

# Järvien tummuminen ja niiden ekologisen tilan arviointi

21.10.2025



# Vesistöt tummuvat; havaittu järvissä, joissa ja meren rannikkoalueilla

## SCIENTIFIC REPORTS

### OPEN Ecological consequences of long-term browning in lakes

Craig E. Williamson<sup>1</sup>, Erin P. Overholt<sup>1</sup>, Rachel M. Pilla<sup>1</sup>, Taylor H. Leach<sup>1</sup>, Jennifer A. Brentrup<sup>1</sup>, Lesley B. Knoll<sup>2</sup>, Elizabeth M. Mette<sup>1</sup> & Robert E. Moeller<sup>1</sup>

Received: 30 July 2015  
Accepted: 23 November 2015  
Published: 22 December 2015

Increases in terrestrially-derived dissolved organic matter (DOM) have led to the browning of inland waters across regions of northeastern North America and Europe. Short-term experimental and comparative studies highlight the important ecological consequences of browning. These range from transparency-induced increases in thermal stratification and oxygen (O<sub>2</sub>) depletion to changes in pelagic

### Environmental Research Letters



#### LETTER

### Multiple anthropogenic drivers behind upward trends in organic carbon concentrations in boreal rivers

#### OPEN ACCESS

RECEIVED  
4 July 2019

REVISED  
18 October 2019

ACCEPTED FOR PUBLICATION  
21 October 2019

Eero Asmala<sup>1,4</sup>, Jacob Carstensen<sup>2</sup> and Antti Räsänen<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tvärminne Zoological Station, University of Helsinki, Hanko, Finland

<sup>2</sup> Department of Bioscience, Aarhus University, Roskilde, Denmark

<sup>3</sup> Marine Research Centre, Finnish Environment Institute, Helsinki, Finland

LIMNOLOGY AND OCEANOGRAPHY

## Letters

## ASLO

Open Access

*Limnology and Oceanography Letters* 8, 2023, 611–619

© 2023 The Authors. *Limnology and Oceanography Letters* published by Wiley Periodicals LLC on behalf of Association for the Sciences of Limnology and Oceanography.  
doi: 10.1002/lol2.10320

#### LETTER

### Tracking freshwater browning and coastal water darkening from boreal forests to the Arctic Ocean

Anders Frugård Opdal<sup>1,\*</sup>, Tom Andersen<sup>2</sup>, Dag O. Hessen<sup>2</sup>, Christian Lindemann<sup>1</sup>, Dag L. Aksnes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Biological Sciences, University of Bergen, Bergen, Norway; <sup>2</sup>Department of Biosciences, University of Oslo, Oslo, Norway

Vesien tummuminen johtuu pääosin liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) ja myös raudan (Fe) voimistuneesta valumisesta vesistöihin (Roulet & Moore 2006, Monteith ym. 2007, Weyhenmeyer ym. 2016)

Taustalla on monia alueellisesti vaihtelevia tekijöitä; ilmastonmuutos, happaman laskeuman väheneminen sekä valuma-alueiden maankäyttö (esim. ojitukset)

(de Wit ym. 2016, Weyhenmeyer ym. 2016, Kritzberg ym. 2017, Asmala ym. 2019, Meyer-Jacob ym. 2019, Estlander ym. 2021)

Tummumista ei ole toistaiseksi otettu vesiensuojelussa huomioon samalla painoarvolla kuin rehevöitymistä

Esimerkiksi yleisesti BAT-tekniikkana käytetyt pintavalutuskentät ovat DOC-kuormituksen suhteen tehottomia ja usein jopa lisäävät kuormitusta (Klöve ym. 2012, Karppinen & Postila 2015)

Miksi tummentavaan kuormitukseen on kiinnitetty vähän huomiota verrattuna esim. rehevöitymiseen?

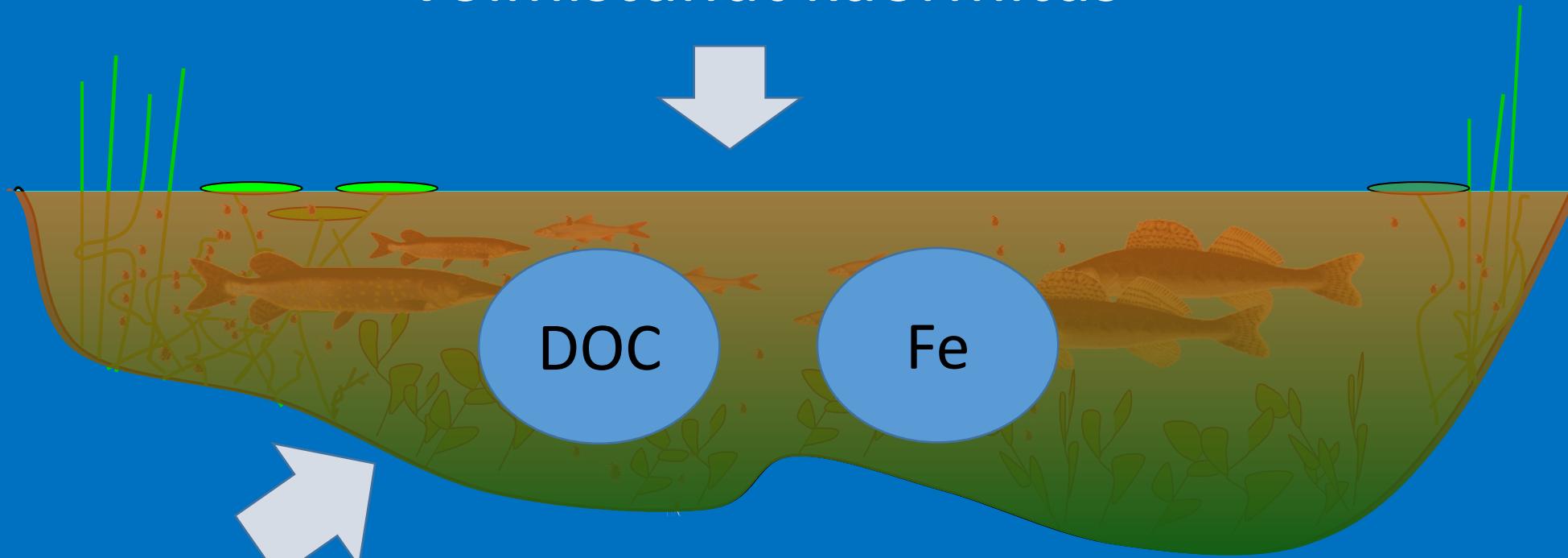
Vaikka monet vesien käyttäjät kokevat tummumisen ongelmaksi

