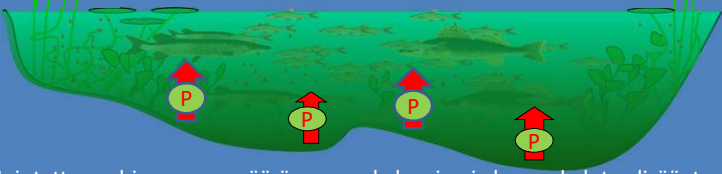


Hyväkuntoinen "terve" järvi kestää ravinnekuormitusta varsin hyvin ilman, että veden laatu suuresti muuttuu, koska lukuisat puskurimekanismit ehkäisevät muutosta

- happipitoisuus on korkea ja hajotustoiminta tehokasta
- petokalat kontrolloivat eläinplanktonia syövien kalojen tiheyttä
- järvessä on runsaasti suurikokoista eläinplanktonia, joka kuluttaa kasviplanktonia tehokkaasti
- runsas vesikasvillisuus ehkäisee sedimentin sekoittumista veteen ja tarjoaa eläinplanktonille suojaa kalojen saalistusta vastaan

Luontaiset ravinnepulssit (esim. kevättulva) eivät aiheuta pysyviä muutoksia

Hyvin pitkäaikainen ja voimakas ravinnekuormitus
→ puskurimekanismit alkavat pettää



Hajotettavan biomassan määrä nousee koko ajan ja hapen kulutus lisääntyy - kun happi loppuu syvänteistä, fosforia alkaa entistä enemmän vapautua sedimentistä veteen ja rehevöitymiskehitys kiihtyy

Kasviplanktonbiomassan kasvaessa vesi samenee ja valon tunkeutuminen veteen heikkenee

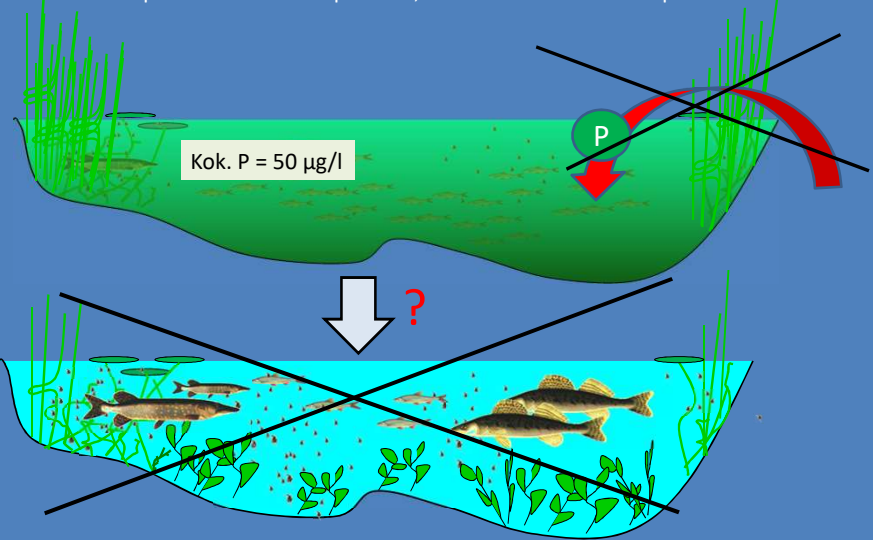
→ uposlehtisten vesikasvien esiintymisalueet kaventuvat

→ veden virtaukset sekoittavat aiempaa helpommin sedimenttiä veteen, joka samenee entisestään ja sisäinen kuormitus kiihtyy, eläinplanktonin suojapaikat vähenevät

Kalatiheys kasvaa, kalojen kasvu hidastuu, petokalojen saalistus vaikeutuu

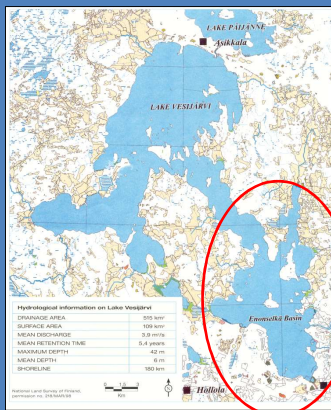
→ eläinplanktonia kuluttavien kalojen määrä nousee ja kasviplanktonin kulutus heikkenee

