

Talvivaaran vesistövaikutukset

Seppo Hellsten
Jaakko Mannio
Anna Karjalainen
Timo Jouttijärvi
Sari Kauppi

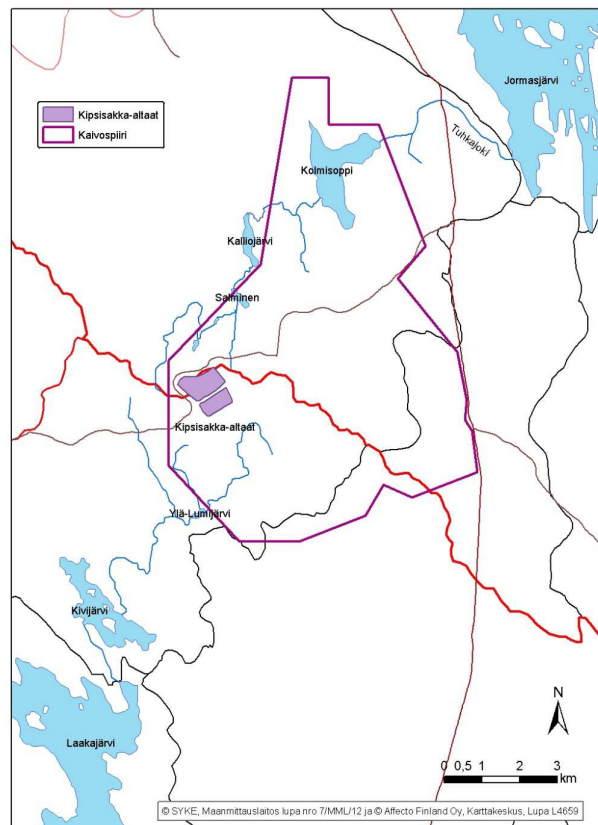
Kestävä kaivostoiminta
MUTKU tutkimusseminaari
SYKE, Hki 21.11.2013

Perustuu esitykseen:
Kaivosten
ympäristöturvallisuuden
edistäminen - seminaari
Kajaani 15.- 16.10.2013



Sisältö

- Vesistöjen tila ennen kaivosta
- Kaivostoiminnan vesistövaikutukset: suolaantuminen ja seoshaitat
- Onnettomuustilanteen ja sen jälkihoidon vesistövaikutukset



Vesistöjen tila ennen kaivosta

- Mustaliuskealue – luontaisesti korkeita metallipitoisuuksia ja pH alhainen, ajoittain jopa 4
- Maaperän käsittelyä ja koekaivostoimintaa myös taustamuuttujina
- Vesistöt hyvin tummavetisiä ja humuspitoisia
- Järviin on kohdistunut myös muuta kuormitusta ja säännöstelyäkin sekä ihmisten että majavan toimesta
- Vastaanottovesistöt hyvin pieniä ja viipymät pitkiä

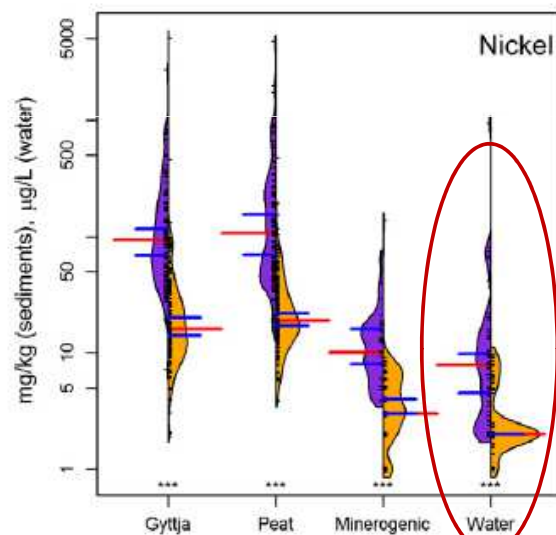
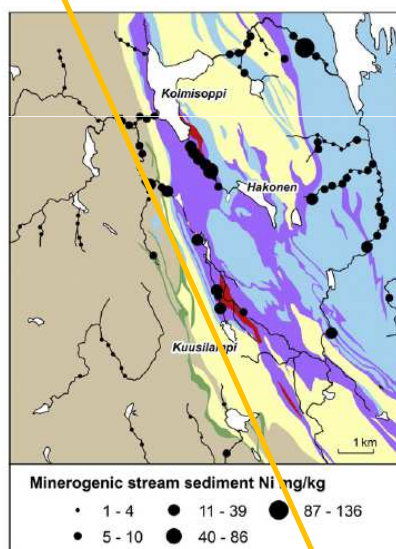


Vesistöt eroavat taustaominaisuuksiltaan

Puroissa (µg/l):

- mustaliuskealueella Ni n. 2-15 , Cd <0,02 – 0,54
- muilla kallioperäalueilla Ni n.1-5, Cd <0,02 – 0,03

