

# Sulfaattipitoisten kaivosvesien vaikutuksia sisävesien ekologiseen tilaan

Seppo Hellsten  
Heikki Mykrä  
Kimmo Tolonen  
Jan Weckström



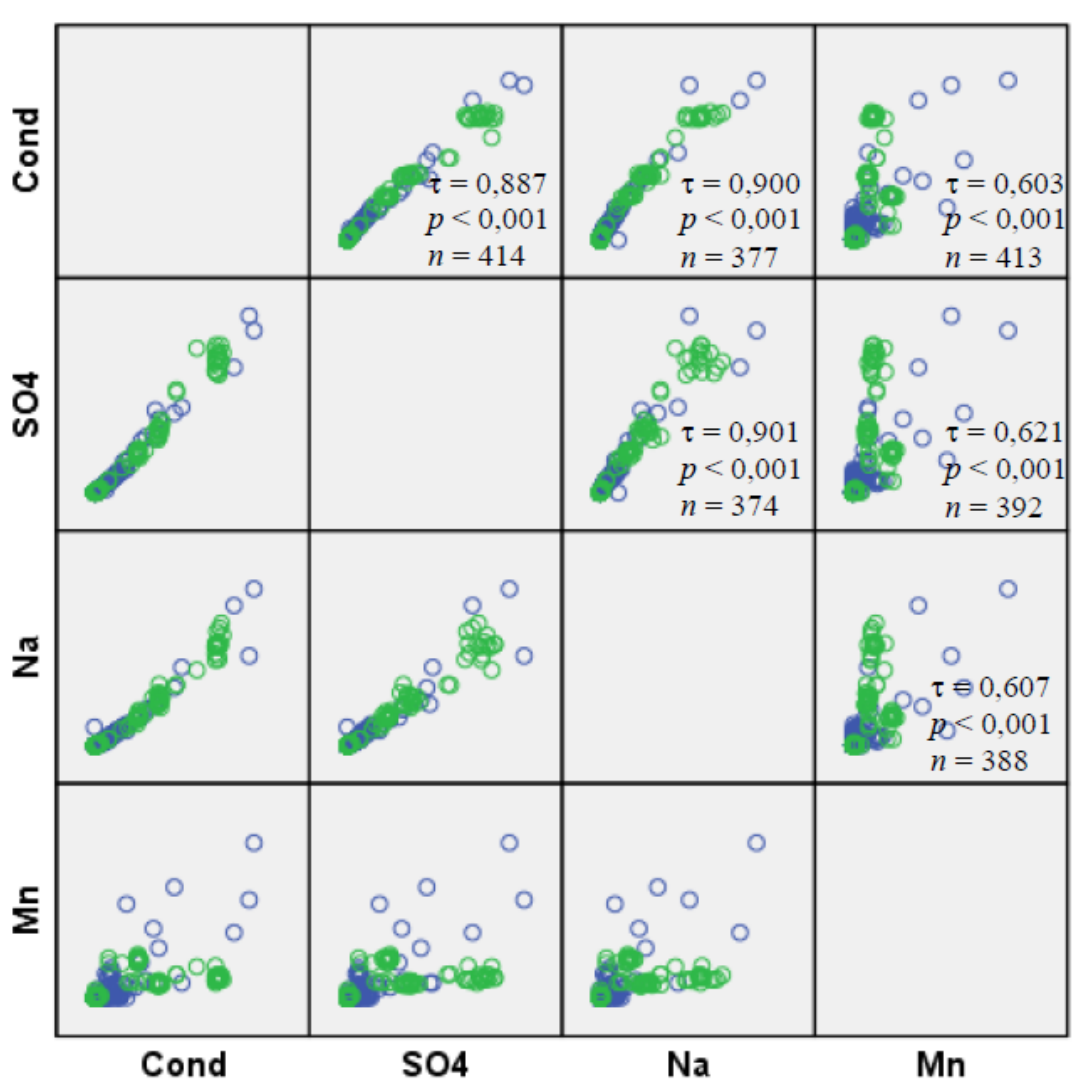
Suomen ympäristökeskus  
Finlands miljöcentral  
Finnish Environment Institute



# Sisältö

- Sulfaattipitoisten vesien vaikutuksesta yleensä
- Ekologisen tilan luokittelusta
- Esimerkkejä jokivesistä
- Esimerkkejä järvistä
- Mitä tietoa puuttuu?

# Sulfaattipitoisten vesien vaikutuksesta yleensä



Sulfaattipitoiset (kaivos)jätevedet ovat suolaisia ja tiheydeltään suurempia > suolaantuminen

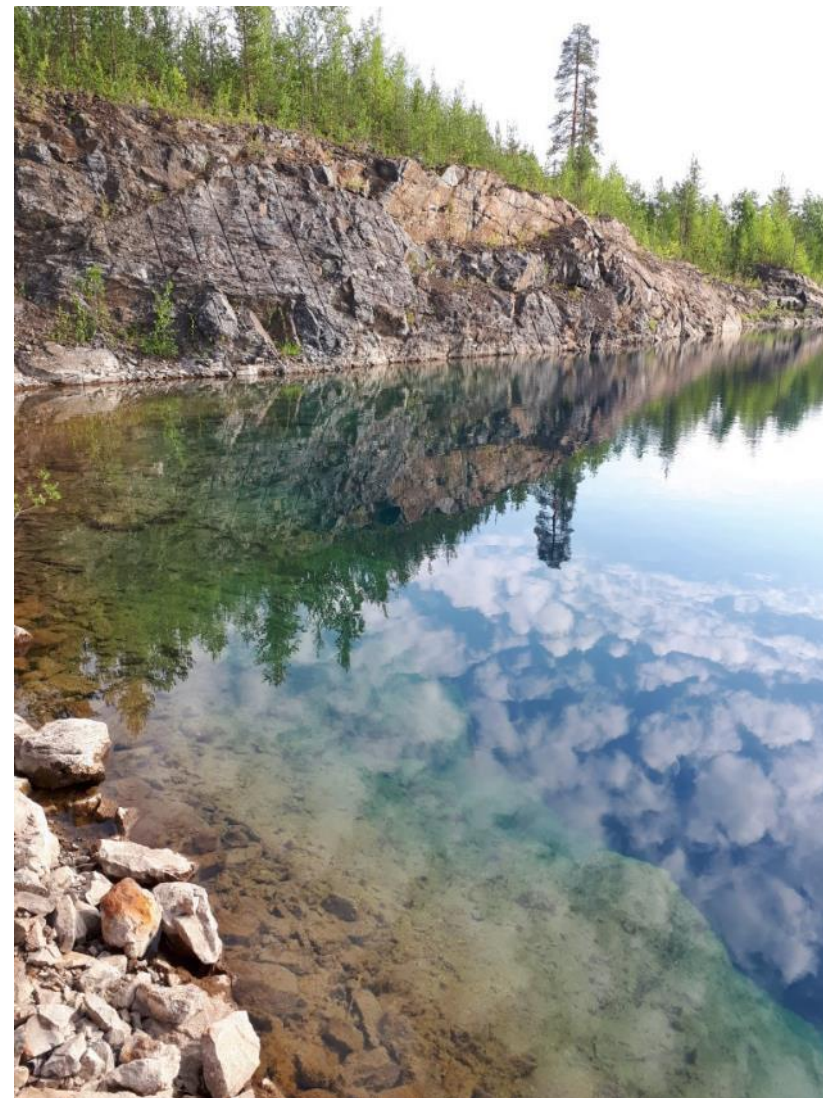
Talvivaaran lähijärvet (Ratava 2013)

# Mitä vesistöjen suolaantuminen on?

- Suola on kemiassa nykyisin käytetyn määritelmän mukaan yhdiste, joka kiinteässä olomuodossa koostuu ionisidosten koossa pitämistä kiteistä. Suolassa kationina on usein jokin metalli-ioni, anionina taas epämetalli-ioni tai jokin moniatominen kompleksi-ioni (Wikipedia).
- Yleisiä kationeja ovat esim. natrium ja anioneina sulfaatti
- Suolat ovat hyvin liukoisia
- Tärkeimmät ionit valtamerivedessä ovat kloridi-, natrium-, sulfaatti-, magnesium-, kalsium, kalium-, bikarbonaatti- ja bromidi-ionit.
- Suolat lisäävät veden tiheyttä ja nostavat jäätymispistettä
- Vesistöjen suolaantumisella tarkoitetaan tässä esityksessä sulfaatin ja natriumin aiheuttamaa suolaisuutta makeassa vedessä

# Suolaantumisen vaikutukset vesistöihin

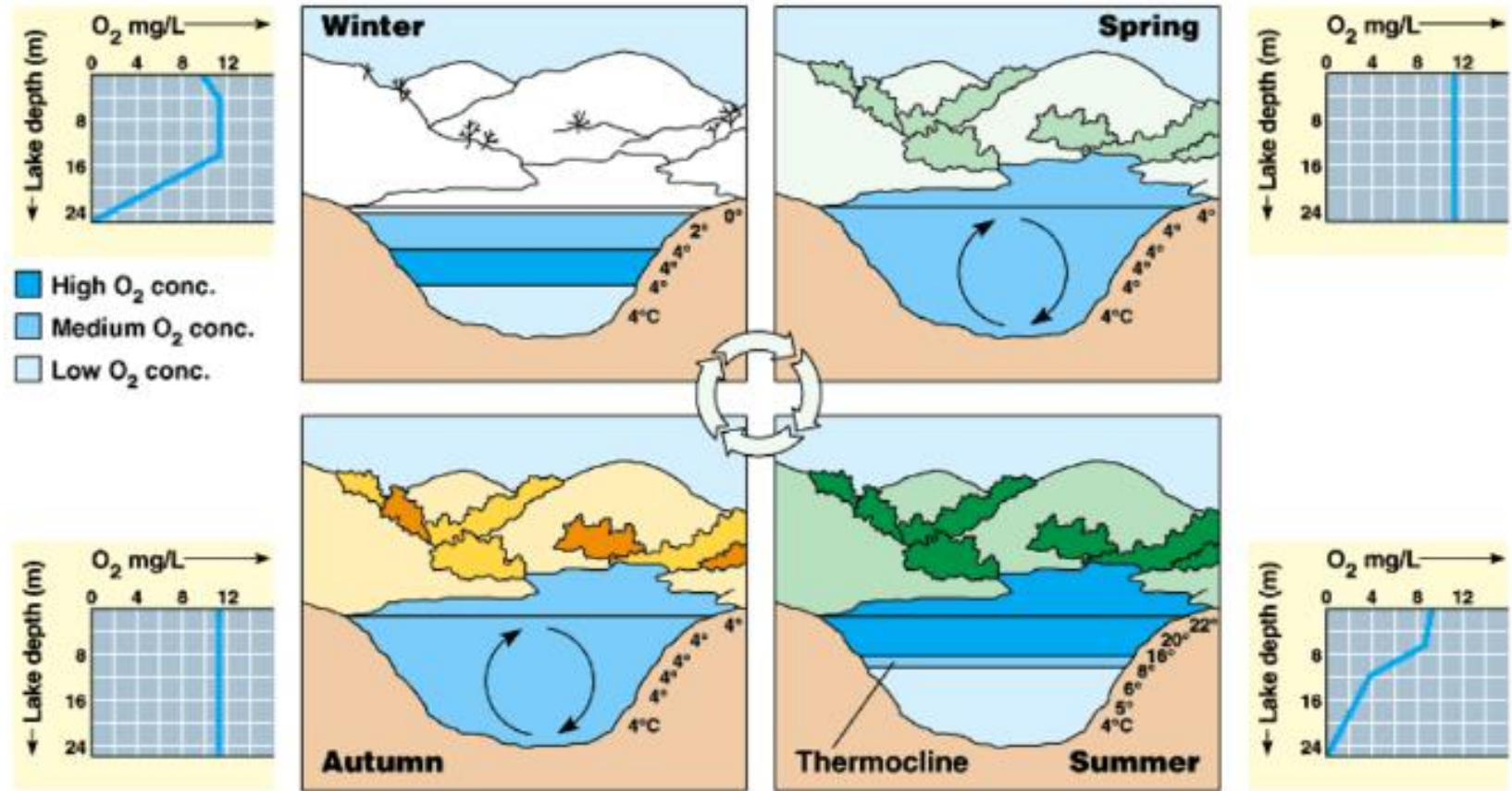
- Suomen vesistöt yleensä vähäsuolaisia
  - Sähkönjohtavuus (liuenneiden ionien määrä) yleensä 5–10 mS m<sup>-1</sup> > lounaisen Suomen savikoilla yli 13,7 mS m<sup>-1</sup>
- Saaristomerellä 1 000–1 200 mS 18 m<sup>-1</sup> ja Suomenlahden ja Pohjanlahden perukoilla 200 mS m<sup>-1</sup>
- Luonnonvesiä suolaisempi vesi painuu pohjaan