Järvi voi kestää kuormitusta varsin pitkään ilman suuria muutoksia, mutta kun puskurimekanismit pettävät, veden laatu muuttuu nopeasti



Järven tila ei palaudu ainakaan nopeasti. Se on muuttunut täysin toisentyypiseksi, reheväksi järveksi, jossa on rehevän järven ravinnekierrat ja jossa uudet puskurimekanismit ehkäisevät muutosta

Esim. Lahden Vesijärvi, Enonselkä



Vuonna 1976 kuormitus aleni tasosta

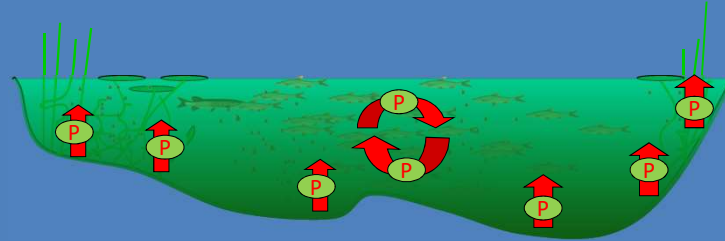
$1.5 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ tasolle $0.15 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$

Veden kokonaisfosforipitoisuus aleni kolmannekseen

$150 \mu\text{g/l} \rightarrow 50 \mu\text{g/l}$



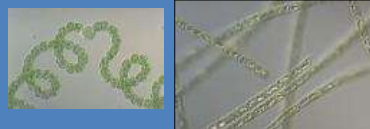
Jos happitilannetta saadaan korjattua esim. hapetuksella ja sisäinen kuormitus siltä osin alenee, tuulten ja virtausten aiheuttama sedimentin sekoittuminen veteen ja tiheä kalasto ylläpitävät ravinteiden kiertoa



Vaikka ulkoinen kuormitus alenee, hapen puutteen aiheuttama sisäinen kuormitus ylläpitää fosforin kiertoa

Voimistunut perustuotanto kohottaa veden pH:ta, mikä kiihdyttää fosforin liukenemista sedimentistä happitilanteesta riippumatta

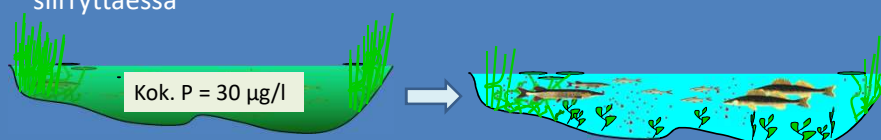
Sinilevät ovat huonoa ravintoa eläinplanktonille – kasviplanktonbiomassa ei aina alene, vaikka eläinplanktonia saataisiin voimistettua vähentämällä kaloja



”Alkuperäinen” ei-rehevä järvi vastusti vuosikymmeniä ravinnekuormituksen aiheuttamaa häiriötä ennen kuin muuttui pysyvästi reheväksi

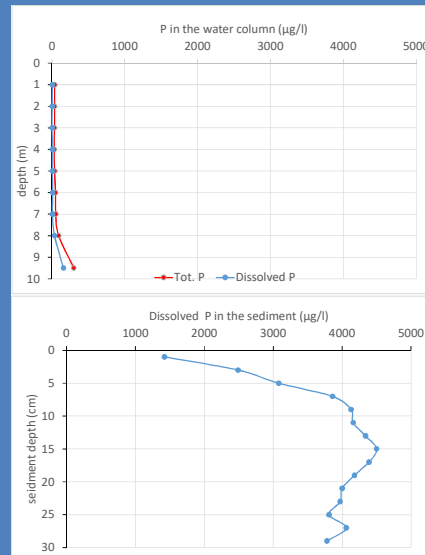
Samoin ”uusi”, rehevä järvi vastustaa muutosta ja aiemman tilan palauttaminen on hyvin pitkäaikainen prosessi

Muutoksen aikaansaamiseksi ravinnepitoisuus ja -kuormitus on usein saatava selvästi alemmalle tasolle kuin mikä se oli rehevälle tasolle siirryttäessä



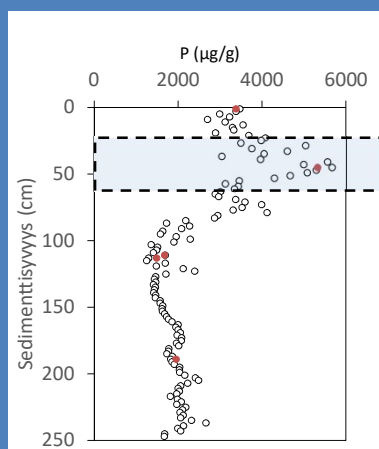
Suurin ravinnevarasto on pohjasedimentissä