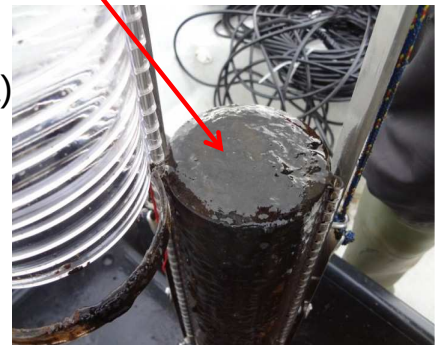
N. Gustavsson et al./Applied Geo



Gustavsson et al. Appl Geochem 2012⁴

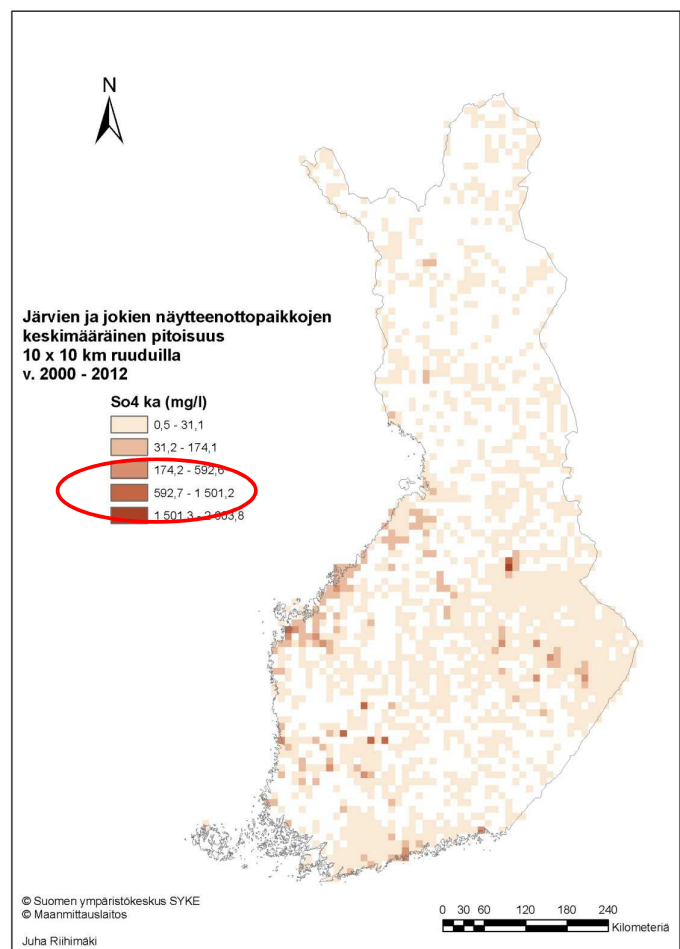
Suolaantuminen → vesistöjen tilan muuttuminen

- Monimetallikaivos
 - Sulfaattia sulfidimalmista sekä bioliuotukseen käytetystä rikkihaposta
 - Mangaani ei saostunut/saostu kunnolla
 - Lipeän natrium karkasi vesistöön rikkivedyn hajuhaittojen poiston myötä
- Tiheämpi suolainen vesi kerrosta järvet pysyvästi
- Pysyvä kerrostuminen on kuluttanut hapen loppuun
 - Muutokset pohjaeläimistössä
- Eliöstön fysiologiset sopeutumiskeinot (hyperosmoregulaatiolla aikuisilla kaloilla)
- **Suolaantuminen muuttaa lajistoa**
 - Kivijoen piilevistä 1/3 murtovesilajeja!
 - Ekosysteemin muutos

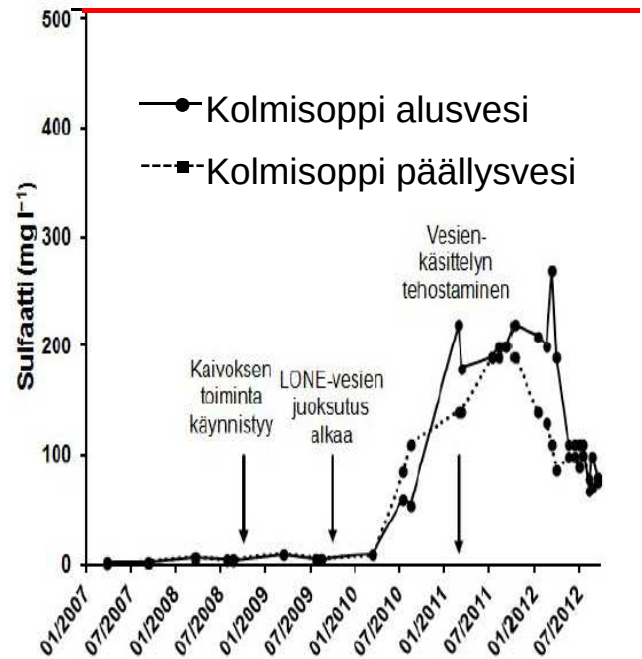
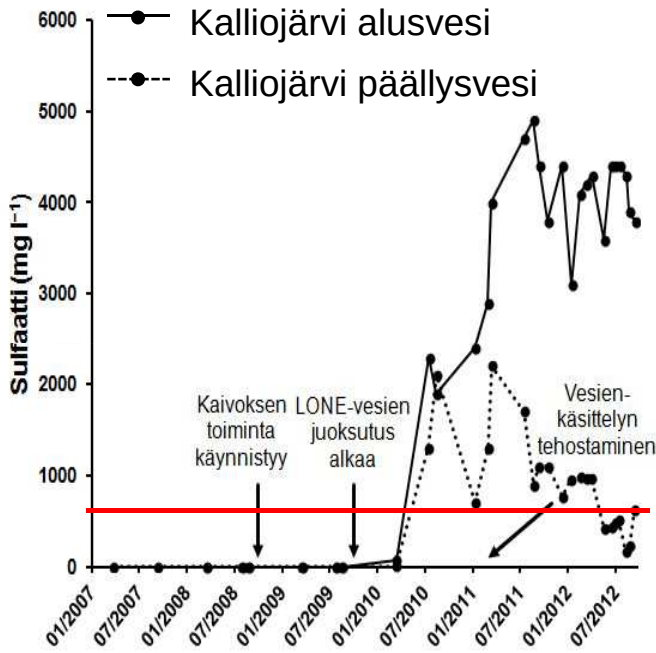


