

Miksi sulfaatti huolestuttaa?

Jouni Lehtoranta
Erikoistutkija
Suomen ympäristökeskus
Meri- ja vesiratkaisut



Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute

Biogeokemiallinen näkökulma sulfaattiin ja rikkiin



Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute

Biogeokemian ”kasipäkki”

- Vety (H)
- Hiili (C)
- Typpi (N)
- Happi (O)
- Fosfori (P)
- Rikki (S)
- Rauta (Fe)
- Mangaani (Mn)



Milloin huolestua elämälle välttämättömästä aineesta?



**Kun aine aiheuttaa häiriön
ekosysteemin tasapainossa tai
sen toiminnoissa**

Esimerkiksi ravinteiden aiheuttama
rehevöityminen

Miten elämälle välttämätön aine aiheuttaa häiriön?

H
O
C
N
P
S
Fe
Mn

Assimilatorinen aineenvaihdunta

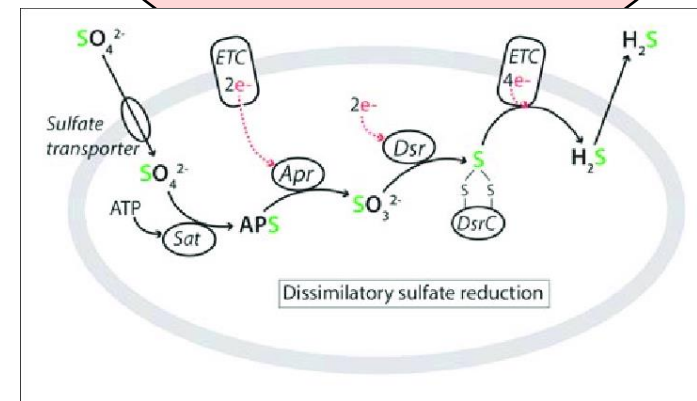
Organismi pelkistää/sitoo epäorgaanisen yhdisteen rakenneosikseen



O_2
 NO_3
(Mn^{4+})
 Fe^{3+}
 SO_4^{2-}

Dissimilatorinen aineenvaihdunta

Organismi käyttää epäorgaanisia yhdisteitä terminaalisena elektroniakseptorina



Santos et al 2015, Sim et al 2017

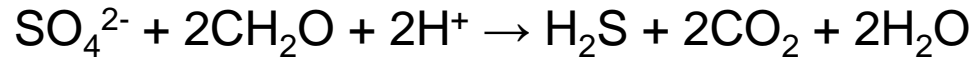
Sulfaatin merkitys ekosysteemissä

Mikrobiologinen sulfaatin pelkistys säätelee valtaosin merien rikin kiertoa

(Jorgensen et al 2013)



Sulfaatin pelkistyksen edellyttämät olosuhteet

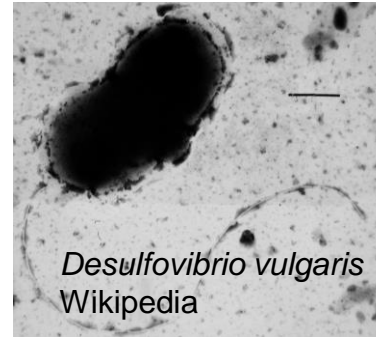


Vaatii:

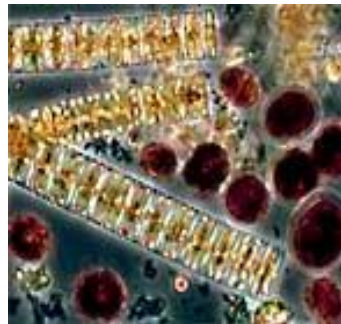
Sulfaattia ja sen pelkistykseen kykenevän mikrobin

Eloperäisen aineen (myös vety H_2)

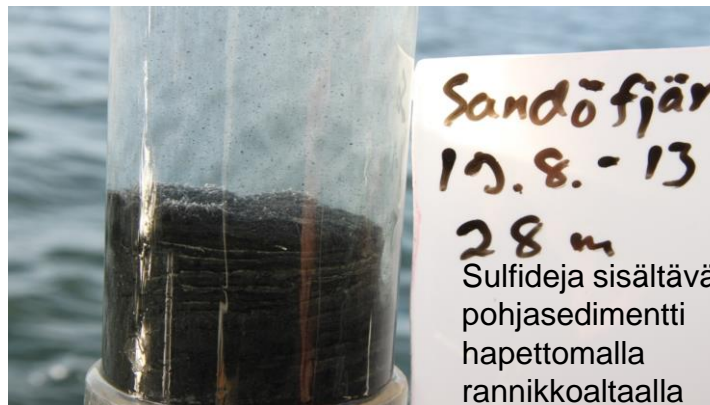
Pelkistyneet olot (ei happea, nitraattia, ~rautaoksideja)