Kymijärvi 22.8. 2017



Vaikka uutta sedimenttiä kertyy ravinnepitoisemman päälle, rehevöitymisen aikana sedimenttiin kertynyt fosfori "vaelttaa" kohti vesipatsasta

Vesijärvi, Myllysaaren syväne, helmikuu 2017



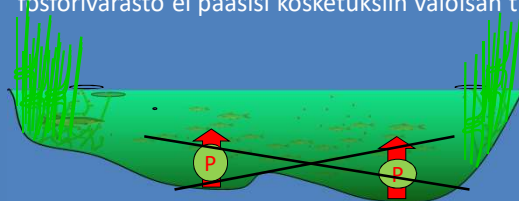
Hyvin fosforipitoinen kerros (~1945-1975)

Tämä fosfori "vuotaa" edelleen sedimentistä vesipatsaaseen

Sedimentin ravinteiden poistaminen järvestä on useimmiten vaikeaa



Useimmat järvien kunnostusmenetelmät (esim. hapetus, sedimentin kemikaalikäsittelyt) tähtäävät siihen, että sedimenttiin kertynyt fosforivarasto ei pääsisi kosketuksiin valoisan tuottavan kerroksen kanssa



Eli huolimatta suuresta fosforivarastosta sedimentin yläpuolinen osa ekosysteemistä toimisi kuten vähätuottoinen järvi



Pohjan ravinteiden eristäminen ekosysteemin toiminnasta on kuitenkin vaikeaa, sillä hyvin monet mekanismit pyrkivät edistämään niiden kiertoa

On mahdollista, että pyrkimyksillä nopeaan veden laadun parantamiseen ja pidättämällä fosforia sedimenttiin estetään järvien toipumiskehitystä pitkällä aikavälillä (esim. Carpenter ym. 2001)

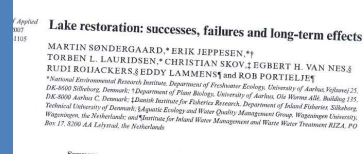
Fosfori on arvokas luonnonvara, jonka saatavuus on huononemassa

Pitäisikö voimallisemmin hakea ratkaisuja siihen, että sedimenttiin varastoituneita ravinteita saataisiin poistettua järvestä ja takaisin kiertoon (esim. alusveden puhdistus)?

Ravintoketjukurunnostuksessa (biomanipulaatio) pyritään muokkaamaan ravintoverkon rakennetta niin, että kasviplanktonbiomassa pysyy alhaisena, vaikka ravinnepitoisuus olisikin suhteellisen korkea (eläinplanktonin vahvistaminen kalastoa muokkaamalla)

Kalaston aiheuttaman sisäisen kuormituksen alentaminen

Selviä vedenlaatuvaikutuksia on saatu monilla järvilla, mutta useimmiten vaikutus on ollut väliaikainen



Kalatiheyden pitäminen riittävän alhaisena rehevissä vesissä on haasteellista

Eläinplankton ei aina kykene kontrolloimaan kasviplanktonbiomassaa vaikka kalatiheys olisikin alhainen (sinilevien soveltuvuus ravinnoksi, selkärangattomien petojen vaikutus eläinplanktoniin)

Ekosysteemin huomioiminen kokonaisuudessaan – kokonaisvaltainen kunnostaminen

Erilaisten puskurimekanismien vuoksi yhden ekosysteemin osan kunnostaminen ei useinkaan johda kokonaisvaltaiseen tilanteen paranemiseen

“It may be impossible to restore ecosystem functions one by one” (Rapport ym. 1998)

Yhden ekosysteemin osan muokkaaminen johtaa väistämättä muutoksiin myös jossain toisessa osassa

- esim. hapetus voi johtaa muutoksiin kalastossa lämpötilojen muutosten kautta
- jos vesi kirkastuu matalassa järvessä esimerkiksi voimakkaan kalaston muokkauksen tai kemikaalikäsittelyn vaikutuksesta, vesikasvillisuus todennäköisesti runsastuu