Sulfaatti, SO₄

- Normaalit pitoisuudet:
 - Merivedessä 3000 mg/l
 - Sulfaattimailla 2000 mg/l
 - Mediaanipitoisuus Suomen järvissä 3.8 mg/l
- Haitallisuus makean veden lajeilla alkaen 500 mg/l
- Talousvedelle 250 µg/l



Sulfaatin pitoisuudet ja toksisuus

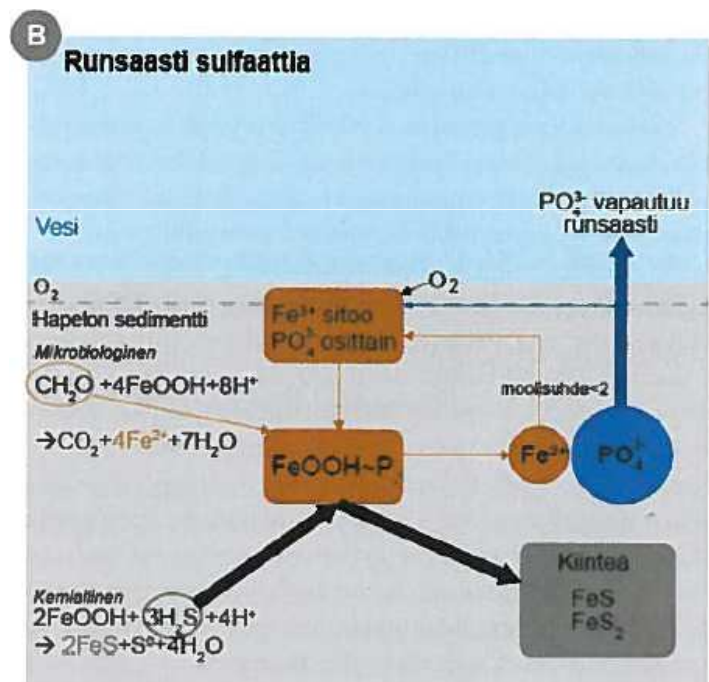


Ratava P. 2013. JY.

Haitalliset vaikutukset makean veden lajeilla 500 mg/l lähtien!

SO₄ epäsuorat vaikutukset: jatkuva sulfaatin vuo rehevöittää

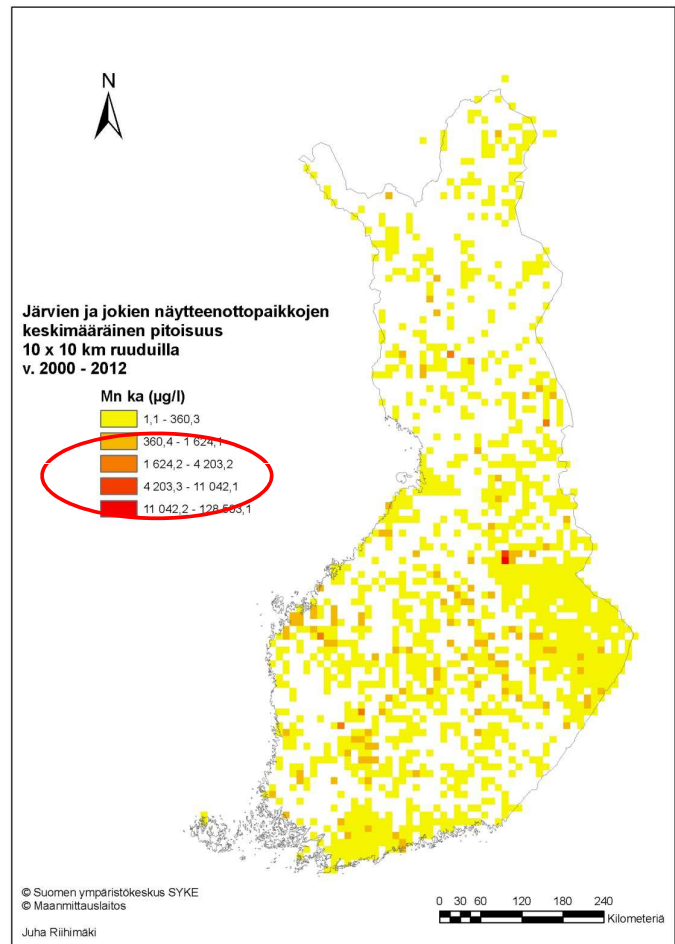
- Sulfaatin pelkistyessä muodostuvat sulfidit voivat tyrehtyttää sedimentin Fe-kierron, mikä edistää fosfaatin vapautumista