# Vaikutukset järviin 1

Suomen järvet ovat yleensä dimiktisiä tai monomiktisiä

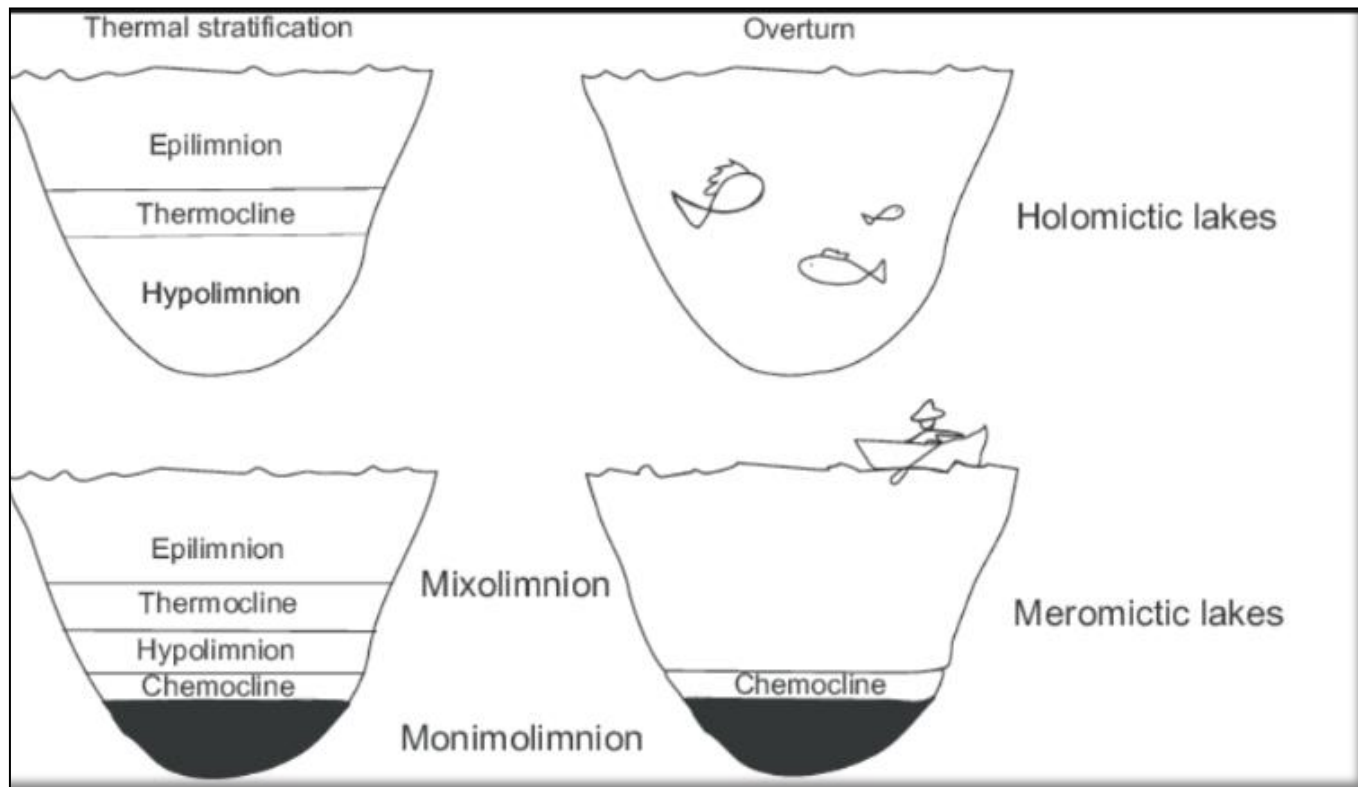
- Täyskierto kahdesti tai kerran vuodessa (holomiktinen)
- Vesi on raskaimmillaan +4 asteessa
- Eri kerrokset epilimnio, metalimnio ja hypolimnio



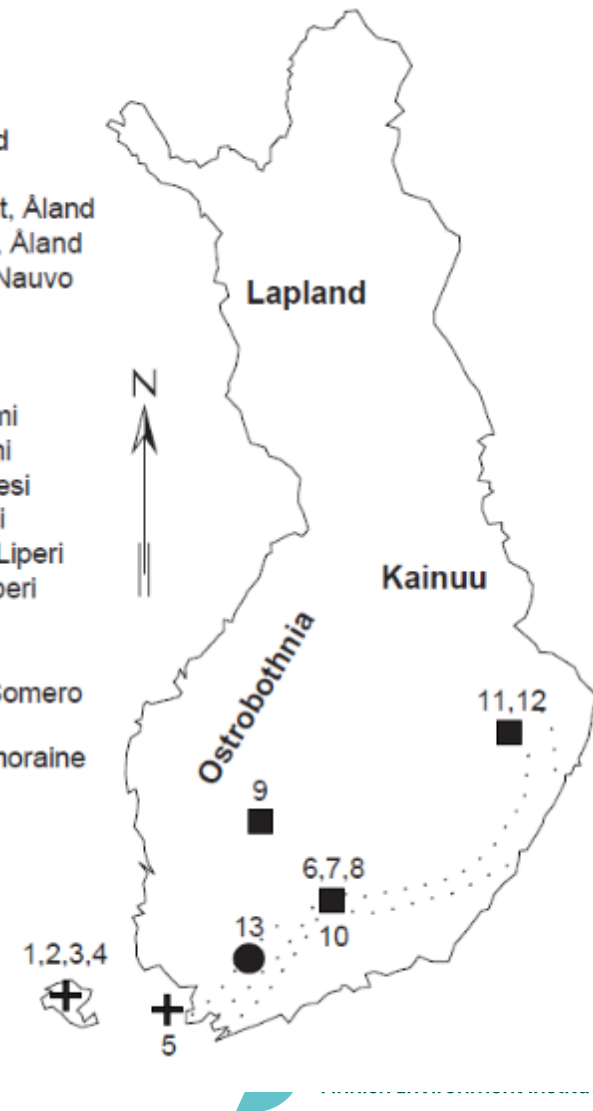
Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

# Vaikutukset järviin 2

- Mikäli kierto estyy kyseessä on **meromiktinen järvi**
  - Vuonna 2004 niitä oli löytyi 13 kpl (Hakala 2004)

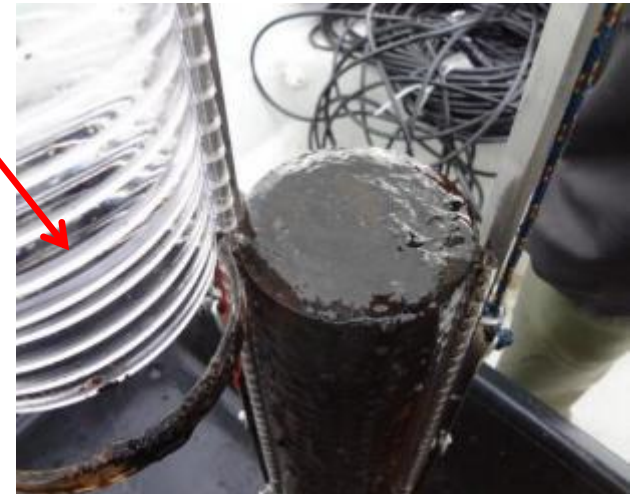


- ✚ **Group 1**
  - 1 Vargsundet, Åland
  - 2 Långsjön, Åland
  - 3 Västra Kyrksundet, Åland
  - 4 Östra Kyrksundet, Åland
  - 5 Västerholmarna, Nauvo
- **Group 2**
  - 6 Nimetön, Lammi
  - 7 Horkkajärvi, Lammi
  - 8 Mekkojärvi, Lammi
  - 9 Valkiajärvi, Ruovesi
  - 10 Lovojärvi, Lammi
  - 11 Hännisenlampi, Liperi
  - 12 Laukunlampi, Liperi
- **Group 4**
  - 13 Vähä-Pitkusta, Somero
- ⋯ Salpausselkä end-moraine zone



# Suolaantuminen → esimerkkinä Talvivaara

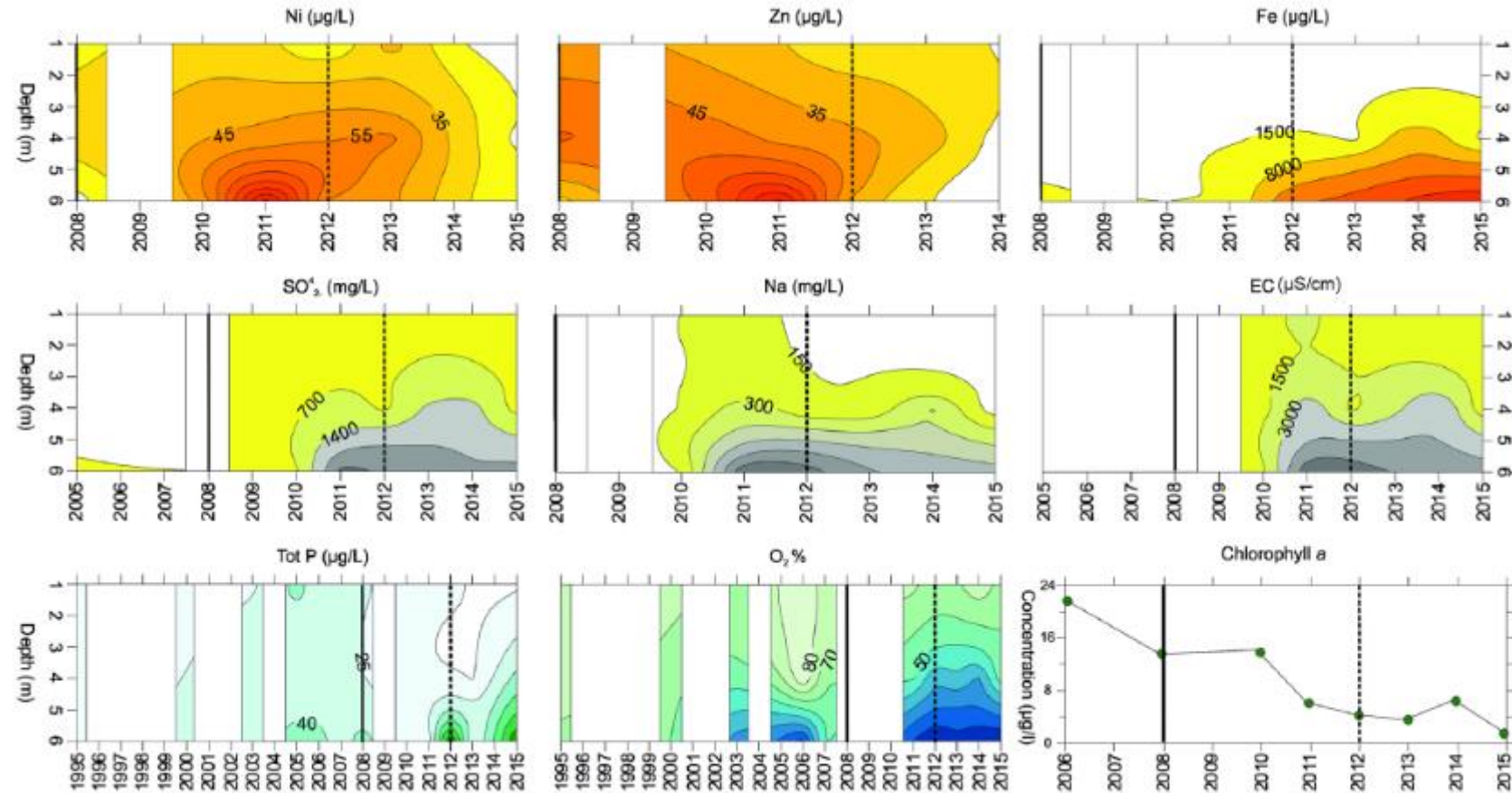
- Monimetallikaivos
  - Sulfaattia sulfidimalmista sekä bioliuotukseen käytetystä rikkihaposta
  - Mangaani ei saostunut/saostu kunnolla
  - Lipeän natrium karkasi vesistöön rikkivedyn hajuhaittojen poiston myötä
- Tiheämpi suolainen vesi kerrosti lähijärvet (syvänteet) pysyvästi
- Pysyvä kerrostuminen on kuluttanut hapen loppuun
  - Muutokset pohjaeläimistössä
- Eliöstön fysiologiset sopeutumiskeinot
  - (hyperosmoregulaatiolla aikuisilla kaloilla)



