.

Mengunarflokkun vatna

Í reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns eru ákvæði sem gera heilbrigðisnefndum að flokka vatn (grunnvatn og yfirborðsvatn¹) og setja langtímamarkmið í því skyni að viðhalda náttúrulegu ástandi þess. Samkvæmt bráðabirgðarákvæðum reglugerðarinnar átti flokkun þessari að vera lokið fyrir 2. desember 2003. Í reglugerðinni er enn fremur kveðið á um að langtímamarkmið fyrir vötn skuli koma fram á skipulagsuppráttum svæðis- og aðalskipulags og að sýna skuli flokkun þeirra á skýringaruppráttum við gerð deiliskipulags.

Mengunarflokkar reglugerðarinnar eru sýndir í töflu 1.

Tafla 1. Mengunarflokkar vatns.

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

Forsendur mengunarflokkunar

Mengunarflokkunina skal gera með hliðsjón af umhverfismörkum fyrir örverumengun, málma, næringarefni og lífræn efni í vatni, sbr. gr. 8.1 og fylgiskjal með reglugerð nr. 796/1999 og byggja á mati á því hversu miklum áhrifum vatnið hefur orðið fyrir af völdum mannglegrar starfsemi. Mengunarflokkunin byggir á því hve mikið tiltekið vatn vikor frá náttúrulegu ástandi þess (sjá gr. 10.1 og 10.2) eða skilgreindum almennum náttúrulegum bakgrunnsgildum (sjá gr. 10.1).

¹ Yfirborðsvatn = Kyrrstætt eða rennandi vatn á yfirborði jarðar, straumvötn, stöðuvötn og jöklar, svo og strandsjór.

Þótt nota megi almennu bakgrunnsgildin er best að meta náttúruleg gildi fyrir hvert vatn sérstaklega, séu til upplýsingar að styðjast við. Venjulega liggja mælingar ekki fyrir frá því áður en mannlegra áhrifa tók að gæta en hinsvegar eru allmörg vötn á landinu enn ósnortin eða lítt snortin og því samanburðarhæf að teknu tilliti til gerðar og svæðisbundinna einkenna. Rannsóknir sem gerðar eru sérstaklega til að mengunarflokka vötn sem með sæmilegri vissu geta talist ósnortin eða nánast ósnortin munu veita mikilvæga vitneskju um náttúruleg bakgrunnsgildi. Sömuleiðis má stundum leita upplýsinga um efnafræðieiginleika ósnortinna vatna í niðurstöðum fyrri rannsókna á íslenskum vötnum. Einnig er hægt að meta ástand stöðuvatna frá fyrri tíð með rannsóknum á setkjörnum úr botni þeirra. Að síðustu má nefna rannsóknir á náttúrulegu afrennsli flokkunarefnanna af vatnasviðinu en ef umfang þess er þekkt má með útreikningum meta líklegan styrk flokkunarefnanna í viðkomandi vötnum áður en mannlegra áhrifa tók að gæta. Í þeim tilvikum sem beinar upplýsingar um sambærileg ósnortin vötn skortir má bæði styðjast við þá vitneskju sem til er um mannlegar athafnir á vatnsviði viðkomandi vatns og gera samanburð við önnur sambærileg vötn þótt ekki séu ósnortin.

Ef upplýsingar um náttúrulegt ástand tiltekins vatns eru of veigalitlar til að styðjast við er í nauð hægt að styðjast við almennu bakgrunnsgildin, þ.e. lægstu umhverfismörkin fyrir hvern flokkunarþátt. Líta verður á flokkun sem eingöngu byggir á bakgrunnsgildunum sem bráðabirgðaflokkun vegna skekkju sem að öllum líkindum verður til staðar. Sú skekkja stafar af því að bakgrunnsgildin lýsa aðeins einskonar meðaltals náttúrulegu ástandi vatna á Íslandi sem líklega er nær aldrei rétt fyrir tiltekið landsvæði, m.a. vegna mismunandi gróðurfars og jarðfræði. Óvíst er hvort flokkun gerð á þeim grundvelli verður nothæf til markmiðasetningar og gerðar aðgerðaráætlunar.

Sá rammi sem settur hefur verið upp í reglugerðinni til að fást við flokkunina felst í umhverfismörkunum. Þau eru notuð til að setja fram bæði náttúrulegt og raunverulegt (mælt) ástand. Umhverfismarkaflokkar eru sýndir í töflu 2. Orðalagið er tekið úr reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

Tafla 2. Umhverfismarkaflokkar.

Umhverfismörk	Útskýringar		
	Saurmengun	Málmur í vatni	Næringarefni/lífræn efni í stöðuvötnum og ám
I	Mjög lítil eða engin hætta á saurmengun.	Mjög lítil eða engin hætta á áhrifum.	Næringarfátækt (oligotrophy).
II	Lítill saurmengun.	Lítill hætta á áhrifum.	Lágt næringarefnagildi (oligo-/mesotrophy).
III	Nokkur saurmengun.	Áhrifa að vænta á viðkvæmt lífríki.	Næringarefnaríkt (meso-/eutrophy).
IV	Mikil saurmengun.	Áhrifa að vænta.	Næringarefnaauðugt (eutrophy).
V	Ófullnægjandi ástands vatns/pynningarsvæði.	Ávallt ófullnægjandi ástand vatns fyrir lífríki/pynningarsvæði.	Ofauðugt (hypertrophy).

Íslenska flokkunarkerfið tekur talsvert mið af svipuðum flokkunarkerfum í Noregi og Svíþjóð. Er komin allnokkur reynsla á flokkunarkerfin í þessum löndum og hefur norska kerfið verið endurbætt frá því það var tekið upp 1992. Að baki þessum kerfum liggja talsverðar rannsóknir og uppsöfnuð þekking á vötnum í þessum löndum, mun meiri en er til staðar hér á landi. Hér er norska og sænska aðferðarfræðin m.a. höfð til

hliðsjónar í þeim tilvikum sem efnisatriði vantar í íslensku reglugerðina eða ákvæði hennar eru ekki ótvíræð.

Aðferðir

Flokkunarþættir

Eftirfarandi efnaþættir voru rannsakaðir og notaðir við mengunarflokkunina: Saurkólí, heildarfosfór (t-P), heildarköfnunarefni (t-N), ammóníak ($\text{NH}_4\text{-N}$), heildarstyrkur lífræns kolefnis (TOC), blaðgræna α og heildarstyrkur málmanna kopars (Cu), zinks (Zn), kadmíums (Cd), blýs (Pb), króms (Cr), nikkels (Ni) og arsens (As). Auk þess var hitastig, pH, súrefnismettun, sjóndýpi, grugg og leiðni mæld.

Val sýnatökustaða

Aðalsýnatökustaður var valinn sem næst dýpsta hluta vatnsins (mynd 1). Sýnataka utan vaxtartímans var hinsvegar gerð frá landi nálægt útrennslinu úr vatninu. Í eitt skipti (30. desember 2003) voru sýnin þó tekin neðan við brúna sem er yfir Úlfarsána rétt neðan við útrennslið.



Mynd 1. Sýnatökustaðurinn í Hafravatni (© Landmælingar Íslands). Staðarákvörðun hans er N64°07,838', V21°39,493'.

Sýnataka

Sýni voru yfirleitt tekin og mælingar gerðar í yfirborði (bakteríusýni) eða 0,5 m dýpi (efna- og blaðgrænusýni). Sýni úr yfirborði voru tekin rétt undir yfirborðinu (bakteríusýni) beint í sýnatökuflokkur. Sýni af 0,5 m dýpi voru tekin með lódréttum Beta sýnataka. Þar sem sýnatakinn er 50 cm langur var sýnið blanda úr 0,25 – 0,75 m dýpi. Leiðni, hitastig og pH var mælt í öll skiptin en grugg og sjóndýpi aðeins í sex skipti og súrefnismettun í fimm. Dýptarsnið súrefnismettunar og hitatigs var mælt í 7 – 9 punktum. Sýni til greiningar á blaðgrænu α voru síuð á staðnum (MFS GF75). Sýni til efnagreininga voru tekin í tvær 50 ml polypropylen flöskur. Önnur flaskan

(málmgreiningar) var sýruþvegin fyrir sýnatökuna og í hana var bætt 100 µl af saltþéturssýru (69,5% Trace Select) strax að henni lokinni (pH<2). Bakteríusýni voru tekin í gerilsneiddar plastflöskur. Áður en sýni til efnagreininga voru tekin voru flöskurnar skolaðar þrisvar upp úr vatninu en bakteríusýni voru tekin í óskolaðar flöskur. Sýni til efnagreininga voru ekki síuð. Alls voru tekin 6 sýni til efnagreininga á 6 mánaða tímabili en 11 sýni til bakteríugreininga á rúmlega 12 mánaða tímabili. Sýnataka stóð frá apríl 2003 til júní 2004. Sýnatökudagar voru ekki fyrirfram ákveðnir heldur valdir jafnóðum og reynt að haga því þannig að sem næst einn mánuður væri milli sýnatökuskipta. Sýnatöku og mælingar önnuðust ýmist Þorsteinn Narfason eða Árni Davíðsson og auk þess sem Tryggvi Þórðarsonar og Sveinn Aðalsteinsson tóku þátt í sýnatöku á tímabilinu apríl – október 2003.

Meðhöndlun, geymsla og flutningur sýna

Sýnin voru geymd kæld þar til hægt var að frysta þau (efnasýni og blaðgræusýni) eða greina (bakteríusýni). Strax að sýnatöku lokinni var sýnum til bakteríugreininga komið til efnarannsóknastofu Umhverfisstofnunar og efnasýnum í frysti. Bakteríusýni voru tekin til ræktunar innan 24 klst. Styrkur blaðgrænu α og grugg var greint hjá Háskólasetrinu í Hveragerði, blaðgræna oftast innan 2 – 3 daga en grugg samdægurs. Aðrar efnagreiningar fóru fram á rannsóknastofu Skógvistfræðistofnunar Landbúnaðarháskólans í Umeå í Svíþjóð. Sýnin voru send þangað með hraðsendingarþjónustu og í þurrís sem hélt þeim frosnum á leiðinni. Geymslutími í frysti frá sýnatöku að efnagreiningu var allt að 8 mánuðir. Sýnin voru tekin úr frysti 24 tímum fyrir greiningu.

Mælingar og efnagreiningar

Staðarákvörðun (GPS) var gerð með Garmin Etrex Summit staðarákvörðunartæki með WGS 84 viðmiðun. Lofthiti var mældur með einföldum stafrænum mæli (Precision Multi-Thermometer). Yfir vaxtartímamann var hitastig vatnsins mælt með hitastigsmæli súrefnistækisins en utan hans með kvikasílfurasmæli. Leiðni og pH var mælt á staðnum. Þann 17. júlí 2003 og utan vaxtartímamans var leiðni mæld með Hanna Hi 9033 og pH með Scott pH G 837 handmælum en yfir vaxtartímamann voru báðir þessir þættir mældir með Oakton pH/CON 300 handmæli. Stilling pH- og leiðnimæla var athuguð fyrir hvert sýnatökuskipti og lagfærð ef á þurfti að halda. Sjálfvirk leiðrétting mælanna miðast við 25°C.