Lehtoranta & Ekholm,
Vesitalous 2/2013

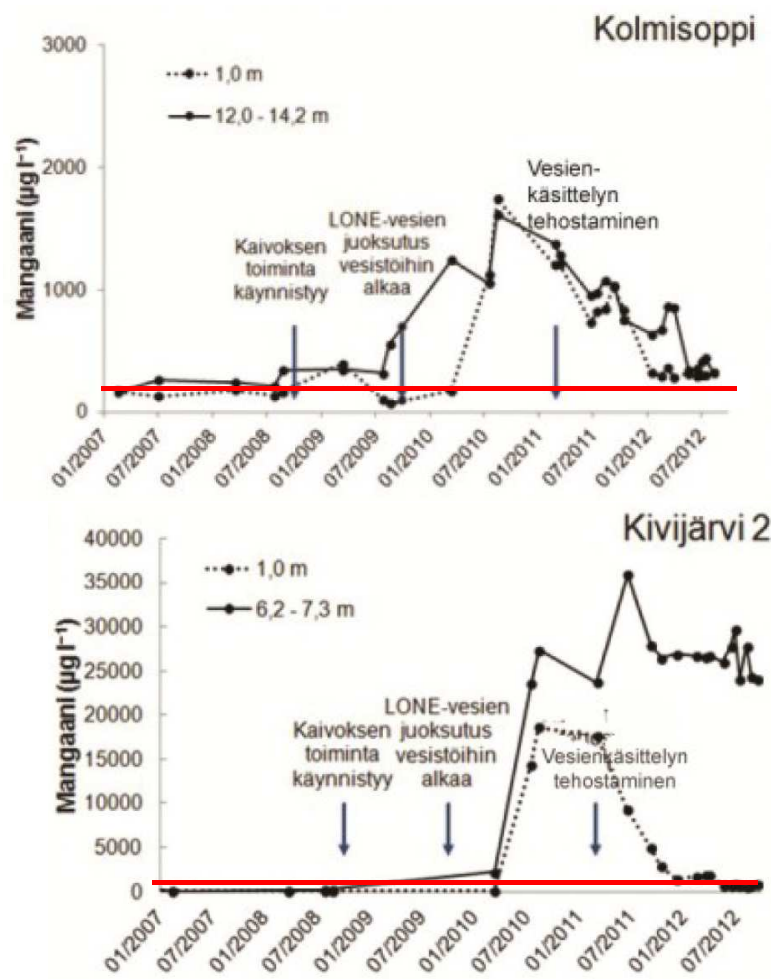
Mangaani, Mn

- Luontainen vaihtelu suurta
- Mediaanipitoisuus Suomen järvissä 65 µg/l
- Haitallisuus makean veden lajeilla > 3 mg/l
- WHO 2005: turvallinen pitoisuus 200 µg/l (krooninen toksisuus)
- Talousvedelle 50 µg/l



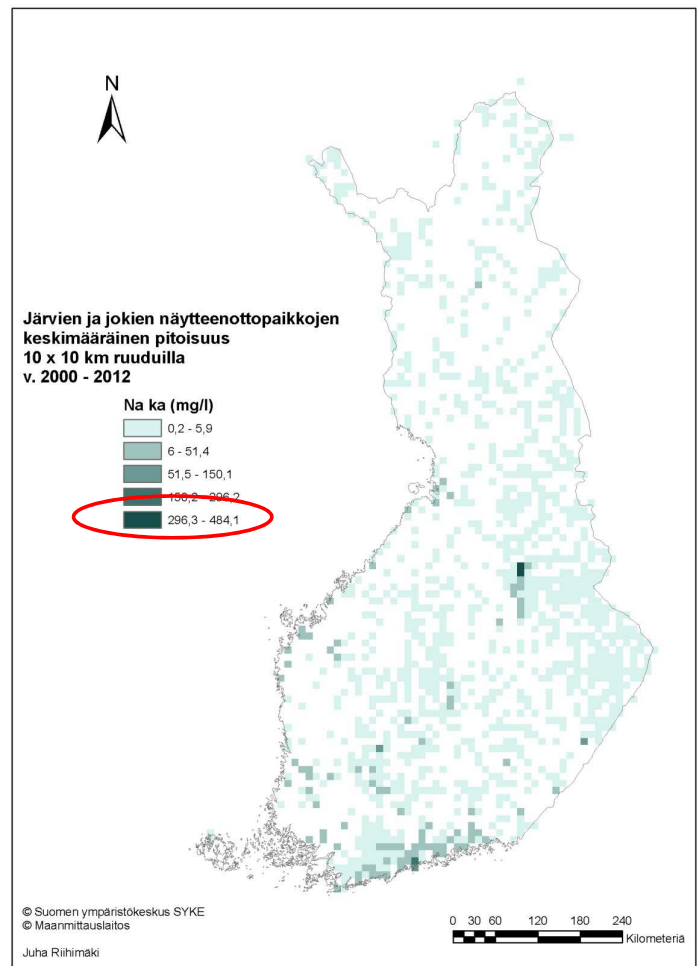
Mangaani: pitoisuudet ja haitat

WHOn pitkäaikaisilta haittavaikutuksilta turvaava 0.2 mg/l ylittyi!



Natrium

- Ei erityisen haitallista, muuttaa biologiaa
- Mediaanipitoisuus Suomen järvissä 1,7 mg/l
- Talousvedelle 200 mg/l



Kipsisakka-altaan onnettomuus ja sen vaikutukset



Kuormitustilanne

Altaasta ulos yhteensä > 1 000 000 m³

(Ni vuosikuormaan verrattuna 7x 2010, 27x2011)

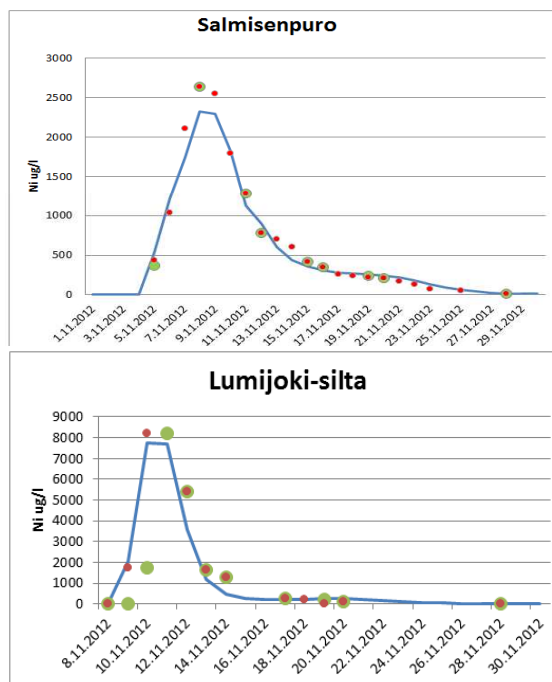
- Laskelmat vesistöön VEMALA-mallilla (**koska virtaamamittauksia ei riittävästi**) ja mitatuilla pitoisuuksilla (Salmisenpuro ja Lumijoen silta)