Sulfaattia pelkistävä bakteeri

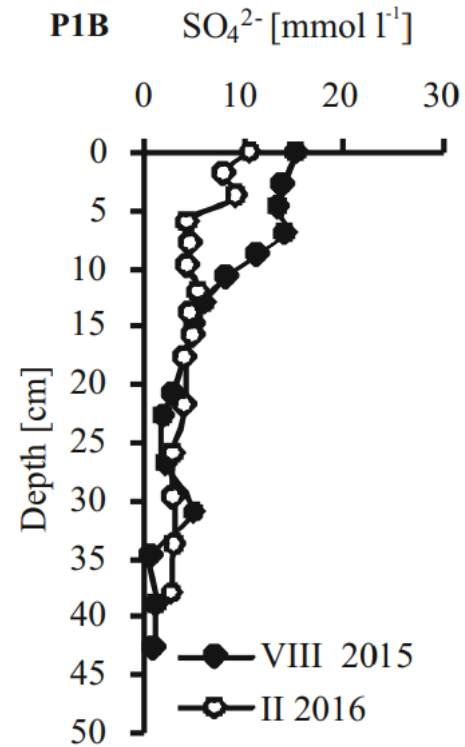


Itämeren leviä



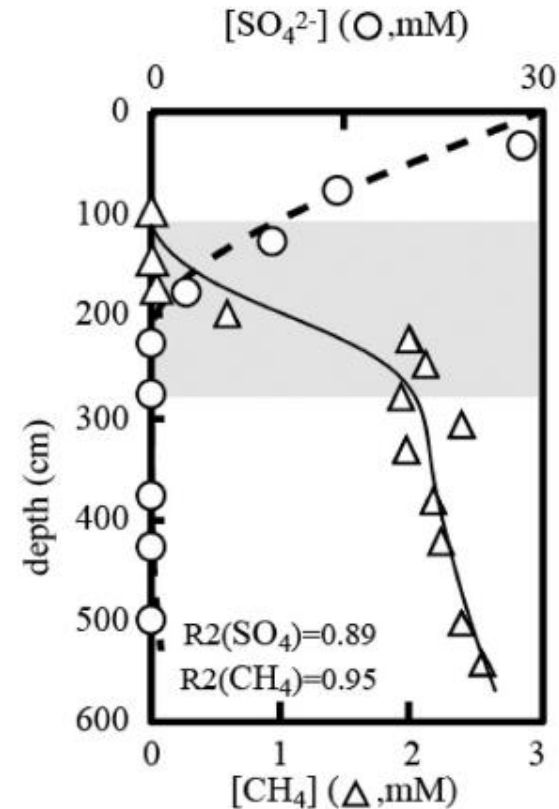
Sulfaatin esiintyminen merisedimentissä

Gdanskin lahti syväne



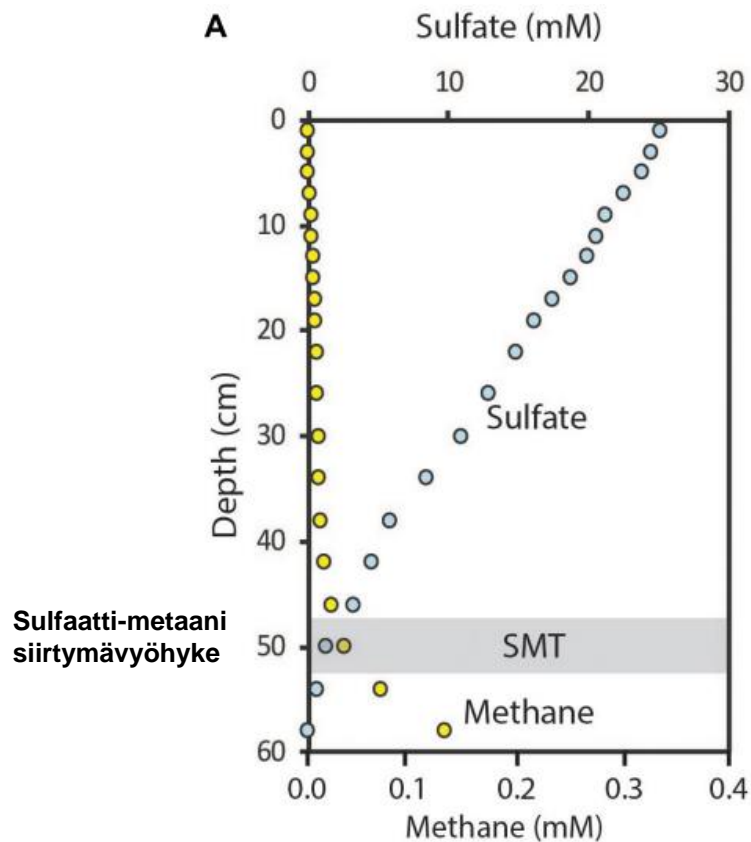
Lukawska-Matuszewska et al. 2019
Biogeochemistry

