

Rohke- ja liigtoitelisus: veekogude loomuliku vananemise kiirendaja



Käsiraamat eutrofeerumise
mõjudest pinnaveekogudele

Rohke- ja liigtoitelisus: veekogude loomuliku vananemise kiirendaja

Käsiraamat eutrofeerumise mõjudest pinnaveekogudele

Koostaja: Ülo Sults

Joonistused: Merike Mäemets

Fotod: Gertrud Cronberg, Reet Laugaste, Henn Timm, Peeter Unt

Kujundus: Emajõe Disain

Väljaandja: Peipsi Koostöö Keskus

www.ctc.ee

Väljaandmist toetas UNDP/GEF

ISBN 9949-10-342-8

Tartu, 2003

*Ja ilmneb, et kaldad on madalad,
poollauged on porijõe käänud
ja siirate lainete sadamad
on kaunis kaugele jäänud.*

*Ja juhtub, et kõver on kallaste jooks
ja metsade müürid ei lõpe.
Pool teekonda põimus meil nooruselooks,
kas pool sulab väsimustõppe?*

Paul Haavaoks

Eutrofeerumisest, ehk rohketoitelisusest põhjustatud järvede kiire vananemine on mure, mis kummitab veekogusid: tiike, inimese loodud paisjärvi ja madalaveelisi looduslikke järvi ning merede rannikuvööndit üha enam ja enam. Eutrofeerumine on looduslik protsess, mille kulg ajas sõltub paljudest teguritest. Siseveekogude puhul on neist olulisimad järve või paisjärve tüüp, eriti troofsuse ehk toitelisuse seisukohalt, kliimatilised tingimused, veekogu sügavus ning inimtegevus veekogul ja selle valgalal. Viimast tegurit peetakse peamiseks protsessi kiirendajaks möödunud 50 aasta jooksul. Just nii, nagu inimeste vananemise puhulgi, mõeldakse abile alles siis, kui selleks on juba kas liiga hilja, või nõuab tervendamine suuremaid kulutusi, kui ühiskond suudab või on nõus maksma.

Olgu järgnevad artiklid põgusaks sissejuhatuseks liigtoitelisusest põhjustatud hädadest ja ebaeeldivustest Eesti järvedel. Kirjeldatud on ka viise, kuidas “haigele” järvele läheneda ja hoiatatakse ohtude eest, mis võivad järgneda ebaõigete või liiga agressiivsete noorendamisvõtete kasutamisele. Loomulikult ei suuda üks väike raamatuke ammendada eutrofeerumise mõju kõikidele veeökosüsteemi lüliledele. Puuduvad näiteks loomplankton, kalad, vees elavad imetajad ja veekogusid peamise elu- või toitumispaigana kasutavad linnud. Kuna viimatinimetatud on tihedas seoses konkreetsete noorendamisabinõudega, milliste rakendamiseks oleks soovitatav välja anda eestikeelne juhendmaterjal, siis: “Jõudu jätkutrukise koostajatele ja väljaandjale!”

Rohke- ja liigtoitelisus: veekogude loomuliku vananemise kiirendaja

Käsiraamat eutrofeerumise mõjudest pinnaveekogudele

Sisukord

Vananevate (eutrofeeruvate) järvede ja jõgede noorendamismeetmete väljatöötamine ja rakendamine Eesti eri piirkondades	4
Eutrofeerumine ja suurtaimed	13
Vetikate vohamine veekogus ehk vee õitsemine, eutrofeerumise perioodiliselt ilmnev ja sageli ohtlik tagajärg	22
Eutrofeerumise mõjusid järvede põhjaloomadele	28

Vananevate (eutrofeeruvate) järvede ja jõgede noorendamise meetmete väljatöötamine ja rakendamine Eesti eri piirkondades

Tõnu Mugra, PB MAA JA VESI AS, **Ülo Sults**, Peipsi Koostöö Keskus; **Madis Metsur**, MAVES AS; **Ingmar Ott**, EPMÜ Zooloogia ja Botaanika Instituut, Võrtsjärve Limnoloogiajaam; **Ilmar Tupits**, Jõgeva Maaparandusbüroo.

Vananevate ja mudastuvate järvede noorendamine (taastamine) on muutumas üha populaarsemaks kogu Euroopas. Üldteada on asjaolu, et eutrofeerumine on ajas kiirenev looduslik protsess, mille kulg järvedes võib liigtoitelisuse staadiumis areneda kiirenevalt isegi siis, kui toitesoolakoormus valgalalt on viidud miinimumini. Rikkalik vee- ja kaldataimestik ja põhjasetetest vabanev fosfor võivad olla küllaldased järvesisese aineringe reguleerimiseks ja järve ökosüsteemi muutmiseks inimestele ja kaladele vähesobivaks või koguni kasutamiskõlbmatuks. Inimese jaoks muutub järv väheatraktiivseks, kui üle 50% järvepinnast on kaetud taimestikuga ja mudakiht järve põhjas ületab paksuselt vaba veekihi. Paljudele kalaliikidele muutub samadel põhjustel järv elamiskõlbmatuks talvise ja/või hilissuvise hapnikupuuduse tõttu.



Eutrofeerumisprotsessi kiirenemisele on tõhusalt kaasa aidanud inimtegevus (järvede veetaseme alandamised, intensiivne põllumajanduslik tegevus, puhastamata reovee juhtimine järve jne.) Tänapäeval on inimeste võimuses järvede vananemist ka mõnevõrra aeglustada, kasutades selleks nii loodusprotsesside teadlikku suunamist

kui ka tehnilisi abinõusid (roostiku ja veetaimestiku osaline väljamine, nende leviku tõkestamine, setete väljakaevamine või -pumpamine, keemiliste reaktsioonide pidurdamine või soovitud suunas juhtimine ja muud praktilikas proovitud või seni veel proovimata meetmed). Kahjuks nõuab nende praktiline rakendamine eelnevaid põhjalikke uuringuid ja on üldiselt kallis ning eritehnoloogiaid ja tehnikat nõudev. Just sellepärast polegi Eestis seni järvede noorendamismeetmeid ulatuslikumalt ellu rakendatud, kuigi väiksemaid katseid on tehtud (Väimela Alajärv, Lahepera järv, Kuremaa järv)

Eesti armastatuimad ja kaunimad järved paiknevad valdavalt kaitsealadel (Haanja ja Otepää, Kurtna järvestiku kaitseala, Vooremaa maastikukaitseala). Mõnedki neist (Elistvere ja Soitsjärv, Neitsijärv) on tugevasti eutrofeerunud ja jõudnud vananemise lõppjärku. Eutrofeerumine on probleemiks ka mitmel linnalähedasel järvel (Viljandi järv, Tamula järv, Ilmatsalu kalatiigid), kus noorendamismeetmete rakendamine on kujunemas tõsiseks huviobjektiks.



Võtmesõnad

Järvede taastamine	Järvede majandamine	Järvede kaitse
Ökoloogiliselt usaldusväärsete printsiipide rakendamine veekogus võimalikult looduslähedase seisundi taastamiseks	Kindlaksmääratud kasutusviiside võimaluste avardamine järve seisundi parandamise teel, kasutades selleks bioloogilisi ja tehnilisi ning majandusmeetmeid	Järve või veehoidla kaitsmine kahjulike mõjude eest

Eutrofeerumine – Kiirenev mineraalainete ja orgaanilise või purdmaterjali lisandumine järve, veekogusse või merre. Selle tulemusena kasvab järveökosüsteemi bioproduktiivsus ja sinirohevetikate vohamine suveperioodil. Järve süvakihtides võib samal ajal olla terav hapnikupuudus, vee läbipaistvus väheneb. Ilmneda võib soontaimede massiline levik ning makro- ja mikrovetikate vohamine

Plankton – Veekogus hõljuvate liikumisvõimetute või väikese liikumisvõimega mikroskoopiliste organismide – plankterite- kogum.

Zooplankton, *e loomhõljum* – mikroskoopilised, vabalt järves või meres ujuvad loomad, kes toituvad detriiidiosakestest, bakteritest või teistest zooplanktoni isenditest ja vetikatest. On peamiseks toiduks kalamaimudele.

Detriit *e pude (biol.)* – Lagunenud orgaanilised jäänused vees, veekogu põhjas või mullas (varises).

Purdaines *e detriit (geol.)* – Kivimi või sette purdne aines.

Vetikad – peamiselt vees elavate valdavalt autotroofsete (mineraalainetest päikeseenergia mõjul orgaanilist ainet tootvate) alamate taimede hõimkondade rühm. Vetikate hulgas on üherakulisi, hulkrakulisi ning niitjaid ja kerajaid kolooniaid moodustavaid liike. Hulkrakulise vetika pikkus võib meres ulatuda 60 meetrini. Peamiste vetikarühmade iseloomustuse leiad järgnevas tabelis.