Gerð er grein fyrir aðferðum og tækjum sem notuð voru til efnagreininga á rannsóknastofum í töflu 3.

Tafla 3. Efnagreiningaraðferðir og efnagreiningartæki.

Mælipáttur	Efnagreiningaraðferð	Efnagreiningartæki
Ammóníak (NH ₄ -N)	FIA	Tecator 5012, Foss Tecator, Sollentuna, Sverige
Fosfat (PO ₄ -P)	FIA	Tecator 5012, Foss Tecator, Sollentuna, Sverige
t-N og t-P	Oxun með kalíumperoxodisulfati. FIA	Tecator 5012, Foss Tecator, Sollentuna, Sverige
Katjónir (málmur)	ICP/MS-DRC	Elan 6100, PerkinElmer, Norwalk, Connecticut, USA
Lífrænt kolefni (TOC)		TOC-5000, Shimadzu, Kyoto, Japan
Blaðgræna α	Chla equivalent aðferð skv. H.L. Golterman o.fl. 1978	AquaMate. Thermo Electron Co.
Grugg	Nephelometric (ISO 7027/DIN EN 27027)	WTW Turb 350 IR

Næmni efnagreininga og skekkjumörk

Skekkjumörk efnagreininganna eru gefin sem 95% öryggismörk í samræmi við leiðbeiningar Alþjóðlegu staðlasamtakanna (ISO) (GUM 1995). Næmni ákvarðast út frá skekkjumörkum þannig að ef niðurstaða efnagreiningar er lægri en skekkjumörkin þá er talan framsett sem <skekkjumörkin. Skekkjumörk og næmni geta því verið mismunandi frá einni mælingu sama efnis til annarrar jafnframt því að þau hækka jafnan með hækkandi mæligildi.

Meðferð gagna og túlkun

Úrtök þar sem koma fyrir einstök gildi sem eru margfalt hærri en meðaltal annarra gilda sama efnis eru líklegri til að vera úr lognormaldreifðu þýði en normaldreifðu. Ástæða slíkrar dreifingar í ám geta m.a. verið vatnavextir þegar einstök sýni eru tekin en við þannig aðstæður er meira um gruggagnir og hærri gildi geta fengist en venjulega. Þetta á t.d. við málma. Ef notað er meðaltal til að lýsa miðsækni fyrir úrtak slíkra gilda vega einstök fráviksgildi of mikið og leiða til villandi niðurstöðu og oft lakari flokkunar en efni standa til. Sérstaklega á þetta við þegar tiltölulega fá sýni eru lögð til grundvallar flokkuninni eins og hér er gert. Aftur á móti má nota geómetriskt meðaltal þegar úrtakið bendir til að það komi úr lognormaldreifðu þýði. Notkun þess dregur úr skekkjum af þessu tagi en geómetriskt meðaltal er lægra en hefðbundið meðaltal, sérstaklega þegar einstaka mjög há gildi koma fyrir. Í fullkomlega normaldreifðu þýði er meðaltal það sama og miðgildi og í fullkomlega lognormaldreifðu þýði eru geómetriskt meðaltal jafnt og miðgildi.

Gerð var Shapiro & Wilk W-tölfræðiprófun á talnagildum þeirra niðurstaðna sem notuð voru til flokkunarinnar til að meta hvort frekar væri um normal- eða lognormaldreifð þýði að ræða. Gæfi prófunin frekar til kynna lognormaldreifingu ($\alpha=0,01$) og frávikshlutfall² viðkomandi gilda var 1,2 eða meira (sjá R.O. Gilbert 1987) var miðsæknin ákvörðuð út frá geómetrísku meðaltali³. Væri frávikshlutfallið hinsvegar lægra eða prófunin benti frekar til normaldreifingar var meðaltal notað. Á þessu er þó ein undantekning. Styrkur saurkólíabaktería í yfirborðsvatni er jafnan lognormal dreifður og hér er því aðeins notast við geómetriskt meðaltal fyrir saurkólíabakteríur óháð útkomu prófunarinnar. Þessi sérregla fyrir saurkólíabakteríur breytti meðferð saurkólígagna fyrir Hafravatn þar sem almenna reglan hefði leitt til notkunar á meðaltali. Í reynd skiptir það þó engu máli því meðaltalið var svipað eða 3,1 baktería í 100 ml en geómetrísku meðaltalið var 1,4 bakteríur í 100 ml. Í öðrum tilvikum en ofangreindum var notast við meðaltal gildanna, m.a. þegar ekki var hægt að ákvarða líklega dreifingu vegna hás hlutfalls gilda undir greiningarmörkum (ammóníak, kadmíum og arsen) og þar sem tölfræðiprófunin hefði ekki gefið marktæka niðurstöðu ($\alpha=0,01$) en því var reyndar ekki til að dreifa fyrir Hafravatn.

Í töflu 4 er gefið yfirlit yfir niðurstöður W-prófunar Shapiro & Wilk, frávikshlutfalla og þeirra miðsæknigilda⁴ sem notuð voru.

² Frávikshlutfall (e: coefficient of variation) = Staðalfrávik deilt með meðaltali.

³ Geómetriskt meðaltal = $10^{(\sum \log x)/n}$ eða $10^{(\sum \log(x+1))/n} - 1$ ef núllgildi koma fyrir. Lítið x er mæligildi og n er fjöldi mæligilda.

⁴ Miðsæknigildi = Gildi sem best lýsir miðsækni í tilteknu þýði. Hægt er m.a. að áætla miðsæknigildi með meðaltali, geómetrísku meðaltali, miðgildi eða tíðasta gildi.

Tafla 4. Shapiro-Wilk W-prófun á normaldreifingu ($\alpha=0,01$), frávikshlutföll og miðsæknigildi.

Eyður merkja að prófun var ekki reynd.

	Besta samsvörun	W	Frávikshlutfall	Miðsæknigildi sem notað er
Saurkólí í 100 ml	lognormal dreifing	0,8486	1,05	Geómetríkt meðaltal
t-P ($\mu\text{g/l}$)	lognormal dreifing	0,8928	0,64	Meðaltal
t-N ($\mu\text{g/l}$)	lognormal dreifing	0,7746	1,45	Geómetríkt meðaltal
NH ₄ -N ($\mu\text{g/l}$)				Meðaltal
Blaðgræna α	normal dreifing	0,8560	0,38	Meðaltal
TOC (mg/l)	normal dreifing	0,9486	0,20	Meðaltal
Cu ($\mu\text{g/l}$)	lognormal dreifing	0,9347	0,35	Meðaltal
Zn ($\mu\text{g/l}$)	normal dreifing	0,8487	0,71	Meðaltal
Cd ($\mu\text{g/l}$)				Meðaltal
Pb ($\mu\text{g/l}$)	lognormal dreifing	0,9253	1,07	Meðaltal
Cr ($\mu\text{g/l}$)	normal dreifing	0,9104	0,22	Meðaltal
Ni ($\mu\text{g/l}$)	lognormal dreifing	0,9374	0,41	Meðaltal
As ($\mu\text{g/l}$)				Meðaltal

Við útreikninga í skýrslunni eru mæligildi sem eru undir greiningarmörkum meðhöndluð sem talnagildi greiningarmarkanna.

Í sumum tilvikum er notast við fleiri aukastafi við útreikninga en gefnir eru upp í töflum í skýrslunni.

Rannsóknabættir

Næringarefni

Næringarefni í náttúrunni

Náttúrulegur fosfór er upprunninn úr bergi en náttúrulegt köfnunarefni að langmestu leyti úr andrúmsloftinu. Fosfór leysist upp við efnaveðrun en náttúrulegt köfnunarefni verður aðallega til með köfnunarefnisbindingu vissra örvera sem geta breytt köfnunarefni andrúmsloftsins í vatnsleysanleg köfnunarefnissambönd en einnig fyrir tilstilli eldinga.

Næringarefnamengun

Næringarefnamengun er oft af völdum skólplösunar og notkunar og meðferðar á lífrænum og ólífrænum áburði í landbúnaði. Ofanvatn í þéttbýli getur einnig tekið með sér talsvert af næringarefnum úr gördum og opnum svæðum og úrkoma ber með sér næringarefnamengun, aðallega köfnunarefni. Mikið ammóníak (NH₄⁺-N) og fosfat (PO₄⁻³-P) í vatni geta stundum gefið vísbendingu um nálægar uppsprettur næringarefnamengunar.

Ammóníak myndast við niðurbrot próteina og þvagefnis og er t.d. mikið af því í skólpi og húsdýraáburði. Bæði þörungar og plöntur geta notað ammóníak sem næringarefni en ójónað ammóníak (NH₃-N) er hinsvegar eitrad vatnalífverum í litlum styrk (V.P. Evangelou 1998). Hlutfall ójónaðs ammóníaks af uppleystu ammóníaki er því hærra sem pH er hærra. Þegar súrefni er til staðar er ammóníak óstöðugt og oxast af völdum örvera yfir í nítat (NO₃⁻).

Þáttur næringarefna í vistkerfinu

Næringarefni geta sagt til um vistfræðilegt ástand vatna auk þess að vera góður mælikvarði á ýmsar tegundir mengunar.

Efnasambönd fosfórs (P) eru torleyst í vatni en köfnunarefnis (N) fremur auðleyst. Mun meira getur því verið af köfnunarefni en fosfór í vatni. Köfnunarefni og fosfór eru lífsnauðsynleg þörungum en þeir hafa efnin að geyma í hlutföllunum 7,2:1 (vikt) (Steven C. Chapra 1997). Fosfór og köfnunarefni geta verið takmarkandi fyrir vöxt vatnaþörunga við venjulegar aðstæður. Fosfat (PO_4) er það form fosfórs sem vatnagróðurinn getur nýtt sér. Þegar fosfór er takmarkandi fyrir þörungavöxt er venjulega lítið sem ekkert í vatninu af fosfati í uppleystu formi enda er það notað jafnóðum af þörungunum. Þá gengur það einnig í torleyst efnasambönd, aðallega með járn (Fe) og áli (Al) og fellur til botns og hefur því tilhneigingu til að safnast fyrir í seti. Í mörgum vötnum með langvarandi mikla næringarefnaíkomu verður til næringarefnaforði á botninum sem stöðugt sér þörungum og vatnablöntum fyrir næringu (Marten Scheffer 1998). Þetta á sérstaklega við um grunn vötn eða vötn þar sem súrefni gengur til þurrðar við botninn.

Þar sem bæði fosfór og köfnunarefni er að finna í skólpi, eru notuð til áburðar, t.d. við túnrækt og eru að finna í ofanvatni frá byggð, eykst framboð þeirra í vatninu þegar mannlegra áhrifa gætir. Aukningin hleypir vexti í þörunga- og plöntugróðurinn og getur valdið neikvæðum breytingum á vistkerfi vatna verði hún of mikil. Neikvæðu breytingarnar felast venjulega í offjölgun þörunga og einhæfara og óstöðugra vistkerfi (ofauðgun) og gangi þær langt getur orðið súrefnisleysi í neðri lögum stöðuvatna með tilheyrandi dauða lífvera sem þola ekki þannig ástand. Við slíkar aðstæður leysist upp fosfór sem safnast hefur fyrir í setinu og getur setið orðið viðvarandi fosfórupspretta í stað þess að vera fosförgildra eins og áður en breytingarnar urðu. Af þessum ástæðum sýna mikið menguð grunn stöðuvötn stundum einkenni ofauðgunar löngu eftir að upprunalegu mengunarupspretturnar hafa verið upprættar.