Välimeren mannerjalusta



Wurgraft et al 2019, Marine Chemistry

Sulfaatti hapettaa metaania

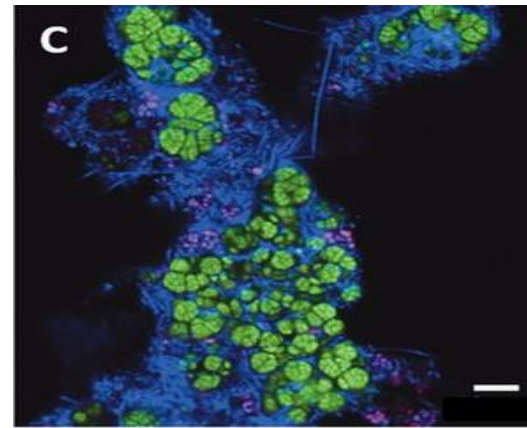


Jorgensen et al 2019
The biogeochemical sulfur cycle of marine sediments

Reaktio



poistaa kasvihuonekaasu
metaania ja vähentää sen
vapautumista ilmakehään



Anaerobiset
metanotrofiset
arkeonit (Archaea)

J. Milucka
Max Planck Institute

Sulfaatin pelkistys poistaa metalleja

Veteen
liukenemattomia
metallisulfideja (MeS)

Rauta (Fe)

Mangaani (Mn)

Elohopea (Hg)

Hopea (Ag)

Kupari (Cu)

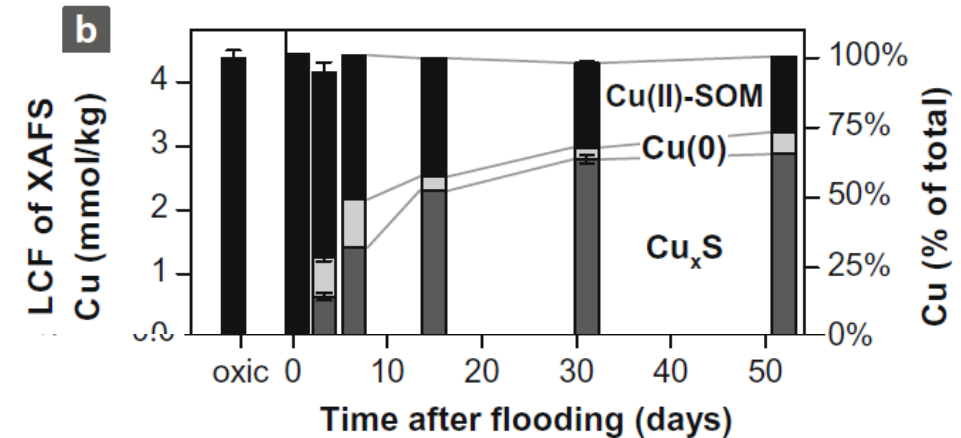
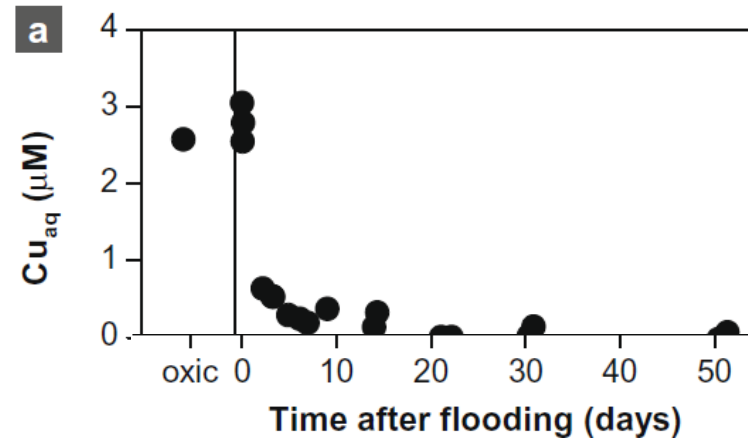
Kadmium (Cd)

Lyijy (Pb)

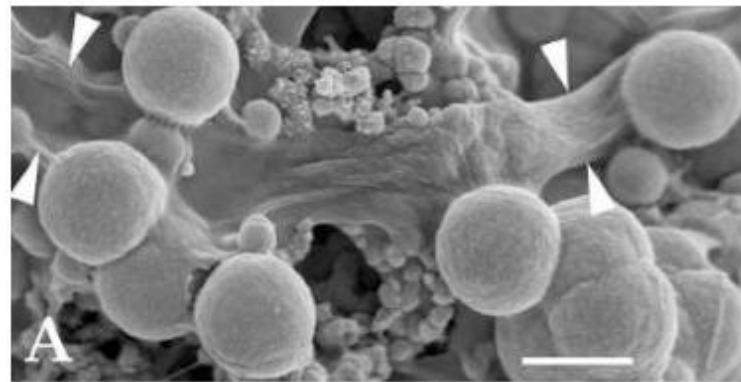
Sinkki (Zn)

Nikkeli (Ni)

Arseeni (As)



Weber et al 2009 Multi-metal contaminant dynamics in temporarily flooded soil under sulfate limitation