Pohjoiseen

- **20 000 m³**
 - Max 1000m³ /h (sakka-altaalta)
- Yhteensä **Salmiseen**
 - Ni 800 kg
- **Kalliojärveen**
- Ni 400, Zn 160, U n.10-15, Cd 0,5 kg

Etelään

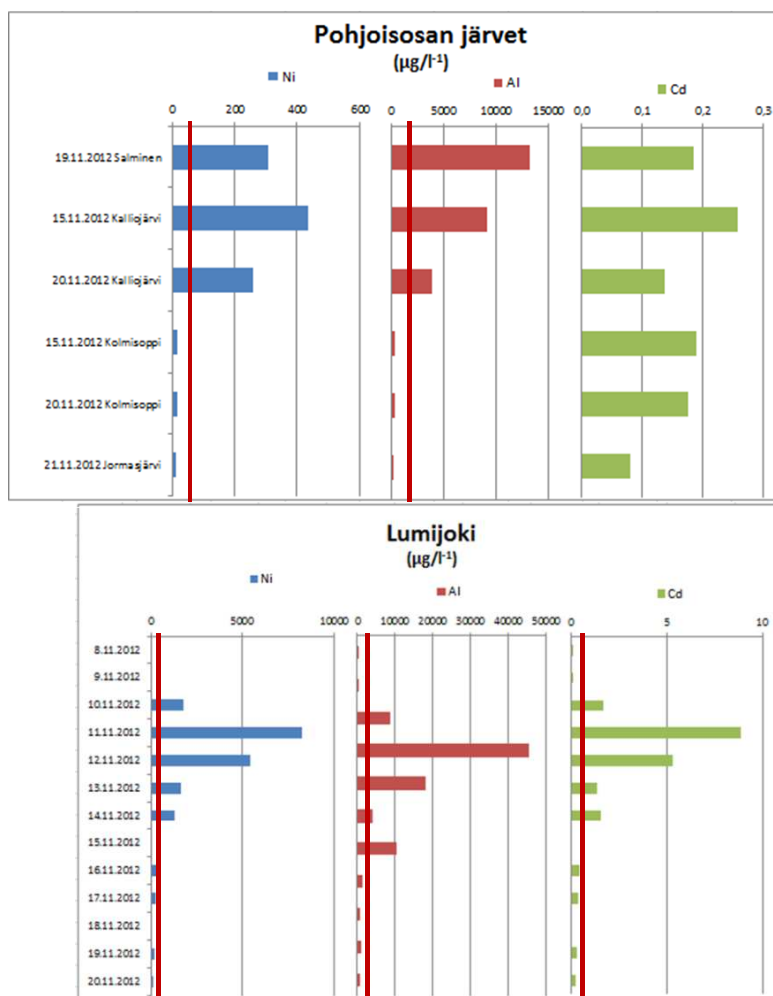
- **200 000 m³**
 - Max 5-10 000m³/h
- **Kivijärveen**
- Ni 1800, Zn 800, U n. 70, Cd 2 kg



Pulssit pohjoiseen ja etelään

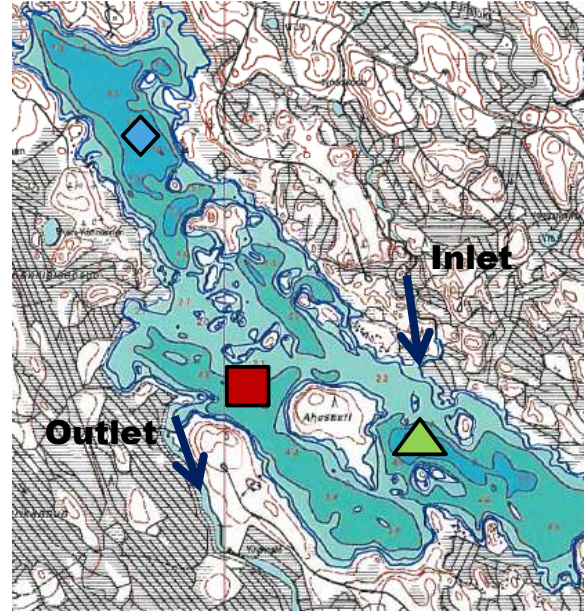
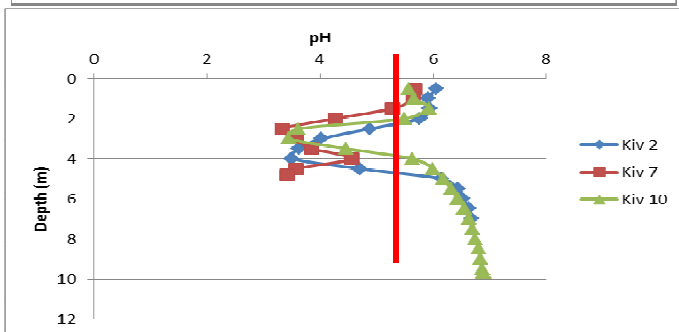
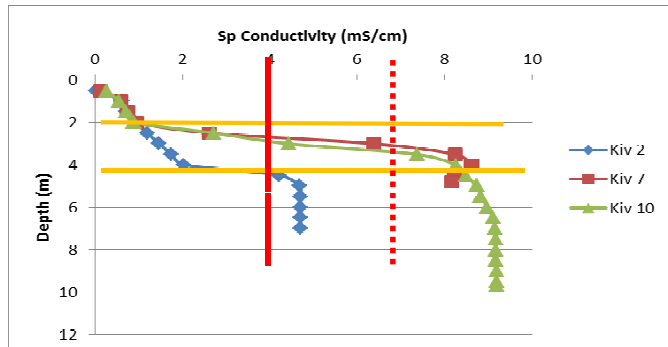
Järvet 15.-21.11.
Lumijoki 8.-20.11.