Lífrænt efni

Öll efnasambönd sem eru að grunnuppbyggingu úr kolefni (C) og vetni (H) teljast lífræn efni. Lífrænt kolefni (TOC) er kolefnishluti lífræns efnis. Náttúrulegt lífrænt efni er upprunalega tilkomið vegna myndunar þess af frumbjarga lífverum. Þaðan hefur það gengið inn í fæðukeðjuna og getur borist í vötn frá hvað hluta hennar sem er, einnig af landi og með mengun frá mannlegri starfsemi.

Til lífrænna efna teljast ennfremur ýmis “gerviefni” s.s. plast- og jarðolíuefni. Tilvist þeirra í vötnum er nær eingöngu vegna mengunar frá mannlegri starfsemi og athöfnum.

Í skólpi er mjög mikið af lífrænu efni og augljósustu merki mikillar skólpmengunar í vatni eru bakteríutaumar og þekjur af völdum lífrænu efnanna.

Mengun af völdum lífrænna efna felst m.a. í auknu álagi á vistkerfið þegar þau brotna niður. Við niðurbrotið er súrefni vatnsins notað en það endurnýjar sig yfirleitt hægt. Fosfór og köfnunarefni berast þá einnig út í vatnið og örva frumframleiðslu gróðurs á enn meira lífrænu efni.

Blaðgræna α

Blaðgræna α í vötnum er nokkuð næmur mælikvarði á næringarauðgi vatna þegar frumframleiðnin er aðallega hjá svifþörungunum. Blaðgrænan er einnig mælikvarði á lífmassa svifþörunganna en þeir geta lagt talsvert til lífrænna efna í vatninu. Í djúpum vötnum sem eru síblönduð yfir vaxtartímann getur styrkur blaðgrænu mælst minni á hverjum tíma en styrkur næringarefna gefur tilefni til og aukist seinna að vori og minnkað fyrr að hausti vegna ónógs aðgangs að birtu. Ástæðan er reglubundin ferðalög þörunganna með vatninu niður í dimmari lög stöðuvatnsins þar sem dregur úr frumframleiðni þeirra. Afát svifdýra getur einnig tímabundið haldið þörungunum niðri og þar með styrk blaðgrænu.

Örverumengun

Saubakteríur eiga uppruna sinn í saur manna og dýra með heitt blóð. Magn þeirra í vatni er því beinn mælikvarði á saurmengun vatnsins. Vatnið er hins vegar ekki kjörlendi saurbaktería og þær tína ört tölunni eftir að iðrunum sleppir. Magn saurbaktería getur því hafa minnkað talsvert þegar þær eru lengi að berast frá upprunastaðnum á sýnatökustaðinn. Í algerum undantekningartilvikum getur saurkólí fjölgað sér utan hýsilsins en það sama á sennilega síður við um saurkokka. Þeir þættir sem helst eiga þátt í dauða saurbaktería í vatni eru sólarljós, selta, hitastig og afát. Dauðatíðni er að jafnaði meiri að sumarlagi vegna meiri birtu. Venjulega er lítið um saurbakteríur í ómenguðu yfirborðsvatni. Villt spendýr eru fá á Íslandi og því ólíklegt að saurbakteríur frá þeim mælist oft í vatni. Fuglar eru mun algengari og sumar tegundir þeirra halda sig á vötnum eða við vötn. Í vötnum sem eru ósnortin af mönnum er því líklegra að finna saurbakteríur úr fuglum. Hinsvegar þarf mikið fuglalíf eða óvenju vatnslítið og kyrrstætt vatn til að saurbakteríur fugla mælist í einhverjum mæli. Ef ekki eru sérstakar aðstæður við tiltekið vatn hvað þetta varðar má ætla að saurbakteríurnar stafi að langmestu leyti af saurmengun af manna völdum, ýmist frá mönnum sjálfum eða hús- og gæludýrum þeirra.

Málmar

Málmar í náttúrunni

Málmar eru fremur torleystir í vatni og því frá náttúrunnar hendi í litlum styrk í upplausn og teljast því flestir snefilefni. Þeir geta hinsvegar verið til staðar í föstu formi, aðallega bundnir öðrum efnum. Náttúrulegur styrkur þeirra ræðst að talsverðu leyti af jarðfræði og jarðvegsgerð viðkomandi svæðis en sýrustig og magn lífrænna efna í vatninu hafa einnig áhrif á styrk þeirra. Sýrustig hefur auk þess áhrif á eiturvirkni þeirra en margir þeirra hafa eituráhrif á vatnalífverur í tiltölulega lágum styrk og geta auk þess safnast fyrir í fiskum. Sumir málmar eru þó nauðsynlegir lífverum í litlu magni.

Mengun af völdum málma

Málmar geta verið í margföldum náttúrulegum styrk þar sem iðnaðarmengun er til staðar, s.s. frá málmhúðunarfyrirtækjum. Mikið af málmamenguninni tengist hinsvegar bifreiðum. Zink og blý koma m.a. við dekkjaslit, úr vélaolíu og vélafeiti en zink kemur einnig af zinkhúðuðu járn, s.s. bárujárn og blý auk þess við leguslit og úr kælivökvum. Kopar kemur við slit lega, vélarhluta og bremsborða en einnig úr kælivökvum og vissum fúavarnarefnum sem innihalda kopar. Kadmíum kemur við dekkjaslit og úr tilbúnum áburði. Króm kemur m.a. við slit á vélarhlutum og bremsborðum. Nikkel kemur úr díselolíu og bensíni, smurolíu, malbiki og við slit

bremsuborða. Arsen kemur m.a. úr eldsneyti. Málmamengun getur einnig borist sem aðskotaefni úr salti sem borið er á götur. Mengunin getur bæði verið í formi uppleystra og fastra málma og málmsambanda. Í föstu formi geta þeir safnast fyrir í seti og borist þaðan upp í vatnið að nýju, m.a. við upprót eða í gegnum fæðukeðjuna.

Aðrir þættir

Aðrir þættir sem mældir voru, pH, leiðni, súrefnismettun, sjóndýpi, grugg og hitastig, eru ekki flokkunarþættir heldur fyrst og fremst ætlað að gefa gleggri mynd af vatninu.

pH ræðst fyrst og fremst af ferli upprunavatnsins, jarðefnafræðilegum þáttum og lífrænum efnaskiptaferlum (frumframleiðni og öndun).

Leiðni er mælikvarði á heildarstyrk uppleystra jóna í vatninu og ræðst af jarðefna- og vatnafræðilegri sögu vatnsins, fjarlægð frá sjó og mengunarálagi.

Súrefnismettunin gefur til kynna álag á vistkerfið við niðurbrot á lífrænu efni.

Sjóndýpi er mælikvarði á gruggmagn og grugg er mælikvarði á tærleika vatnsins, þ.e. gruggagnir, m.a. svifþörungur.

Lýsing á Hafravatni

Almennt

Hafravatn er 8 km frá sjó, í 76 m hæð yfir sjávarmáli (Sigurjón Rist 1990) og er 1,02 km² að flatarmáli (Sigurjón Rist 1969). Mesta dýpi þess er 28 m (Sigurjón Rist 1969) og meðaldýpi 8 m (Hákon Aðalsteinsson o.fl. 1989). Vatnið hlýtur því að teljast djúpt vatn í skilningi reglugerðar nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns. Vatnasvið þess er 40 km² mælt á korti í mælikvarðanum 1:100.000 (Landmælingar Íslands 2003). Í það rennur Seljadalsá en hún er 10,5 km að lengd og á upptök í sunnanverðu Grímmannsfelli.

Á vatnasviðinu er víðast þétt eða allþétt berg eða set en þó er lekt berg algengt á því sunnanverðu (Árni Hjartarson & Freysteinn Sigurðsson 1993, 1997). Stór hluti vatnasviðsins einkennist af uppblásnum melum en inn á milli þeirra er sumsstaðar að finna gróðurmeiri votlendisskika og einstaka tjarnir.

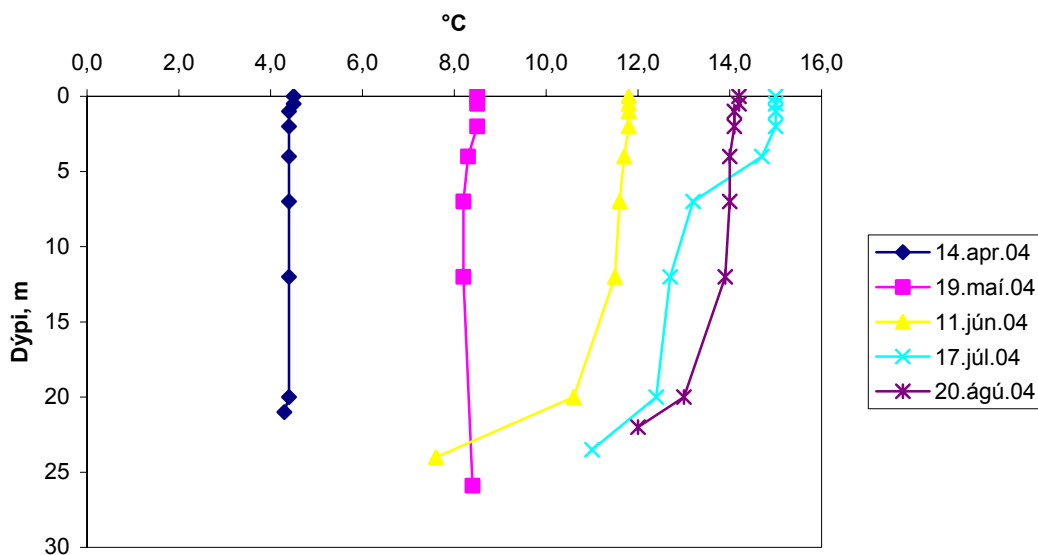
Mannleg umsvif og mengunarálag

Á vatnasviði Hafravatns eru mannleg umsvif ekki mikil. Lítilsháttar búskapur er stundaður þar en mengunarálag á vatnið er þó sennilega aðallega frá sumarþústöðum sem þar eru, m.a. á bökkum vatnsins. Ætla verður að frá rotþróm þeirra berist næringar- og lífræn efni og saurbakteríur í vatnið, væntanlega sérstaklega þeirra sem standa næst vatninu. Þéttir manngerðir fletir eru enn fáir og mengun af þeim væntanlega lítil sem engin.