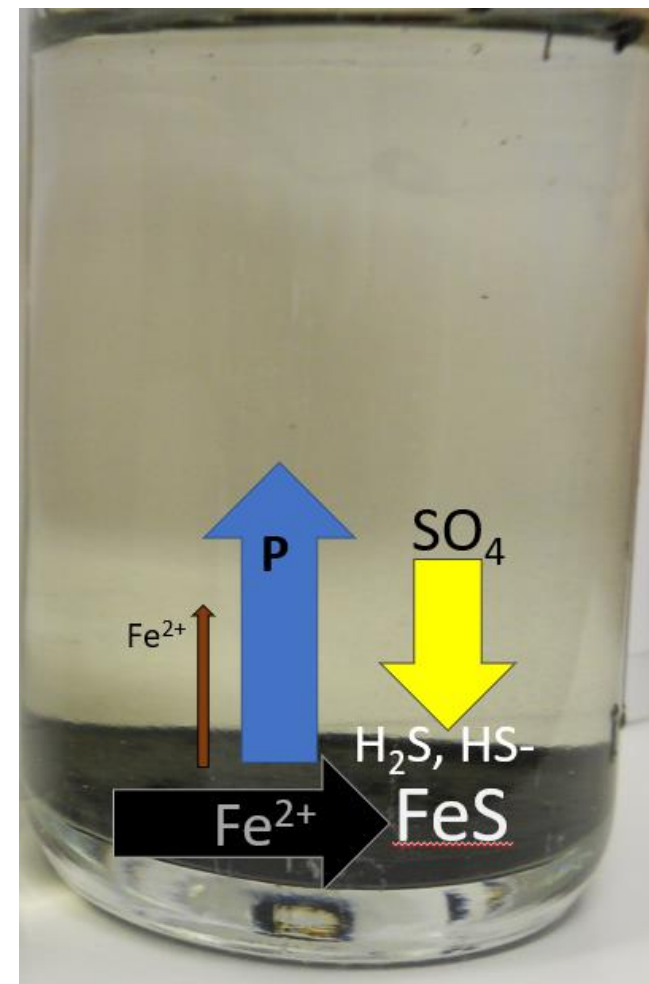


Sinkkisulfidi aggregaatteja mikrobibiofilmiin liittyneenä
Labrenz et al. 2000 Science 290:1744-1747

Sulfaatin pelkistyksen haittoja

Mikrobiologisessa sulfaatin pelkistyksessä muodostuu myrkyllistä rikkivetykaasua (H_2S)

Sulfidit muodostavat raudan kanssa rautasulfideja → sekoittaa raudan ja fosforin normaalin kierron sedimentissä



Lehtoranta, Ekholm, Wahlström, Tallberg and Uusitalo 2015
AMBIO 44 Suppl 2: 263–273

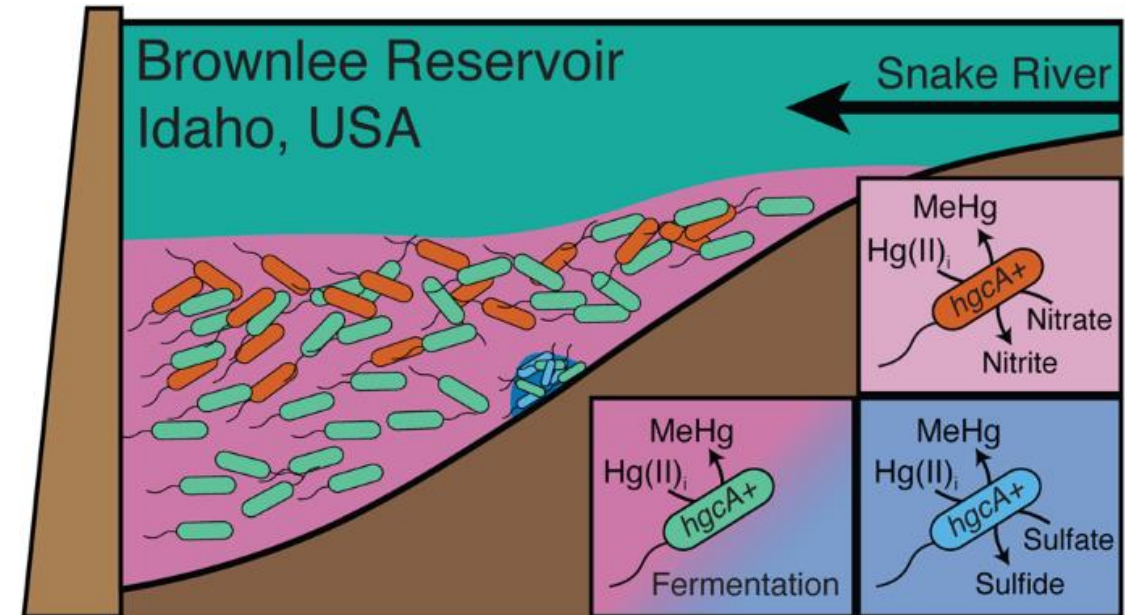
Metyylielohopean muodostuminen

Muodostuminen yhdistetty mikrobien geeniklusteriin *hgcAB* (Parks et al 2013), jota tavataan