Ilmiötä on vaikea hallita, koska tummuminen johtuu suurelta osin liuenneista aineista

Vaikutuksia ei tunneta kaikilta osin ja tummentavan kuormituksen haittoja ei aina pidetä huomionarvoisina, koska vastaanottavat vesistöt ovat usein luonnostaan tummavetisiä

Vesien ekologisen tilan luokittelu ja tummuminen

Voimistunut kuormitus



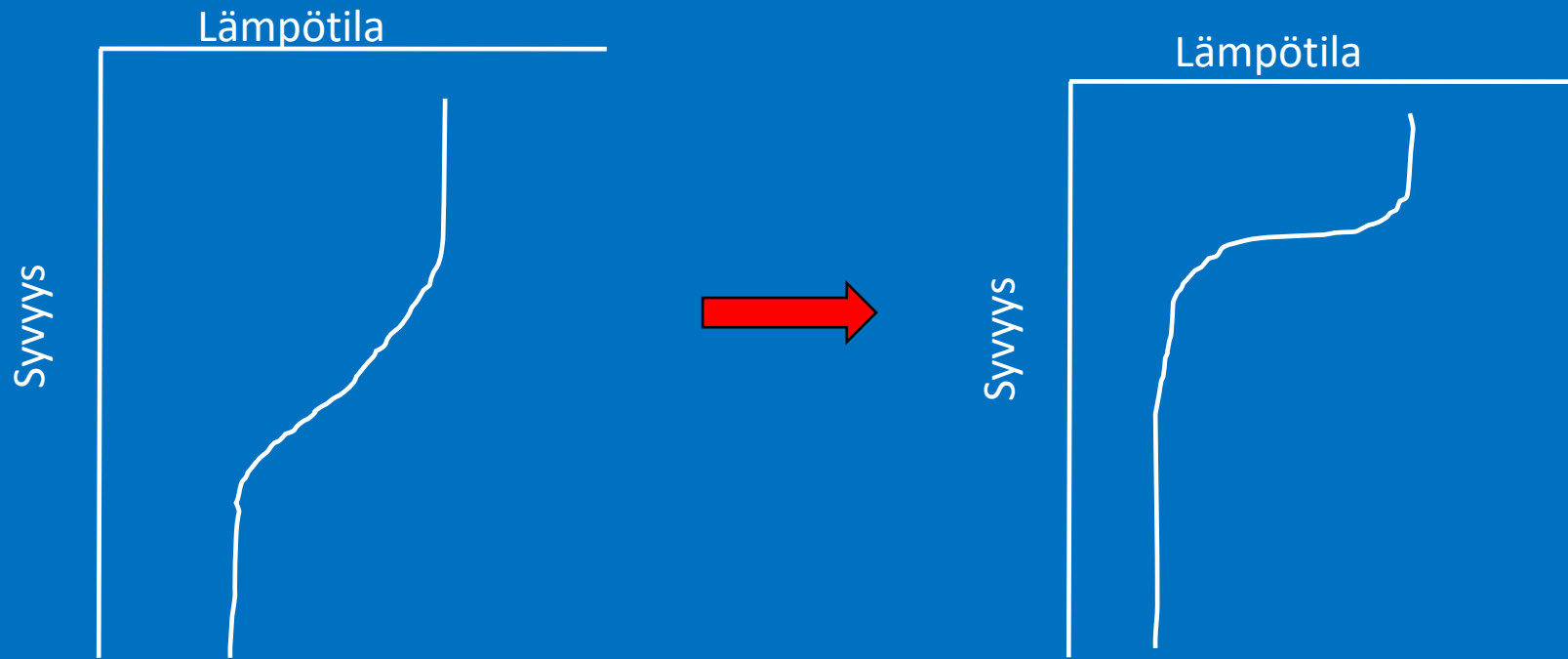
Kohonneet DOC- ja  
rautapitoisuudet järvissä

Tummuminen

Vaikutukset?

Kun vesi tummuu, tapahtuu suuria muutoksia sekä fysikaalis-kemiallisissa säätelytekijöissä että kaikissa eliöyhteisöissä

Mitä korkeampi väriluku, sitä nopeammin vesi lämpenee pinnasta



Mitä nopeammin vesi lämpenee pinnasta, sitä voimakkaammin ja pidemmäksi aikaa järvi kerrostuu kesällä

Voimakkaampi ja pitkäaikaisempi kerrostuneisuus lisää happikatojen todennäköisyyttä

Samaan aikaan valon tunkeutuminen veteen heikkenee



Tuottava vesikerros ohenee väriluvun noustessa

# Veden värin muutosten aiheuttamat elinolosuhteiden muutokset vaikuttavat kaikkiin eliöryhmiin mikrobeista kaloihin

- kasvi-, eläinplankton- ja kalabiomassan muutokset
- eri lajien runsaussuhteiden muutokset (esim. uposlehtisen vesikasvillisuuden väheneminen, paljon happea tarvitsevien kalojen taantuminen)
- kalojen kasvun hidastuminen
- eliöiden fysiologiset muutokset (esim. kalojen rasvahappokoostumus, kasvien klorofyllipitoisuus)