Vaikutustasoa kuvaavat viivat:
Ni n. 50 µg/l
Al n.1000 µg/l
Cd n. 0,5 µg/l



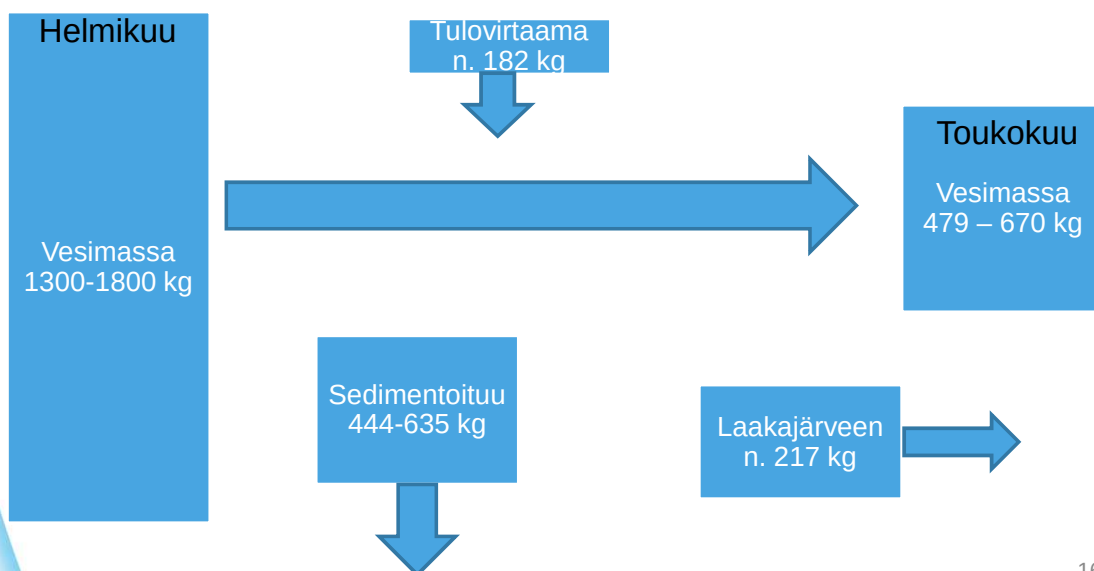
Kivijärvi 18.-21.2.2013

- Normaalikeväänä sulamisvedet ovat kulkeneet yli (syväne jo aiemmin suolautunut)
- Metallicocktail ja happamuus on 2-4m välillä
- Suurin määrä on laskupuron edustan syvänteessä Kiv7 ■
- Voi lähteä liikkeelle, koska tulovesi (ylim juoksutukset) on suolaista, 4-7 mS/cm



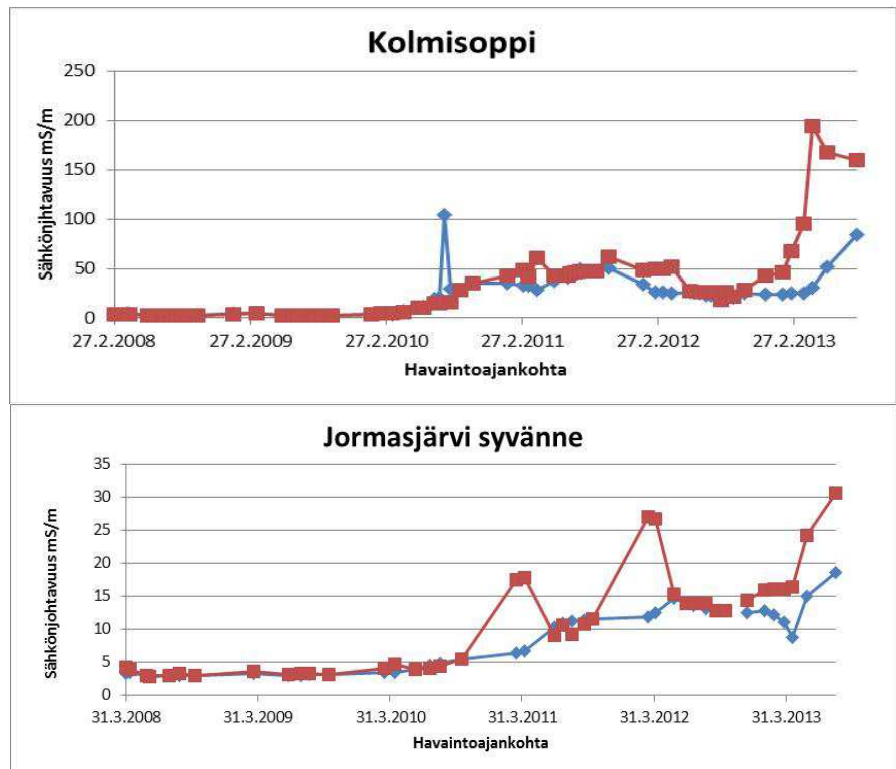
Mutta miten kävikään...