Vetikarühm	Iseloomulikud tunnused
RÄNIVETIKAD Diatoms (<i>Bacillariophyta</i>)	Rakuseinad ränist (Si), kloroplastid kollakasrohelistes arvukuse maksimumi saavutavad varakevadel või hilissügisel, kuna eelistavad jahedamat vett. Rakuseinad säilivad põhjasetetes miljeoneid aastaid. Seetõttu olulised paleolimnoloogilistes uurimistes.
ROHEVETIKAD Green algae (<i>Chlorophyta</i>)	Kloroplast hele-(ere)roheline, populatsiooni arvukuse maksimum saabub tavaliselt pärast ränivetikate arvukuse maksimumi. Tähtis toidulaud zooplanktonile. Lämmastikusoolade kõrge kontsentratsioon võib põhjustada liigiarvukust (vee <i>õitsengut</i>).
SINIROHEVETIKAD Blue-green algae (<i>Cyanobacteria</i>)	Kõige primitiivsemad vetikad, raku ehituselt bakterid, kloroplast puudub, värvaine jaguneb ühtlaselt üle kogu raku. Moodustavad niitjaid või kerakujulisi kolooniaid. Arvatakse sageli soovimatute organismide hulka kuna võivad toota närvi- ja maksamürke. Produktiivsuse maksimum saabub hilissuvel või varasügisel. Mõned liigid seovad õhulämmastikku.
KOLDVETIKAD Golden algae (<i>Chrysophyta</i>)	Eelistavad suhteliselt külma vett, mille tõttu saabub produktiivsuse maksimum hilistalvel või varakevadel. Selle vetikarühmaga on seotud enamik vee värvuse või lõhnamuutuse probleemidest.



Inimmõjude hindamine järve ökosüsteemis

I Tehnorajatised ja nende mõju veeökosüsteemidele:

- a) paisud/tammid ja paisjärved;
- b) tehnorajatised äravoolu kontrolliks;
- c) maaparandusrajatised

II Inimtegevusest põhjustatud reostusega seotud riskid:

- a) eutrofeerumine;
- b) hapestumine;
- c) mürgised jt. ohtlikud ained;
- d) soojusreostus

III Võõrliikide sissetoomine:

- a) taimed (vesikatk *Elodea canadensis*)
- b) kalad (peled, peipsi siig, koha jt.)
- c) veekeskkonnas kohastunud imetajad (ondatra)
- d) selgrootud loomad (rändkarp)

IV Üksikliikide ja koosluste kasutamine:

- a) üle-ehk liigkasutus (looduslikku taastumisvõimet ületav kalavarude kasutus, loodustaluvust ületav turistide arv);
- b) Vesiviljelus (söödavate karplaste kasvatamine järvedes, söögiks kõlbulike või seedimist soodustavate taimede kultiveerimine veekogudes)

Veemajanduskavade koostamisel tulevad kõik 100 ha suuremad järved klassifitseerida, teha kindlaks nende kasutusfunktsioon(id) ja kavandada meetmed järvede hea, loodusseisundi hoidmiseks või tugeva inimõjuga järvede tervendamiseks.

Tavaliselt ei aita ühest-kahest abinõust, vaid tuleb rakendada abinõude ja tegevuste kompleksi nii järves kui ka valgalal:

- tervendusabinõud valgalal, ilma milleta on teised mõjuta;
- tervendusabinõud, mida saab ja tuleb rakendada järves;
- inimeste hoiakute ja suhtumise muutmine.

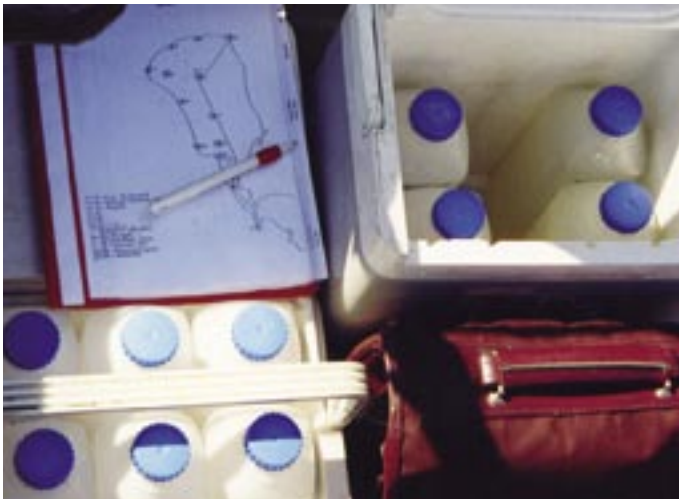
Tervendusabinõud valgla

Järve valgla tuleb olemasolevate, võimalikult täpsete topograafiliste kaartide ja maaparandusmõõdistuste alusel piiritleda ning kindlaks teha peamised sissevoolud järve (jõed, ojad, maaparandusobjektide kraavid), kindlaks määrates ka igäihe alamvalgla.

Järgmiseks sammuks on alamvalglate kaupa maakasutuse ja punktreostusallikate kohta andmete kogumine ning kaardile kandmine. Sellist kaarti on otstarbekas täiendada ka järve jaoks oluliste andmetega, millisteks oleksid:

- **järvede kaldataimestik võõndite kaupa:** kõrgetaimestikuvöönd (puud ja põõsad); roostikuvöönd; ujuvtaimede vöönd. (vesiroosid, penikeeled jt.) ning veesiseste taimede vöönd;
- **põhjasetete tüsedus ja iseloom** (hõljuv muda, tahked orgaanikarikkad setted, moreenmaterjal või järvelubi jne.);
- **järve kaldal, veepiiri lähedal paiknevad rajatised** (elamud jt. hooned, paadisillad ja kuurid, supluskohad ja vettehüppetornid jmt.)

Maakasutuse ja punktreostusallikate andmeid ja järgnevas tabelis esitatud keskväärtusi kasutades saab arvutada orienteeriva toitesoolakoormuse valglat üksikute alamvalglate kaupa. Tulemuste kontrolliks on otstarbekas võtta peamiste sisse- ja väljavoolude veeproovid, samuti proovid põhjasetest ja lasta neid keemialaboris analüüsida.



Erinevatelt aladelt järve

transporditavate ainekoguste piir- ja keskväärtused [kg ha⁻¹ a⁻¹]

(Käsiraamatust “Managing Lakes and Reservoirs”, 3rd edition, 2001)

Maapiirkonnast	Hõljuvained	Üldfosfor	Üldlämmastik
Põllumaalt	20 – 5100	0.2 – 4.6 (0.17)	4.3 – 31 (7.9)
Parandatud rohumaalt	30 – 80	0.1 – 0.5	3.2 – 14
Metsamaalt	1 – 820	0.02 – 0.67 (0.005)	2.0 – 20 (2.8)
Nuumakoplitest	–	10 – 620	100 – 1600
Asulatest ja prügilatest			
Prügilast	620 – 2300	0.4 – 1.3	5.0 – 7.3
Kaubandusest	50 – 830	0.1 – 0.9	1.0 – 11
Tööstusettevõtetest	420 – 1700	0.9 – 4.1	1.0 – 14
Uusasulatest	27500	23	63
Õhu kaudu			
Metsaaladele	–	0.26	6.5
Põllumaadele	–	0.28	13.1
Asula/tööstusmaastikule	–	1.01	21.4

Eesmärkide valik

Edukas järvede majandamine peab juhinduma selgetest eesmärkidest, mis tulevad reastada tähtsuse järjekorras. Väga harva on võimalik saavutada ühes järves samaaegselt optimaalseid tingimusi nii ujumise, kalapüügi, paadisõidu kui ka veevarustuse jaoks, kuigi teatud määran on võimalik erinevaid kasutusviise üksteisega sobitada. Tehniliste abinõudega saab mõnd kasutust suurendada, teisi aga mitte. Näiteks:

- Teatud herbitsiidid aitavad kontrollida ja vähendada vetikate vohamist, kuid neid ei või lisada joogiveeallikana kasutatavasse järve;
- Kihistunud järvedes kasutatav aereerimine võib mõjuda hukatuslikult jahedat vett eelistavatele kalaliikidele.

Probleemide hindamine

Järvede majandamise (noorendamise) eesmärgid tulenevad tavaliselt spetsiifilistest erikasutusviisidest, millisteks võivad olla:

- toorvee saamine joogiveevarustuseks;
- kalapüük (tööstuslik või harrastuslik);
- turism ja vesivirgestus (ujumine, paadisõit, vesijalgrattal ja veesuuskadega sõit, purjetamine);
- looduskaitse eesmärgid (unikaalsete järvemaaastike või haruldaste järvetüüpide kaitse, hinnaline objekt teadusuuringuteks jmt.);
- kala- või vähikasvatus;
- muud vesiviljeluse liigid (söödavate karpide kasvatus, taimede vesikultuurid)

Kõik olemasolevad ja eelduste poolest võimalikud kasutusviisid tuleb läbi analüüsida ja reastada tähtsuse ning majandusliku tulukuse alusel. Kuna järvede majandamise tegelik tulusus sõltub suurel määral kulutustest, mida on vaja teha selleks, et lahendada probleemid, mis takistavad soovitud kasutamise viisi rakendamist, siis ei saa mööda minna ka nende probleemide analüüsist.

Kõik järgnevas tabelis esile toodud 11 põhiprobleemi on võrdlemisi tavalised. Järvede noorendamise kavade koostamise seisukohalt tuleks aga eriti rõhutada kahte esimest, s.o. vetikate ülemäärast vohamist ja soontaimede suurt arvukust ja kasvuala laiendamist, sest need viitavad kindlalt eutrofeerumise kiirele arengule.