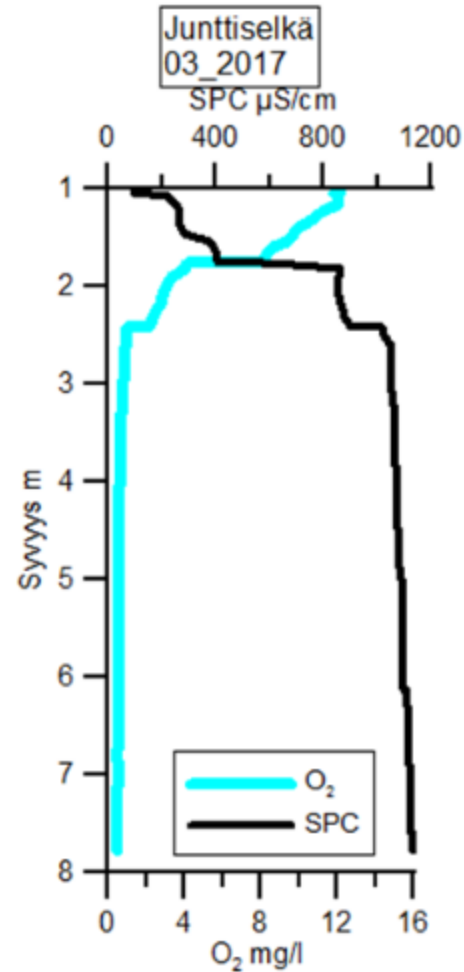


# Tilanne Kivijärnessä → esimerkkinä Talvivaara

- Pohjan piilevät ja vesikirput muuttuneet merkittävästi (Leppänen ym. 2017)
  - Ekologinen tilaluokka laskee!
- Virtavesissä (Kivijoki) 1/3 piilevistä murtovesilajeja!
  - Ekologisen tilan lasku



# Pyhäjärven Junttiselkä (Jari Mäkinen/GTK)



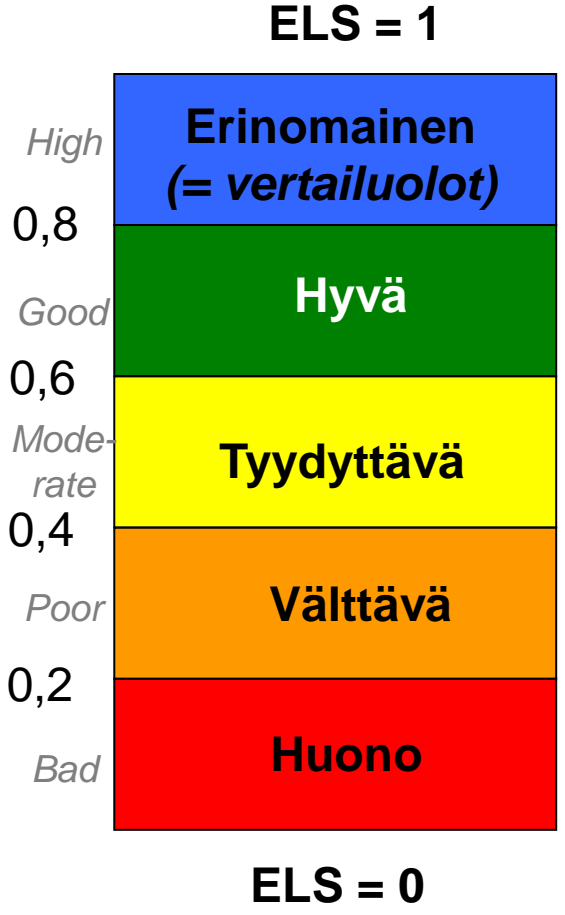
- Pyhäsalmen kaivoksen alapuolinen Pyhäjärven Junttiselän pienialainen syväne voimakkaasti kerrostunut sekä kaivos-että jätevesikuormituksen seurauksen

# Ekologisen tilan luokittelusta

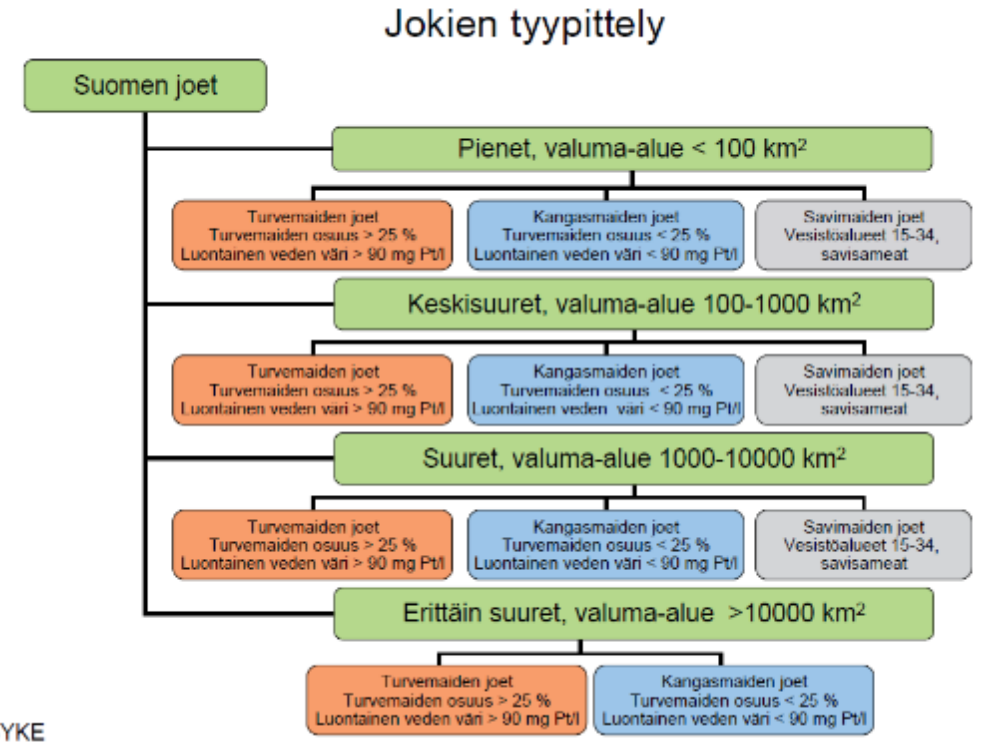


# Ekologinen laatusuhde (ELS)

$$ELS = \frac{\text{Havaittu Arvo}}{\text{Vertailuarvo}}$$



=> Ei tai hyvin vähäinen poikkeama häiriintymättömistä oloista



# Biologiset tekijät

- Vesikasvillisuuden koostumus ja runsaussuhteet
- Kasviplanktonin koostumus, runsaussuhteet ja biomassa
- Pohjaeläimistön koostumus ja runsaussuhteet
- Kalaston koostumus, runsaussuhteet ja ikärakenne

VPD, Liite V



# Esimerkkejä jokivesistä

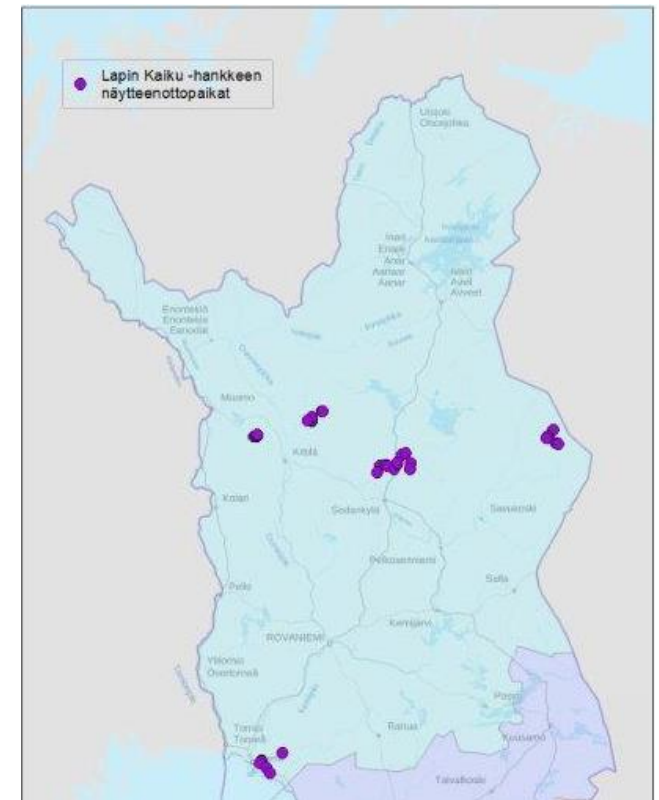


# Lapinkaiku -hanke

## 6 kaivosaluetta

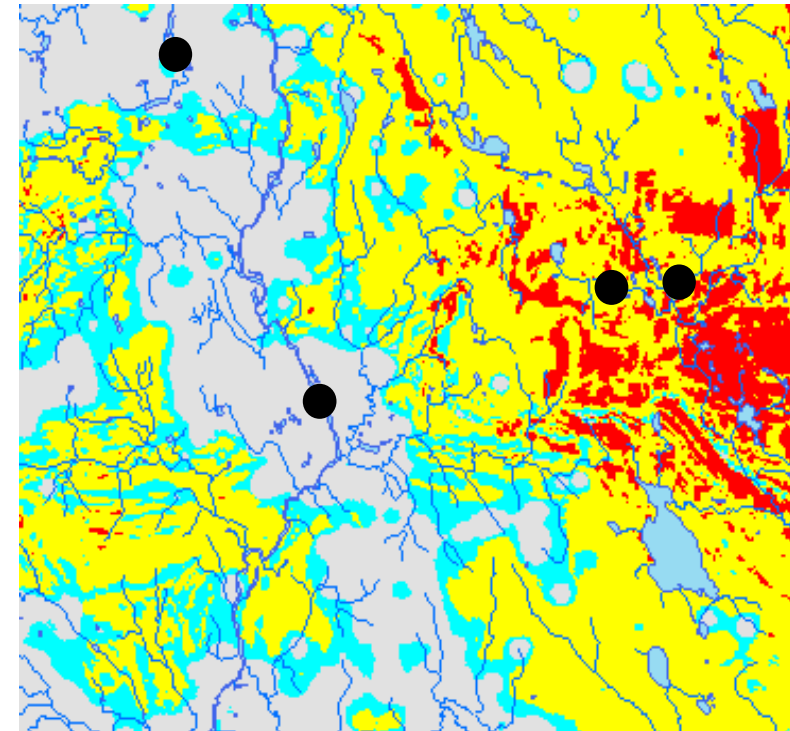
- Kevitsa, Pahtavaara, Kittilä, Saattopora, Kemin kaivos, Sokli
- 3 kaivosvaikutteista ja 3 vertailupaikkaa / alue (Soklissa vain vertailupaikkoja)
  - Vesikasvien kartoitus
  - Piilevät ja pohjaeläimet
  - Sähkökalastukset