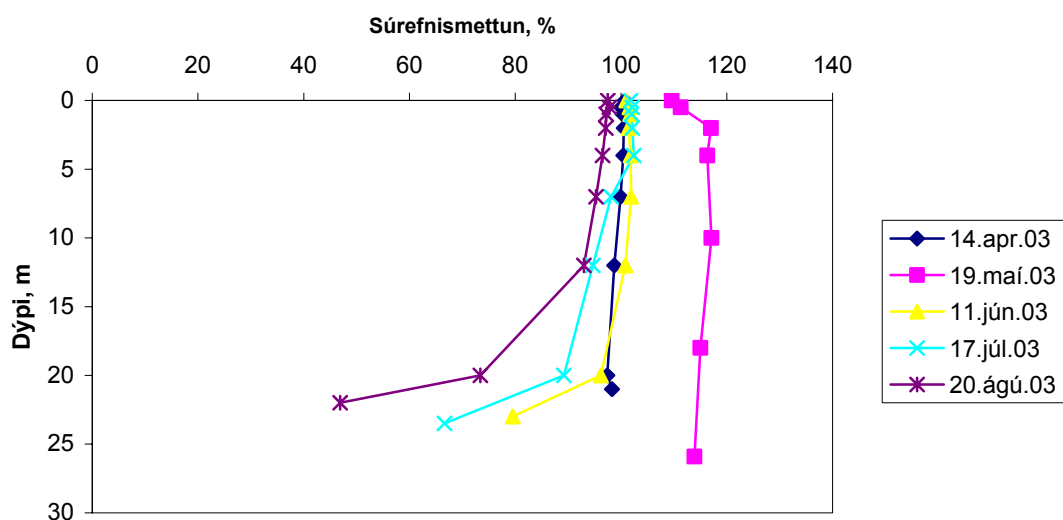
Niðurstöður og umfjöllun um niðurstöður

Niðurstöður eru birtar í heild sinni í töflu C í viðauka við skýrsluna.

Yfirlit yfir hitastig vatnsins á mismunandi dýpum er gefið í mynd 2. Meðalhitastig var á bilinu frá $-0,3^{\circ}\text{C}$ í desember 2003 til $13,8^{\circ}\text{C}$ í júlí 2003. Lagskipting var merkjanleg um sumarið á um 20 m dýpi. Auk þess var skammvinn lagskipting á um 5 m dýpi í júlí. Yfirlit yfir súrefnismettum á mismunandi dýpum er gefið í mynd 3. Meðalsúrefnismettun vatnsins var mest í maí 2003 (114,3%) en minnst í ágúst 2003 sama ár (88,3%). Virðist súrefnið í neðstu lögum vatnsins hafa minnkað eftir því sem leið á sumarið, sérstaklega undir um 20 m dýpi. Ekki er ólíklegt að súrefnisstyrkur við botn vatnsins hafi haldið áfram að minnka er leið á haustið en hversu lítil súrefnismettunin varð er m.a. háð því hvenær fullkomin blöndun vatnsbolsins niður að botni átti sér stað að nýju.



Mynd 2. Hitastig í Hafravatni mælt á tímabilinu frá apríl til ágúst 2003.



Mynd 3. Súrefnismettum í Hafravatni mæld á tímabilinu frá apríl til ágúst 2003.

Leiðni var lægst 75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í júlí 2003 og mars 2004 en hæst 91,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í byrjun október 2003. Sýrustig (pH) mældist yfirleitt á bilinu 7,4 – 7,7 en var í ágúst og í byrjun október 2003 nokkuð hærra (8,27 og 8,62). Um leið og pH var hæst mældist einnig minnst grugg (0,4 og 0,61 NTU) og fosfat (2,31 og 3,03 $\mu\text{g}/\text{l}$) en mest leiðni (90,8 og 91,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Hugsanlega kann skýringarinnar fyrir suma þættina að einhverju leyti að vera að leita í aukinni frumframleiðni því blaðgræna α jókst í sumarlok og hafði í byrjun október ekki verið hærri frá því í apríl. Blaðgræna var annars frá 1,0 $\mu\text{g}/\text{l}$ í júlí 2003 til 2,7 $\mu\text{g}/\text{l}$ í byrjun október sama ár. Fram að júlí minnkaði styrkur hennar en jókst síðan fram í október. Grugg mældist á bilinu 0,40 NTU í ágúst 2003 til 3,22 NTU í apríl sama ár. Sjóndýpi mældist á bilinu 2,3 m í apríl 2003 til 5,7 m í byrjun október sama ár. Í apríl 2003 var bæði mest grugg og minnst sjóndýpi í vatninu. Oftast var styrkur saurkólibaktería í vatninu lítill sem enginn, venjulega á bilinu 0 – 6 bakteríur í hverjum 100 ml. Í febrúar 2004 fór bakteríustyrkurinn þó upp í 20 bakteríur í 100 ml. Styrkur fosfórs (t-P) og var mestur í upphafi mælitímabilsins (13,60 $\mu\text{g}/\text{l}$) en var á bilinu 3,7 – 5,11 $\mu\text{g}/\text{l}$ frá júní 2003 fram í byrjun október sama ár. Styrkur fosfats ($\text{PO}_4\text{-P}$) sveiflaðist lítið og lá á bilinu 2,31 – 5,25 $\mu\text{g}/\text{l}$ allt mælitímabilið. Heildarstyrkur köfnunarefnis (t-N) var yfirleitt á bilinu 136 – 323 $\mu\text{g}/\text{l}$ en gildið frá því í byrjun október 2003 skar sig algerlega úr en þá mældist styrkur köfnunarefnis 2.100 $\mu\text{g}/\text{l}$. Ammóníak var yfirleitt undir greiningarmörkum en greindist þó í maí 2003 (6,43 $\mu\text{g}/\text{l}$). Heildarstyrkur lífræns kolefnis var nokkuð jafn á mælitímabilinu eða á bilinu frá 3,78 mg/l í júní 2003 til 6,23 mg/l í ágúst sama ár. Er þetta með því mesta sem mælt hefur í íslenskum stöðuvötnum (sjá Brit Lise Skjelkvale o.fl. 2001). Styrkur kopars (Cu) var á bilinu 0,153 – 0,403 $\mu\text{g}/\text{l}$, styrkur zinks (Zn) á bilinu <0,20 – 1,31 $\mu\text{g}/\text{l}$, styrkur kadmíums (Cd) á bilinu <0,0098 – 0,0169 $\mu\text{g}/\text{l}$, oftast undir greiningarmörkum, styrkur blýs (Pb) var á bilinu 0,0126 – 0,163 $\mu\text{g}/\text{l}$, styrkur króms á bilinu 0,211 – 0,458 $\mu\text{g}/\text{l}$, styrkur nikkels (Ni) á bilinu 0,094 $\mu\text{g}/\text{l}$ – 0,231 $\mu\text{g}/\text{l}$ og styrkur arsens var alltaf undirgreiningarmörkum (<0,0880 $\mu\text{g}/\text{l}$).

Til eru efnamælingar (n=1-3) frá árunum 1999 og 2000 í útrás Hafravatns, efst í Úlfarsá (Tryggvi Þórðarson & Þorsteinn Narfason 2001). Leiðni var þá svipuð og nú og einnig styrkur saurkólibaktería og heildarfosfórs en styrkur heildarköfnunarefnis (62,7 $\mu\text{g}/\text{l}$) og heildar lífræns kolefnis (0,18 mg/l) var talsvert minni þá. Síðast töldu efnin eru einmitt efnin sem flokkast illa hér, sbr. næsta kafla.

Flokkun

Náttúrulegt ástand

Viðmiðanir

Við ákvörðun á náttúrulegu ástandi er reynt að hafa að leiðarljósi ástandið eins og það hefur líklega verið fyrir tæknibyltinguna í iðnaði og landbúnaði sem hófst aðalega um og upp úr aldamótunum 1900 en horft framhjá hugsanlegum áhrifum breytinga á gróðurfari á þeim tíma. Undantekningin eru saurbakteríur sem aðeins er gert ráð fyrir að séu upprunnar frá villtum dýrum í náttúrulegu ástandi vatnsins.

Náttúrulegt ástand er hér fyrst áætlað sem ákveðin gildi fyrir hvern matsþátt og svo flokkað samkvæmt þeim gildum í viðkomandi umhverfismarkaflokk sem ætlað er

skv. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns að lýsa náttúrulegu ástandi vatnsins.

Þegar beinar mælingar á náttúrulegu ástandi tiltekins vatns skortir er ákvörðun þess í raun ágiskun byggð á eins sterkum líkum og hægt er á grundvelli almennrar vitneskju og tiltækra gagna. Misjafnt getur verið hversu traust gögn liggja að baki slíkri ágiskun og er nauðsynlegt við alla frekari vinnu að endurskoða mat á náttúrulegu ástandi jafnóðum og nýjar upplýsingar koma fram sem geta varpað betra ljósi á hvert það sé.

Beinar mælingar frá því áður en áhrifa mannsins fór að gæta skortir í Hafravatni. Nákvæmin við mat á náttúrulegu ástandi vatnsins er því ekki mikil. Ekki er þó sjálfgefið að leiðrétting minniháttar ónákvæmi af þessum sökum muni hafa áhrif á mengunarflokkun vatnsins því mengunarflokkunin byggir á flokkun náttúrulegs ástands í umhverfismarkaflokk sem borinn er saman við samskonar flokkun fyrir raunverulegt ástand. Aðeins þegar náttúrulegt gildi er á mörkum umhverfismarkaflokka gæti smávægileg leiðrétting skipt máli við flokkunina.

Nýlegar niðurstöður úr rannsóknum á öðrum ám og vötnum vegna samskonar mengunarflokkana liggja fyrir (Tryggvi Þórðarson 2003g, 2003h, 2003b, 2003j, 2003d, 2003i, 2003a, 2003c, 2003f, 2003e, 2003k, 2004b, 2004d, 2004c, 2004a). Er m.a. stuðst við þær niðurstöður þegar mat er lagt á náttúrulegt ástand vatnsins. Hér að neðan er vitnað til þeirra án frekari tilvísana.

Næringarefni

Styrkur uppleysts fosfórs í yfirborðsvatni í heiminum er oftast á bilinu 0,005 – 0,020 mg/l PO_4 -P en í ósnortnum vötnum allt niður í 0,001 mg/l (Deborah Chapman 1996). Á Íslandi er efnaveðrun meiri en víðast annarsstaðar (Sigurður R. Gíslason & Stefán Arnórsson 1988) en á móti kemur styttri tími til efnaveðrunar og meiri úrkoma sem þynnir efnin út (Sigurður Reynir Gíslason 1993). Í ýmsum ám á Suðurlandi reyndist uppleysti hluti heildarfosfórs þó oftast vera á bilinu um 0,009 – 0,030 mg/l (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 1999). Að jafnaði er fastur hluti fosfórs í ám heimsins um tífundur uppleysti hlutinn (Elizabeth Kay Berner & Robert A. Berner 1996). Heildarstyrkur fosfórs (t-P) í 39 íslenskum stöðuvötnum var hinsvegar undir 0,008 mg/l í 50% tilvika og undir 0,060 mg/l í 90% tilvika (Brit Lise Skjelkvale o.fl. 2001). Í 62 íslenskum vötnum, m.a. þeim 39 stöðuvötnum sem getið var, reyndist meðalstyrkur heildarfosfórs vera 0,0151 mg/l (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2003). Styrkur fosfórs í Úlfarsá, Köldukvísl, Laxá í Kjós, Bugðu, Leirvogsa, Kiðafellsá, Fossá, Brynjudalsá og Botnsá er undir 0,009 mg/l í 50% tilvika og undir 0,018 mg/l í 90% tilvika (n=98). Ef Varmá í Mosfellsbæ er tekin með (n=108) eru tölurnar 0,009 mg/l og 0,037 mg/l en í Varmá rann talsvert skólp. Meðalstyrkur heildarfosfórs í Elliðavatni, Hafravatni, Meðalfellsvatni og Leirvogsvatni er 0,0105 mg/l og fosfats (PO_4 -P) 0,0037 mg/l. Styrkur næringarefna er yfirleitt meiri í grunum stöðuvötnum en djúpum. Ástæðan er m.a. reglulegt upprót á botnseti grunnra vatna. Reiknilíking, gerð á grundvelli 62 íslenskra vatna, hefur verið birt yfir samband meðaldýpis vatna og heildarfosfórs og heildarköfnunarefnis þeirra (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2003). Þótt ýmislegt annað en meðaldýpi hafi áhrif á styrkinn og mörg þeirra vatna sem líkingin er byggð á séu ekki ósnortin má upp að vissu marki einnig hafa slíka líkingu til hliðsjónar við mat á náttúrulegum styrk efnanna í hverju vatni.