Toiminnan pitkäjänteisyys

”Alkuperäinen” järvi vastusti vuosikymmeniä ravinnekuormituksen aiheuttamaa häiriötä ennen kuin muuttui pysyvästi reheväksi

Samoin ”uusi”, rehevä järvi vastustaa muutosta ja alemman rehevyytason vakauttaminen on pitkäaikainen prosessi

Kertaluonteisilla voimakkailla kunnostustoimilla voidaan saada veden laatu paranemaan, mutta usein tilanne palautuu kun toimenpiteet lopetetaan

Järvien kunnostus on pitkäkestoista toimintaa ja edellyttää järviekosysteemin säätelytekijöiden sekä valuma-alueen prosessien monipuolista tuntemusta –asiantuntijoiden yhteistyö!

Rehevöitymiskehitys on usein kestänyt
kymmeniä vuosia

Ei useinkaan ole realistista odottaa, että pysyvä kunnostus
on mahdollista paljon tätä lyhyemmässä ajassa

Veden laatu voi kuitenkin kohentua varsin nopeasti kun
hyvää veden laatua ylläpitävät puskurimekanismit on
saatu palautettua

Kunnostus- ja hoitotyö on haasteellista, mutta
ei missään tapauksessa turhaa

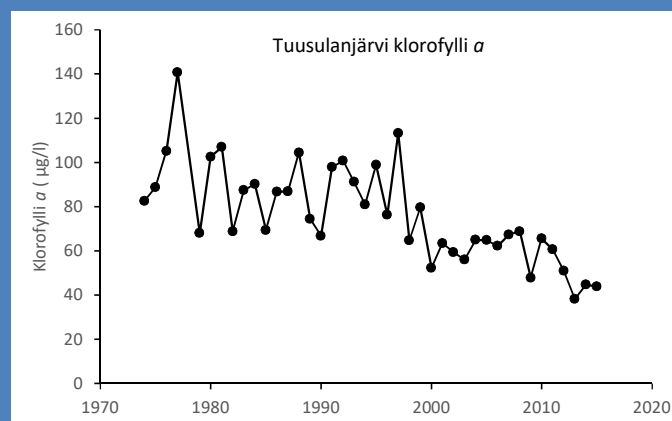
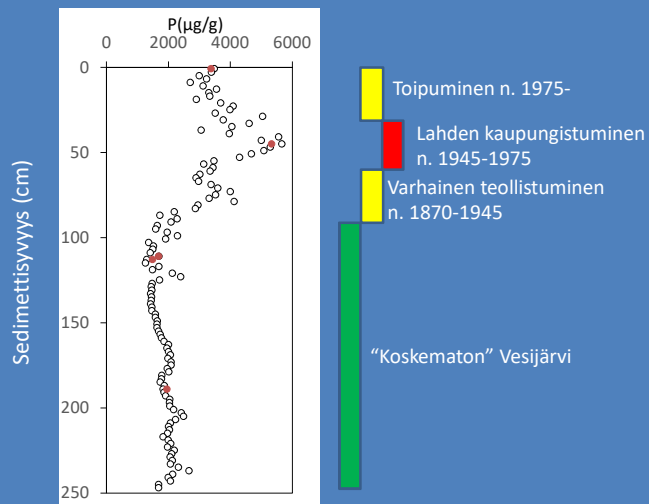
Kunnostus voi tuottaa hyviä tuloksia, vaikka lähtötilanne on vaikea

Monien voimakkaastikin rehevöityneiden järvien tilanne on
selvästi parantunut pitkäaikaisen hoidon ja kunnostuksen ansiosta
(esim. Lahden Vesijärvi, Tuusulanjärvi)

Mitä aikaisemmassa rehevöitymisen vaiheessa hoito aloitetaan, sen
paremmat ovat onnistumisen mahdollisuudet

Tutkimuksella pystytään ohjaamaan järvien kunnostusta ja hoitoa

Pysyvä toipuminen rehevöitymisestä on pitkäkestoinen, mutta mahdollinen prosessi



Tutkimuksella etsitään keinoja, joilla nopeutetaan toipumista

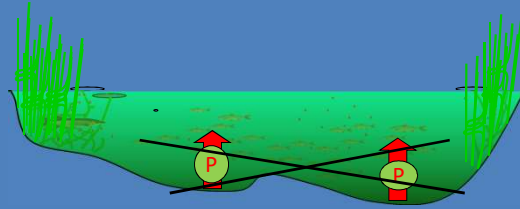
Mikään kunnostusmenetelmä ei ole
yleispätevä, kaikkiin tapauksiin soveltuva