<https://www.syke.fi/hankkeet/lapinkaiku>

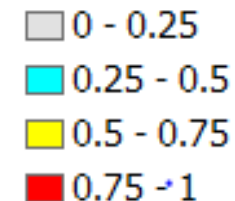


# Vertailuaineistojen täydennys ja luokittelu mineraalivaikutuksen perustella

- Piilevä- ja pohjaeläinaineistojen koonti tietokannoista
- Näytepaikkojen luokittelu geologian perusteella mineraalipotentiali karttojen avulla
- 81 (piilevät) ja 71 (pohjaeläimet) vertailupaikkaa, joissa voimakas geologinen vaikutus



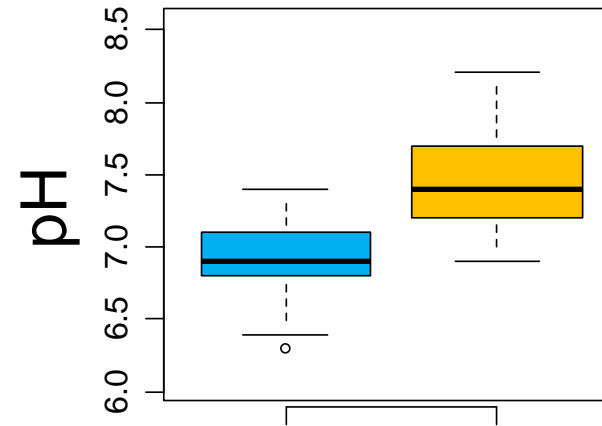
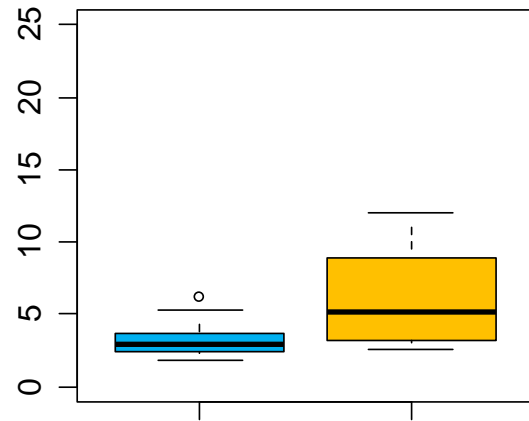
**Gamma Ni\_Cu**



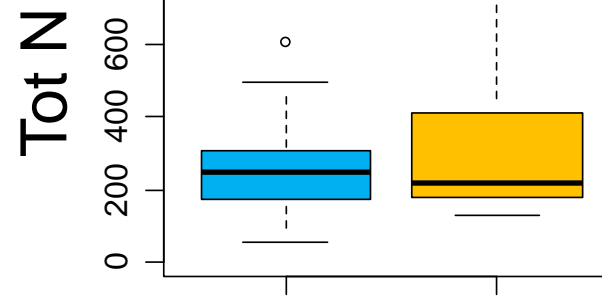
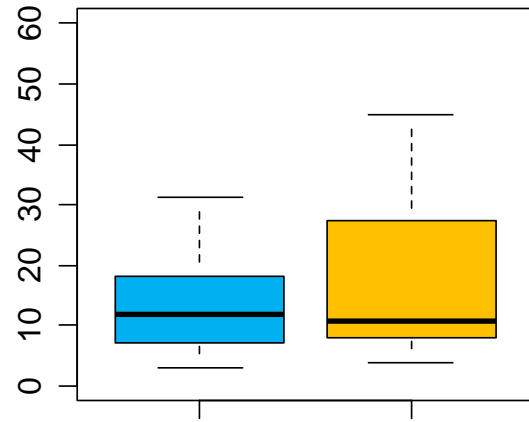


# Valuma-alueen geologian vaikutus vesikemiaan

Sähkönjohtavuus



Tot P

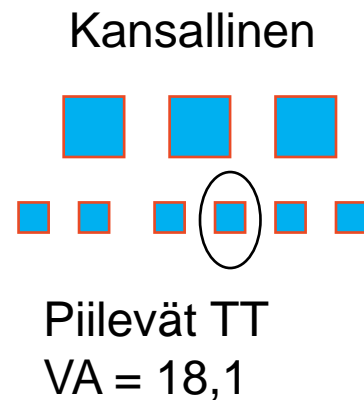
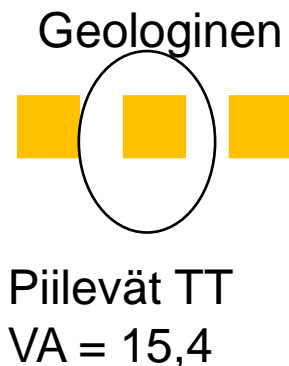


Ei vaikutusta    Mineraali-vaikutus

Ei vaikutusta    Mineraali-vaikutus

# Kohteiden ekologisen tilan luokittelu

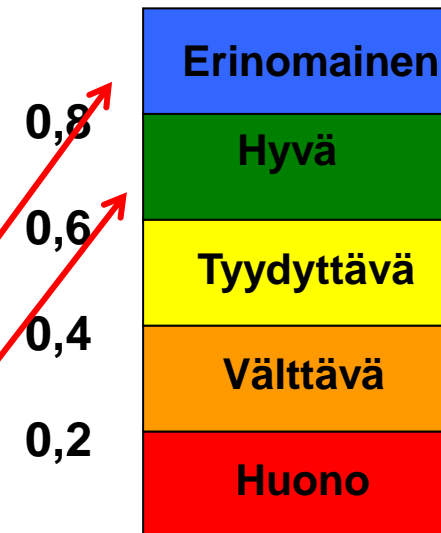
- Luokittelut 1) **geologisten** ja 2) **kansallisen ekologisen luokittelun vertailuolojen (VPD)** perusteella (piilevät ja pohjaeläimet)
- Muuttujina jokityypille ominaiset taksonit (TT) ja PMA –indeksi
- 3 kokotyyppiä (<10, 10-100, 100-1000 km<sup>2</sup>) molemmissa ja 2 turvemaiden osuuteen perustuvaa tyyppiä kansallisessa tyypittelyssä



## Esimerkki:

Mataraoja, 10-100 Km<sup>2</sup>,  
turvemaiden joki,  
TT piilevät

Havaitut arvot TT  
13 ja 13  
ELS =  
 $13 / 15,4 = 0,84$   
 $13 / 18,1 = 0,71$

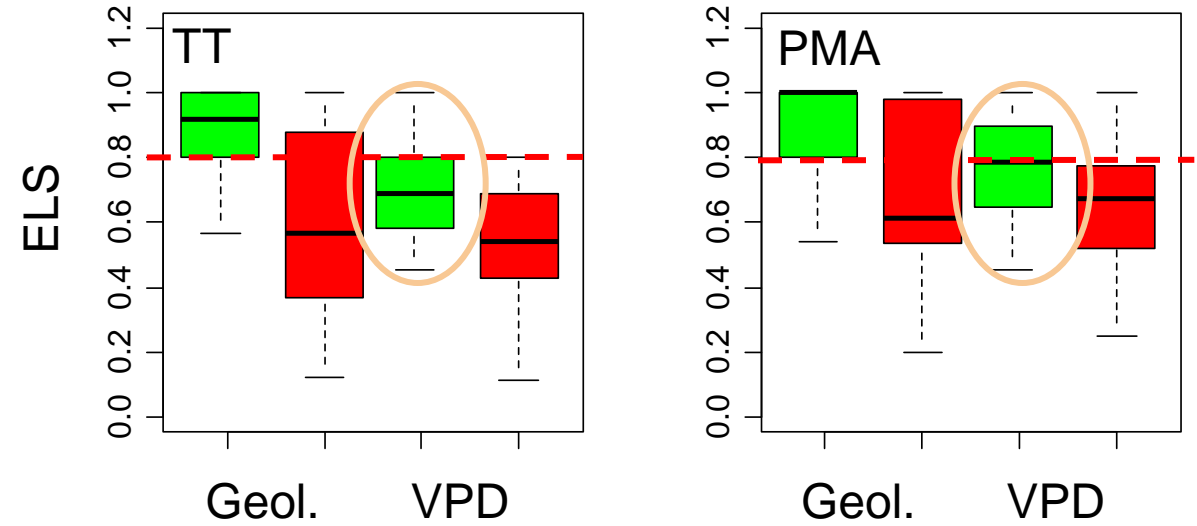


# Tulokset

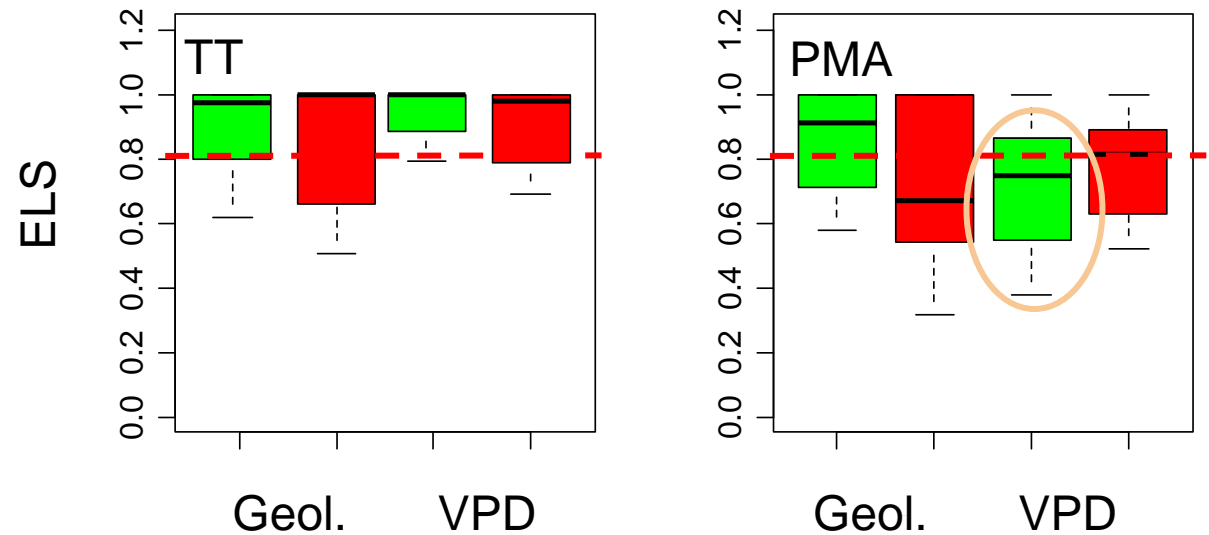
- Vertailupaikat
- Vaikutetut paikat



## Piilevät



## Pohjaeläimet



# Johtopäätökset

- Valuma-alueen geologia vaikuttaa vesistöihin ja niiden eliöstöön
- Vesipuidedirektiivin mukaiset kansalliset vertailuolot eivät välttämättä edusta geologisesti poikkeavien alueiden luonnontilaisen kaltaisia yhteisöjä
- Paikalliset olot olisi syytä huomioida arvioinnissa, mutta **seuranta vain vaikutusalueella ei mahdollista vaikutusten havaitsemista luotettavasti!**



# Seuranta ennen ja jälkeen (Before After Control Impact BACI)



# Esimerkkejä järvistä



# Talvivaara/Terrafamen käsiteltyjen jätevesien poistoputki Nuasjärveen on aiheuttanut happikadon ja turmellut pohjan eliöyhteisön

Talvivaara/Terrafamen käsiteltyjen jätevesien siirtäminen vuonna 2015 rakennettua suoraa poistoputkea pitkin Nuasjärven syvänteeseen on aiheuttanut putken lähistöllä pohjanläheisen happikadon ja muuttanut merkittävästi pohjaelinyhteisöä selviää Helsingin yliopistossa tehdystä tutkimuksesta.

TAUSTAA

## Helsingin yliopiston tutkijat ja Kainuun ely-keskus ajautuivat kiistaan: Kyse jälleen Terrafamen jätevesistä ja Nuasjärvestä

Kainuun ely-keskus vähätteli yliopiston tutkijoiden tuloksia. Tutkijat reagoivat lähettämällä vastineen.