- Kivijärvi talvi - kesä
 - Kevään aikana 2/3 nikkelistä "kadonnut"
 - 1/4 osa Laakajärveen, 3/4 osaa sedimentoitunut

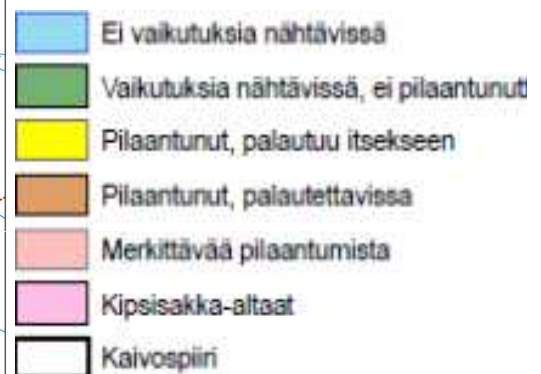
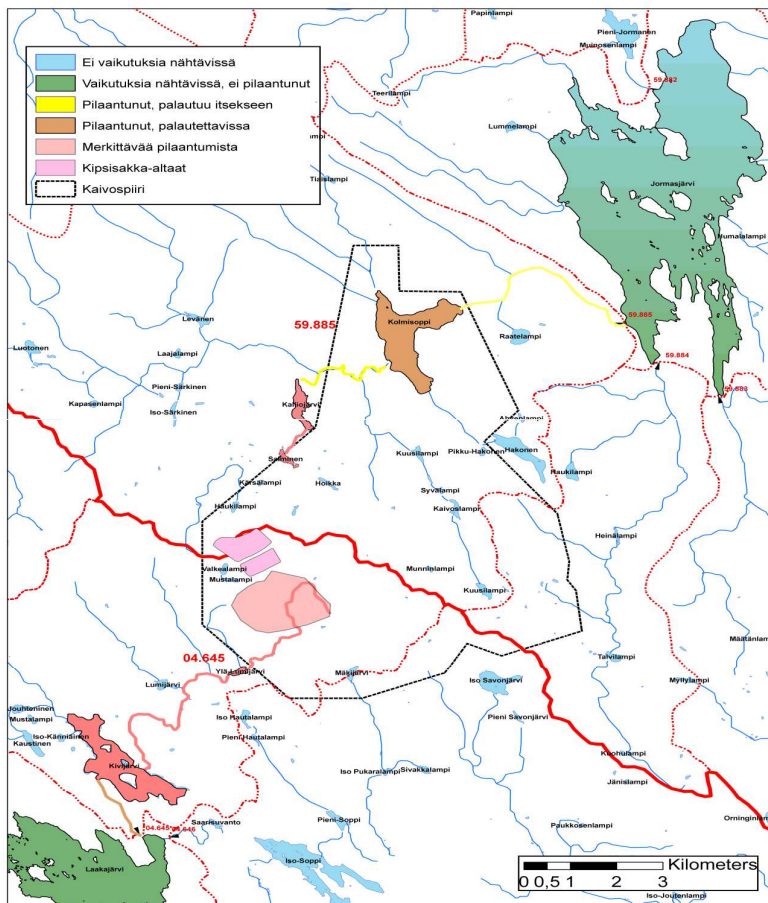


Mutta edelleen...

- Suolaantuminen jatkuu..



Vastaanottavien vesistöjen pilaantumisen nyt



Ekotoksikologinen riskinarviointi (ERA), miten?

1. Yhdistekohtaiset ERA:t
2. Bioindikaattorit
3. Tapauskohtainen kokonaisvaltainen ERA
 - Perustuen seosvaikutuksiin ja prosessiymmärrykseen
 - Perustuen useiden mittareiden summa-arvotukseen
 - Monimuuttujallinen
 - Koko ekosysteemi

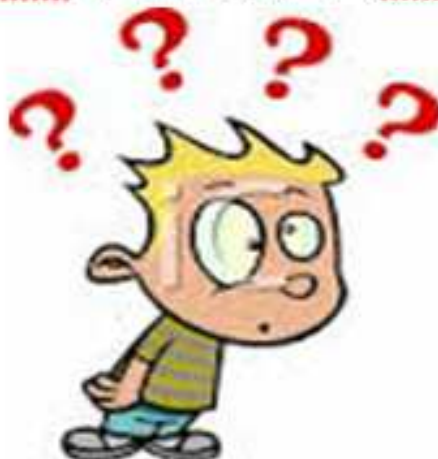
Esimerkki:

Vesimuodostuma	SQGs	EQSs	HQ	pH	Lajisto- indeksit	Muut bioindikaattorit 1-n	Summa RA
A							
B	Raja-arvojen ylitykset: Sedimentti ja vesi (biosaatavuus)						
C							
D	Toksikologia, riskisuhteet						
E							



Mitä erityisesti emme tiedä

- Yhdistekohtaiset **biosaatavuuteen** vaikuttavat prosessit
- → **in situ** -seosvaikutukset:
 1. Additiivisuus → $1+1=2$ ← ?
 2. Synergia → $1+1 \geq 3$ (esim. Cd+Zn, Hg+Se, Cu+Mn)
 3. Potentiaatio → $0+1 \geq 2$
 4. Antagonia → $1+1 \leq 1$, $3+0=1$ (Ca+Cd, Cd+Zn, Hg+Se)



Lisätietotarpeet?

- Virtausmittaukset kuntoon
=> "kilot kuntoon"
=> realistinen leviämisarvio
- Kerrostuneisuuden purkaantuneisuutta ei ole mallinnettu
=> Riski metallien kulkeutumiselle alavirtaan
- Biosaatavuus ja seosvaikutus (koko cocktail ja prosessit)
- Oikeiden bioindikaattorien valinta
- Biokasaliuotuksen toimivuus ja vesitaseet



Loppukaneetti

PERUSASIOITA KOKO SEKTORILLE JA SEN
YMPÄRISTÖHALLINNALLE:

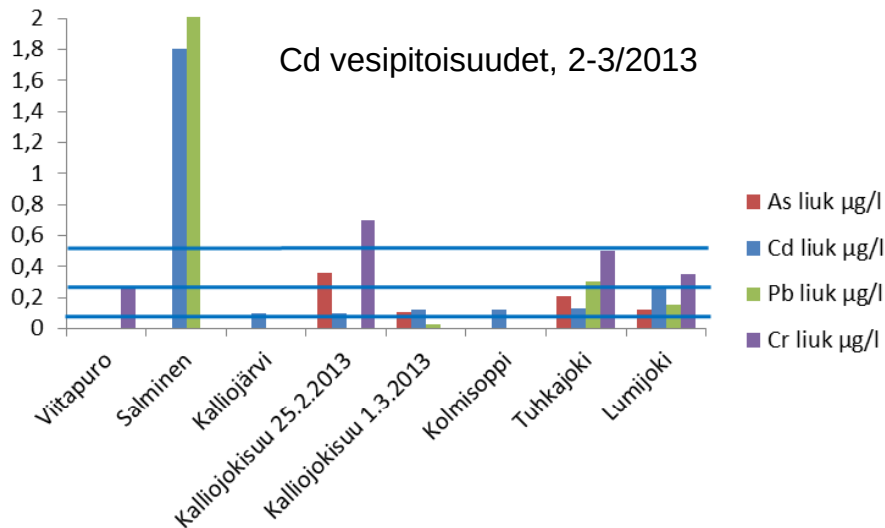
- On opittava ymmärtämään että **"mikro ei ole milli"**, eli vaarallisimmat aineet ympäristön kannalta eivät välttämättä ole niitä joita pyritään tuottamaan, vaan esim. kertyvät aineet (Cd, Hg, Pb).
- Näiden ympäristöanalytiikka pitää olla kunnossa jo ennen toimintaa
- Suolaantumisen vaikutukset ja rajoitustarve arvioitava laajemmin



NASA, Hubble Top-100:
:WFC3 visible image
of the Carina Nebula

EXTRAT

Cd kertyy biotaan



Kuva: Cd ahvenen maksassa kohonnut Kivijärvi, Kolmisoppi ja Jormasjärvi vrt ref järviin alueelta ja muualta Suomesta, 5/2013 (akk: julkaisematon keskeneräinen data)

Mitä vaikutuksia eliöstössä?

- Yksilömäärien lasku
- Lajiston köyhtyminen
- Rehevöitymistä ja murtovetä kuvaavia lajistomuutoksia
- Kertyminen biotaan (absorptio ja adsorptio)
- Kunnan, vastustuskyvyn ja lisääntymisen heikentyminen?
- Fysiologiset vasteet, esimerkki vesikirpulla:

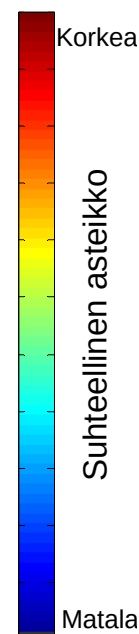
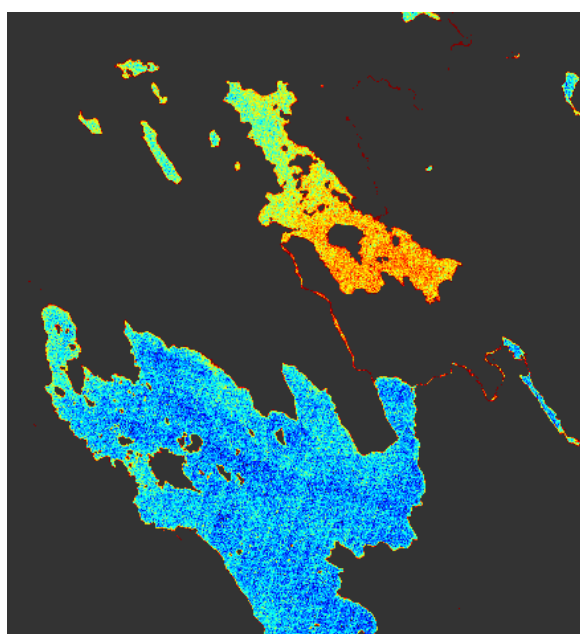
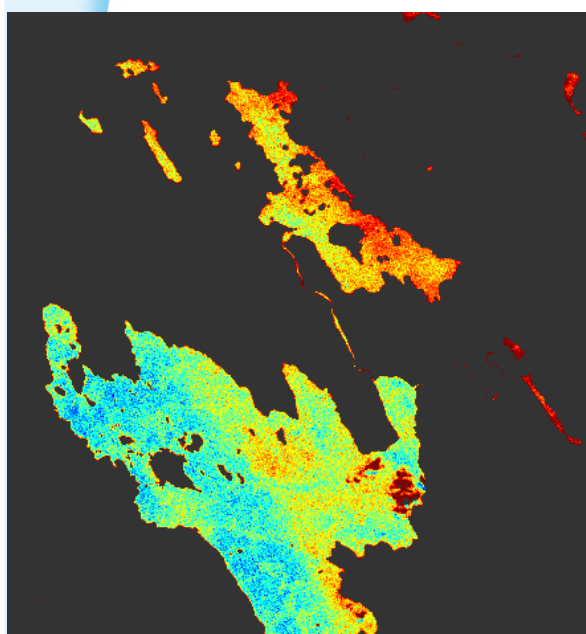
Kuva: Multistressiä kuvaavat oksidatiivisen stressin vasteet kohonneet Kalliojärvi, Kalliojokisuu ja Lumijoki vrt puhdas ref vesi (akk: julkaisematon keskeneräinen data)



Rapid Eye satelliitti-instrumentilla (5 m maastoerotuskyky) tulkittu veden sameus

2012-05-23

2013-05-16



Useat metallit liukenevat dramaattisesti happamissa oloissa

Maalahdenjoki estuary (Stenskärlinjen 2)