Tabel 2. Järves või veehoidlas esinevate probleemide kindlaksmääramine

Üldprobleemid	Võimalikud eriprobleemid
1 Ülemäärane vetikate arvukus (Vee öitseng)	Vee läbipaistvuse vähenemine, maitse ja värvuse halvenemine, vetikamürkide eraldumine vette, hapnikusalduse kõikumised, elupaikade hävimine, kalade suremine, oht inimese tervisele
2 Ülemäärane suur soontaimede arvukus	Tiheda juurestikuga kaldavööndi või ujutaimede intensiivne kasv, mitterohevetikate vohamine, sissetoodud liikide agressiivne valitsemine, orgaaniliste setete kuhjumine, hapnikusalduse kõikumised ja vähenemine, elupaikade muutused
3 Põhjasetete kuhjumine	Veekogu sügavuse vähenemine, ebasoodne setete kvaliteet, setete ja settepealse veekihi vahelised protsessid (nende intensiivistumine võib olla seotud toitesoolakoormuse muutustega) Elupaikade hääbumine
4 Vee värvuse/läbipaistvuse muutused, mis pole põhjustatud vetikatest.	Vee värvuse märgatav muutus, põhjuseks humiinhapped või muud keemilised ained, tahkete osakeste suur arv suspensioonis, vee läbipaistvuse ja visuaalse väljanägemise langus
5 Hapnikupuudus (anoksia) ja sellega seotud probleemid	Madal lahustunud hapniku kontsentratsioon vees, ammoniaagi ja väävelvesiniku moodustumine, süsihappegaasi hulga suuremine, Fe, Mn ja P reaktsioonid anaeroobses keskkonnas, elupaikade hääbumine
6 Hapestumine	pH vähenemine, pH väärtuse kõikumised, kaudselt pH-väär-tusest sõltuvad veekvaliteedi muutused, elupaikade kahjustus
7 Mürgised ained	Metallide, taimekaitsevahendite või orgaaniliste ainevahetussaaduste ülemäärane tase, oht inimese tervisele, elupaikadele
8 Tõvestavad organismid	Bakterite, viiruste või teiste tõvestavate organismide ülemäärane kõrge tase, inimeste tervisekahjustused, elupaikade kahjustus
9 Ebasoovitavad kalastustingimused	Oluliste kalaliikide väike populatsioon, ebasobivate (väikeste) mõõtmetega kalad populatsioonis, <i>kiskja –saaklooma suhe</i> paigast ära, populatsioonide normaalset arengut häirivate või lõhkuvate sissetoodud kalaliikide mõjud, epideemiad
10 Häired veeluliste loomade populatsioonis	Sääskede, surusääskede (hironomiidide) jt. putukate, aga ka partlaste, hanede jt. veelindude; kaanide, rändkarbi või mõne teise looma ülemäärane suur arvukus, eriti siis, kui nad tekitavad ujujatel naha sügelemist ja kikelemist või ohustavad teisel moel inimeste tervist.
11 Erinevate kasutajate vahelised konfliktid	Kasutustakistused või eri kasutajate vahelised arusaamatused (silmas peetakse selliseid konflikte, nagu inimeste huvide ja veekogu teiste kasutajate vahelised, passiivsete ja aktiivsete kasutusviiside vahelised); liigkasutus, suur mürakoormus, vee taseme muutustest tingitud konfliktid

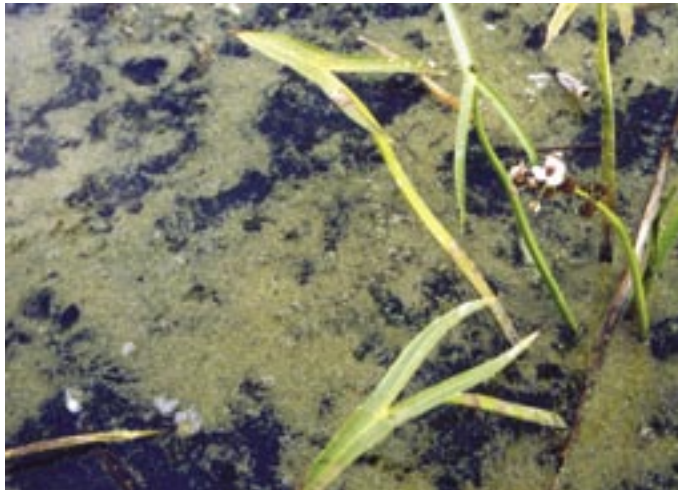
Eutrofeerumine ja suurtaimed

Helle Mäemets

EMPÜ ZBI Võrtsjärve Limnoloogiajaam

Suurtaimede peamised rühmad ja nende seos eutrofeerumisega

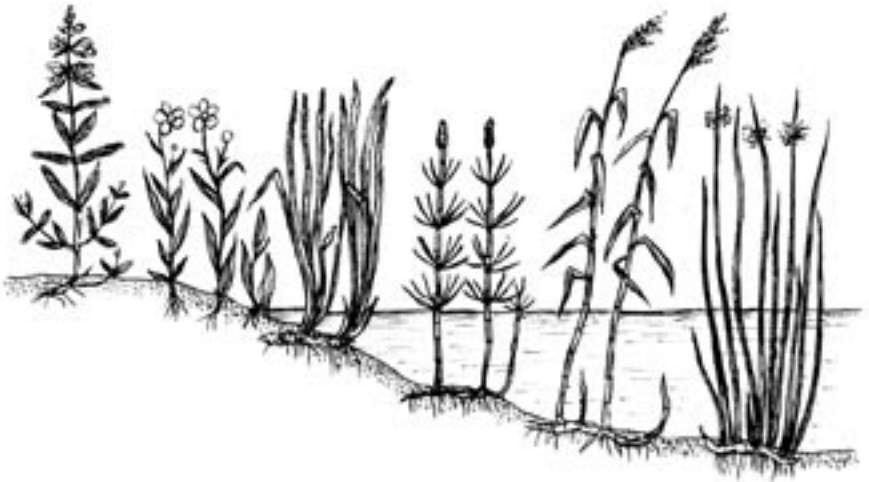
Hüdrobioloogias kasutatav termin “suurtaimed” pole ei süstemaatiline ega evolutsiooniline termin, vaid on kujunenud vajadusest eristada neid varem taimedena käsitletud pisivetikatest. On uurijaid, kes vaatlevad suurtaimedena kõrgemaid taimi, s.o. sammal-, sõnajalg- ja õistaimi, kuid samas ka mändvetiktaimi, kes oma ehituse ja spetsiifiliste kudede olemasolu tõttu on neile sarnased. Teised lisavad suurtaimede hulka veel suurekasvulised niitrohevetikad, pruun- ja punavetiktaimed.



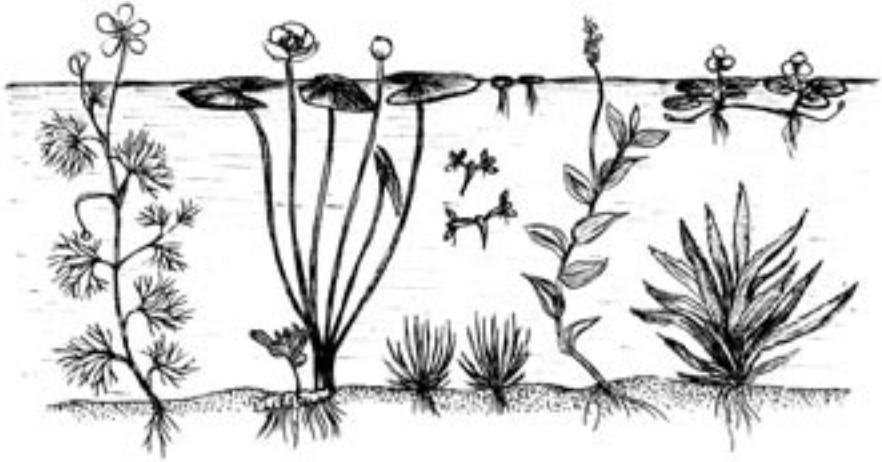
Eutrofeerumine (toiteainetega rikastumine) ei tähenda alati suurtaimede üldist pealetungi. Eutrofeerumise käigus võib muutuda erineva ökoloogiaga rühmade osakaal. Sõltuvalt kasvuvormist (eluvormist), s. o. kohastumustest eluks vee all, alumise osaga vees, vee pinnal jne. on veekogude toitainetesisalduse tõusul eeliseid neil, kelle kasvu ei takista või mõjutab vähe vee hägustumine, paks pealiskasv, orgaaniliste setete kiire ladestumine ja teised ebasoovitavad muutused. Väetamisest saavad kasu kaldaveetaimed ja nende kõdu toel uusi alasid vallutavad kaldataimed (joonis 1). Kaldataimed kasvavad tavaliselt niiskes vööndis veepiirist kõrgemal, kuid taluvad hästi ka kergemaid ja/või lühemaid üleujutusi. Kaldaveetaimed – pilliroog,

järvkaisal (kõrkjas), konnaosi, hundinuiad jt. – on kohastunud eluks alumise osaga vees. Võsu ülemine pool ja õisik (osjal eospea) ulatavad veest välja. Kevadperioodil peavad nende arenevad võsud taluma veealuseid tingimusi, vee taandumisel tulevad need taimed toime ka niiskel pinnasel. On madalaid või väga muutliku põhjareljeefiga järvi, kus kaldaveetaimed kasvavad kaldast eemal, isegi järve keskel. Omapärase rühma moodustavad õõtsikutaimed, nagu turbasamblad, ubaleht, soovõhk jt. Nad kasvavad jõudsasti vedela turbamuda kohal ja tõrjuvad välja pilliroo, kelle sügavaletungivad risoomid vajavad hapnikku ja tihedamat substraati. Eelnimetatud taimerühmade kasv meie veekogudes hoogustus lennukilt väetamise, suurfarmide ja asulate olmereostuse kõrgajal, näiteks alandatud veetasemega Soitsjärves. Peipsi järves on just roostike pealetung kõige silmahakkavam eutrofeerumise tagajärg. Pilliroo, tarnade jt. koredate ning suurekasvuliste liikide tselluloosirikkad jäänused kuhjuvad ja loovad eelduse edasiseks kinnikasvamiseks.