Sotkamon kalatalo  
Helsingin yliopisto

Järvelä

## Kohu Nuasjärven happikadosta johtui väärinymmärryksestä: tutkijat keskittyivät syvänteisiin, viranomaiset koko järveen tilaan

Sotkamolaiset halusivat selvittää kahden eri näkemyksen taustat.



# Velvoitetarkkailuja sekä syvännepohja- eläinmenetelmiä vertaileva hanke (Vepove)

**TOIMITTANEET: HELENA VIKSTEDT | JONI KIVIPELTO**

**OSARAPORTTI A: AURI KOIVUHUHTA | JONI KIVIPELTO | HELENA VIKSTEDT | KIMMO VIRTANEN**

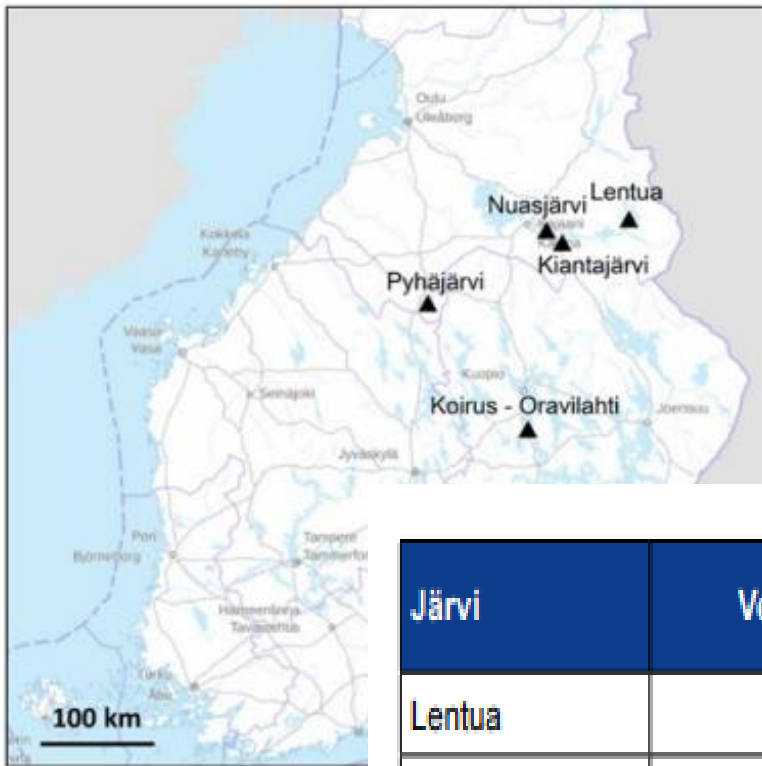
**OSARAPORTTI B: KIMMO T. TOLONEN | JAN WECKSTRÖM | TOMI LUOTO | HEIKKI MYKRÄ | JUHA RIIHIMÄKI | SEPPO HELLSTEN**

[https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/184937/Raportteja\\_28\\_2022.pdf?sequence=5&isAllowe](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/184937/Raportteja_28_2022.pdf?sequence=5&isAllowe)

## Hankkeen tavoitteet

- Verrata seurantakäytössä olevan Ekman-menetelmän ja paleolimnologisen menetelmän eroja ja kykyä tunnistaa kaivoskuormituksen vaikutuksia
- Tiedon tuottaminen syvännepohjaeläinyhteisöjen ja pohjaeläinmenetelmien soveltuvuudesta kaivoskuormitteisten vesistöjen velvoitetarkkailuihin ja yleisesti niiden merkityksestä järvien seurannassa



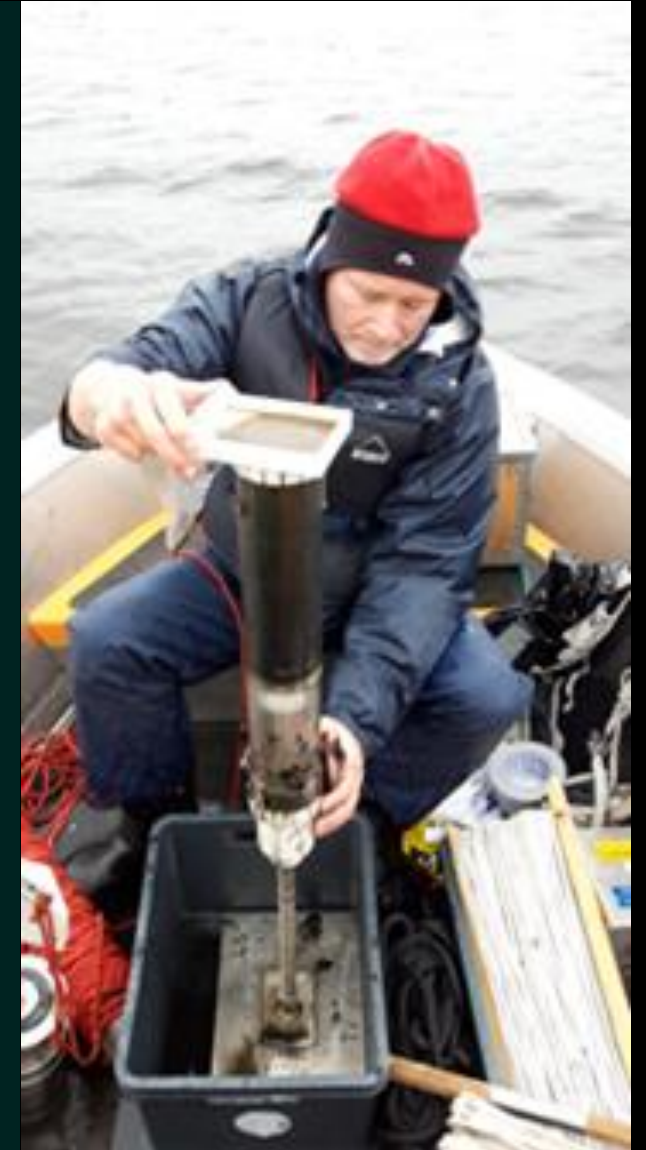


Järvi	Vesimuodostuma	Järvi- tyyppi	Ekologinen tila	Ekologinen tila syvänpohjaeläimet	Paineet
Lentua	Lentua	Sh	Erinomainen	Erinomainen	Hajakuormitus
Kiantajärvi	Kiantajärvi	Kh	Hyvä	Hyvä	Hajakuormitus
Rehja-Nuasjärvi	Nuasjärvi	Sh	Hyvä	Hyvä	Piste- (kaivos) ja hajakuormitus
Pyhäjärvi	Juntinselkä	Vh	Välttävä	Ei arvioitu	Piste- (kaivos), haja- ja sisäinen kuormitus
Pyhäjärvi	Kirkkoselkä	SVh	Hyvä	Tyydyttävä	Hajakuormitus (pistekuormitus)
Pyhäjärvi	Pyhäselkä	SVh	Erinomainen	Erinomainen	Hajakuormitus
Kallavesi	Oravilahti-Särkilahti	Kh	Tyydyttävä	Ei arvioitu	Piste- (kaivos) ja hajakuormitus
Kallavesi	Kallavesi (Koirus, Konnevesi)	Sh	Hyvä	Hyvä	Piste- ja hajakuormitus



## NÄYTTEENOTTO JA TUTKIMUSMENELMÄT

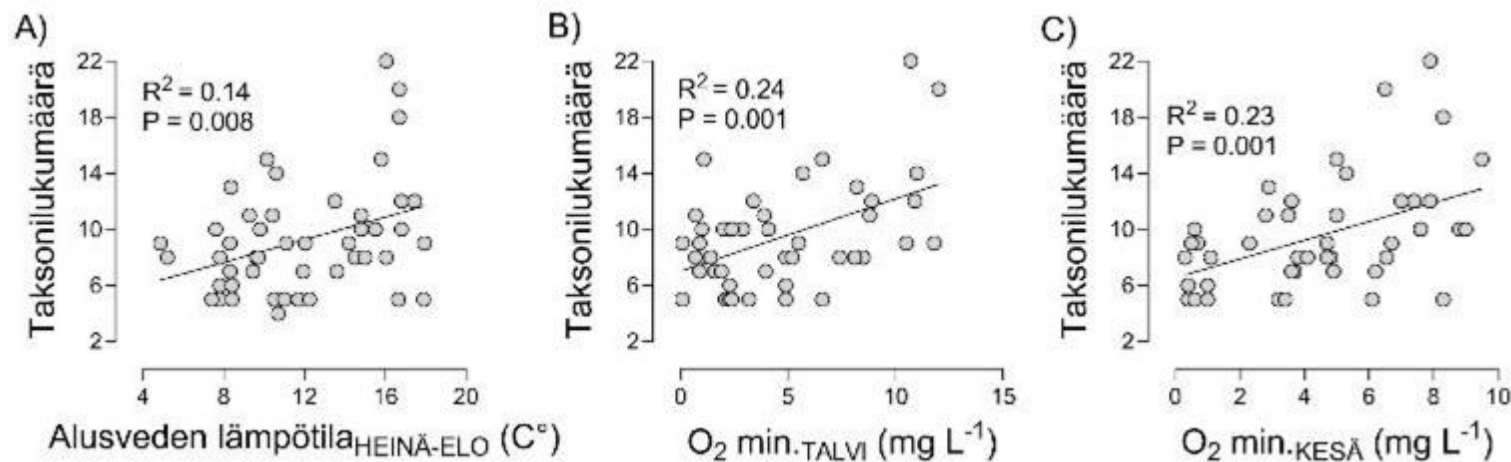
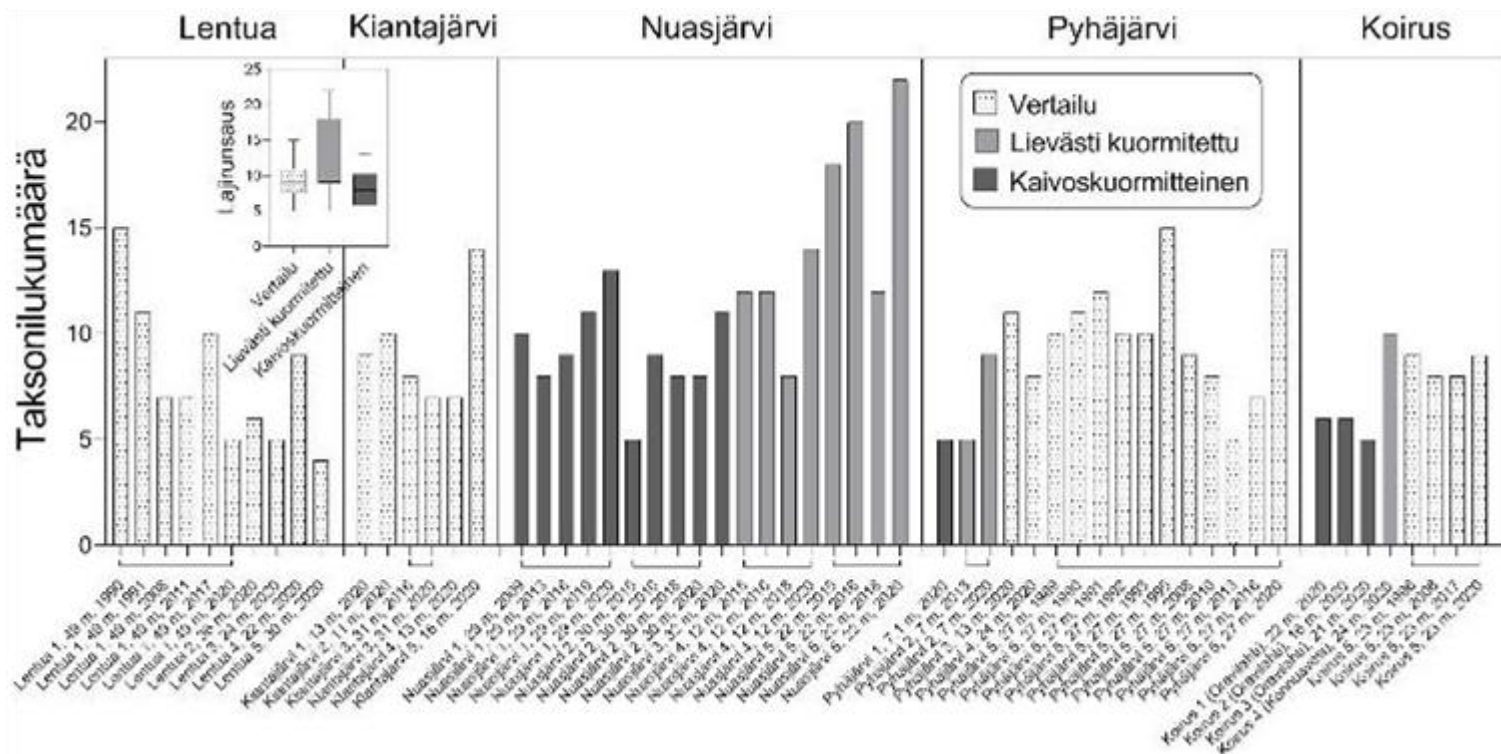
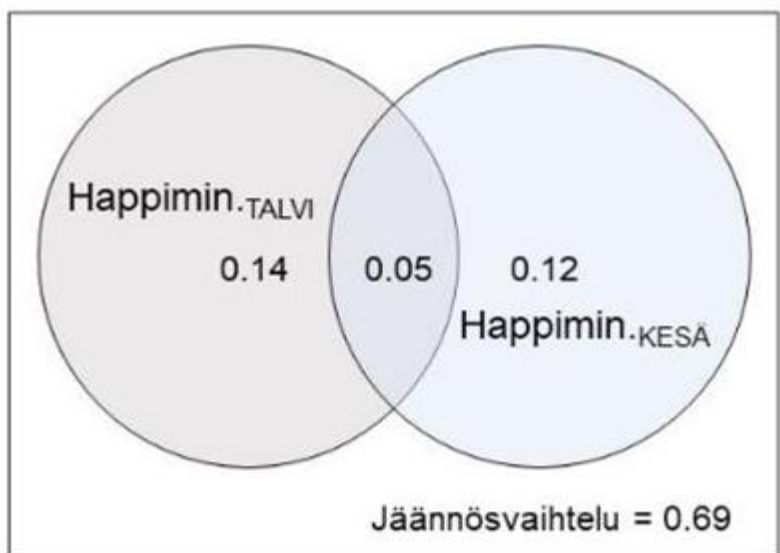
- Kenttätutkimukset lokakuussa 2020
- Samalta paikalta näytteet Ekman-noutimella ja paleolimnologinen näyte HTH Kajak-noutimella
- 6 rinnakkaista Ekman-näytettä/syvänne
- Pinta- (0-1 cm) ja pohjasedimentti (19-20) paleonäytteet kaikilta paikoilta
- Myös koko 20 cm "paleopötkö" yhdeltä syvänteeltä/järvi
- Sedimenttikerrosten iän radiometriset ajoitukset
  - Vanhimpien kerrosten ikä vaihteli suuresti: 1846 Nuasjärvi – 1988 Pyhäjärven Junttiselkä