Í ósnortnum vötnum er ammóníak ($\text{NH}_4\text{-N}$) oftast lítið og nítrít ($\text{NO}_2\text{-N}$) lítið sem ekkert, oft ekki mælanlegt. Styrkur náttúrulegs nítrats ($\text{NO}_3\text{-N}$) er venjulega undir 0,1 mg/l (Deborah Chapman 1996) en í íslenskum stöðuvötnum getur hann verið undir 0,001 mg/l (Brit Lise Skjelkvale o.fl. 2001). Í könnun á sunnlenskum ám reyndist meðalstyrkur uppleysta hluta heildarköfnunarefnis (t-N) oftast vera á bilinu um 0,03 – 0,07 mg/l (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 1999). Inn í þessi gildi vantar hinsvegar fastan hluta köfnunarefnis en köfnunarefni í ósnortnu vatni er að talsverðu leyti bundið í lífrænu efni (Brit Lise Skjelkvale o.fl. 2001). Á heimsvísu er náttúrulegt fast köfnunarefni í ám um þriðjungi meira en náttúrulegt uppleyst köfnunarefni (Elizabeth Kay Berner & Robert A. Berner 1996). Í 39 íslenskum stöðuvötnum var heildarköfnunarefni (t-N) undir 0,125 mg/l í 50% tilvika og undir 0,359 mg/l í 90% tilvika (Brit Lise Skjelkvale o.fl. 2001). Í 62 íslenskum vötnum, m.a. þeim 39 vötnum sem getið var, reyndist meðalstyrkur heildarköfnunarefnis vera 0,1723 mg/l (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2003). Styrkur heildarköfnunarefnis í Úlfarsá, Köldukvísl, Laxá í Kjós, Bugðu, Leirvogsa, Kiðafellsá, Fossá, Brynjudalsá og Botnsá var undir 0,065 mg/l í 50% tilvika og undir 0,269 mg/l í 90% tilvika (n=98). Ef Varmá í Mosfellsbæ er tekin með (n=108) voru tölurnar 0,070 mg/l og 0,639 mg/l. Fyrir ammóníak voru tölurnar 0,010 mg/l og 0,011 mg/l án Varmár en 0,010 mg/l og 0,021 mg/l með Varmá. Meðalstyrkur heildarköfnunarefnis (t-N) í Elliðavatni, Hafravatni, Meðalfellsvatni, Leirvogsvatni og Hvalvatni er 0,245 mg/l (miðgildi 190 mg/l) og ammóníaks N 0,0089 mg/l.

Lífrænt efni

Að meðaltali er heildarstyrkur lífræns kolefnis (TOC) í ám heimsins 9,9 mg/l og uppleysti hluti þess 55% (AMAP 1997). Styrkur uppleysts náttúrulegs lífræns efnis í ám, mælt sem TOC, er að jafnaði 5 mg/l fyrir alla jörðina en á Norðurlöndunum yfirleitt á bilinu 5-30 mg/l (Rolf D. Vogt o.fl. 2001). Húmusstyrkur íslenskar vatna er þó líklega yfirleitt minni en margra skandinávískra. Sýnt hefur verið fram á að ef votlendi er til staðar er styrkur uppleysts lífræns kolefnis (DOC) í stöðuvötnum í réttu hlutfalli við umfang þess á vatnasviðinu (S. E. Gergel o.fl. 1999). Vegna fremur lágs meðalhita á Íslandi, sem ekki örvar niðurbrot uppsafnaðs lífræns efnis í jarðvegi þannig að lífræn niðurbrotsefni skili sér út í yfirborðsvatn, tiltölulegra mikillar úrkomu, sem þynnir út niðurbrotsefni í vatninu, og jarðvegi sem víða vantar að mestu lífræn efni, má búast við að styrkur náttúrulegs lífræns uppleysts efnis í yfirborðsvatni á Íslandi séu yfirleitt lítill og víða vel undir heimsmeðaltali. Birtar efnagreiningar á heildarmagni lífræns kolefnis í íslenskum vötnum eru enn sem komið er fáar. Til eru mælingar gerðar í 39 íslenskum stöðuvötnum (Brit Lise Skjelkvale o.fl. 2001) sem sýna að heildarstyrkur lífræns kolefnis var undir 1,0 mg/l í 50% tilvika og undir 2,3 mg/l í 90% tilvika. Heildarstyrkur lífræns kolefnis í Úlfarsá, Köldukvísl, Laxá í Kjós, Bugðu, Leirvogsa, Kiðafellsá, Fossá, Brynjudalsá og Botnsá var undir 2,10 mg/l í 50% tilvika og undir 3,88 mg/l í 90% tilvika (n=98). Ef Varmá í Mosfellsbæ er tekin með (n=108) eru tölurnar undir 2,37 mg/l í 50% tilvika og undir 4,75 mg/l í 90% tilvika. Meðaltal heildarstyrks lífræns kolefnis í Úlfarsá, Köldukvísl, Leirvogsa, Bugðu og Laxá í Kjós var 3,2 mg/l en í Kiðafellsá, Fossá, Brynjudalsá og Botnsá 1,2 mg/l. Meðaltal heildarstyrks lífræns kolefnis í Elliðavatni, Hafravatni, Meðalfellsvatni, Leirvogsvatni og Hvalvatni var 3,4 mg/l. Ekki eru allar árnar og stöðuvötnin algerlega ósnortin svo búast má við að viss hluti lífræns kolefnis í sumum þeirra sé stundum frá athöfnum mannsins kominn.

Blaðgræna α

Ekki eru til margar mælingar á blaðgrænu α í íslenskum stöðuvötnum. Nefna má þó að meðalstyrkur blaðgrænu α yfir sumartímann 1973 var nálægt 12 $\mu\text{g/l}$ í Syðriflóa í Mývatni og nálægt 37 $\mu\text{g/l}$ í Ytriflóa⁵ (P.M. Jonasson & H. Adalsteinsson 1979) og í Þórisvatni var hann 2 – 3 $\mu\text{g/l}$ í júlí – ágúst 1979 (Hákon Adalsteinsson 1981). Meðalstyrkur blaðgrænu α yfir vaxtatímann var 1,8 $\mu\text{g/l}$ í Elliðavatni árin 2001 – 2001 (Tryggvi Þórðarson 2003k), 1,2 $\mu\text{g/l}$ í Þingvallavatni árin 1979, 1981 og 1982 (P. M. Jonasson o.fl. 1992), 2,6 $\mu\text{g/l}$ í Meðalfellsvatni 2003 (Tryggvi Þórðarson 2004c) og 1,4 $\mu\text{g/l}$ í Leirvogsvatni 2003 (Tryggvi Þórðarson 2004d). Auk þess liggur fyrir að styrkur blaðgrænu α í Hvalvatni var 2,7 $\mu\text{g/l}$ í ágúst 2003 (Tryggvi Þórðarson 2004b). Mývatn er næringarríkt vatn (P.M. Jonasson & H. Adalsteinsson 1979), Þórisvatn er undir talsverðum áhrifum frá jökulaur (Hákon Adalsteinsson 1981), Elliðavatn er hálf næringarríkt vatn (Tryggvi Þórðarson 2003k) og Þingvallavatn er á mörkum þess að vera næringarfátækt og hálf næringarríkt (P. M. Jonasson o.fl. 1992). Í Þingvallavatn, Mývatn og Elliðavatn rennur lindavatn með uppruna í nýlegum hraunum. Meðalfellsvatn er láglendisvatn með landbúnað og fjölda sumarþústa á vatnasviði sínu en Leirvogsvatn og Hvalvatn eru vötn fjarri mannlegum umsvifum. Meðalstyrkur blaðgrænu α í Elliðavatni, Hafravatni, Meðalfellsvatni, Leirvogsvatni og Hvalvatni reiknast 2,1 $\mu\text{g/l}$.

Málmar

Til eru upplýsingar um styrk málma í ýmsum ám á landinu en gildin eru flest aðeins yfir uppleysta málma. Aðeins er vitað um fáar mælingar á heildarstyrk málma í íslenskum stöðuvötnum. Vegna flokkunar vatna á Kjósarsvæði, Eyjafjarðarsvæði og Reykjavíkursvæði liggja fyrir efnagreiningar á heildarmálmum í 10-12 sýnum úr hverri af ánum Úlfarsá, Köldukvísl, Leirvogsa, Bugðu, Laxá í Kjós, Kiðafellsá, Fossá, Brynjudalsá, Botnsá, Eyjafjarðará, Glerár, Hörgár og Svarfaðardalsár og stöðuvötnunum Elliðavatni, Meðalfellsvatni, Leirvogsvatni og Hvalvatni. Lágur styrkur málma í íslenskum ám er talinn vera náttúrulegur bakgrunnsstyrkur þeirra hérlendis (Hollustuvernd ríkisins).

Úrkoma

Í úrkomu eru ýmiss þeirra efna sem flokkun vatna byggist á. Gera má ráð fyrir að ofanvatn sem hripar um jarðveg losi sig við talsvert af uppleystu efnunum sem fylgja úrkomunni en bæti við sig öðrum. Hversu mikið hverfur og bætist við er m.a. háð eiginleikum efnanna, jarðvegi, gróðurfari, árstíma, tímanum sem vatnið er í snertingu við bergið og jarðveginn og tímanum sem það hefur verið í viðkomandi vatni. Tíminn frá því að vatn í tilteknu sýni úr vötnum féll sem úrkoma er að jafnaði því styttri sem lektin og stærðin á vatnasviðinu er minni.

Mat á náttúrulegu ástandi

Á svæðum með þéttan berggrunn hefur hlutfallslega minna af vatninu viðkomu í berglögum en á lekum svæðum gosbeltisins og hefur því tekið minna til sín af efnunum úr bergi. Gera má ráð fyrir að á þéttum svæðum stafi munur í styrk náttúrulegra efna frá einum stað til annars að talsverðu leyti af mun á gróðurfari og lausum jarðlögum á vatnasviðum þeirra en einnig af umfangi votlendis, því hversu mörg og stór stöðuvötn eru á vatnakerfinu og hve langt er síðan íkomuvatnið féll sem úrkoma.