Joonis 1. **Kaldataimed ja kaldaveetaimed**



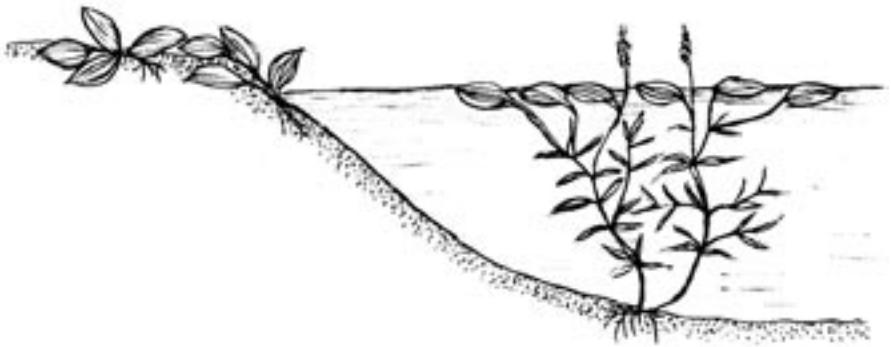
Joonis 2. *Hüdrofüüdid* - ujulehtedega taimed, ujutaimed ja veesisesed taimed



Tõelised veetaimed *e. hüdrofüüdid* (joonis 2) on kohastunud eluks vee all ja/või selle pinnal. Need on ujulehtedega taimed (näit. vesiroosid ja -kupud), ujutaimed (näit. väike lemmel) ja veesisesed taimed. Ujulehtedega taimede ja ujutaimede lehed püüavad hästi päikesevalgust ja vee vähene läbipaistvus neid ei häiri. Kiire mudateke ei kahjusta tugeva varuaineterikka risoomiga vesikuppu või pinnal hõljuvaid ja vees leiduvaist biogeenidest toituvaid lemleid – eutrofeerumine toob kaasa nendegi suurema ohtruse. Veesiseste taimede hulgas on aga üsna vähe neid, kes tugevast eutrofeerumisest kasu saavad. Nende liigirikkus suureneb tavaliselt eutrofeerumise algul, selle süvenemisel aga langeb. Põhjuseks on enamasti madalamat troofsust taluvate ja eutroofsete vete liikide kooskasvamine üleminekuperioodil. Eristatakse põhjataimi, kelle elu kulgeb põhja kinnitunult allpool veepinda (samblad, määndvetikad), elodeiide, kes kinnituvad põhja, kasvavad veepinnani ja õisik ulatub veepinnale (vesikatk, vesikuused, enamik penikeeli) ning nõrgalt kinnitunud tseratofüllide, kes võivad osa elutsüklist kinnituda põhjale, sõltuvalt oludest aga ka kerkida ülemistesse veekihtidesse (kardhein, vesikarikas). Paljudes moreenküngastike järvede nõgu sügavneb kiiresti ja taimestunud ala moodustab maksimaalselt 20–30 % järve pindalast. Sellistes järvedes hakkavad toiteainete lisandumisel valitsema planktonvetikad, mitte suurtaimestik. Tugevate vee õitsemistega väheneb vee läbipaistvus, põhja võib sadeneda vetikadetriit. Kõige enam kannatavad põhjataimed. Elodeiidid

peavad kauem vastu, kuid järk-järgult asenduvad nemadki tseratofülliididega, keda ei takista vedel sete. Nii ei ole eutrofeerumisel tegemist kõigi suurtaimede vohamisega. Üsna kindlaks toitaineterikkuse märgiks vees või settes on rohke mikrovetikatest pealiskasv kõrgematel taimedel ja/või niit(rohe)vetikate massid. Enamasti on nii, et niitvetikate elu algab kinnitunult, kas eostena või talvitunud akineetidena (vetikaniitide tükid, mille paksuseinalised rakud on varuaineid täis). Kevadel hakkavad eosed arenema ja akineetid kasvama; hiljem kui niidid pikad, võivad need katkeda ja olla lahtiselt vees. Niitvetikad võivad omakorda olla kaetud pealiskasvuga, näiteks ränivetikatega. Pealiskasvu e. epifüütoni toitumissuhetest peremeestaimega on erinevaid arvamusi – kas epifüüt ainult võtab või omalt poolt ka midagi peremehele annab. Kui vees on vabu toitesooli, siis konkureerivad suurtaimed ja epifüüdid edukalt planktonvetikatega ning taimerohketes järvedes on vesi selge, sest biogeensed elemendid on seotud suurtaimestikus. Võimalik on aga ka see, et kasutatakse setete varusid, kas peremeestaim vahendusel või siis kevadel põhjast kasvu alustades. Ilmne on epifüütoni valgust varjutav toime, mis võib paksema katte korral viia peremehe (eriti põhjataime) hääbumiseni.

Joonis 3. *Amfibised* e. kahepaiksed taimed – hein-penikeel



Tavaliseks kasvusügavuseks on kaldaveetaimedel kuni 1 m, haruldane pole aga ka 2 m. Ujulehtedega liigid ulatuvad enamasti 2–3 meetrini. Veesisesel taimeestiku piir võib väga heades tingimustes (selgetes mägijärvedes) olla kümneid meetreid, meil on Nohipalu Valgjärvest samblaid leitud kuni 12 m sügavuselt (1960ndail). Eriti nendes veekogudes, mille kaldad on lauged ja veetaseme väiksemgi muutumine toob kaasa suurte alade üleujutamise või kuivalejäämise, kohtame mitmeid amfibiseid liike (joonis 3), mille kasvuvorm sõltub veetasemest. Amfibiseid jooni leidub paljudel veetaimedel ja see teeb nad mõnikord üsna raskesti äratuntavaks.

Veetaseme alandamine (ka näiteks 0,5 m) võib nendes järvedes, kus veetase on looduslikult olnud enamvähem püsiv, eutrofeerumist tunduvalt kiirendada (Mäemets, A., 1997).



Eutrofeerumise ilmingud erinevat tüüpi järvede taimestikus

Eutrofeerumisel toimuvad muutused on tugevas sõltuvuses järve tüübist. Kui järvenõgu on järsult süvenev, vesi pruun ja/või pehme, siis ei pruugi olla taimede märgatavat rohkenemist. Pehmeveelistes järvedes on takistatud nende liikide kasv, kes süsinikuallikana kasutavad HCO_3^- . Pruunides järvedes piirab veesiseste taimede levikut vee tumedus, paljudel juhtudel ka turbamuda. Pehmeveelistes heledates järvedes tekib veelustele taimeosadele paks pealiskasv, mida peetakse esmaseks ohusignaaliks (Sand-Jensen & Sondergaard, 1997). Põhjataimestik, milles on tähtsal kohal CO_2 kasutavad samblad, lahnarohi ja vesilobeelia, hakkab vähenema (Mäemets, A., 1991). Kitsalehised jõgitakjaliigid ja väike vesikupp hübriidiseeruvad vastavalt liht-jõgitakja ja kollase vesikupuga ning asenduvad järk-järgult viimastega. Suplejate hulga tõttu on need järved ka otsese reostuse ja trampimiskoormuse all, mis hävitab haruldustest koosneva madalveetaimestiku (Viitna Pikkjärves näeme paljusid taimedeta “koridore”). Lisandub suurekasvulisi kaldaveetaimi, liivale tekib mudakirme. Pehmeveelistes pruunides järvedes võib eutrofeerumisel jõudsalt laieneda õõtsik. Kalgiveelistes pruunides järvedes vaesub taimestiku liigiline koosseis. Järsult süvenevais (heledates) kalgiveelistes järvedes väheneb märgatavalt veesisese taimestiku sügavuspiir, põhjataimestik muutub

liigivaeseks või kaob ning vee all kasvavad peamiselt nõrgalt juurdunud liigid.