- Sulfaatin pelkistäjissä
- Raudan pelkistäjissä
- Metanogeenisissä arkeoneissa

Metyylielohopeaa on havaittu muodostuvan myös nitraatin ja mangaanin pelkistykseen yhteydessä (Peterson et al. 2023)

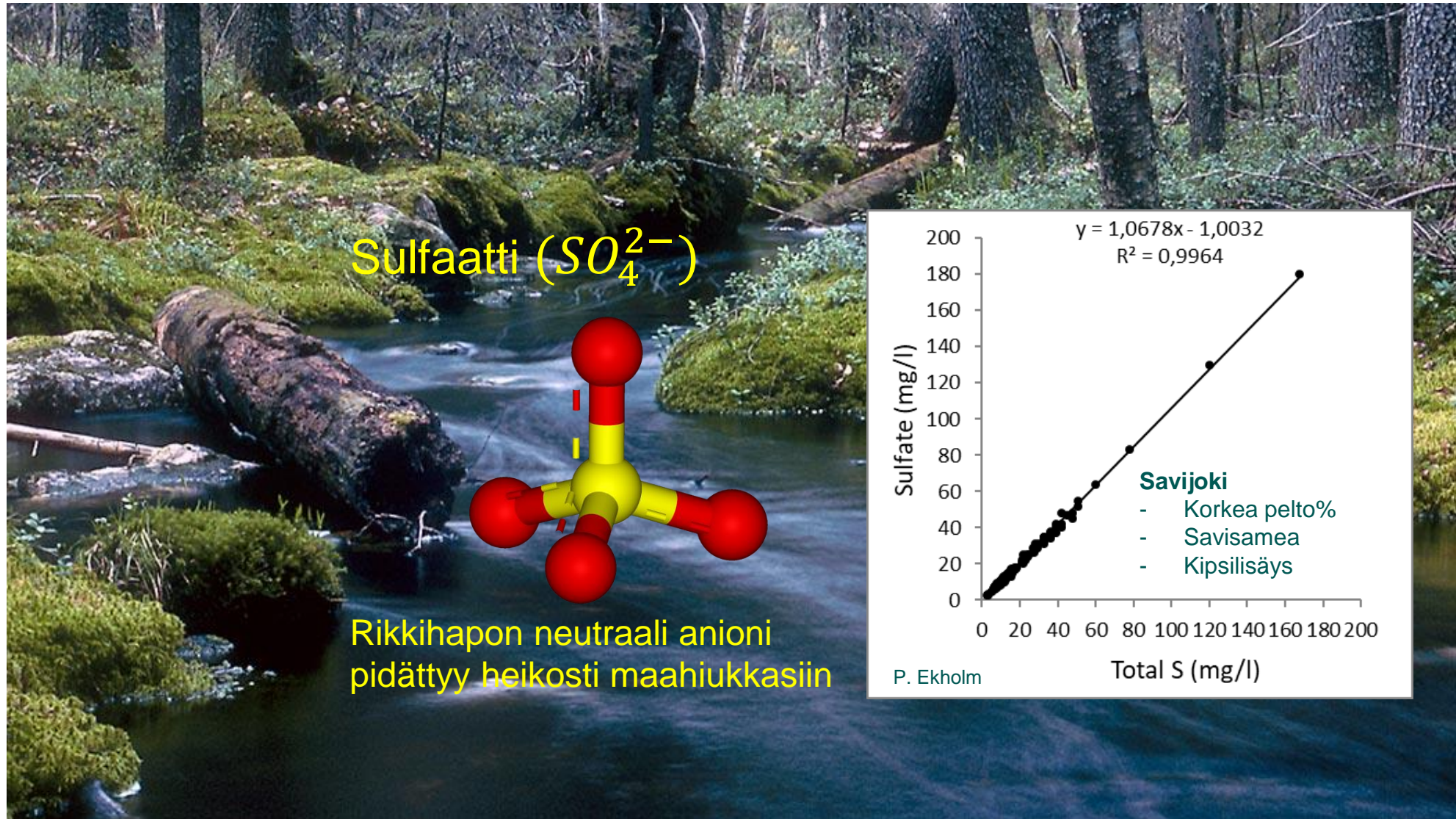
Tutkimus jatkuu.....