⁵ Meðaltöl talna sem lesnar voru af grafi í greininni.

Í töflu 5 er sýnt mat á raunverulegu og náttúrulegu ástandi Hafravatns. Þar eru einnig sýnd mæld gildi og þau gildi sem talið er að einkenni náttúrulegt ástand vatnsins og þeir umhverfismarkaflokkar sem eiga við hvor gildin um sig. Mat á náttúrulegum gildum er að mestu byggt á samanburði þessara gagna og almennri vitneskju um eiginleika vatnasviðsins og umsvif á þeim að teknu tilliti til eiginleika matsþáttanna auk þeirra atriða sem rakin hafa verið hér að framan.

Styrkur kadmíums (Cd) var oftast undir greiningarmörkum. Þar sem talnagildi meðaltalsstyrksins fellur í umhverfismarkaflokk II er ekki hægt að skera úr um hvort vatnið skuli flokkast í umhverfismarkaflokk I eða II fyrir kadmíum. Talnagildið er einungis lítillaga yfir mörkunum á milli flokkanna og þykir því líklegra að vatnið ætti að lenda í umhverfismarkaflokki I. Vatnið er engu að síður flokkað hér í umhverfismarkaflokk II fyrir kadmíum. Þetta skiptir þó ekki öllu máli þar sem náttúrulegt gildi er einnig talið vera í umhverfismarkaflokki II.

Tafla 5. Mat á raunverulegu og náttúrulegu ástandi

Taflan sýnir raunverulegt og áætlað náttúrulegt ástand vatnsins bæði sem styrk og umhverfismarkaflokk. Í töflunni er ennfremur sýnt meðalstyrkur í Hafravatni á rannsóknatímanum (n=12 fyrir bakteríur en 6 fyrir aðra þætti), tölur yfir meðalstyrk efna í úrkomu í Reykjavík og á Írafossi, meðaltal mælinga í 62 íslenskum vötnum, reiknaður heildarstyrkur köfnunarefnis og fosfórs út frá meðaldýpi (reiknilíking byggð á mælingum í 62 íslenskum vötnum) og meðalstyrkur í Leirvogsvatni (n=11 fyrir bakteríur en 6 fyrir aðra þætti), Meðalfellsvatni (n=11 fyrir bakteríur en 6 fyrir aðra þætti) og Elliðavatni (n= 36 fyrir bakteríur en 18 fyrir aðra þætti).

MG= Mæld gildi, **ÁG=** áætluð gildi, **UF=** umhverfismarkaflokkur.

	Meðaltal úrkomu í Reykjavík og á Írafossi ¹⁾	Meðaltal í 59-62 ísl. vötnum	Reiknaður styrkur ²⁾	Leirvogsvatn	Meðalfellsvatn	Elliðavatn	Hafravatn			
							Raunverulegt ástand		Náttúrulegt ástand	
							MG	UF	ÁG	UF
Saurkólí í 100 ml				0,7**	2,4**	1,7**	1,4**	I	1	I
t-P (µg/l)	(0,007)	15,1 ²⁾	10	6,22	9,63	16,4	6,56	I	7	I
t-N (µg/l)	233 (NO ₃ + NH ₄)	172,3 ²⁾	103	190	180,5	81	308**	II	180	I
NH ₄ -N (µg/l)	172			<5,7	<5,8	21,5	<5,8	I	5	I
Blaðgræna a (µg/l)				1,39	2,56	1,8	2,0*	I	1,8	I
TOC (mg/l)		1,18 ³⁾		1,30	1,20	4,8	4,91	III	1,4	I
Cu (µg/l)	1,313			0,375	0,363	0,597	0,287	I	0,4	I
Zn (µg/l)	10,651			1,23	1,88**	0,738	0,72	I	0,7	I
Cd (µg/l)	0,013			<0,0236	<0,0180	<0,027	<0,0110	I	0,03	II
Pb (µg/l)	0,278			0,036**	0,050**	0,0314	0,053	I	0,05	I
Cr (µg/l)	0,221			0,314	0,297	1,31	0,362	II	0,5	II
Ni (µg/l)	0,522			0,162	0,233	0,307	0,155	I	0,3	I
As (µg/l)	0,032			<0,0880	<0,0880	<0,068	<0,0880	I	0,05	I

1) (Kevin Barrett 2002). 2) (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2003). 3) (Hilmar Malmquist o.fl. 2004).

* Jafnað úr 1,99

Mengunarflokkun

Munurinn á umhverfismarkaflokkum fyrir raunverulegt og náttúrulegt ástand segir til um mengunarflokkunina. Í töflu A í viðauka er sýnt hvernig ákveðinn munur gefur ákveðna mengunarflokkun. Mengunarflokkun Hafravatns er gefin í töflu 6.

Tafla 6. Mengunarflokkun Hafravatns.

	Raunverulegt ástand	Náttúrulegt ástand	Mengunar-ástand
Saurkólí	I	I	A
t-P	I	I	A
t-N	II	I	B
NH ₄	I	I	A
Blaðgræna a	I	I	A
TOC	III	I	C
Cu	I	I	A
Zn	I	I	A
Cd	I	II	A
Pb	I	I	A
Cr	II	II	A
Ni	I	I	A
As	I	I	A

Tillaga að langtímamarkmiðum

Reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns mælir fyrir um að setja skuli langtímamarkmið fyrir vötn í því skyni að varðveita náttúrulegt ástand þeirra. Þegar náttúrulegt ástand tiltekins vatns er metið sérstaklega flokkast ómengað vatn ætíð í mengunarflokk A ef það er rétt flokkað. Sé aftur á móti stuðst við umhverfisflokk I sem mælikvarða á náttúrulegt ástand lendir ómengað vatn ýmist í mengunarflokki A eða B eftir matsþáttum og gæti jafnvel lent í C í einstaka tilviki. Ástæðan er sú að umhverfismörk I gefa oft ekki rétta mynd af náttúrulegu ástandi hvers vatns. Við notkun umhverfismarka I kann því að vera þörf fyrir að geta miðað langtímamarkmið við mengunarflokk B ef menn eru vissir um að vatn sem flokkast í B sé í raun ómengað. Ekki eru leiðbeinandi ákvæði í reglugerðinni um hvenær má setja markmið um mengunarflokk B, þ.e. um lítilsháttar mengaða á. Það er þó ljóst að með því að meta náttúrulegt ástand sérstaklega fyrir alla þætti ætti ekki að vera þörf fyrir vægari markmiðin til að varðveita náttúrulega ástandið nema sérstakar aðstæður krefjist. Dæmi um aðstæður sem kunna engu að síður að réttlæta markmið um flokk B eru vötn með vatnasviðið allt í þéttbýli eða þar sem stunduð er starfsemi sem veldur tiltekinni mengun sem ekki er tækni- eða lagalega framkvæmanlegt að takmarka nægilega til að viðhalda náttúrulegu ástandi. Þetta væru vötn sem til frambúðar væru ekki talin geta uppfyllt markmið um fullkomlega náttúrulegt ástand.

Litið er svo á að með langtímamarkmiðum sé horft til næstu áratuga og jafnvel öld fram í tímann. Það kunnir því að orka tvímælis að binda sig við tækni- eða lagaleg úrræði dagsins í dag við mat á því hvort þurfi að sætta sig við einhverja mengun til langframa eða ekki. Þar sem vandamál eru á ferðinni beri jafnframt að líta á það sem eðlilegt að langtímamarkmið náist ekki endilega á fáum árum. Í ljósi þessa er lagt til að á nokkra áratuga fresti fari fram endurskoðun langtímamarkmiða. Ef það verður þá metið svo í ljósi reynslunnar að óframkvæmanlegt sé að ná markmiði um fullkomlega náttúrulegt ástand, þ.e. mengunarflokk A, er e.t.v. ástæða til að slaka upp á langtímamarkmiðinu. Vatnasvið Hafravatns er hinsvegar að talsverðu leyti nær

ósnortið og er því enn gott svigrúm til að stýra umsvifum og uppbyggingu innan þess á þann hátt að vistkerfi vatnsins skaðist ekki. Náttúrulegt ástand vatnsins er hér metið sérstaklega fyrir hvern þátt. Í samræmi við ofanritað eru því lagt til að langtímamarkmið fyrir öll flokkunaratriðin verði fullkomlega náttúrulegt ástand (mengunarflokkur A). Í þessu sambandi er einnig mikilvægt að hafa í huga að mengunarástand Hafravatns hefur bein áhrif á mengunarástand Úlfarsár sem úr vatninu rennur. Metnaðarfull markmið um hreinleika Hafravatns eru því æskileg.

Í töflu 7 er yfirlit yfir hvað það merkir gagnvart einstökum flokkunarþáttum og hve langt frá markmiðunum hver þáttur er.

Þar sem ástand vatnsins er yfirleitt gott eru markmiðin fyrir flesta þætti þau að halda í horfinu. Heildarlífrænt kolefni (TOC) er þó talsvert yfir markmiðum um náttúruleg gildi og heildarköfnunarefni er einnig of mikið. Blaðgræna α er auk þess í hærri kantinum og er nálægt því að flokkast í mengunarflokk B. Álagið á vatnið mun halda áfram að aukast með auknum umsvifum og auknu hlutfalli þéttra flata á vatnasviðinu. Áriðandi er að verndun vatnsins sé höfð að leiðarljósi við alla frekari uppbyggingu á vatnasviðinu því aðeins þannig er líklegt að ná megi settum markmiðum til lengri tíma litið. Til að sporna við mengun þarf m.a. að tryggja fullnægjandi meðferð skólps og áburðar, m.a. húsdýraskíts. Til lengri tíma litið er nauðsynlegt að draga úr magni ofanvatns á þeim svæðum sem byggð verða og sjá til þess þar sem kostur er að vatnið seyti niður í jarðveginn áður en það nær Hafravatni eða Seljadalsá sem í það rennur.

Tafla 7. Langtímamarkmið fyrir einstaka flokkunarþætti.

	Markmið	Staða
Saurkólí í 100 ml	I <14	Uppfyllt
t-P ($\mu\text{g/l}$)	I <10	Uppfyllt
t-N ($\mu\text{g/l}$)	I <300	Úr 308
NH ₄ -N ($\mu\text{g/l}$)	I <10	Uppfyllt
Blaðgræna α ($\mu\text{g/l}$)	I <2	Naumlega uppfyllt
TOC (mg/l)	I <1,5	úr 4,91
Cu ($\mu\text{g/l}$)	I $\leq 0,5$	Uppfyllt
Zn ($\mu\text{g/l}$)	I ≤ 5	Uppfyllt
Cd ($\mu\text{g/l}$)	II <0,1	Uppfyllt
Pb ($\mu\text{g/l}$)	I $\leq 0,2$	Uppfyllt
Cr ($\mu\text{g/l}$)	II <5	Uppfyllt
Ni ($\mu\text{g/l}$)	I $\leq 0,7$	Uppfyllt
As ($\mu\text{g/l}$)	I $\leq 0,4$	Uppfyllt

Tillaga að vöktun

Vöktun er nauðsynleg til að fylgjast með hugsanlegum breytingum á ástandi vatna, meta það hvernig tekist hefur að ná langtímamarkmiðum og afla vitneskju um gagnsemi hugsanlegra aðgerða.