Nagu näeme, võib sügavamates heledaveelistes järvedes taimestiku osatähtsus märgatavalt langeda. Kõige enam on uuritud eutrofeerumisel toimuvaid muutusi madalates kalgiveelistes (heledates) järvedes. Meil on neid looduslikult kõige enam Madal-Eestis. Vooremaal on säärased järved kujunenud korduvate veetaseme alandamiste tagajärjel algselt sügavamatest. Viimasel ajal on meil hakatud rääkima makrofüüdi(suurtaime)järvedest, mõistes selle all just neid kalgiveelisi järvi, mis on madaldunud ja täis kasvanud inimese tegevuse tagajärjel ja milles edasine eutrofeerumine toob kaasa niitvetikate rohkuse (Ott ja Kõiv, 1999). Sedalaadi järved annavadki alust seostada eutrofeerumist suurtaimede vohamisega. Taimede eemaldamine võib kaasa tuua vee õitsemise, sest toitained jäävad siis kõik vetikhõljumi kasutusse. Suurtaimede allesjäämine põhjustab aga täieliku mülkastumise (Koigi Suurjärv Saaremaal). Tüüpiline on põhjataimestiku (määndvetikarohkuse) asendumine elodeiididega – penikeelte või tähk-vesikuuse domineerimisega. Edasisel eutrofeerumisel asenduvad need nõrgalt juurduva kardheinaga, soppides on rohkesti ristlemmelt ja vesiläätse. Laiuse Kivijärv on heinamaade lennukilt väetamiste tagajärjel (1970ndate lõpust 1980ndate lõpuni) enamjaolt muutunud läbimatuks džungliks (K. Noormäe andmed), kusjuures selle lõunaosas näeme kirjeldatud ülemineku kõiki järke korraka. Suurjärvedes takistavad kinnikasvamist tuul, lainetus ja orgaaniliste setete minemakandumine. Nii võiks sobiva veesügavusega alade poolest Võrtsjärvest üle 90% olla taimedest hõivatud, tegelikkuses on see arv 18,8% (Feldmann, 2000).

Niisuguste madalate järvede veesise taimestiku hulgas võib eutrofeerumisel toimuda ka suuri kõikumisi. Sellele on pühendatud rohkesti uurimusi, kokkuvõtvalt on probleemi kirjeldanud näiteks Scheffer (1998). Eristatakse hägust – suurtaimevaest ja ohtra vetikhõljumiga järve seisundit – ja sellele vastandlikku selgeveelist rohkete suurtaimede järve. Mehhanismid, mis viivad ühest seisundist teise, on suurel määral seotud järve elustiku omavaheliste suhetega. Oluliseks peetakse vetikhõljumi ärasoõmist, mille tagajärjel paraneb läbipaistvus ja pääsevad valitsema suurtaimed. See sõltub zooplanktoni suuremakasvuliste liikide arvukusest, viimane omakorda zooplanktereist toituvate kalade hulgast, need omakorda röövkalade hulgast. See on siiski vaid üks võimalik toiduahela skeem, mis ei arvesta põhjaloomastiku jt. rühmade mõjusid. Nii on põhjaloomastiku hulgas taimedelt vetikakirmit söövaid, ise kalatoiduks olevaid jt. liike. Kõrge toiteainete kontsentratsiooni ja kõrge pH ning aeglase veevahetuse korral võivad valitsema hakata mittesöödavad vetikad ja eelkirjeldatud mehhanism ei toimi. Madalusele ja heale läbipaistvusele vaatamata ei asusta taimed ka väiksemates eutroofsetes järvedes alati kogu sügavuselt sobivat levikuala, võimalik, et setete ebasobivuse tõttu (Moss *et al.* 1996).

Suurtaimede osast järvede biogeenideringest

Toiteaineid/toitesooli hangitakse nii settest kui ka veesambast ja see, kumb neist domineerib, sõltub taimerühmast ja kasvutingimustest. Biogeeniderikkas jões tehtud uuringud näitasid, et elodeiidid said toitesooli lehtede kaudu veest ega vajanud oma kasvuks setete varusid; juured koguni eemaldati katse käigus (Madsen & Cedergreen, 2002). Suurtaimedel ja epifüütidel elavad bakterid, seened ja selgrootud loomad. Selle koosluse asukate elutsükli pikkus ja aineriingi kiirus on väga mitmesugune, mistõttu ka toiteelemendid vabanevad erinevas tempos. Suvel hoiab rohke taimestik oma manulistega suurema osa biogeenidest kinni, kuid vajadusel ja võimalusel pumpab ka settest juurde. Seda kinnitasid meie uuringud tugevasti kihistunud hüpertroofses Verevi järves, mille pindmises veekihis on vegetatsiooniperioodil fosforit väga vähe. Viiel korral umbes kahenädalaste vahedega uuriti kardheina, hariliku vesisambla, ogaterava penikeele ja sõõr-särjesilma biogeenidesisaldust. Üldfosfori ja üldlämmastiku kontsentratsioon taimedes kasvuperioodil küll langes, kuid suurenev biomass sisaldas vaatlusperioodi lõpuks pinnaühiku kohta algsest tunduvalt rohkem lämmastikku ja fosforit. Tabelis 1 toodud hulgad on arvatud kõigi nende liikide, s.o. 4 m² summana, sest liikide kaupa eraldi oli pilt üsna kirju.

Tabel 1. Pinnaühiku kohta arvatud lämmastiku ja fosfori hulk (g/m² x 4) nelja peamise veesisese liigi kogumikes Verevi järves 2001. a. suvel.

Aeg	N	P
24.05.	10.21	1.40
05.06.	5.42	0.80
22.06.	6.41	0.88
06.07.	7.03	1.11
21.07	26.90	3.51

Kuivõrd saaksime taimede kaudu järvedesse kogunenud toiteainete hulka vähendada ?

Nende eemaldamisega enne lagunema hakkamist viiksime veekogust välja nimetamisväärse koguse toitesooli. Oletame, et järve pindala on 10 ha, sellest 30% on täis kardheina, mille õhukuiv biomass keskmiselt 300 g m^{-2} ja selle fosforisisaldus juulikuus 0,2 %. Kogu kardheina väljarookimisega eemaldaksime ligemale 20 kg fosforit ühel suvel. Seejuures pole kardhein (vähemalt meie andmetel) sugugi kõige fosforirikamate killast, tõenäoliselt selle tõttu, et tal pole juurestikku, mille abil setetest fosforit võtta. Pole küll võimatu, et fosforit hangitakse ka teiste taimede laguproduktidest (Pieczyńska & Tarmanowska, 1996) või et paksu taimemassi all öösiti tekkiv hapnikupuudus soodustab selle vabanemist settest. Nii rohketel kirjanduse andmetel (näiteks Pokrovskaja jt. 1983) kui ka meie materjali põhjal võib väita, et hästiväetatud kasvukohtades kogub veetaimestik lämmastikku ja fosforit endasse tublisti üle tarbimisvajaduse. Veesiseste liikide kriitiline fosforisisaldus (sellest madalama korral on kasv häiritud) on kuivatatud taimedes ca 0,13% (Gerloff & Crombholz, 1966), rammutatud kohtades aga kuni neli korda kõrgem. Lämmastiku ja fosfori suhe taimedes näitab, kumma kättesaadavus on piiratud. Nõnda on 40 Euroopa märgala andmete põhjal välja pakutud, et $N/P > 16$ korral on taimekoosluses limiteerivaks elemendiks fosfor, $N/P < 14$ korral lämmastik (Koerselman & Meuleman, 1996). Kahtlemata on setete pindmise, reostusperioodil tekkinud osa eemaldamine üks efektiivsemaid järvede noorendamise võimalusi, mis viib korraga välja rohkem fosforit ja lämmastikku kui taimede väljakiskumine. Enamasti ei jätku selleks aga raha ning tekib ka



oht, et toiteainerikka sette eemaldamisega võime kaotada suure osa taimede seemnepangast, mille eluvõime säilib 20–40 aastat. Kõige kohasem võiks setete koorimine olla nende madalamate kalgiveeliste järvede jaoks, kus teadaolevalt pole kasvanud haruldusi. Pehmeveeliste vähetoiteliste järvede liikide tagasitulek on eriti vaevaline. Omaette probleem on mitmel pool nõo sügavamas osas aastakümnete eest surnud samblapolster, mis suurendab hapnikuvaegust põhjakihtides ja ei lase uutel taimedel neid alasid asustada. Pehmeveelised järved on üldse kergemini rikutavad ja raskemini taastatavad ning veetaseme väike muutmine võib tuua ettenägematuid tagajärgi.

Nagu näeme, on eutrofeerumise ja suurtaimestiku seosed mitmekesised ja keerulised. Eesti järvede rohkus, mitmekesisus ja uuritus ning nendes toimunu annab meile ainulaadset materjali, mille analüüs võiks parandada järvede edasist käekäiku, kui selleks jätkub tahet ja vahendeid.

Kirjandus

- Feldmann, T. 2000. *Kõrgema veetaimestiku levik Võrtsjärves ja seda määravad tegurid*. Magistritöö TÕ Zooloogia ja Hüdrobioloogia Instituudis. 96 lk.
- Gerloff, G.C. & P.H. Krombholz, 1966. *Tissue analysis as a measure of nutrient availability for the growth of angiosperm aquatic plants*. *Limnol. Oceanogr.* 11, 529-537.
- Madsen T. V. and N. Cedergreen, 2002. *Sources of nutrients to rooted submerged macrophytes growing in a nutrient-rich stream*. *Freshwater Biology* 47, 283-291.
- Moss, B., Stansfield, J., Irvine, K., Perrows, M. and G. Phillips, 1996. *Progressive restoration of a shallow lake: a 12-year experiment in isolation, sediment removal and biomanipulation*. *Journal of Applied Ecology* 33, 71-86.
- Mäemets, Aare, 1977. *Eesti NSV järved ja nende kaitse*. Tallinn, "Valgus", 263 lk.
- Mäemets, Aime, 1991. *Suurtaimestik kui järvede hindamise informatsiooniallikas. – Inimene ja geograafiline keskkond*. Vabariikliku geograafia-alase nõupidamise materjalid. Tallinn.
- Ott, I. ja T. Kõiv, 1999. *Eesti väikejärvede eripära ja muutused*. EKKM Info- ja Tehnokeskus, Tallinn, 128 lk.
- Pieczynska, E. & A. Tarmanowska, 1996. *Effect of decomposing filamentous algae on the growth of *Elodea canadensis* Michx. (a laboratory experiment)*. *Aquat. Bot.* 54 (4): 313-319.
- Pokrovskaja, T., Mironova, N., Schilkrot, G., 1983. *Makrofüüdidjärved ja nende eutrofeerumine*. "Nauka", Moskva (vene k.).
- Sand-Jensen, K. & M. Søndergaard, 1997. *Plants and environmental conditions in Danish *Lobelia*-lakes*. *Freshwater Biology. Priorities and Development in Danish Research*.
- Scheffer, M., 1998. *Ecology of Shallow Lakes*. Chapman & Hall, 345 pp.