## Ecological consequences of long-term browning in lakes

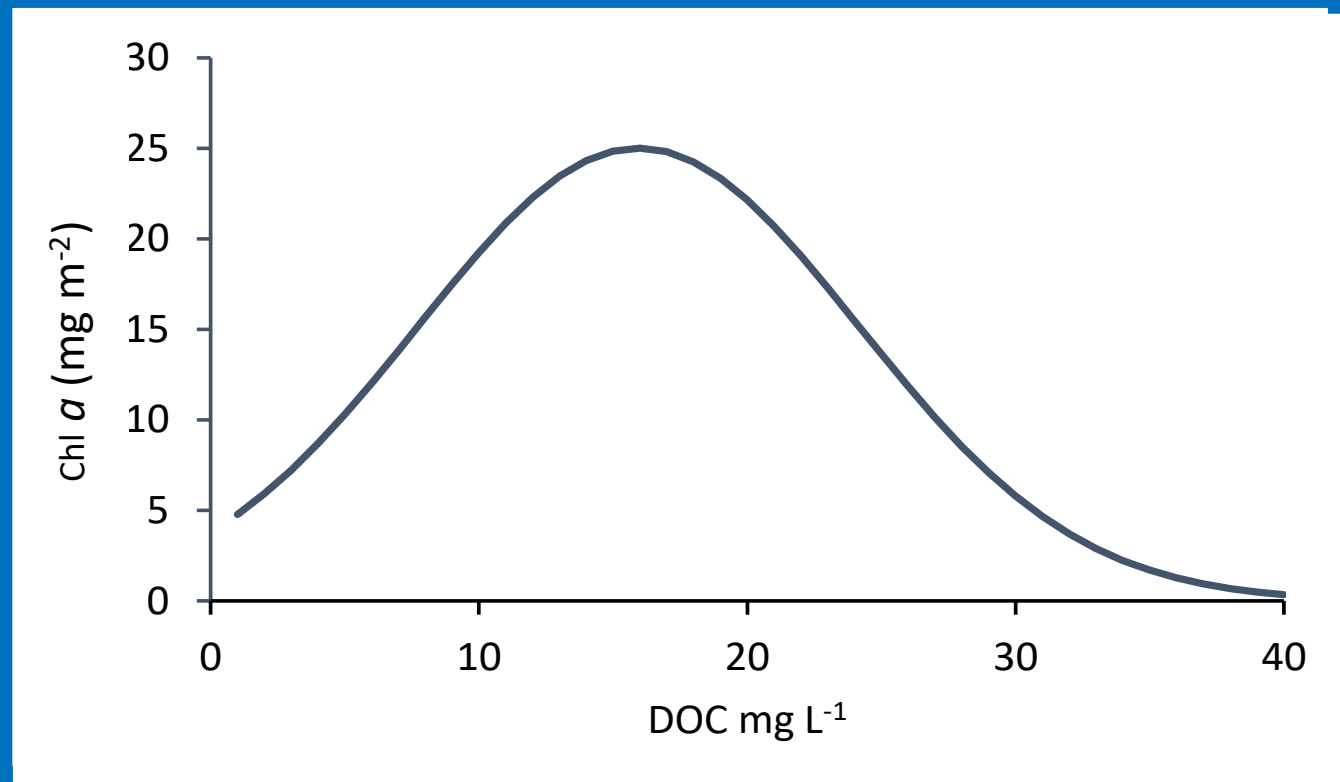
Craig E. Williamson<sup>1</sup>, Erin P. Overholt<sup>2</sup>, Rachel M. Pilla<sup>2</sup>, Taylor H. Leach<sup>1</sup>, Jennifer A. Brentrup<sup>1</sup>, Lesley B. Knoll<sup>2</sup>, Elizabeth M. Mette<sup>1</sup> & Robert E. Moeller<sup>1</sup>

Increases in terrestrially-derived dissolved organic matter (DOM) have led to the browning of inland waters across regions of northeastern North America and Europe. Short-term experimental and comparative studies highlight the important ecological consequences of browning. These range from

Järvien tuottavuudessa tapahtuu merkittäviä muutoksia kun DOC-pitoisuus ylittää 10-15 mg/l (Solomon ym. 2015, Kelly ym. 2018)

DOC-pitoisuuden noustessa tuottavuus nousee ensin, koska DOC-kuormituksen mukana tulee ravinnekuormitusta, mutta kääntyy tietyn raja-arvon jälkeen laskuun, koska ravinnerajoitteisuus vaihtuu valorajoitteisuuteen (esim. Kelly ym. 2018)

Korkein  
kasviplanktonbiomassa; DOC  
15,9 mg/l, väri n. 140 mg Pt/l



# Miten erilaiset järvet reagoivat tummumiseen?

Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalueen vesienhoitosuunnitelma vuosille 2022-2027:

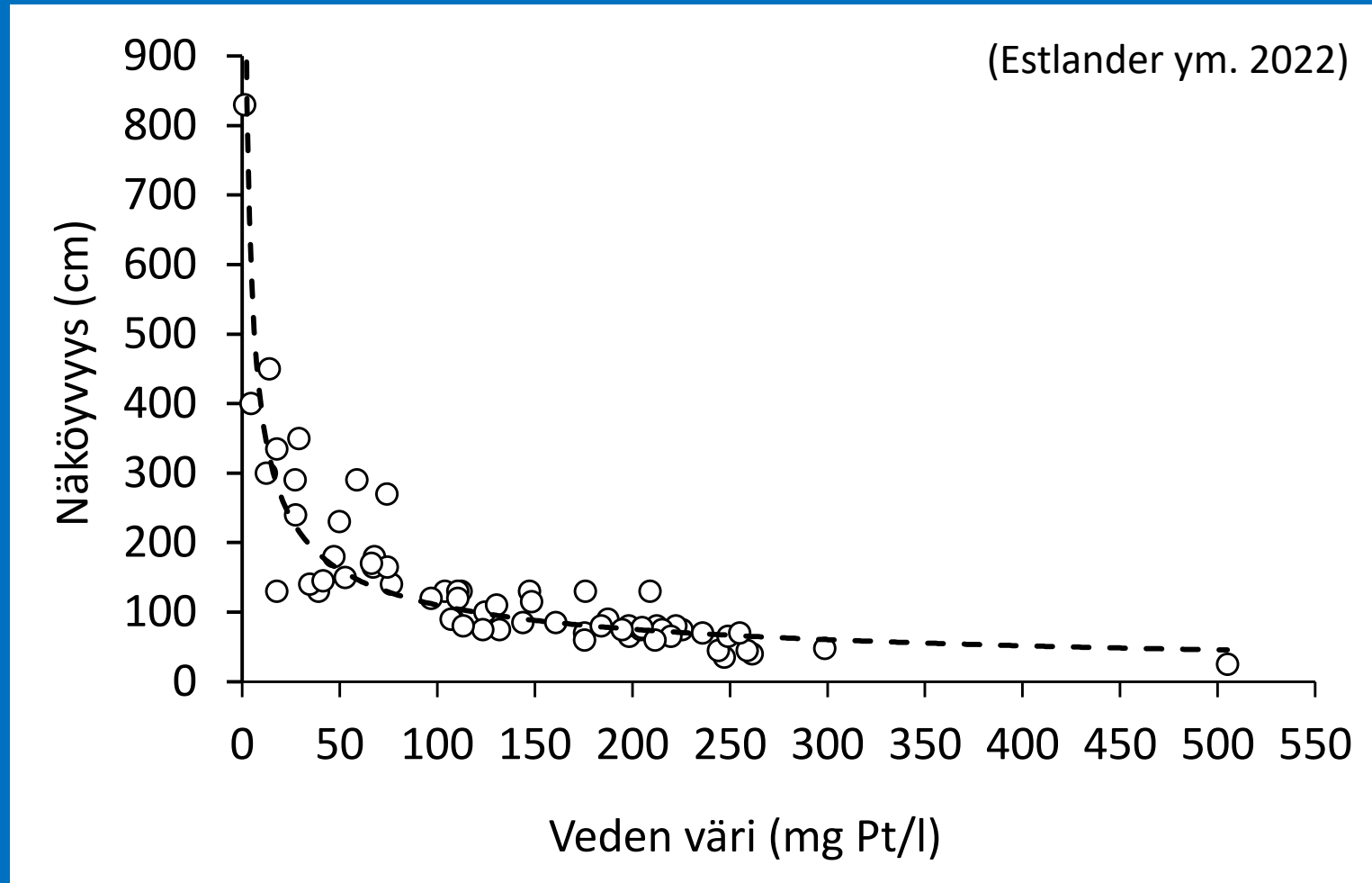
”Uusien turvetuotantoalueiden sijoittamisen suunnittelussa otetaan huomioon valuma-alueen kuormitus sekä alapuolisen vesistön tila ja herkkyys aiheutuvalle lisäkuormitukselle”

Miten määritellään järven herkkyys tummumiselle?

Yleensä ajatellaan, että kirkkaat järvet ovat herkimpiä tummumiselle

Tummentavaa kuormitusta aiheuttavan maankäytön sijoittamista perustellaan usein sillä, että vastaanottavat vesistöt ovat luonnostaan tummavetisiä

Jos veden väri nousee 10 mg Pt/l → 40 mg Pt/l, näkösyvyys alenee 206 cm (387 cm → 181 cm)



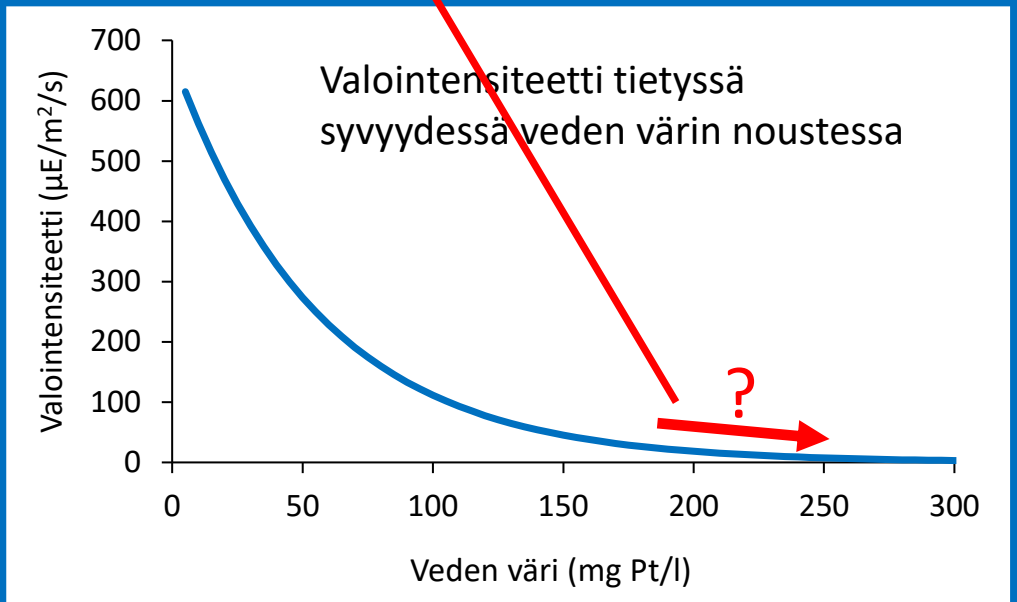
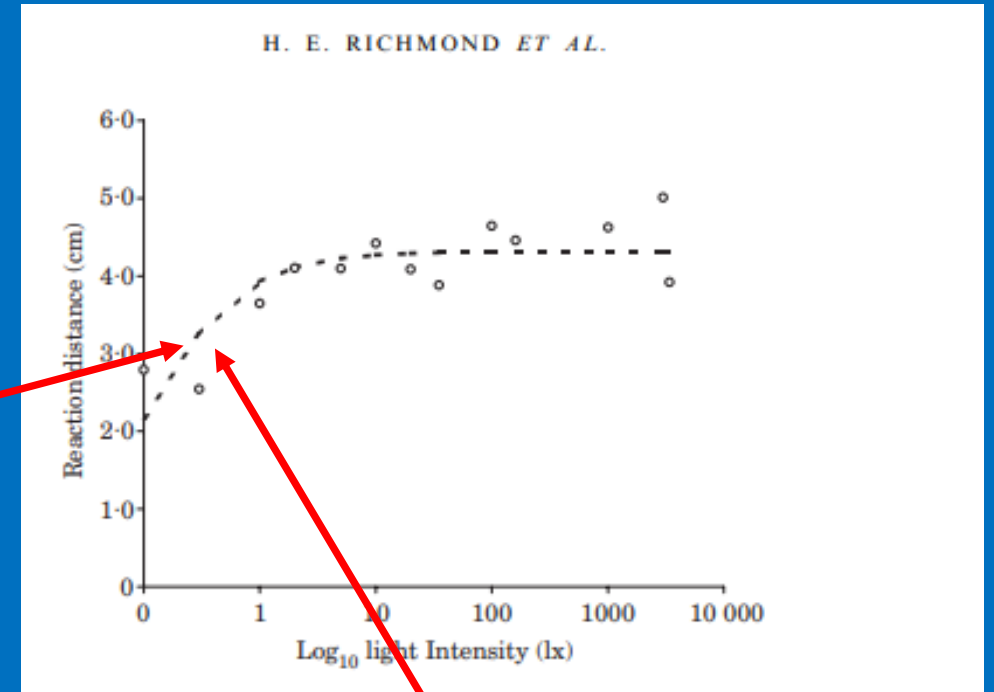
Jos veden väri nousee 300 mg Pt/l → 330 mg Pt/l, näkösyvyys alenee 3 cm (60 cm → 57 cm)