Tillögur um vöktun Hafravatns eru sýndar í töflu 8. Tillögurnar miðast við að uppbygging þéttbýlis í einhverri mynd muni eiga sér stað á vatnasviði Hafravatns næstu áratuginna. Jafnframt muni ýmis mannleg umsvif aukast. Sú tíðni sem lögð er til fyrir vöktun málma byggist á þeirri staðreynd að styrkur málma reyndist almennt lágur og ekki er útlit fyrir mikla aukningu málmmengunar í bráð. Málmmengun mun þó aukast eftir því sem hlutfall þéttra flata á vatnasviðinu eykst en þéttir fletir fylgja aðallega þéttbýli. Aðrir þættir þurfa tíðari vöktun enda mengunaruppsprettur þeirra þegar til staðar á vatnasviðinu, þ.e. sumarhúsabyggð og landbúnaðarstarfsemi. Tíðustu vöktunina þarf fyrir þá þætti sem ekki flokkast í besta mengunarflokkinn. Einhverra aðgerða kann að vera þörf vegna þeirra og gert er ráð fyrir að fylgst verði frekar títt með þeim á meðan verið er að ná þeim niður. Flokkun á grundvelli heildarstyrks lífrænna kolefna (TOC) kom verst út. Þar sem saurbakteríur eru oft frá sömu mengunaruppsprettu og næringarefni er talið skynsamlegt að vakta þessi efni saman. Sama er að segja um blaðgrænu α en styrkur hennar ræðst að verulegu leyti af styrk næringarefna. Tillögurnar fyrir þessa þætti miðast því við þann þátt sem þarf tíðasta vöktun. Tíðni vöktunar þarf þó jafnan að taka mið af uppbyggingarhraðanum og vera endurskoðuð eftir hverja nýja úttekt. Tíðnin sem lögð er til er samræmd þannig að sýnataka mismunandi þátta fellur saman á ár.

Æskilegt er að áframhaldandi vöktum á Hafravatni fari áfram fram með sýnatöku og mælingum yfir dýpsta hluta þess. Aðeins þar er hægt að fylgjast með hugsanlegu súrefnisleysi við botn á tímabilum þegar lagskiptingar gætir í vatninu. Á grundvelli þess að mengunarástand vatnsins er tiltölulega gott er hinsvegar fyrst í stað talið réttlætjanlegt að vakta þá umhverfisþætti sem hér eru til umfjöllunar með sýnatöku frá landi, annað hvort á móts við dýpsta hluta vatnsins eða nálægt útrennsli þess. Mælingarnar gáfu hinsvegar vísbendingar um að hugsanlega geti orðið tímabundinn súrefnisskortur við botn vatnsins. Verði slíkt ástand algengt kann það hugsanlega að leiða til þess að vatnið þróist hratt yfir í næringarríkt ástand. Því er það æskilegt að reglulega verði fylgst með hugsanlegu súrefnisleysi við botn á tímabilum þegar lagskiptingar kann að gæta í vatninu, þ.e. eftir að vatnið hefur verið ísilagt um skeið og á tímabilinu frá seinni hluta sumars fram á haust allt þar til hugsanleg lagskipting hverfur. Verði það ekki gert er mælt með að sýnataka og mælingar vegna vöktunarinnar fari sum skiptin áfram fram yfir dýpsta hluta þess. Ef vart verður við aukna mengun í vatninu eða tímabundið súrefnisleysi við botninn er mælt með að eingöngu verði stunduð sýnataka og mælingar yfir dýpsta hluta þess, m.a. svo fylgjast megi með súrefnisstyrknum.

Tafla 8. Tillaga að vöktun.

	Tíðni	Næsta vöktun
Saurkólí	4	2008
t-P	4	2008
t-N	4	2008
NH ₄	4	2008
Blaðgræna α	4	2008
TOC	4	2008
Cu	20	2024
Zn	20	2024
Cd	20	2024
Pb	20	2024
Cr	20	2024
Ni	20	2024
As	20	2024

Sérstök verndun, viðkvæm svæði og aðgerðaráætlanir

Það verkefni sem gerð hefur verið grein fyrir hér að framan tekur ekki til þess hvaða svæði ætti að vernda eða skilgreina sem viðkvæm sbr. 1. og 2. tl. gr. 11.1, gr. 10.3 og gr. 10.4 í reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns. Það tekur heldur ekki til tillögugerðar um aðgerðaráætlanir, sbr. 3 tl. sömu greinar og gr. 8.3 sömu reglugerðar.

Þegar langtímamarkmiðin hafa verið ákveðin þarf hinsvegar að íhuga hvort sérstakrar verndar á vatnasvæðunum er þörf og hvort ástæða sé til að skilgreina þau viðkvæm. Þá er enn fremur nauðsynlegt að að móta stefnu um nauðsynlegar aðgerðir til að ná langtímamarkmiðunum, þ.e. aðgerðaráætlun þarf að gera. Á það einnig við þegar einungis þarf að halda í horfinu.

Sum af þeim atriðum sem nærtækast er að nota til aðgerða eru á valdsviði heilbrigðisnefndanna, s.s. að ákveða að tiltekið vatnasvið sé viðkvæmt og framfylgja að öðru leyti ákvæðum mengunarvarnareglugerða og starfsleyfa. Önnur eru í höndum sveitarstjórna, s.s. sérstök verndun vatnasviðs og aðrar aðgerðir sem lúta að skilyrðum í skipulagi og meðferð og hreinsun fráveituvatns úr veitum og af götum og opnum svæðum.

Heimildir

- AMAP 1997. Arctic Pollution Issues: A State of the Arctic Environment Report. Oslo, AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Program). 188 bls.
- Árni Hjartarson & Freysteinn Sigurðsson 1993. Vatnafarskort, Vífilfell 1613 III SA-V 1:25.000 Reykjavík. Landmælingar Íslands, Orkustofnun, Hafnafjarðarbær, Garðabær, Kópavogsbær, Seltjarnanesbær og Reykjavíkurborg.
- Árni Hjartarson & Freysteinn Sigurðsson 1997. Vatnafarskort, Mosfell 1613 III NA-V 1:25.000 Reykjavík. Landmælingar Íslands, Orkustofnun, Hafnafjarðarbær, Garðabær, Kópavogsbær, Seltjarnanesbær og Reykjavíkurborg.
- Brit Lise Skjelkvale, Arne Henriksen, Gunnar Steinn Jónsson, Jaakko Mannio, Anders Wilander, Jens Peder Jensen, Eirik Fjeld & Leif Lien 2001. Chemistry of lakes in the Nordic region - Denmark, Finland with Åland, Iceland, Norway with Svalbard and Bear Island, and Sweden. Oslo. NIVA. SNO 4391-2001, Acid Rain Research Report 53/2001, 39 bls.
- Deborah Chapman (ritstj.) 1996. Water Quality Assessments. A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. (UNESCO/WHO/UNEP). 2. útgáfa. London, E & FN Spon. 626 bls.
- Elizabeth Kay Berner & Robert A. Berner 1996. Global Environment. Water, Air, and Geochemical Cycles. New Jersey, Prentice-Hall, Inc. Simon & Saddle River. 376 bls.
- Eydís Salome Eiríksdóttir, Sigurður Reynir Gíslason & Ingvi Gunnarsson 1999. Næringarefni straumvatna á Suðurlandi. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar, Hafrannsóknastofnunar og Orkustofnunar. Reykjavík. Raunvísindastofnun Háskólans. RH-18-99, 36 bls.
- GUM 1995. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Geneva, ISO.

- H.L. Golterman, S.R. Clymo & M.A.M. Ohnstad 1978. IPM Handbook No 8. Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Water. 2. útgáfa. Oxford, Blackwell Scientific Publications. 214 bls.
- Hákon Aðalsteinsson 1981. Afdrif svifsins í Þórisvatni efri miðlun og veitu úr Köldukvísl. Reykjavík. Orkustofnun. OS-81025/VOD-11, 55 bls.
- Hákon Aðalsteinsson, Sigurjón Rist, Stefán Hermannsson & Svanur Pálsson 1989. Stöðuvötn á Íslandi, skrá um stöðuvötn stærri en 0,1 km². Orkustofnun. OS-89004/VOD-02, 48 bls. bls.
- Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson & Haraldur Rafn Ingvason 2003. Áhrif vatnsmiðlunar á vatnalífriki Skorradalsvatns: Forkönnun og rannsóknartillögur. Greinargerð unnin fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Kópavogur. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 2-03, 34 bls.
- Hilmar Malmquist, Finnur Ingimarsson & Haraldur Rafn Ingvason 2004. Vöktun á lífríki Elliðavatns: Forkönnun og rannsóknartillögur. Greinargerð unnin fyrir Reykjavíkurborg og Kópavogsbæ. Kópavogur. Náttúrufræðistofa Kópavogs. 49 bls.
- Hollustuvernd ríkisins 2002. Vatnsgæði og vatnsmengun. Hollustuvernd ríkisins <http://www.hollver.is/mengun/vatnsvernd/vatnsmengun.html>. 11. júní, 2002
- Kevin Barrett 2002. Copenhensive Atmospheric Monitoring Programme. Observations from N.E. Atlantic Coastal Stations in 2000. Kjeller, Norway. OSPAR Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic, Working Group on Inputs to the Marine Environment (INPUT). Norwegian Institute for Air Research (NILU). NILU OR 12/2002
- Landmælingar Íslands 2003. Atlaskort Landmælinga Íslands, Kortadiskur 2 1:100.000. 1,0. útgáfa. Akranes. Landmælingar Íslands.
- Marten Scheffer 1998. Ecology of Shallow Lakes. Population and Community Biology Series. Vol. 22. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers. 357 bls.
- P. M. Jonasson, H. Adalsteinsson & G. Stjonsson 1992. Production and Nutrient Supply of Phytoplankton in Sub-Arctic, Dimictic Thingvallavatn, Iceland. OIKOS 64:162-87.
- P.M. Jonasson & H. Adalsteinsson 1979. Phytoplankton production in shallow eutrophic Lake Myvatn, Iceland. OIKOS 32:113-38.
- R.O. Gilbert 1987. Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. New York, Van Nostrand Reinhold.
- Rolf D. Vogt, Egil Gjessing, Dag Olav Andersen, Nicholas Clarke, Tone Gadmar, Kevin Bishop, Ulla Lundstrøm & Michael Starr 2001. Natural Organic Matter in the Nordic countries. The NOMiNiC project. 1. TOC intercalibration. 2. Physico-chemical characteristics of DOM. Espoo, Finland. Nordtest. Nordtest report TR 479
- S. E. Gergel, M. G. Turner & T. K. Kratz 1999. Dissolved organic carbon as an indicator of the scale of watershed influence on lakes and rivers. Ecological Applications 9:1377-90.
- Sigurður R. Gíslason & Stefán Arnórsson 1988. Efnafræði árvatns á Íslandi og hraði efnaröfs. Náttúrufræðingurinn 58:183-97.
- Sigurður Reynir Gíslason 1993. Efnafræði úrkomu, jökla, árvatns, stöðuvatna og grunnvatns á Íslandi. Náttúrufræðingurinn 63:219-36.
- Sigurjón Rist 1969. Vatnasvið Íslands. Iceland's drainage net. Reykjavík. Orkustofnun, Vatnamælingar. Report no. 6902, 93 bls.
- Sigurjón Rist 1990. Vatns er þörf. Reykjavík, Bókaútgáfa Menningarsjóðs. 248 bls.