Menetelmät on valittava tapauskohtaisesti



Hapen merkitys veden laadun säätelijänä

Hapetus on yleisesti käytetty kunnostusmenetelmä, jonka tarkoituksena on usein vähentää fosforivuota sedimentistä veteen ja alentaa kasviplanktonbiomassaa



MICHAEL HUPFER* and JORG LEWANDOWSKI
Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Müggelseedamm 310, D-12561 Berlin, Germany; e-mail: hupfer@igb-berlin.de

Review Paper

Oxygen Controls the Phosphorus Release from Lake Sediments – a Long-Lasting Paradigm in Limnology

key words: eutrophication, P-binding forms, P retention, hypolimnetic aeration anoxic factor

Environ. Sci. Technol. **1998**, 32, 3659–3665

Ten Years of Artificial Mixing and Oxygenation: No Effect on the Internal Phosphorus Loading of Two Eutrophic Lakes

RENÉ GACHTER* and BERNHARD WEHRLI
Swiss Federal Institute of Environmental Science and Technology

sediment overlying water. At a depth of 1 m, P previously bound in solid form was released into the water column. Thus, lake internal P fluxes may be significant. Combining the concept of P fluxes suggested that the input of air or oxygen into the water column of lakes could be an efficient method to reduce internal P loading in lakes where the lake internal P source for primary production is significant. Although numerous short-term studies have confirmed that hypolimnetic P content during summer stratification is

AQUADIGM 2012-2016

Milja Heikkinen¹, Heidi Holmroos¹, Petrina Köngäs¹, Ilmo Massa¹, Juha Niemistö¹, Nina Nygrén², Paula Schönach¹, Olga Tammeorg¹, Petri Tapio², Jukka Horppila¹

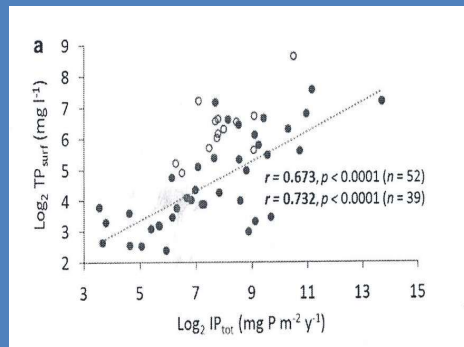
¹Helsingin yliopisto, ²Turun yliopisto

Vesipatsaan hapettomuuden rooli sisäisessä kuormituksessa ja veden laadun säätelyssä suuren järviaineiston perusteella

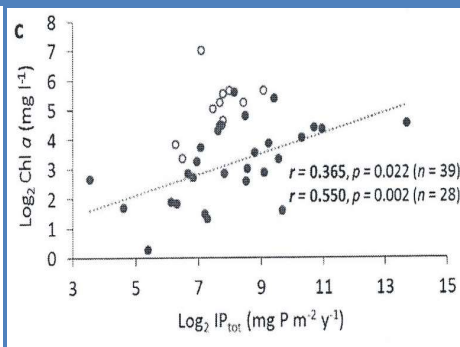
Aineisto 56 järvestä (24 Suomessa), keskisyvyys 11.5 m

Koko järven alueelta tuleva sisäinen fosforikuormitus (IP_{tot}), vaikutti merkittävästi veden laatuun (Tammeorg ym. 2017, Science of the Total Environment 599-600: 732-738)

Päällysveden P-pitoisuus

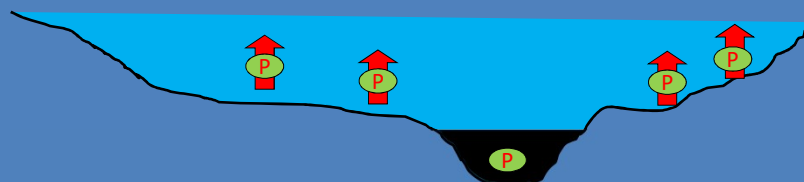


Kasviplanktonbiomassa



Sisäinen fosforikuormitus hapettomilta alueilta (IP_{anox}) selitti 37 % sisäisen kuormituksen kokonaismäärästä → pääosa sisäisestä kuormituksesta tulee hapellisilta matalilta alueilta