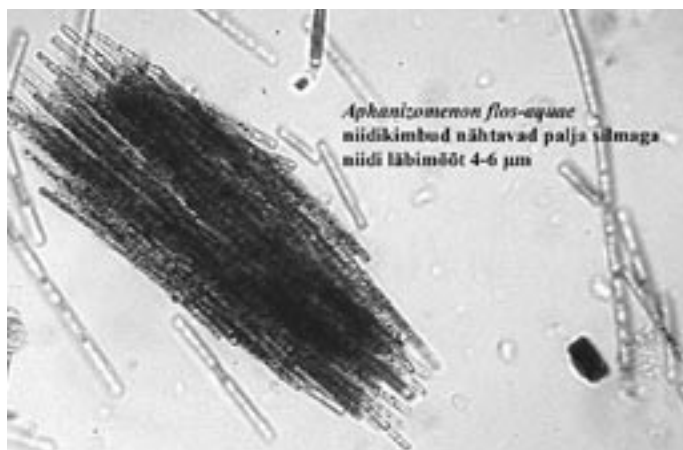
Vetikate vohamine veekogus ehk vee õitsemine, eutrofeerumise perioodiliselt ilmnev ja sageli ohtlik tagajärg

Reet Laugaste, Ingmar Ott

EPMÜ ZBI Võrtsjärve Limnoloogiajaam

Vee õitsemine e. veeõitseng on vetikate (või muude mikroorganismide) massiline areng, millega kaasneb nähtav vee värvuse muutumine ja läbipaistvuse vähenemine. Üldlevinud on sinivetikatest põhjustatud õitsemine suvel; küllalt sage, kuid vähem tähele pandud on kold- ja ränivetikatest põhjustatud õitsemine jahedal ajal (kevadell või sügisel, vahel ka jää all), samuti rohevetikate põhjustatud õitsemine suvel. Ka sinivetikad võivad põhjustada talvist õitsemist; see nähtus võib olla palju laiemalt levinud kui juhtumeid on registreeritud. Õitsemine on eriti intensiivne, kui hüpolimnion¹ on ulatuslik ja epilimnion² õhuke, s.o., segunenud veekihi paksus on väiksem kui allpool olev segunenemata kiht. Troopikajärvedes kestab õitsemine tavaliselt aasta ringi. Eesti järvede läbipaistmatus rekord on 6 cm Pappjärves (Võru lähedal); vesi meenutas hernesuppi, “hernesteks” olid niitjad sinivetikad (*Planktothrix agardhii*, liigtoiteliste järvede indikaatorliik).

Joonis 4. *Aphanizomenon flos-aquae*



¹ sügavate soojuskihistusega järvede vee süvakiht

² sügavate veekogude termokliinist (temperatuuri hüppekiht) ülespoole jääv soojem veekiht

Enamus planktonvetikatest on paljale silmale nähtamatud, kuid hulganisti koos võivad moodustada ka nähtavaid kogumikke. Sinivetikakolooniad koosnevad sadadest väga tillukestest rakkudest, koos hoiab neid polüsahhariidne lima. Osa neist on ühinenud hulkrakseteks, enamasti hargnemata niitideks. On ka ainurakseid ja vaid mõnest rakust koosnevaid kolooniaid – need kuuluvad pikoplanktoni, kõige väiksemate vetikate hulka, mille raku läbimõõt on alla 2 mikromeetri. Teine äärmus on mitmesentimeetrise läbimõõduga pilvvetika (*Nostoc*) kolooniad; ühte liiki kutsutakse eesti keeles järveplooomiks ja suuremad neist ongi ploomi mõõtmetega.

Miks siis on just sinivetikad omandanud nii halva kuulsuse, miks kardetakse neid isegi rohkem kui haigustekitavaid baktereid? Ilmselt on põhjuseks sinivetikate võime kiiresti ja massiliselt paljunedes koguneda vee pinnakihti, muutes vee püreesupi sarnaseks (vesi õitseb), sageli haisevaks ning ebameeldivaks suplejatele. Ning pole harvad ka juhtumid, kui selle supi sees suplejal läheb nahk kupla ja hakkab kihelema. Harvem on sellise vee joomine põhjustanud kariloomade hukkamist. Eestis on neid juhtumeid teada üksikuid, mujal maailmas, soojema kliimaga maades rohkem. Mida rikkam on vesi toitesoolade (fosfori ja lämmastiku) poolest, seda sagedam ja rikkalikum on vee õitsemine.

Veeõitsengu tekkimise eelduseks on piisava toiteainekoguse olemasolu järves; õitsemise vallandumiseks on vajalikud aga soojad ja vaiksed ilmad. Sinivetikate massiliseks arenguks on tähtis ka sobiv lämmastiku ja fosfori vahekord (N/P suhe), mis õitsengu ajal on tavaliselt <10. Mis liik just ülekaalu saavutab, sõltub vetika võimest kiiresti toitesooli omastada ja neid tagavaraks koguda. Näiteks niitjas *Aphanizomenon flos-aquae*, kes Peipsi lõunapoolsetes osades on aastakümneid olnud ülekaalukas eriti augustis-septembris (püstitades seal ka avavee biomassi rekordi 250 g m⁻³ 1991. a.), võib plahvatuslikult paljuneda ka siis, kui vees on mineraalse P hulk väga väike; eelise annab talle ka õhulämmastiku omastamise võime.

Õitsemisega kaasneb:

- pH tõus vaba CO₂ äratarvitamise tulemusena;
- ülemise veekihi ülekuüllastus hapnikuga päeval ja hapnikupuudus öösel;
- pidev hapnikupuudus hüpolimnionis;
- bakterite ja zooplanktoni allasurumine

Õitsemine lõpeb kas mõne vajaliku toiteaine (Si, biogeenide) ammendumise tõttu või autoinhibitsiooni (enesemürgistuse) tulemusena. Viimane esineb eriti sinivetikatel, mis plahvatuslikuks paljunemiseks nõuavad vähem biogeene kui teised rühmad (P kogumine rakkudesse tagavaraks, õhu N₂ fikseerimine).

Enesemürgistus tekib ainevahetussaaduste liigse kogunemise tõttu väga tihedalt asustatud ruumis. Tagajärjeks on vetikate suremine, nende lagunemisel bakterite massiline areng, seejärel bakteritest toituva zooplanktoni massiline areng, kui hapnikurežiim on paranenud.

Ukrainlastel on palju probleeme sinivetikate massilise arenguga Dnepri veehoidlates. Kui meie järvedes ulatuvad suurimad biomassid sadade grammideni m^3 , siis Ukrainas on soojalembeste sinivetikate mass kuni paar $kg\ m^3$. Seal on palju tegeldud selle nähtuse uurimisega, proovitud ka sinivetikate mehhaanilist ärakurnamist planktonist. Nende töödes on õigesti märgitud, et küsimus öitsemisega võitlemisest pole õigesti püstitatud, kuna öitsemine on tagajärg, mitte põhjus. Öitsemine on ökosüsteemi kaitsefunktsioon, kus planktoni enesevarjutamine ja struktuuri muutumine põhjustavad fotosünteesi intensiivsuse vähenemist biomassiühiku kohta, reguleerides seega produktsiooniprotsesse veekogus.

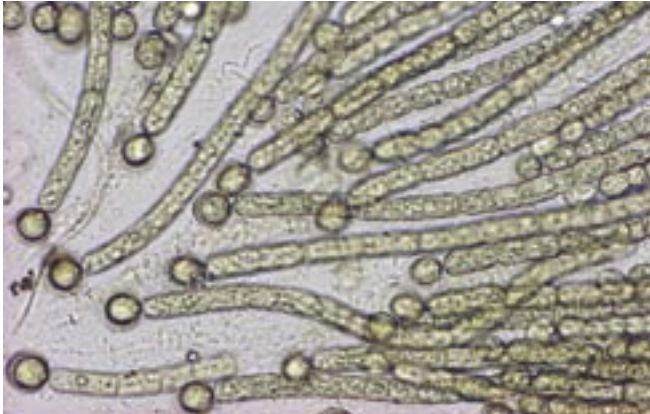
Joonis 5. *Gloetrichia echinulata*



Sinivetikate edu eluvõitluses on tagatud väga pika arengu jooksul välja kujunenud omadustega, nagu puhkespooride moodustamine raskete aegade üleelamiseks, üles-alla rändamise võime gaasivakuoolidega liikidel, võime ahmida lühikese aja jooksul tagavaraks toitesooli ja õhulämmastiku sidumise võime. Omapärase pigmentide koostise tõttu saavad nad elada ja fotosünteesida väga vähese valguse juures. Kõigele lisaks võivad nad ka agressiivselt käituda, eritades aineid, mis võistlevatel organismidel arengu peatavad. Kurikuulsad on mõned neist aga mürkide – tsüanotoksiinide eritamise tõttu. Kuigi mürke võivad toota ka mitme teise

vetikarühma esindajad, on sinivetikad magevees peamised; kindlaks on tehtud 40 liiki. Meie järvedes on neist levinud perekondade *Planktothrix*, *Microcystis*, *Anabaena* ja *Aphanizomenon* esindajad ning *Gloeotrichia echinulata* Peipsis. Nende esinemine ei tähenda aga, et veekogus tingimata mürke leidub.