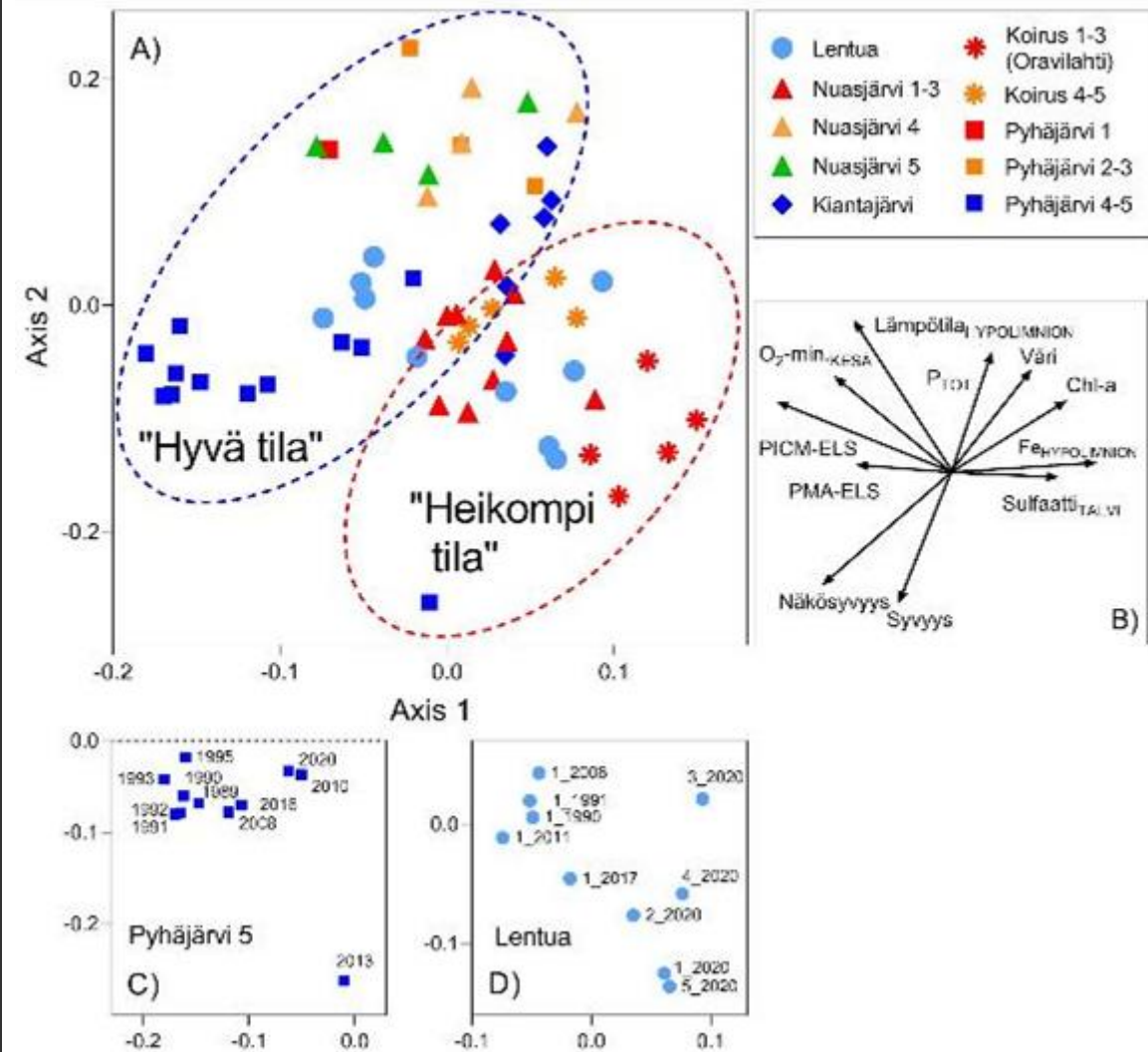
# Taksonirunsaus, Ekman-näytteet

- Happiolot paras selittäjä
- Alhaisin kuormitettuilla paikoilla, joissa suurimmat eläntiheydet



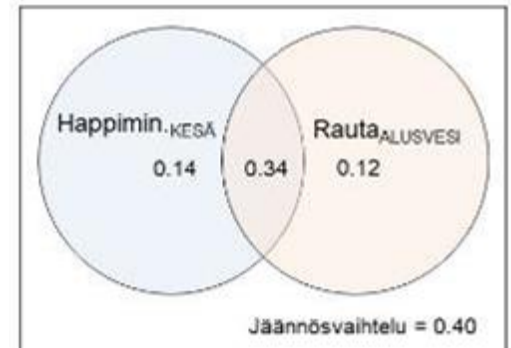
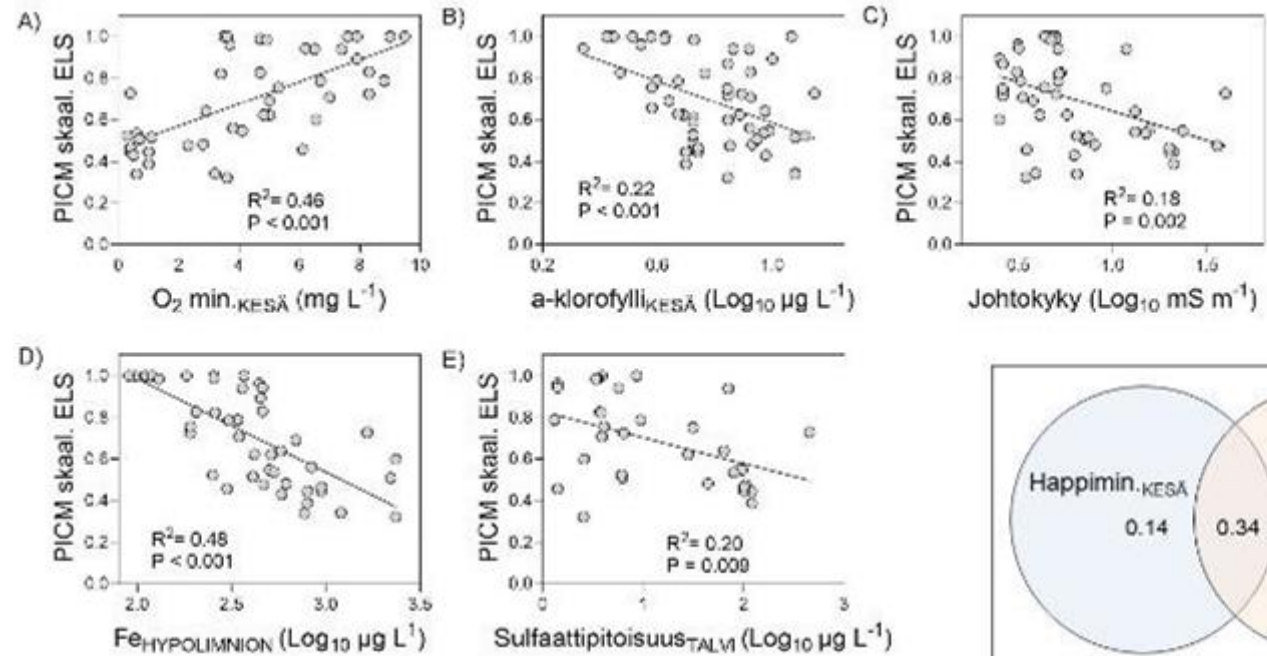
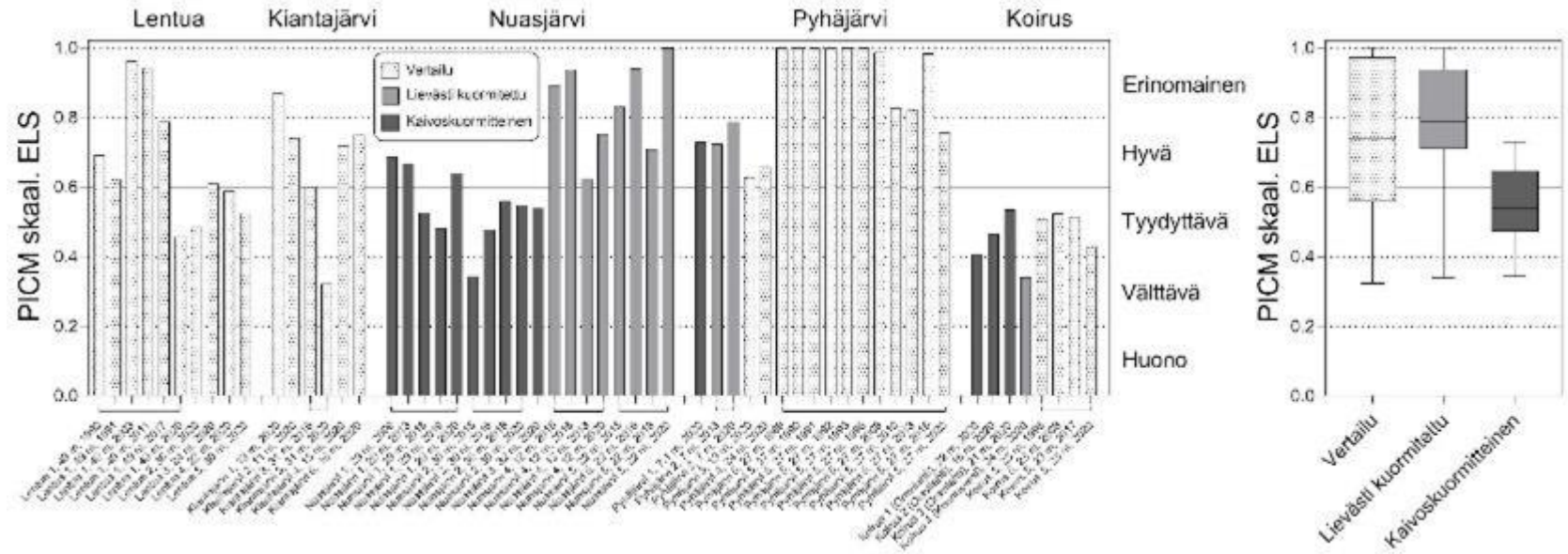
# Pohjaeläinten yhteisökoostumus (Ekman-näytteet)