- Steven C. Chapra 1997. Surface Water Quality Modeling. Boston, WCB/McGraw-Hill. 844 bls.
- Tryggvi Þórðarson & Þorsteinn Narfason 2001. Vöktun á mengun í Úlfarsá. 1. áfangaskýrsla. Mælingar 1999 og 2000. Reykjavík. Heilbrigðiseftirlit Reykjavíkur og Heilbrigðiseftirlit Kjósarsvæðis. 14 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2003a. Flokkun vatna á Kjósarsvæði. Laxá í Kjós. Hveragerði. Rannsókn- og fræðasetur Háskóla Íslands í Hveragerði, Heilbrigðiseftirlit Kjósarsvæðis. 41 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2003b. Flokkun vatna á Kjósarsvæði. Bugða. Hveragerði. Rannsókn- og fræðasetur Háskóla Íslands í Hveragerði, Heilbrigðiseftirlit Kjósarsvæðis. 39 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2003c. Flokkun vatna á Kjósarsvæði. Leirvogsa. Hveragerði. Rannsókn- og fræðasetur Háskóla Íslands í Hveragerði, Heilbrigðiseftirlit Kjósarsvæðis. 39 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2003d. Flokkun vatna á Kjósarsvæði. Kaldakvísl. Hveragerði. Rannsókn- og fræðasetur Háskóla Íslands í Hveragerði, Heilbrigðiseftirlit Kjósarsvæðis. 39 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2003e. Flokkun vatna á Kjósarsvæði. Varmá. Hveragerði. Rannsókn- og fræðasetur Háskóla Íslands í Hveragerði, Heilbrigðiseftirlit Kjósarsvæðis. 41 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2003f. Flokkun vatna á Kjósarsvæði. Úlfarsá. Hveragerði. Rannsókn- og fræðasetur Háskóla Íslands í Hveragerði, Heilbrigðiseftirlit Kjósarsvæðis. 39 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2003g. Flokkun vatna á Kjósarsvæði. Botnsá. Hveragerði. Rannsókn- og fræðasetur Háskóla Íslands í Hveragerði, Heilbrigðiseftirlit Kjósarsvæðis. 33 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2003h. Flokkun vatna á Kjósarsvæði. Brynjudalsá. Hveragerði. Rannsókn- og fræðasetur Háskóla Íslands í Hveragerði, Heilbrigðiseftirlit Kjósarsvæðis. 33 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2003i. Flokkun vatna á Kjósarsvæði. Kiðafellsá. Hveragerði. Rannsókn- og fræðasetur Háskóla Íslands í Hveragerði, Heilbrigðiseftirlit Kjósarsvæðis. 33 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2003j. Flokkun vatna á Kjósarsvæði. Fossá. Hveragerði. Rannsókn- og fræðasetur Háskóla Íslands í Hveragerði, Heilbrigðiseftirlit Kjósarsvæðis. 33 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2003k. Mengunarstaða Elliðavatns 2001-2002. Hveragerði. Háskólasetrið í Hveragerði. 60 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2004a. Flokkun vatna á Norðurlandi eystra. Eyjafjarðará, Glerá, Hörgá og Svarfaðardalsá. Hveragerði. Háskólasetrið í Hveragerði. 39 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2004b. Flokkun vatna á Kjósarsvæði, Hvalvatn. Hveragerði. Háskólasetrið í Hveragerði. 27 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2004c. Flokkun vatna á Kjósarsvæði, Meðalfellsvatn. Hveragerði. Háskólasetrið í Hveragerði. 33 bls.
- Tryggvi Þórðarson 2004d. Flokkun vatna á Kjósarsvæði, Leirvogsvatn. Hveragerði. Háskólasetrið í Hveragerði. 31 bls.
- V.P. Evangelou 1998. Environmental Soil and Water Chemistry. Principles and Applications. New York, John Wiley & sons, Inc. 564 bls.

Viðauki

- Tafla A. Samband mengunarflokkunar við náttúrulegt og raunverulegt ástand.
- Tafla B. Veðurlýsing og athugasemdir skráðar við sýnatöku.
- Tafla C. Niðurstöður mælinga og efna- og bakteríugreininga.

Tafla A. Samband mengunarflokkunar við flokkun á náttúrulegu og raunverulegu ástandi.

Náttúrulegt og raunverulegt ástand er flokkað á grundvelli umhverfismarkna, sbr. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns. Í umhverfismarkaflokkunum er flokkur I bestur en V verstur. Í mengunarflokkunum er A bestur en E verstur. Þegar gildi fyrir náttúrulegt ástand eru jafnhá eða hærri en gildi fyrir raunverulegt ástand lendir viðkomandi vatn í besta flokki (A) fyrir þann matsþátt. Nánar er gerð grein fyrir flokkunarkerfinu í töflum 1 og 2.

Náttúrulegt ástand	Raunverulegt ástand	Mengunarflokkun (frávik frá náttúrulegu ástandi)
I	I	A Ósnortið vatn
	II	B Lítið snortið vatn
	III	C Nokkuð snortið vatn
	IV	D Verulega snortið vatn
	V	E Ófullnægjandi vatn
II	I-II	A Ósnortið vatn
	III	B Lítið snortið vatn
	IV	C Nokkuð snortið vatn
	V	D Verulega snortið vatn
III	I-III	A Ósnortið vatn
	IV	B Lítið snortið vatn
	V	C Nokkuð snortið vatn
IV	I-IV	A Ósnortið vatn
	V	B Lítið snortið vatn
V	I-V	A Ósnortið vatn

Tafla B. Veðurlýsing og athugasemdir skráðar við sýnatöku í Hafravatni.

Dags.	Vindur*	Úrkoma	Skýjafar	Athugasemdir
14.4 2003	SAu andvari	Engin	6/8	
19.5 2003	NAu stinningsgola	Engin	7/8	
11.6 2003	N gola	Engin	6/8	
17.7 2003	NV gola	Engin	7/8	Þunnskýjað
20.8 2003	N gola	Engin	3/8	
2.10 2003	NV kaldi	Lítlisháttar súld	8/8	Súrefnismælir bilaður
30.10 2003				
25.11 2003	Spá: A og NAu 5-10 m/sek.		Léttskýjað	
30.12 2003	Gola eða kaldi	Engin	Alskýjað.	Sýni tekið neðan við brú efst í Úlfarsá þar sem vatnið var allt frosið.
17.2 2004	Strekkingur, 12-15 m/sek.		Hálfskýjað	Vatnið íslaut.
16.3 2004	Logn/andvari		Léttskýjað	Sól. Vatnið ekki alveg tært (þörungablóm?).

* Metið en ekki mælt

Tafla C. Niðurstöður mælinga og efna- og bakteríugreininga í Hafravatni 14. apríl 2003 – 16. apríl 2004. Rauð gildi eru undir greiningarmörkum.

Dags.	Loft- hiti °C	Vatns- hiti °C	Súr- efnis- mettun, O ₂ (%)	Leiðni uS/cm	pH	Sjón- dýpi, m	Grugg, NTU	Saur- kólí í 100 ml	t-P (µg/l)	PO ₄ - P (µg/l)	t-N (µg/l)	NH ₄ - N (µg/l)	Blað- græna α (µg/l)	TOC (mg/l)	IC (mg/l)	TC (mg/l)	Cu (µg/l)	Zn (µg/l)	Cd (µg/l)	Pb (µg/l)	Cr (µg/l)	Ni (µg/l)	As (µg/l)
14.4.2003		4,4	99,6	76,5	7,52	2,3	3,22	1	13,60	4,84	240	<5,7	2,7	4,71	3,40	1,31	0,399	1,27	<0,0098	0,0534	0,347	0,185	<0,0880
19.5.2003	12,3	2,5	114,3	78,4	7,52	4,5	1,29	0	9,85	5,25	136	6,43	2,5	5,08	3,80	1,28	0,403	<0,20	<0,0098	0,0257	0,396	0,231	<0,0880
11.6.2003	14,1	11,1	98,4	82,7	7,71	5,6	1,03	0	3,70	3,14	323	<5,7	1,2	3,78	2,81	0,97	0,153	0,421	<0,0098	0,0133	0,358	0,094	<0,0880
17.7.2003	17,8	13,8	95,4	75,0	7,47	4,8	0,75	1	5,11	5,24	178	<5,7	1,0	5,73	4,11	1,62	0,292	0,905	<0,0098	0,0126	0,393	0,219	<0,0880
20.8.2003	15,3	13,7	88,3	90,8	8,27	4,0	0,40	2	3,08	2,31	218	<5,7	1,9	6,23	4,55	1,68	0,263	1,31	0,0169	0,163	0,221	0,094	<0,0880
2.10.2003	5,7	7,9		91,7	8,62	5,7	0,61	2	4,03	3,03	2100	<5,7	2,6	3,95	2,65	1,30	0,209	<0,20	<0,0098	0,049	0,458	0,106	<0,0880
30.10.2003	0,0	2,0		82,0	7,60			0															
25.11.2004	0,0	0,8		82,0	7,60			6															
30.12.2004	-1,0	-0,3		78,0	7,40			2															
17.2.2004	7,2	1,0		84,0	7,57			20															
16.3.2004	8,0	4,0		75,0	7,50			0															
Meðaltal	7,9	5,5	99,2	81,5	7,71	4,48	1,22	3,1	6,56	3,97	533	5,8	2,0	4,91	3,55	1,36	0,287	0,72	0,0110	0,053	0,362	0,155	0,0880
Staðalfrávik	6,8	5,2	9,5	5,7	0,38	1,25	1,03	5,9	4,22	1,29	770	0,3	0,7	0,97	0,74	0,26	0,101	0,51	0,0029	0,057	0,079	0,064	0,0000
Miðgildi	7,6	4,0	98,4	82,0	7,6	4,65	0,9	1,0	4,57	3,99	229	5,7	2,2	4,90	3,60	1,31	0,278	0,66	0,0098	0,037	0,376	0,146	0,0880
Geómetrískt meðaltal	2,53	3,54	98,85	81,28	7,70	4,30	0,96	1,4	5,62	3,78	308	5,8	1,9	4,83	3,49	1,34	0,271	0,54	0,0107	0,035	0,354	0,144	0,0880
10percentil	-0,10	0,80	91,14	75,00	7,47	3,15	0,51	0,0	3,39	2,67	157	5,7	1,1	3,87	2,73	1,13	0,181	0,20	0,0098	0,013	0,284	0,094	0,0880
90percentil	15,55	13,70	108,42	90,80	8,27	5,65	2,26	6,0	11,73	5,25	1212	6,1	2,7	5,98	4,33	1,65	0,401	1,29	0,0134	0,108	0,427	0,225	0,0880