Valointensiteetin vaikutus etäisyyteen, jolta ahven havaitsee saaliin (Richmond ym. 2004)



Alhaisilla valotasolla pienikin muutos aiheuttaa suuren muutoksen saalistuksessa

Kun hyvin korkean väriluvun vallitessa l. alhaisessa valotasossa tapahtuu pienikin muutos, vaikutukset saalistukseen ovat voimakkait → vaikutus kasvunopeuteen



Ei voida yksiselitteisesti päätellä, että voimistunut DOC- ja rautakuormitus tummavetiseen järveen olisi vaikutuksiltaan vähäistä

# Tummuminen ja ekologisen tilan arviointi

Jos halutaan, että tummentavaa kuormitusta kontrolloitaisiin nykyistä paremmin, tummumisen vaikutusten tulisi näkyä seurannoissa ja ekologisen tilan arvioinnissa

Ottaako nykyinen ekologisen tilan arviointi tummumisen huomioon?

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)

Review

Assessing the ecological status in the context of the European Water Framework Directive: Where do we go now?

Yorick Reyjol <sup>a,\*</sup>, Christine Argillier <sup>b</sup>, Wendy Bonne <sup>c,1</sup>, Angel Borja <sup>d</sup>, Anthonie D. Buijse <sup>e</sup>, Ana Cristina Cardoso <sup>c</sup>, Martin Daufresne <sup>b</sup>, Martin Kernan <sup>f</sup>, Maria Teresa Ferreira <sup>g</sup>, Sandra Poikane <sup>c</sup>, Narcís Prat <sup>b</sup>, Anne-Lyche Solheim <sup>h</sup>, Stéphane Stroffek <sup>j</sup>, Philippe Usseglio-Polatera <sup>k</sup>, Bertrand Villeneuve <sup>l</sup>, Wouter van de Bund <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Onema (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques), Direction de l'Action Scientifique et Technique (DAST), 5 square Felix Nadar, 94300 Vincennes, France  
<sup>b</sup> Irstea, UR HYAX, Pôle d'études et recherches en Hydroécologie des plans d'eau Onema/Irstea, 3275 route de Cézaune, CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5, France  
<sup>c</sup> European Commission, DG Joint Research Centre, Water Resources Unit, via E. Fermi 2749, T.P. 460, I-21027 Ispra, VA, Italy  
<sup>d</sup> AZTI-Tecnalia, Marine Research Division, Herrera Kala, Portualdea s/n, 20110 Pasaia, Spain  
<sup>e</sup> DELTARES, Department of Freshwater Ecology and Water Quality, P.O. Box 177, 2600 MH Delft, The Netherlands  
<sup>f</sup> Department of Geography, University College London, Gower Street, London WC1E 6BT, UK

Science of the Total Environment 610-611 (2018) 1288-1297

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)

Do organic matter metrics included in lake surveillance monitoring in Europe provide a broad picture of brownification and enrichment with oxygen consuming substances?

Margot Sepp <sup>\*</sup>, Toomas Kõiv, Peeter Nõges, Tiina Nõges

Centre for Limnology, Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Estonian University of Life Sciences, Kreutzwaldi 5, 51014 Tartu, Estonia

Received: 19 December 2022 | Revised: 15 March 2023 | Accepted: 17 March 2023

DOI: 10.1002/esp.2856

ARTICLE

**Browning of boreal lakes: Do public perceptions and governance align with the biological foundations?**

Eerika Albrecht <sup>1</sup> | Olga Hannonen <sup>2</sup> | Carlos Palacin-Lizarbe <sup>3</sup> | Jarno Suni <sup>2</sup> | Laura H. Härkönen <sup>4</sup> | Niko Soininen <sup>1</sup> | Jussi Kukkonen <sup>3</sup> | Anssi Vainikka <sup>5</sup>

<sup>1</sup>Law School, Center for Climate Change, Energy, and Environmental Law, University of Eastern Finland, Joensuu, Finland  
<sup>2</sup>Business School, University of Eastern Finland, Joensuu, Finland  
<sup>3</sup>Department of Environmental and Biological Sciences, University of Eastern Finland, Kuopio, Finland

**Abstract**  
Browning of surface waters, also known as brownification, is a process of decreasing water transparency, particularly in boreal lakes surrounded by intensively managed forests and wetlands. In this paper, we review the ecological consequences and ecosystem-based management (EBM) of browning through a systematic review approach and adopt an interdisciplinary

Contents lists available at ScienceDirect

Water Research

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/watres](http://www.elsevier.com/locate/watres)

Making waves: The sensitivity of lakes to brownification and issues of concern in ecological status assessment

Jukka Horppila <sup>\*</sup>, Leena Nurminen, Salla Rajala, Satu Estlander

Ecosystems and Environment Research Programme, Faculty of Biological and Environmental Sciences, University of Helsinki, P.O. Box 65, FI-00014, Finland