Peterson et al 2023 Metabolically diverse microorganisms mediate methylmercury formation under nitrate-reducing conditions in a dynamic hydroelectric reservoir. ISME Journal

Parks et al. 2013. The genetic basis for bacterial mercury methylation. Science 339: 1332-1335)

Sulfaatin huuhtoutuminen vesistöihin



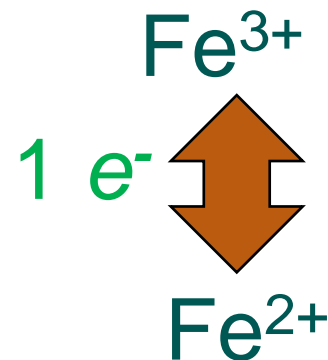
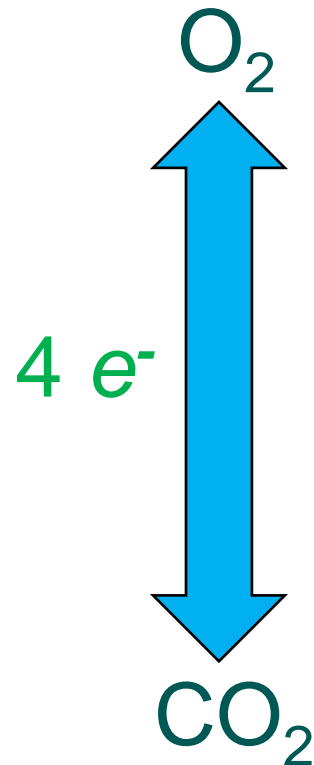
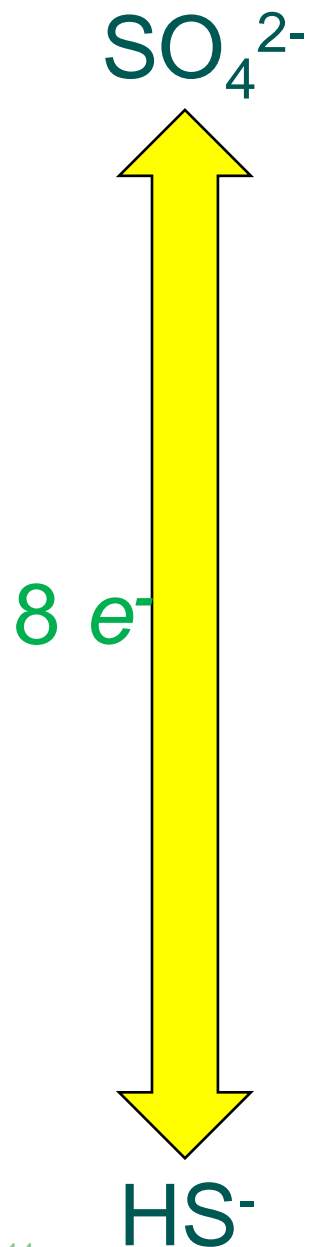
Sulfaatilla suuri hapetuskapasiteetti

Hapetuskapasiteetit:

1 mooli sulfaattia SO_4^{2-} hapettaa 2 moolia hiiltä

1 mooli happea O_2 hapettaa 1 moolia hiiltä

1 mooli rautaoksidia FeOH_3 hapettaa 0,25 moolia hiiltä



Lehtoranta et al. 2023. Catchment and lake network modify export of anaerobic oxidation capacity in boreal freshwaters. STOTEN