- Pääkoordinaattianalyysi (PCoA)
- "Hyvässä" ja "heikommassa" tilassa olevat paikat erottuvat
- Happiolot, klorofylli, alusveden rauta- ja sulfaattipitoisuus selittävät (1-akseli)
- PICM-indeksi korreloi voimakkaasti 1-akselin kanssa
- Syvyys, lämpötila ja fosfori selittävät 2-akseliin liittyvää vaihtelua
- Pyhäjärven ja Lentuan pitkään seurattut syvänteet muuttuneet 1990-luvun jälkeen ja erityisesti viime vuosina



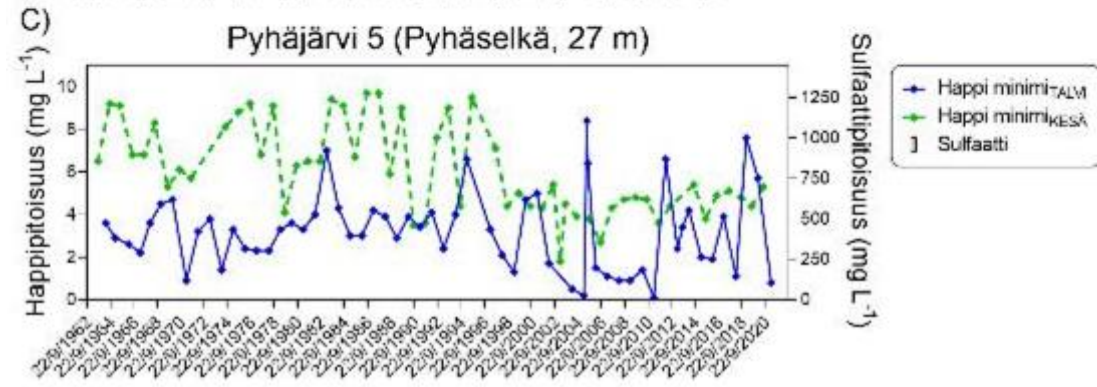
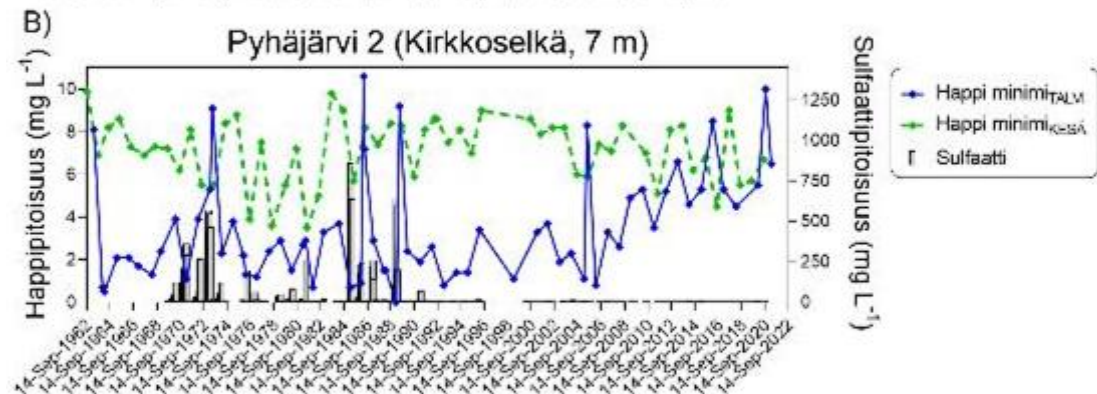
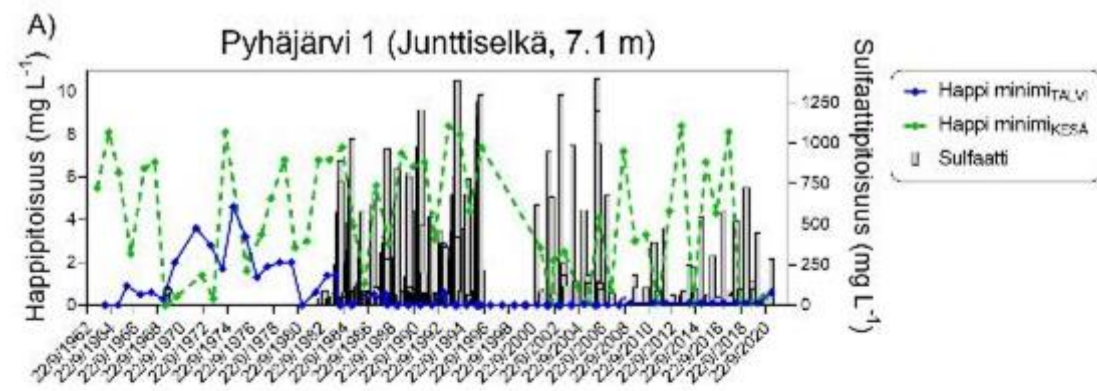
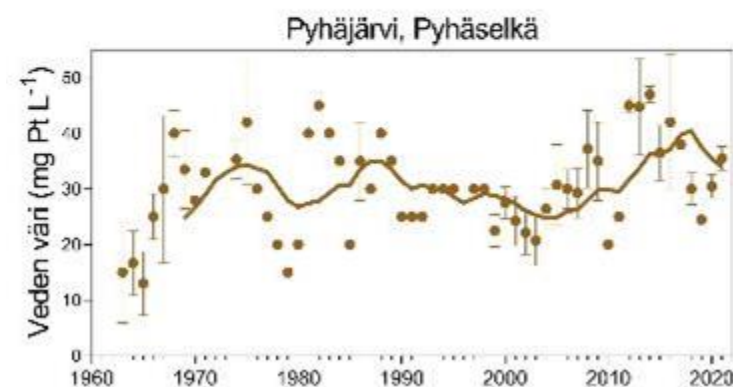
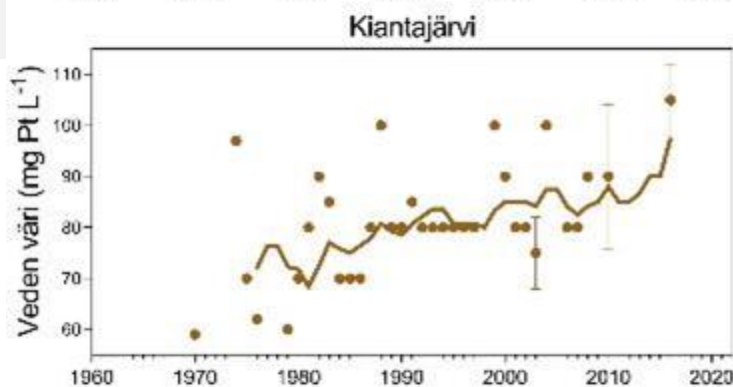
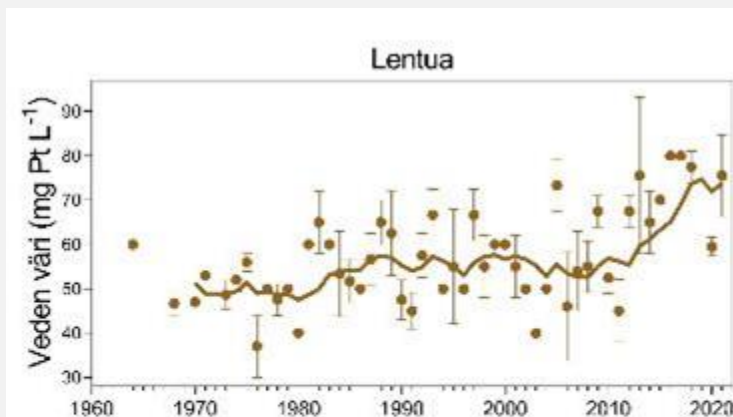
# PICM-luokittelu

- Kaivoskuormitteiset paikat heikoimmassa (keskimäärin tyydyttävässä) tilassa
- Tilan heikkenemistä Pyhäjärven ja erityisesti Lentuan pitkäen seuratuilla paikoilla
- Alusveden happi- ja rautapitoisuus selittää 60 % vaihtelusta