ARTICLE INFO

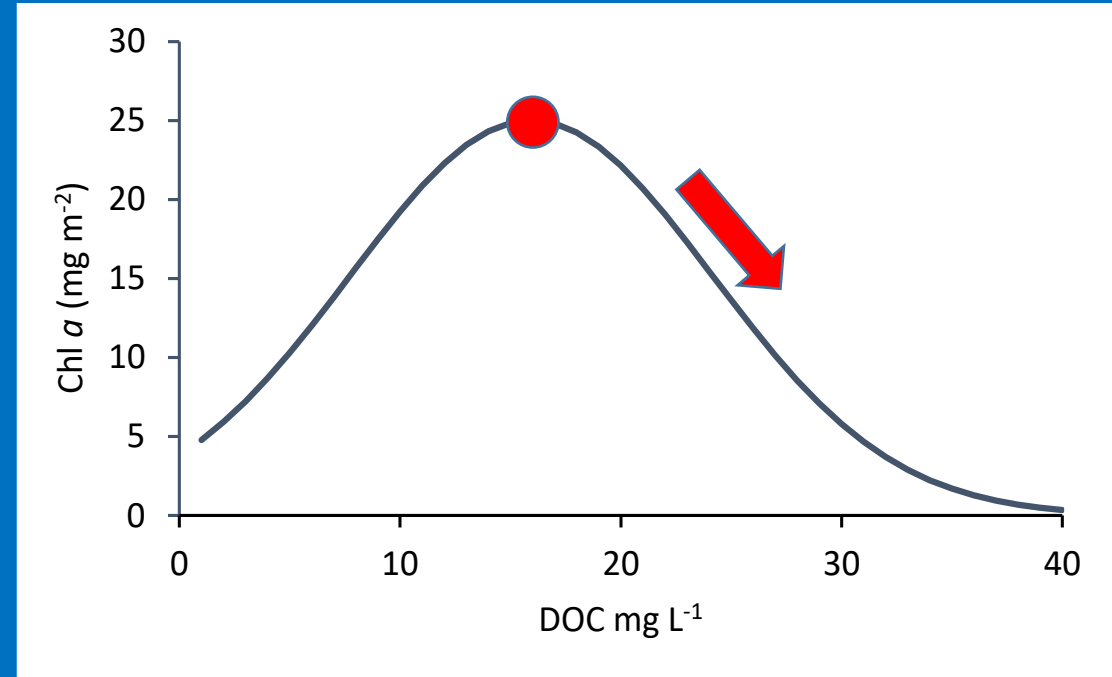
**Keywords:**  
Lakes  
Water colour  
DOC  
Sensitivity  
Ecological status assessment

**ABSTRACT**  
Brownification or increasing water colour is a common problem in aquatic ecosystems. It affects both physico-chemical properties and biotic communities of the impacted waters. A common view is that lakes having low background water colour are most sensitive to brownification. In this article, we show that although low-colour and high-colour lakes respond differently to brownification, the effects on biotic communities can be strong irrespective of water colour. For phytoplankton production, the effect of brownification can be positive at low colour and negative at high colour, the relative effect being strongest at high colour. For fish foraging, the disturbance per increasing unit of colour may also be highest at high-colour conditions. Additionally, the presently used classification systems mostly describe the effects of eutrophication and do not account for the effects of brownification. Studies on the whole colour range of lakes are needed and indicators used in the ecological status assessment of lakes must be developed to reveal the effects of brownification. Indicators distinguishing the effects of brownification from those of eutrophication are especially needed.

# Kasviplanktonbiomassa ja järvien ekologinen tila

Tyyppi	Kokonaisbiomassa (mg/l)						
	N	VA	E/ Hy	Hy/ T	T/ V	V/ Hu	HuAlar
Vh	17	0,35	0,45	0,9	1,9	3,8	6,6
Ph	21	0,6	0,75	1,5	3,0	6,0	10,2
Kh	13	0,6	0,75	1,5	3,0	6,0	10,2
SVh	28	0,4	0,5	0,9	1,7	3,4	5,1
Sh	16	0,5	0,6	0,9	1,8	3,7	5,6
Rh	15	0,6	1,3	2,4	4,8	9,6	14,4
MVh	6	0,9	1,1	1,6	3,2	6,4	9,6
Mh	9	1,0	1,3	2,5	5,0	10	15
MRh	4	1,2	2,0	4,0	8,0	16	24
Lv	5	0,6	0,8	1,2	2,4	4,8	7,2
PoLa	16	0,25	0,35	0,75	1,5	3,0	4,5
Rr							
Rk	8	0,6	1,1	2,3	4,6	9,2	13,8
ELS-las- kenta	ELS = VA / MuuttujanArvo						

Tummumisella voi olla päinvastainen vaikutus



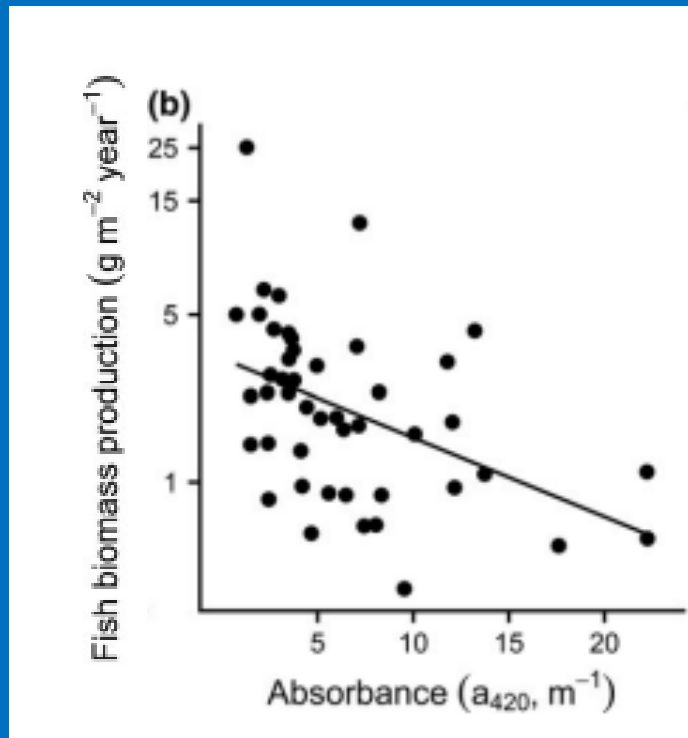
Kaikissa järvityypeissä ja kaikkien tilaluokkien välillä, kasviplanktonbiomassan aleneminen merkitsee tilan muutosta kohti lähemmäs luontaista tilaa