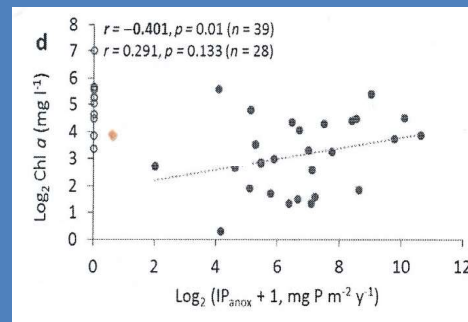
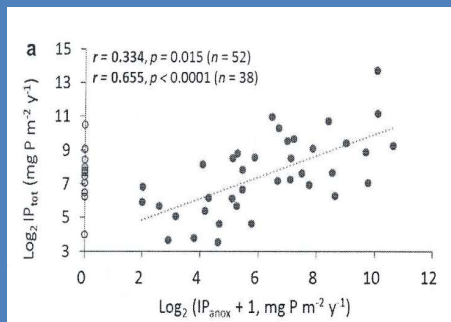
Hapettomat alueet kattavat usein vain pienen osan järven pinta-alasta



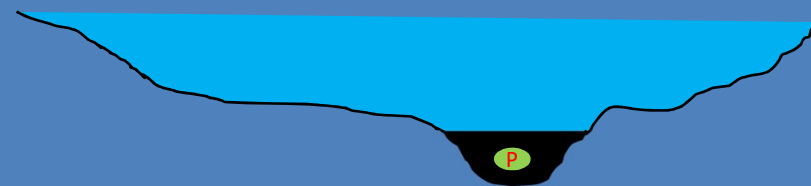
Monet tekijät (diffuusio, eliötoiminta, korkea pH, pohjasedimentin sekoittuminen veteen) vapauttavat fosforia hapellisilta pohjilta

Hapettomilta alueilta tuleva sisäinen kuormitus vaikutti merkittävästi päällysveden P-pitoisuuteen

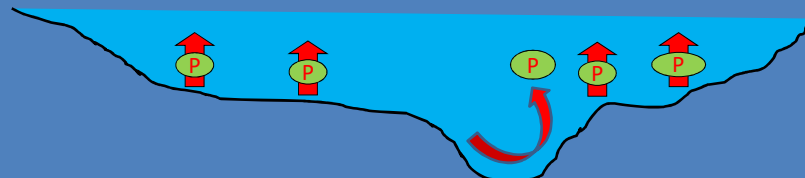
....mutta ei kasviplanktonbiomassaan



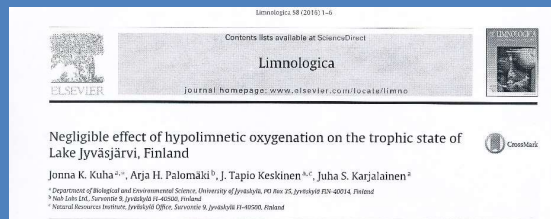
Fosfori, joka vapautuu hapettomien syvänteiden alusveteen....



.....kiertää tuottavaan kerrokseen yleensä vasta syksyllä, jolloin lämpö- ja valaistusolot eivät ole otollisia perustuotannolle



Kun taas matalien alueiden sedimenteistä fosforia kiertää tuottavaan kerrokseen pitkin kesää



Kun harkitaan hapetuksen käyttöä rehevöitymisestä kärsivän järven hoidossa, on tarkasti pohdittava käytetyn hapetusmenetelmän vaikutuksia

Mikä on hapetuksen tavoite? Onko happipitoisuuden nousu ja fosforipitoisuuden aleneminen syvänteiden alusvedessä riittävä tulos?

Järven sisäistä kuormitusta ja sen lähteitä ei yleensä tunneta

Hapetuksella on vaikutuksia, joita tunnetaan huonosti (esim. turbulenssi)

Johtopäätöksiä:

Tutkimusjärvissä hapettomuuden aiheuttama fosforikuormitus ei ole yleisesti ottaen merkitsevä kasviplanktonbiomassan säätelijä

Jos hapetuksen tarkoituksena on alentaa kasviplanktonbiomassaa, kohdejärvet on valittava huolella

Hapetuksella on varmasti paikkansa järvien kunnostuksessa, mutta sitä ei tule käyttää "automaattisena" kunnostusmenetelmänä, jos alhaisia happipitoisuuksia havaitaan