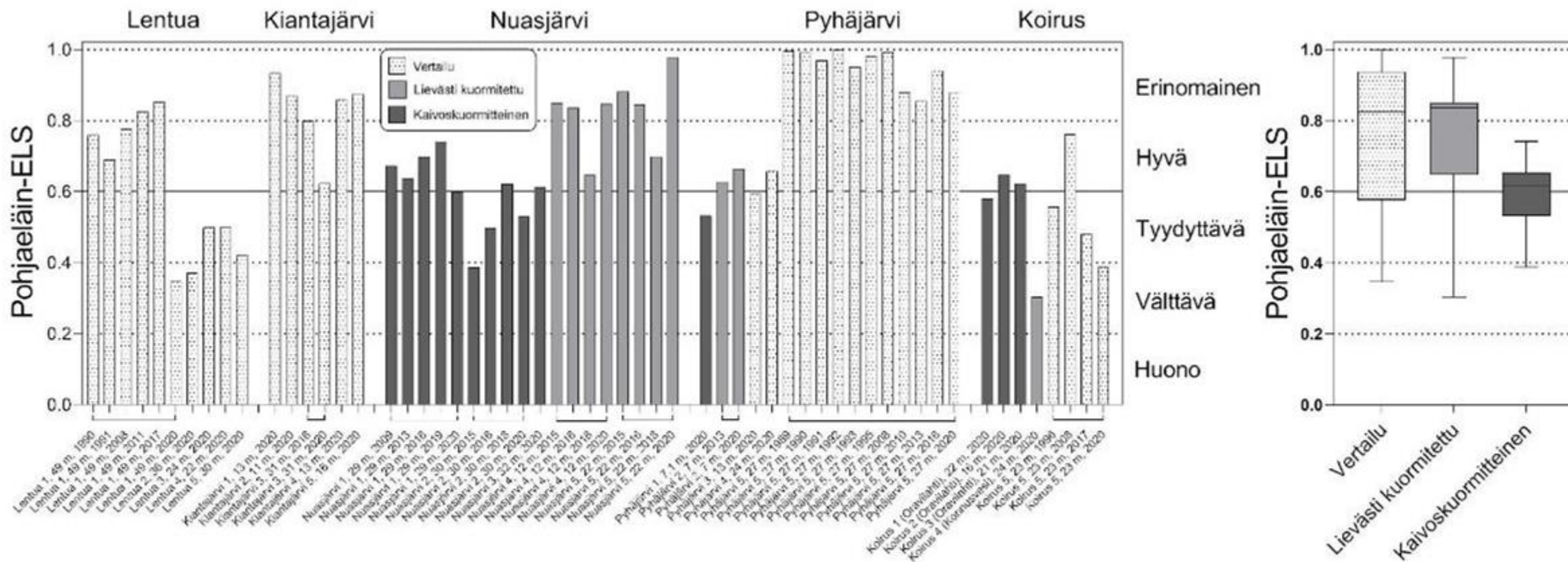




# Veden väri ja Pyhäjärven happiaikasarjat

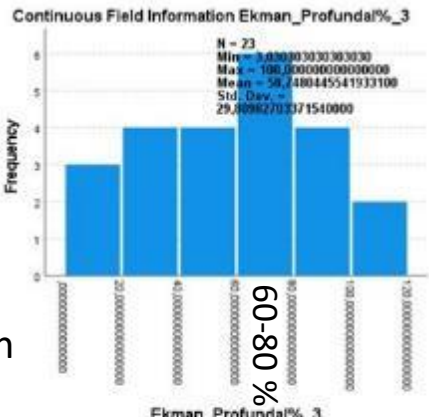


# Pohjaeläintila (PICM ja PMA keskiarvo)



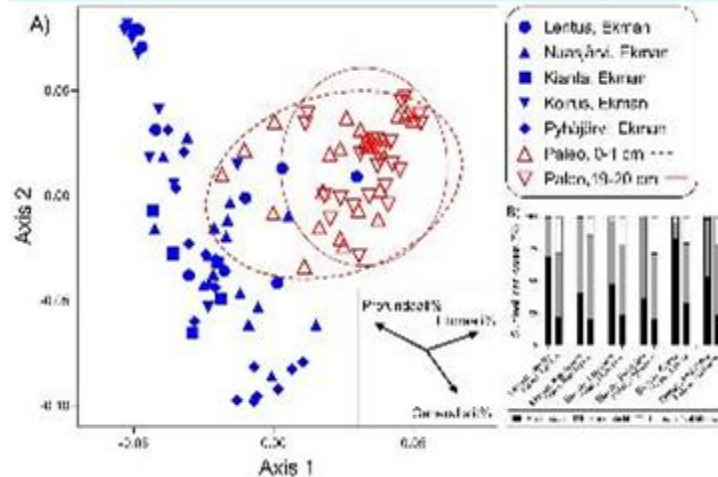
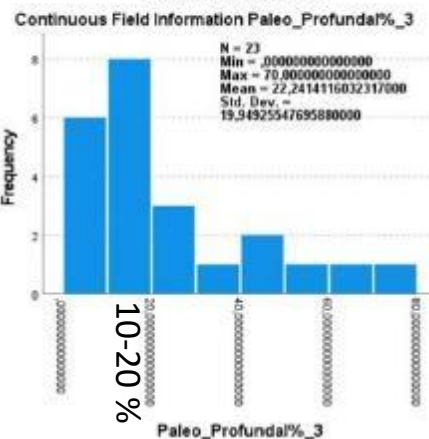
# Ekman- vs. paleolimnologiset näytteet

Ekman



Syvännelajiston suhteellinen osuus (%)

Paleo



- Ekman- ja paleonäytteiden lajisto oli varsin erilainen (PCoA-ordinaatio)
- Lajisto luokiteltiin syväne- ja litoraalilajistoon sekä syvyysgeneralisteihin
- Paleolimnologisissa näytteissä enemmän litoraalilajistoa
- Ekman-näytteissä enemmän syvänelajistoa
- Ekman-näytteet kuvaavat paremmin syvänteen tilaa, paleonäytteet kuvaavat koko järven tilaa



# Johtopäätökset

- Ekman-näytteet ja paleolimnologisten näytteet **poikkeavat suuresti toisistaan niin lajikoostumukseltaan kuin indeksiarvojen puolesta**
- Menetelmien välillä suuria eroja ja (Ekman-aineistoon perustuvien) **vertailuolujen tai luokkarajojen siirrettävyys menetelmien välillä on heikko**, jos ajatellaan niiden soveltamista paleolimnologiseen tilan arviointiin
- Paleomenetelmän käyttö ekologisen tilan luokittelumenetelmänä edellyttäisi vertailuolujen määrittämistä ja luokkarajojen asettamista erityisesti tällä menetelmällä kerätyille aineistoille → menetelmäspesifinen ohjeistus
- Paleolimnologinen järven tilan arviointi soveltuu parhaiten kuvaamaan järven (pienet järvet) tai sen osan (suuret järvet) kokonaistilaa laajahkolla syvyysgradientilla
- **Paleolimnologinen menetelmä soveltuisi täydentävänä menetelmänä velvoitetarkkailuihin kohteissa, joissa tieto kuormittavaa toimintaa edeltävästä tilasta puuttuu** tai edeltävää biologista aineistoa on vähän tai ei lainkaan saatavilla → Toimintaa edeltävän tilan määrittäminen ja sedimentin iän ajoitus
- **Syvännepohjaeläimet (Ekman) kuvaavat kohtuullisen hyvin sulfaattikuormitukseen liittyviä kerrostuneisuudessa ja alusveden olosuhteissa tapahtuneita muutoksia**

# Mitä tietoa puuttuu?



# Kalojen käyttäytyminen?

Kalojen käyttäytyminen kaivosjätevesien vaikutuksesta?

- Useimmat kalalajit elävät myös murtovedessä, jossa sulfaattia on satoja milligrammoja litrassa.
- Voiko kyseessä olla esim. kalan ravinnon (eläinplankton, muut kalat) käyttäytymisen muutos?

Kotimaa | Ympäristötuhot

## Raimo Tervosen kalanpyydykset muuttuivat yhtäkkiä mustaksi ja alkoivat haista rikiltä – Syyksi paljastui kaivos

Talvivaaran ympäristövahingosta on yli kymmenen vuotta, mutta tapahtumat vaikuttavat yhä Raimo Tervosen elämään. Monet käänteet nähnyt kaivos ei ole ammattikalastajalle menestystarina.



# Vesiekosysteemien seuranta- ja velvoitetarkkailumenetelmien kehittäminen

– menetelmät ja tila-arviot ekosysteemin toiminnan kuvaajina  
(VesiMon)

*Tutkimusryhmä:*

Helsingin yliopisto: Jan Weckström, Sanna Atti

KVVY Tutkimus Oy: Tommi Malinen

Suomen ympäristökeskus: Kimmo Tolonen, Heikki

Mykrä, Laura Härkönen ja Seppo Hellsten

*Rahoittajat:*

Suomen Kulttuurirahasto 1 mE,

Ympäristöministeriö 100 tE

*Kesto: 2022-2026*

<https://www.helsinki.fi/fi/projektit/vesistöjen-seurantamenetelmien-kehittamishanke>



## VPD-SEURANNAT JA TILANARVIOINTI

- Biologiset laatutekijät: kasviplankton, vesikasvit, päälyslievät, pohjaeläimet ja kalat
- Fysikaalis-kemialliset laatutekijät
- Hydrologis-morfologiset laatutekijät
- Kemiallinen tila (elohopea)

## JÄRVIEKOSYSTEEMIN TOIMINTA

- Ulappakalojen ravinnonkäyttö
- Petokalojen ravinnonkäyttö
- Ravintoverkon monimuotoisuus (pituus ja leveys, stabiili-isotooppitutkimukset)

## VESIEN SUOJELUN, TILAN ARVIOINNIN JA VELVOITARKKAILUJEN TAVOITTEET

## EKOSYSTEEMIPALVELUT

Taloudellisesti arvokkaat kalakannat:

- Arvokkaiden kalalajien runsaus (kaikuluotaus, koetroolaus)
- Vesistöjen käyttö/virkistysarvon indikaattori (sinilevät ekosysteemikarhupalveluksena)

## TESTATTAVAT UUDET MENETELMÄT

- Reliktiäyriäisten seuranta (nostohaavi)
- Sedimentin ominaisuudet
- Paleolimnologiset menetelmät
- Elohopea pitoisuudet ravintoverkossa

## HANKKEEN LOPPUTUOTTEET

- Arvio nykyisen vesistöseurannan tuottamien parametrien (vesistön ekologinen tila) kyvystä kuvata järviökosysteemin tervettä toimintaa ja ihmiselle tärkeiden ekosysteemipalvelujen tarjontaa
- Arviot uusien testattavien seurantamenetelmien kustannustehokkuudesta ja lisäarvosta järvien tilan arvioinnissa sekä ekosysteemin toiminnan ja ekosysteemipalvelujen tuotannon kuvaamisessa
- Arviot uusien testattavien menetelmien soveltuvuudesta velvoitetarkkailukäyttöön

Lisäarvo?

Lisäarvo?

?

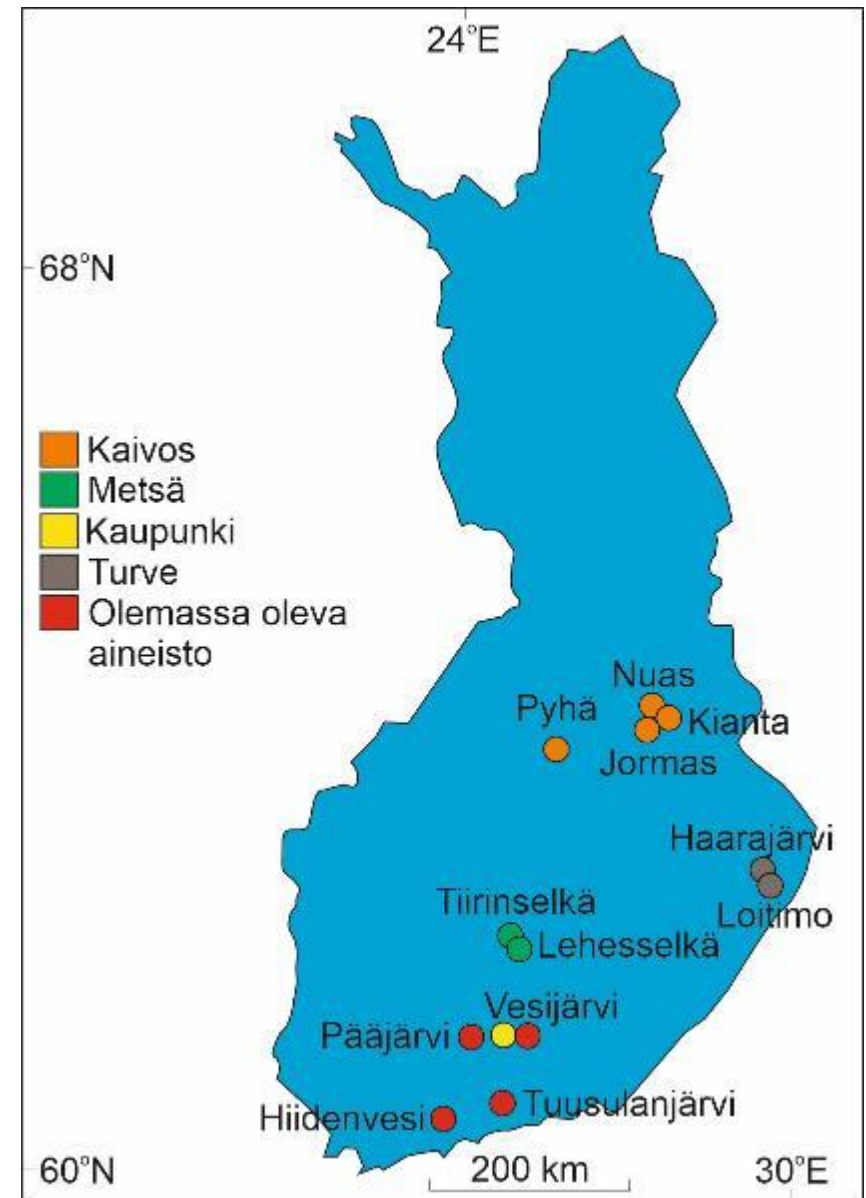
?

?

?

# Tutkimuskohteet

- Tavoitteena vertailla pistekuormitus-  
"luonnontila" vertailupareja.
- Tutkimuskohteiden määrä ja järvien sijainti saattaa myös muuttua yhteistyöhankkeiden myötä



# Kiitos, jatketaan keskustelua



Suomen ympäristökeskus  
Finlands miljöcentral  
Finnish Environment Institute