Kalaston osalta käytössä on kaksisuuntainen luokittelu; sekä nouseva että aleneva kalabiomassa voi kuvata ihmistoiminnan vaikutusta

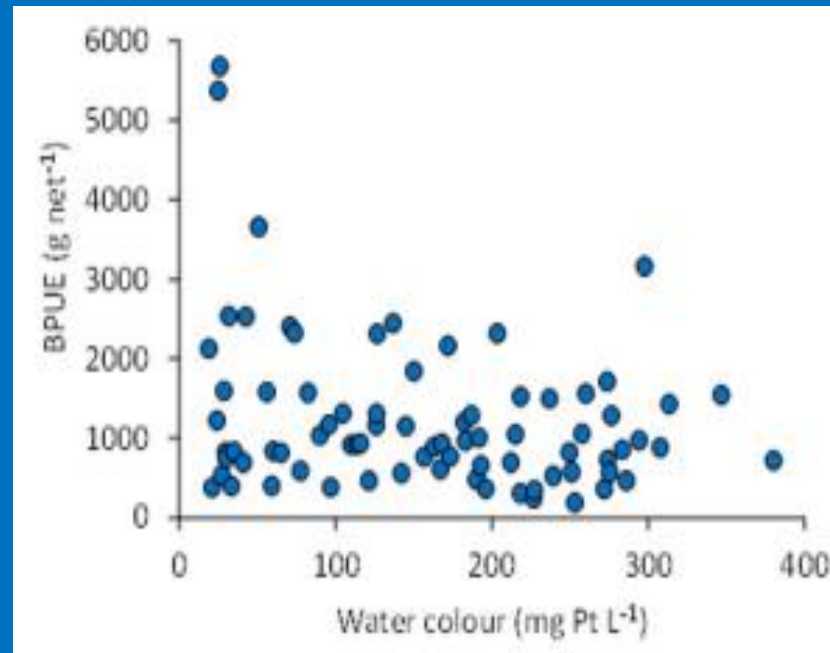
Yleensä kuitenkin tulkinta on, että kalabiomassan lisääntyminen kuvaa ekologisen tilan heikentymistä

Useat tutkimukset osoittavat, että tummumisen vaikutus voi olla päinvastainen

Van Dorst ym. (2019)



Horppila ym. (2025)



Käytössä olevat ekologisen tilan indikaattorit voivat osoittaa, että järven tila on muuttumassa kohti luontaista tilaa, vaikka tila on muuttumassa toiseen suuntaan

Ekologisen tilan arviointia tulisi kehittää niin, että se ottaa nykyistä paremmin huomioon myös tummumisen vaikutukset



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

**Water Research**  
journal homepage: [www.elsevier.com/locate/watres](http://www.elsevier.com/locate/watres)

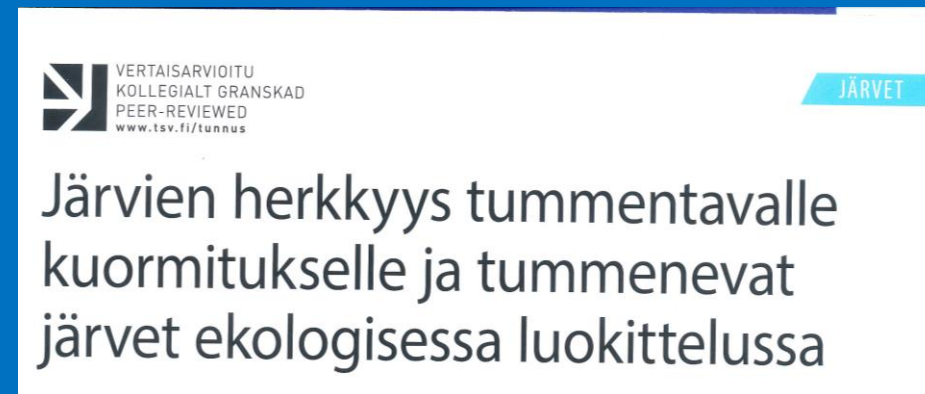
**Making waves: The sensitivity of lakes to brownification and issues of concern in ecological status assessment**

Jukka Horppila\*, Leena Nurminen, Salla Rajala, Satu Estlander

Ecosystems and Environment Research Programme, Faculty of Biological and Environmental Sciences, University of Helsinki, P.O. Box 65, FI-00014, Finland

**ARTICLE INFO**

**ABSTRACT**  
Brownification or increasing water colour is a common problem in aquatic ecosystems. It affects both physico-chemical properties and biotic communities of the impacted waters. A common view is that lakes having low



VERTAISARVIOITU  
KOLLEGIALT GRANSKAD  
PEER-REVIEWED  
[www.tsv.fi/tunnus](http://www.tsv.fi/tunnus)

JÄRVET

Järvien herkkyys tummentavalle kuormitukselle ja tummenevat järvet ekologisessa luokittelussa

Tehtävä on biologisten yhteisöjen osalta haasteellinen, koska rehevöitymisen ja tummumisen vaikutukset ovat osittain samankaltaisia