Sulfaatin osuus anaerobisesta hapetuskapasiteetista

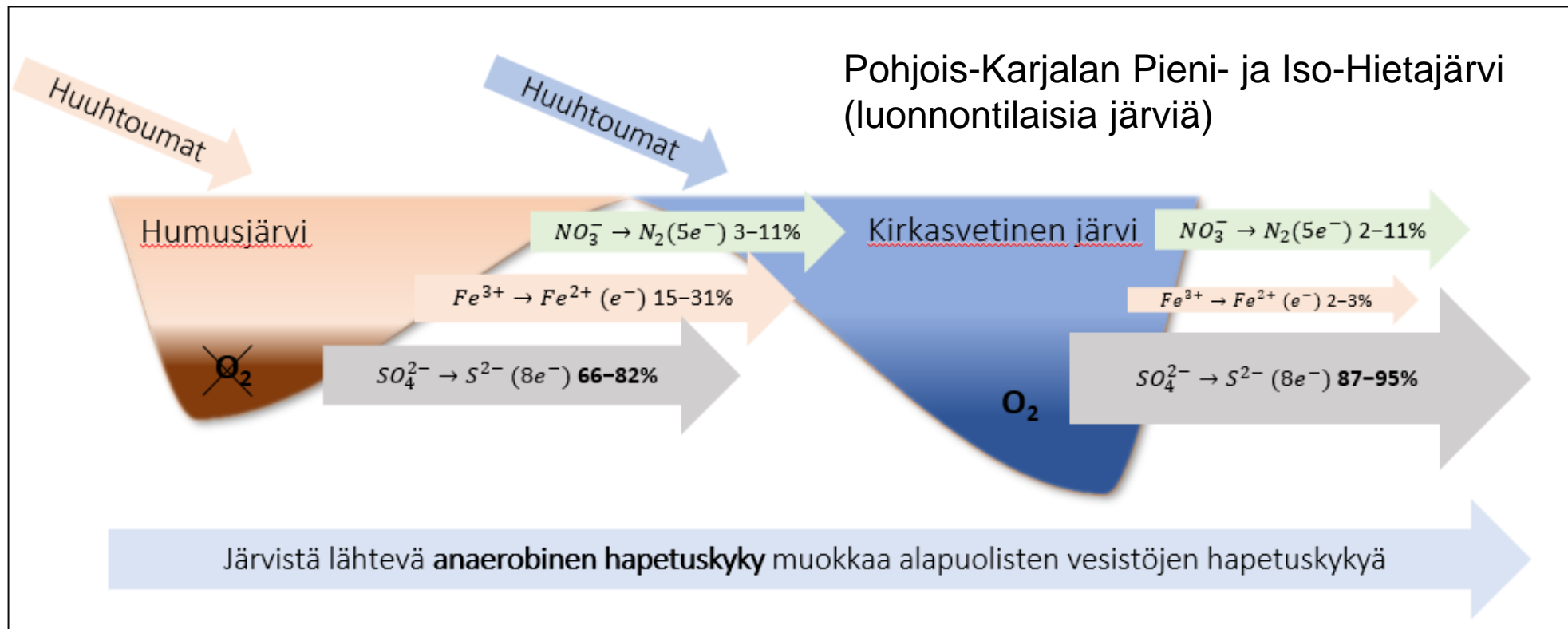


Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)
Science of the Total Environment
journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Catchment and lake network modify export of anaerobic oxidation capacity in boreal freshwaters

Jouni Lehtoranta^{*}, Antti Taskinen, Petri Ekholm, Pirkko Kortelainen



Rikin kytkeytyminen ainekiertoihin

Microbial Ecology

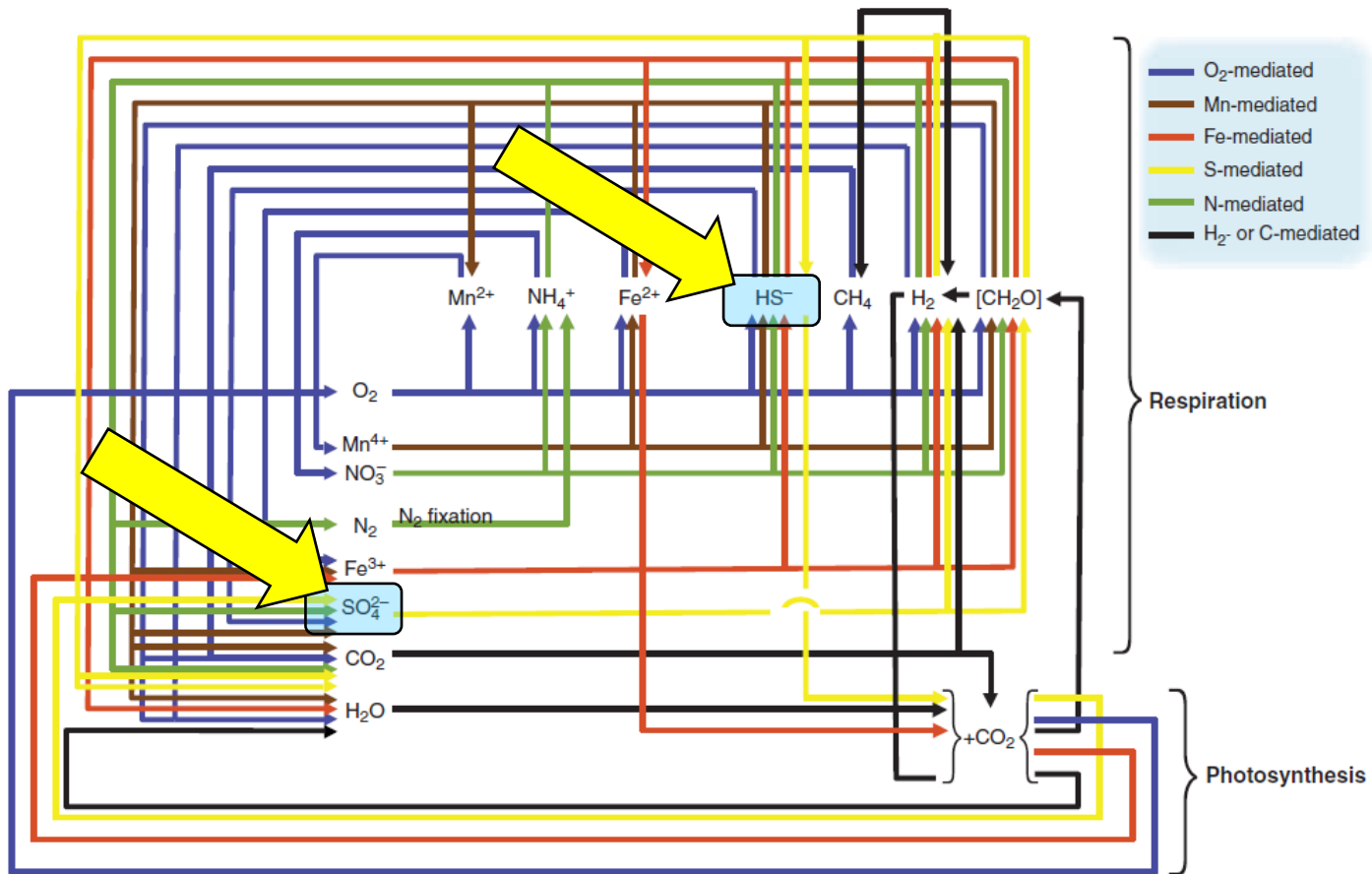
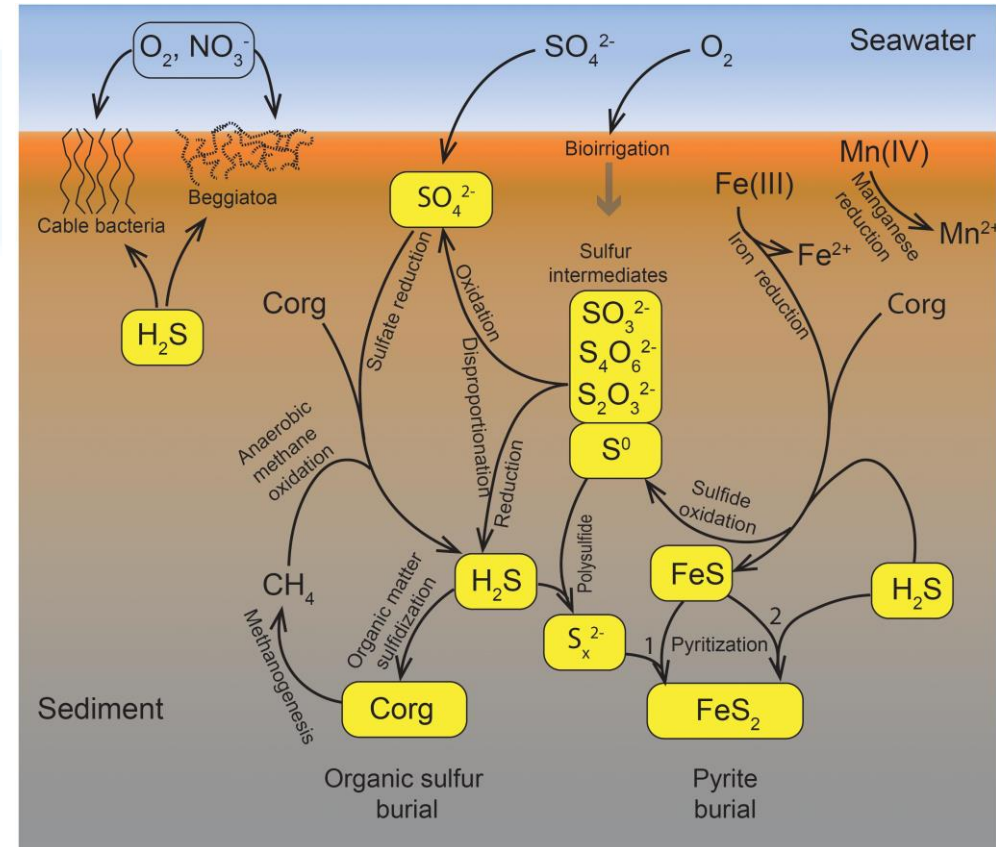