Joonis 6. *Gloeotrichia echinulata*, koloonia keskosa spooride ja heterotsüstidega



Taksonoomiliselt on sinivetikad tegelikult bakterid. Nagu bakteritel tavaline, võib iga liik moodustada mitu füsioloogiliselt erinevat tüve, mis pealegi on kerged muutuma. Mis tingimustel mingi vetikas mürgiseks muutub, on uurijatel siiani selgusetu. Katsetes on mõnel juhul ärgitajaks toiduapuudus, mõnel valguse vähesus või ülekuullus. Enamasti hakkab mürk vette eralduma vetikate lagunemisel, mõnikord aga veeõitsengu kõrgajal. Vetikamürke on kahesuguseid: närvi- ja maksamürgid. Närvimürgid (anatoksiin, saksitoksiin) peatavad signaali leviku ühelt närvirakult teisele, tulemuseks krambid; surm võib saabuda, kui hingamislihased ei tööta. Maksamürkide (mikrotsüstiinid ja nodulariinid) kahjustuste tunnuseks on nõrkus, kõhulahtisus ja külmavärinad, pikaajalise mõju puhul maksa kärbumine. Õnneks inimesed sellist vetikasuppi joogiks ei tarvita; kui aga joogivett võetakse mõnest sellisest järvest nagu meil Ülemiste, peab olema väga varmas kontrollima, et vette ei satu mürke, mis läbi filtri inimesteni võivad jõuda. Brasiilias suri 1990ndate teisel poolel 55 inimest, kelle maksast leiti mikrotsüstiini, põhjuseks puhastamata joogivesi (Watanabe *et al.*, 2000). Eestis on teada paar juhtumit, kus kariloomade hukkamise võisid vetikad põhjustada. Peipsiääre vanemad elanikud on ammust ajast harjunud teed ja uhhaad keetma järveveega, pidi olema palju parem kui kraanivesi. Arvatavasti ei võta nad suvel seda siiski kalda äärest, kuhu tuul vetikaid

kokku kannab.

Vetikamürgid võivad inimesteni jõuda ka õitsevas vees elavate molluskite ja kalade kaudu, kui neid söögiks tarvitatakse. Molluskid lasevad vee oma kehast läbi ja koguvad endasse aineid, mis vees lahustunud või ka vetikates sees. Ohtlikuks saab inimestele sellise toidu pikaajaline tarvitamine.

Meie tingimustes on veeõitsengud veekogus kahjulikud mitte niivõrd mürkide eritamise, kui hapnikupuuduse tekitamise tõttu, nii imelik kui see ka ei tundu. Hapnikupuudus tekib öösiti (öine ummuksilejäämine), kui vetikad ei tooda, vaid tarvitavad hapnikku nagu teisedki organismid, samuti õitsemise lõpul, kui vetikad lagunema hakkavad.

Kalade suremist esineb sageli koos sinivetikate õitsemisega, kuid enamasti on suremisel tegemist kompleksse põhjusega, asi on sünergeetilises mõjus. Põhjuseks võib olla hapnikurežiimi kõikumine, samuti öine hapnikupuudus, kui suur vetikamass ainult tarvitab, aga ei tooda hapnikku. Vees esinev ammoonium läheb kõrge temperatuuri ja pH juures üle ammoniaagiks, mis on kaladele mürgine. pH tõuseb kõrgele intensiivse fotosünteesi puhul, kui vetikaid on palju, ning ta võib väga kiiresti muutuda. Seega peab nii pH kui ammooniumi kohe kiiresti mõõtma, et kalade suremise põhjust kindlaks teha. Juba paari tunni pärast on asi lootusetult muutunud. Kalade suvist suremist on täheldatud Võrtsjärves, Peipsis ja paljudes väikejärvedes tavaliselt mitu päeva kestnud vaiksede kuumade ilmade puhul.

Eestis on andmeid üle 60 järve kohta, milles sinivetikate biomass on olnud suur ($>10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$). Eelkõige neis võib seepärast leida ka toksiline tootvaid tüvesid. Üldse on kõige arvukamalt sinivetikaid leitud Rummu järves, Verevis, Konsu ja Ruusmäe järves, Petajärves, Otepää Pikajärves, Pappjärves ning Väimela Alajärves, kõigis biomass üle $100 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ (seda mitte igal uurimiskorral; siin on toodud vaid kõige suuremad arvud). Sinivetikarikkad on Ülemiste ja Harku järv Tallinnas, Valgjärv, Juusa ja Kaarna Otepääl, Alatskivi paisjärv, Lohja järv Lahemaal, Konsu ja Konna järv Kurtnas ja muidugi meie suurjärved Peipsi ja Võrtsjärv. Peaaegu kõigis neis käiakse suplemas, ja enamasti ei kannata keegi raskete tagajärgede all. Sellest järeldus: paaniliseks sinivetikate pelguseks pole põhjust, kuid silmad tasub igal juhul lahti hoida, "püreesupi" sisse ei maksa ronida, ning kui on põhjust arvata, et veest on mingeid tervisehäireid saadud, tuleb igal juhul hädakisa tõsta.

Sinivetikate esinemine sõltub veekogu tüübist. Kõige arvukamalt esinevad nad suvel toitaineterikastes heledaveelistes neutraalsest veidi kõrgema pH-ga järvedes, puuduvad pruuniveelistes happelise veega järvedes ja väikestes vooluveekogudes.

Järeldused

- Õitsemine on eutrofeerumise tagajärg. Iga-aastane tugev õitsemine viitab rikitud ökosüsteemile. Seda korda panna on väga kallid ettevõtmised, isegi rikkad riigid pole sellega hakkama saanud.
- Kõigepealt tuleb vähendada väliskoormust, s.o. toitesoolade sissekannet veekogudesse. Tavaliselt kaasneb sellega sisekoormuse tõus, s.t., suureneb toitesoolade, eriti P vabanemine põhjasettest. Võtab aastaid, suurtes järvedes aastakümneid, et ilmneks olukorra paranemine. Peipsi järv on praegu ilmekas näide.
- Kus võimalik, tuleks suurendada veekogu läbivoolu. Kihistunud järvedes tuleks järvest välja juhtida toitesooladerikas põhjalähedane vesi.
- Väga head sinivetikate konkurendid on veetaimed. Ärge tõtake oma järvekesi taimedest puhastama, saate hullema häda kaela.
- Kui õitsemine käes, saab väikeveekogus abi vee tugevast segamisest, sogaseks või hapuks muutmisest (näit. H_2O_2 lisades). Arvestage, et kui see mass korraga laguneb, tekib hapnikupuudus.
- Mürkide kasutamine vetikate tõrjeks on välistatud, kuna mõju on liiga ajutine. Kui mürk laguneb, võib asi endisest hullemaks minna.

Kirjandus

Watanabe, M.F., Park, H., Nakajima, T., 2000. *Composition of Microcystis and microcystins in Lake Biwa*. Verh. Internat. verein. Limnol. 27, Stuttgart, 2899-2903.

Eutrofeerumise mõjusid järvede põhjaloomadele

Henn Timm

EPMÜ ZBI Limnoloogiajaam

Järvepõhi jaguneb traditsioonilise jaotuse järgi kolmeks peamiseks vööndiks (Thienemann, 1925). Eestis pruugitava versiooni kohaselt hõlmab profundaal sügavamad mudased alad kui 1 m; sublitoraal sügavamad kui 1 m, kõva põhjaga, kuid suurtaimedeta alad; ning litoraal suurtaimedega või madalamad kui 1 m alad. Neid erinevaid piirkondi asustavad selgrootute põhjaloomade liigid erinevad omavahel ühe järve piires harilikult rohkem, kui võrrelduna sarnaste vöönditega teistes sama tüüpi järvedes.

Joonis 7. Surusääsklase vastne (*Chironomidae*)



Põhjaloomade liikide arv pinnauhikul sõltub peamiselt substraadi (sealhulgas taimede) mitmekesisusest, vee hapnikusisaldusest (mida iseloomustab hästi vee sügavus), järvetüübist ning selgrootutest toituvate kalade olemasolust.

Profundaali vedelas mudakihis elutsevad enamasti pikliku ning painduva kehakujuuga loomad, sest seal puuduvad võimalused millegi külge klammerduda või midagi pidi ronida. Tüüpilisteks profundaali-elanikeks võib lugeda mõnede surusääsklaste vastsete (*Chironomidae*) ning väheharjasusside (*Oligochaeta*) liike. Loomulikult on needki rühmad rohkema liikide arvuga esindatud mitmekesisemates elupaikades nagu sublitoraal või litoraal. Eriti vähe liike leidub kihistunud profundaalis, kus nigelale substraadile lisandub krooniline hapnikupuudus. Väga halvasti segunevate

järvede süvakihtides võivad silmaga nähtavad põhjaloomad üldse puududa, või siis esinevad seal ainult järve-klaasiksäase (*Chaoborus flavicans*) vastsed. Viimased käivad hingamas ainult öösiti veepinna lähedal ning põgenevad sügavale kalade eest, kes ei suuda neile hapnikuvaeguse tõttu järgneda. Kuigi hapnikuvaene põhi on väikeste, sügavate ja tuulte eest varjatud järvedes tüüpiline looduslik nähtus, vähendab eutrofeerumine hapnikusisaldust ka looduslikult paremini seguneva veega aladel, mis seeläbi muutuvad liikide poolest kihistunud profundaalile sarnaseks.

Joonis 8. **Kiililise vastne** (*Odonata*)



Sublitoraalis on põhi harilikult mudaselt liivane, liivane või turbane, ilma kõvemate elementideta. Kalade eest pääsemiseks ei jää selgrootutel siingi enamasti muud üle kui settesse kaevuda nagu profundaalis. Rohkem põhjaloomaliike esineb sublitoraalis siis, kui seda juhtuvad asustama suured limused (jõekarplased, rändkarp), kelle kodade vahel väiksemad loomad peidupaika leiavad. Enamasti on sublitoraalis ka suurte limusteta siiski rohkem liike kui profundaalis. Sublitoraalis puudub soistes vähese läbipaistvusega järvedes, kus õõtsikkallas läheb kohe üle vedela mudaga profundaaliks.

Litoraali hõlmab muude vöönditega võrreldes kõige mitmekesisemaid elupaiku. Lisaks suurtaimedele on mitmekesine ka põhjasubstraat ise (alates mudast ning lõpetades kivide ja okstega), mis loob soodsaid elutingimusi väga paljudele liikidele. Liikide arv litoraali pinnauhikul võib olla ka väiksem kui sügavamates vööndites.

Näiteks siis, kui on tegemist suure, aeglaselt süveneva liivapõhjalise veekoguga, kus puuduvad varjevõimalused kalade ning lainete häiriva mõju eest. Liike on suhteliselt vähe ka neil aladel, mis jäävad ajuti kuivale. Soistes järvedes koonduvad väga paljud liigid õõtsikserva veealuse osa külge, mille kõrval mudane taimedeta profundaal on üsna loomavaene. Hea läbipaistvusega, hästi segunevates järvedes võib Eestis lugeda litoraalsiks ka veel 7-8 m sügavusi alasid, kus leidub taimi (sammalt või määndvetikaid). Seal on siiski harilikult vähem liike kui samades järvedes madalamatel sügavustel, ehkki rohkem kui päris lagedatel aladel.

Loodusliku järvetüübi mõju põhjaloomade liigilisele koosseisule Eestis on uuritud nii avaveest kui litoraalist võetud proovide põhjal (T. Timm et al., 1982; H. Timm et al., 1999). Kõige selgemini väljendub see vee mineraalainete sisalduse kaudu. Näiteks pehmevelistes järvedes on vähe lubjalembesi rühmi (limused, vähid) või puuduvad need hoopis. Järvetüübi mõju hindamisel tuleb jälgida, et seda ei aetaks segi põhjasubstraadi erinevusest või vee sügavusest tingitud eripäradega.

Eutrofeerumine (biogeenide lisandumine järve kui ökosüsteemi aineringsesse) mõjutab erinevate vööndite loomi erineval viisil. Järvede aeglane iseeneslik eutrofeerumine Eestis on looduslik nähtus, mis põhineb taimestiku suksessioonil (nii vees kui maismaal) ja toimub inimtegevusest sõltumata. Praegu käsitleme aga inim mõjulise eutrofeerumise tagajärgi, mis sõltuvad peamiselt mõju tugevusest, järvetüübist, sügavusest ning läbivoolu intensiivsusest.

Joonis 9. Sõudur (*Cymatia coleoptrata*)



Joonis 10. Keeristigu (*Bithynia tentaculata*)



Planktoni-tüüpi järvedes, kus suurema osa esmastoodangust annab fütoplankton, läheb tüüpilistel juhtudel kõigepealt vesi sogasemaks. Selle tagajärjel kaovad needki vähesed suurtaimed, mis seni sügavamates kihtides elada suutsid. Ühtlasi peavad kaduma või madalamale kolima neil ja nende vahel elutsenud loomad.

Suurtaime-tüüpi järvedes, kus olulise osa esmastoodangust annavad suurtaimed ja neile kinnitunud vetikad, suureneb algul veesisestele taimedele ning põhjale kinnitunud vetikate hulk, mis aga muudab lõpuks sügavamal asuvate suurtaimede elu võimatuks. Koos veesiseste suurtaimede kadumisega kaovad ka neid katnud vetikad ise, kes varem fütoplanktoniga toidu pärast edukalt konkureerisid, ning järv muutub planktoni-tüübiliseks.

Mõlemal juhul katab rohke taimhõljsi lagunemisel tekkiv muda vaibana kõvemaid substraate (kruus, kivid), mis ei võimalda neile kinnitunud või nende vahel varjunud põhjaloomadel enam seal elada. Peagi asendavad neid tüüpilised mudaelanikud.

Erinevalt veesisestest taimedest ei sõltu kaldaveetaimed ning ujulehtedega taimeliigid vee läbipaistvusest ning paljudele neist mõjub biogeenide lisandumine isegi soodsalt. Tüüpiline nähtus on õõtsiku (n. pilliroog, hundinui, tarn) moodustumine aladele, kus seda varem polnud ning järvede kinnikasvamise kiirenemine. Nagu ülalpool juttu, sobib õõtsikuserv elupaigaks küll paljudele selgrootute põhjaloomade liikidele, kes aga samas peaaegu täiesti kaovad mudastunud avaveealadelt.

Kokkuvõtlikult võib eutrofeerumise tagajärgi järvede põhjaloomadele loetleda järgmiselt.

1. Sügaval, mudasel põhjal väheneb liikide arv. Hapnikuolude edasisel halvenemisel kaovad kõik liigid või säilivad ainult klaasiksääskede vastsed. Kui järvenõgu mudaga peaaegu päriselt täitub, kasvavad sinna suurtaimed ning ilmuvad vastavad loomaliigid.
2. Liivasel või kivisel põhjal asenduvad reostustundlikud liigid (näiteks mõned ühepäevikulised) vastupidavamatega. Liikide üldarv pinnauhikul ei pruugi seejuures väheneda. Tõenäoliselt suureneb põhjaloomade üldproduktioon, kuid valdava osa sellest moodustavad nüüd üksikud arvukad liigid.
3. Kaldaveetaimestiku asukatel suureneb kerge eutrofeerumise tagajärjel nii liikide arv kui produktioon.

Tugev läbivool mahendab eutrofeerumise tagajärgi, sest kannab sisse lisahapnikku. Väga pehmevelistes järvedes võib koos biogeenide sissekandega kaasneda ka mineraalainete lisandumine. Siis võivad sinna ilmuda liigid, kes seal lubjapuudusel varem elada ei saanud. Kui toitelisuse tõus on nii tugev, et selle tagajärjed hävitavad kalad, muutub põhjaloomade liigiline koosseis oluliselt, sest kadusid nende peamised looduslikud vaenlased. Kalade puudumine mõnedes looduslikes vetes (näiteks laukad, allikad, ummuksile jäävad või ajutised järved) on normaalne nähtus.

Võrreldes hüdrokeemia või planktoni tunnustega, on põhjaloomad lühiajaliste muutuste suhtes inertsemad. See-est taastuvad nende kooslused palju aeglasemalt, kui nad on kord juba muutunud.

Kirjandus

Thienemann, A., 1925. *Die Binnengewässer Mitteleuropas. Eine limnologische Einführung.* – Binnengewässer, Stuttgart, 1: 1-255

Timm, H., Möls, T., Kangur, K., Timm, T., 1999. *Littoral macroinvertebrates in some small lakes of Estonia.* - Biodiversity in benthic ecology. Proc. from Nordic Benthological Meeting in Silkeborg, Denmark, 13-14 November 1997. NERI Technical Report, No. 266: 133-139

Timm, T., Timm, V., Kangur, K., Tõlp, Ö., 1982. *Eesti järvede seisundi hindamine zoobentose alusel.* - Eesti NSV järvede nüüdiseisund. Tartu, 134-141

See raamatuke on esimene populaarses vormis käsitus eutrofeerumisprotsessi mõjudest järvede elustikule: suurtaimedele, vetikatele ja põhjaloomastikule meie selle ala parimate asjatundjate sulest. Sissejuhatav artikkel annab väga põgusa ülevaate järvede noorendamise (taastamise) abinõudest ning nende rakendamiseks vajalikest uuringutest ja eeltöödest.

Noorendamisabinõude põhjalikum käsitus on kavas järgnevas väljaandes, mis toimub lähiaastail.

www.ctc.ee/eutrofeerumine



Peipsi
Koostöö
Keskus