## Kirjallisuus

- Albrecht, E., Hannonen, O., Palacín, -Lizarbe, C., Suni, J., Härkönen, L. H., Soininen, N., Kukkonen, J. & Vainikka, A. (2023). Browning of boreal lakes: Do public perceptions and governance align with the biological foundations. *Ecological Applications* 23: e2856.
- Asmala, E., Carstensen, J. & Räike, A. (2019). Multiple anthropogenic drivers behind upward trends in organic carbon concentrations in boreal rivers. *Environmental Research Letters* 14: 124018.
- De Wit, H.A., Valinia, S., Weyhenmeyer, G., Futter, M.N., Kortelainen, P., Austnes, K., Hessen, D. O., Räike, A., Laudon, H., Vuorenmaa, J., 2016. Current browning of surface waters will be further promoted by wetter climate. *Environmental Science & Technology Letters* 12: 430-435.
- Estlander, S., Pippingsköld, E. & Horppila, J. (2021). Artificial ditching of catchments and brownification-connected water quality parameters of lakes. *Water Research* 205: 117674.
- Estlander, S., Rajala, S. J., & Horppila, J. (2022). Uusia mittareita humuskuormituksen seurantaan. *Vesitalous* 5/2022): 10-12.
- Horppila, J., Keskinen, S., Nurmesniemi, M., Nurminen, L., Pippingsköld, E., Rajala, S., Sainio, K. & Estlander, S. (2023). Factors behind the threshold-like changes in lake ecosystems along a water colour gradient: effects of dissolved organic carbon and iron on euphotic depth, mixing depth and phytoplankton biomass. *Freshwater Biology* 68: 1031-1040.
- Horppila, J., Nurminen, L., Rajala, S. & Estlander, S. (2024). Making waves: The sensitivity of lakes to brownification and issues of concern in ecological status assessment. *Water Research* 249:120964.
- Horppila, J., Nurminen, L., Rajala, S. & Estlander, S. (2024). Järvien herkkyys tummentavalle kuormitukselle ja tummenevat järvet ekologisessa luokittelussa. *Vesitalous* 2/2024-5-8.
- Horppila, J., Nurminen, L., Rajala, S. & Estlander, S. (2025). The effect of water colour on fish communities in boreal lakes. *Ecosystems* 28: 3.
- Karppinen, A. & Postila, H. (2015). Turvetuotannon vesistökuormituksen muodostuminen ja sen hallintamahdollisuuksia. SulKa-hankkeen loppuraportti. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 23:/2015.
- Kelly, P. T., Solomon, C. T., Zwart, J. A. & Jones, S., E. (2018). A framework for understanding variation in pelagic gross primary production of lake ecosystems. *Ecosystems* 21: 1364-1376.
- Klöve, B., Saukkoriipi, J., Tuukkanen, T., Heiderscheidt, E., Heikkinen, K., Marttila, H., Ihme, R., Depre, L. & Karppinen, A. (2012). Turvetuotannon vesistökuormituksen ennakointi ja uudet hallintamenetelmät. *Suomen Ympäristö* 35/2012.
- Kritzberg, E. S. (2017). Centennial-long trends of lake browning show major effect of afforestation. *Limnology and Oceanography Letters* 2: 105-112.

- Meyer-Jacob, C., Michelutti, N., Paterson, A.M., Cumming, B.F., Keller, W. & Smol, J.P., 2019. The browning and re-browning of lakes: divergent lake-water organic carbon trends linked to acid deposition and climate change. *Scientific Reports* 6, 16676: doi.org/10.1038/s41598-019-52912-0.
- Monteith, D. T., Stoddard, J. L., Evans, C. D., de Wit, H., A., Forsius, M., Høgåsen, T., Wilander, A., Skjelkvåle, B. L., Jeffries, D. S., Vuorenmaa, J., Keller, B., Kopáček, J. & Vesely, J. (2007). Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry. *Nature* 450: 537-540.
- Opdal, A. F., Andersen, T., Hessen, D. O., Lindemann, C., Aksnes, D. L. (2023). Tracking freshwater browning and coastal water darkening from boreal forests to the Arctic Ocean. *Limnology and Oceanography Letters* 8: 611-619.
- Reyjol, Y., C. Argillier, W. Bonne, A. Borja, A. D. Buijse, A. C. Cardoso, M. Daufresne, M. Kernan, M. T. Ferreira, S. Poikane, N. Prat, A. Lyche-Solheim, S. Stroffeek, P. Usseglio-Polatera, B. Villeneuve & van de Bund, W. (2014). Assessing the ecological status in the context of the European Water Framework Directive: Where do we go now? *Science of the Total Environment* 497-498: 332-344.
- Richmond, H. E., Hrabik, T. R. & Mensinger, A. F. (2004). Light intensity, prey detection, and foraging mechanisms of age 0 year yellow perch. *Journal of Fish Biology* 65: 195-205.
- Roulet, N. & Moore, T. R. (2006). Browning the waters. *Nature* 444, 283-284.
- Sepp, M., Kõiv, T., Nõges, P., Nõges, T. (2018). Do organic matter metrics included in lake surveillance monitoring in Europe provide a broad picture of brownification and enrichment with oxygen consuming substances? *Science of the Total Environment* 610-611: 1288-1297.
- Solomon, C. T., Jones, S. E., Weidel, B. C., Buffam, I., Fork, M. L., Karlsson, J. Larsen, S., Lennon, J. T., Read, J. S., Sadro, S. & Saros, J. (2015). Ecosystem consequences of changing inputs of terrestrial dissolved organic matter to lakes: current knowledge and future challenges. *Ecosystems* 18: 376-389.
- Van Dorst, R., Gårdmark, A., Svanbäck, A., Beier, U., Weyhenmeyer, G. & Huss, M. (2019). Warmer and browner waters decrease fish biomass production. *Global Change Biology* 25:1395–1408.
- Weyhenmeyer, G. A., Müller, R. A., Norman, M. & Tranvik, L. J. (2016). Sensitivity of freshwaters to browning in response to future climate change. *Climatic Change* 134: 225-239.
- Westberg, V., Bonde, A., Koivisto, A.-M., Mäkinen, M., Puro, H., Siiro, P., Teppo, A. 2022. Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalueen vesienhoitosuunnitelma vuosille 2022-2027. Osa 1: Vesienhoitoaluekohtaiset tiedot. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 15/2022. ISBN 978-952-398-010-5.
- Williamson, C. E., Overholt, E. P., Pilla, R. M., Leach, T. H., Brentrup, J. A., Knoll, L. B., Mette, E. M. & Moeller, R. E. (2015). Ecological consequences of long-term browning in lakes. *Scientific Reports* 5: 18666. DOI: 10:1038/srep18666.

Kiitos mielenkiinnosta!