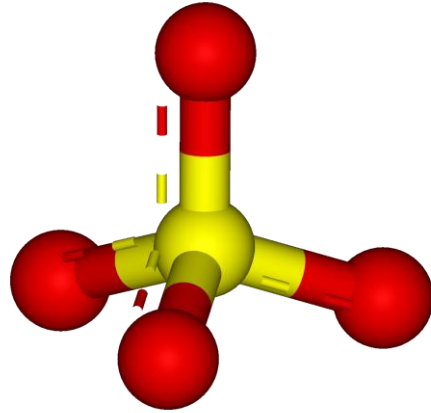
Fig. 2. A schematic diagram depicting a global, interconnected network of the biologically mediated cycles for hydrogen, carbon, nitrogen, oxygen, sulfur, and iron. A large portion of these microbially mediated processes are associated only with anaerobic habitats.

Falkowski et al 2008, Science 320:1034-1039



Jorgensen et al 2019 Front. Microb.

Sulfaatti (SO_4^{2-})



Yhteenveto

OMINAISUUKSIA

Sulfaatilla suuri hapetuskapasiteetti

Rikki osallistuu lukuisiin hapetus-pelkistysreaktioihin

MIKROBIT JA PROSESSIT

Sulfaatin mikrobiologinen pelkistyminen vaatii tietyt biogeokemialliset olosuhteet

Sulfaatin mikrobiologinen pelkistyminen ja rikin kierto merissä kytkeytyneet tiiviisti toisiinsa

Sulfaatti ja metanotrofit osallistuvat metaanin anaerobiseen hapettamiseen

SEURAUKSIA

Sulfaatinpelkistys tuottaa myrkyllistä H_2S kaasua ja rautasulfidien muodostus estää fosforin sitoutumista rautaan

Sulfaatti vähentää metaanin vapautumista veteen

Sulfaatinpelkistyksessä muodostuva sulfidi tuottaa metallisulfideja

Kiitoksia



Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute