



# Kaivosvesiä vastaanottavien vesistöjen hallinta ja kunnostaminen Management and restoration of surface water bodies receiving mine waters (KaiHali) Seppo Hellsten

Uutta liiketoimintaa kaivosvesistä –  
Kaivosverkosto Matchmaking 2017 5.6.2017



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



# Toteuttajat ja yhteistyökumppanit

- SYKE
- GTK/Kuopio
- KAMK/Kajaani
- Oulun yliopisto,  
MiTY Oulu/Kajaani
- PK yritykset Vesi-Eko Oy, Aquamarine robotics
- Suuret yritykset Pöyry Finland, Ramboll Finland Oy,  
Sotkamo Silver Oy, SRK Consulting Finland Oy,  
Terrafame Oy



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



- Kesto: 2,75 v
- Laajuus: 747 k€ (597 k€ EAKR)
- Alkanut 8/2015
- Päättöy 5/2018

Kustannukset	Yhteensä €
1. Palkkakustannukset	545 768
2. Ostopalvelut	50 499
3. Kone- ja laiteinvestoinnit	0
4. Rakennukset ja maa-alueet	0
5. Muut kustannukset	19 255
6. Flat rate	130 992
<b>Kustannukset yhteensä</b>	<b>746 514</b>
7. Hankkeen tulot	0
<b>Nettokustannukset yhteensä</b>	<b>746 514</b>

Rahoitus	Yhteensä €	Prosenttia nettokustannuksista
EAKR:n ja valtion rahoitus	597 211	80%
Kuntien rahoitus: tuensaajan omarahoitus	14 285	1,9%
Muu julkinen rahoitus: tuensaajan omarahoitus	119 018	15,9%
Yksityinen rahoitus: ulkopuolinen rahoitus	16 000	2,1%
<b>Rahoitus yhteensä</b>	<b>746 514</b>	<b>100%</b>

Kestävää kasvua ja työtä

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

# Hankkeen tausta ja tarve

- Kaivostoiminta ja mineraalien rikastus käyttävät runsaasti vettä ja voivat synnyttää suuria määriä kaivosalueelta pois juoksutettavia vesiä
- Kaivosvesiosaamisen heikoin lenkki on usein vesistöihin johdettavien vesien hallinta
  - Vastaanottavat vesistöt usein pieniä
  - Kerrostuneisuuden ja laimenemisen arviointi vaikeaa (erityisongelmana kerrostuneisuuden laskenta)
- Täysin vesipäästötöntä kaivosta ei Suomen oloissa ole mahdollista rakentaa
  - Kaivosvedet poikkeavat muista kuormituslähteistä koostumukseltaan (reaktiivisia, tiheydeltään suurempia, sisältävät eliöihin kumulatiivisesti kertyviä aineita ja runsaasti suoloja)
  - Suuri riski pysyvään kerrostuneisuuteen

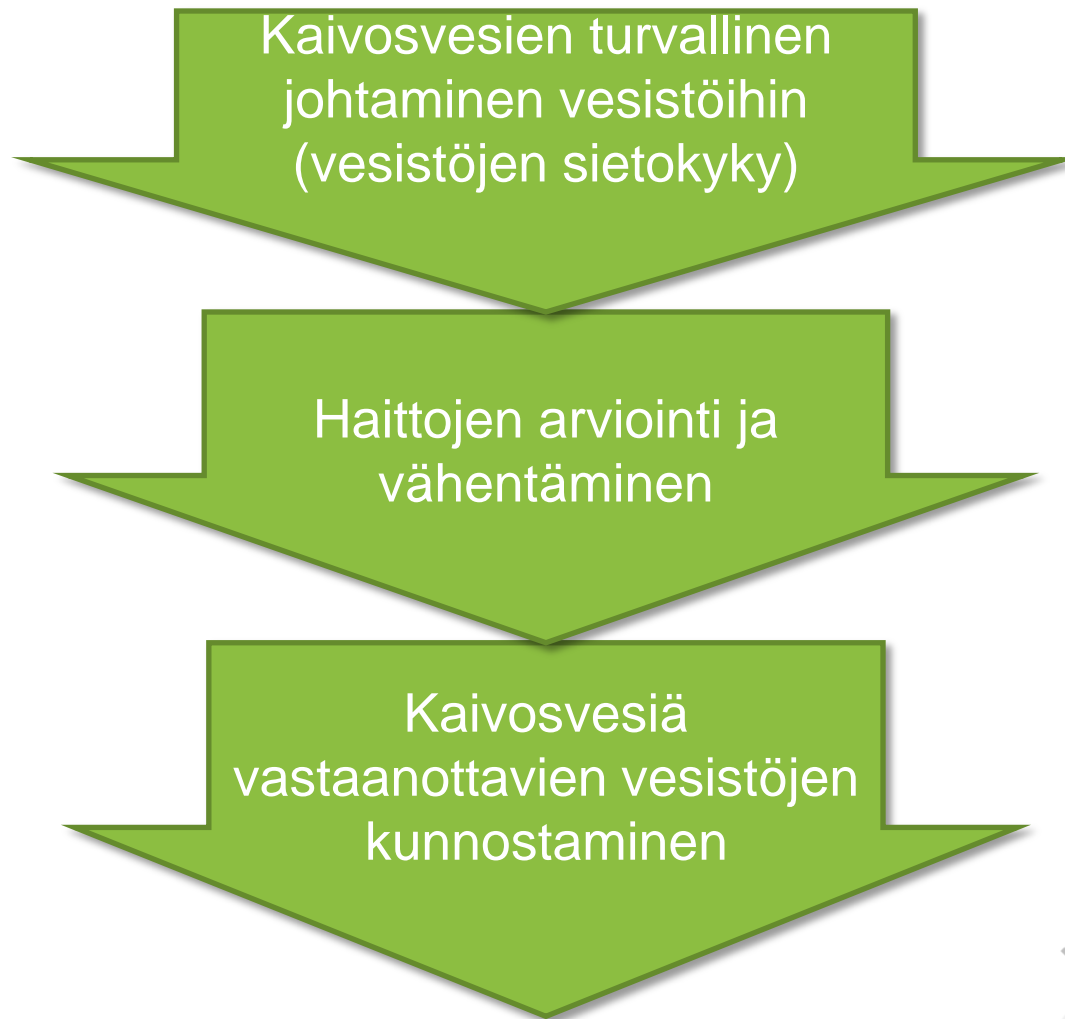
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

- Kaihalin tavoitteena on kehittää osaamista ja liiketoimintaa kaivosvesiä vastaanottavien vesistöjen hallinnan menetelmistä ja vesistöjen kunnostamisesta.



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

TP1. Kaivosvesien turvallinen johtaminen vesistöihin

TP2. Kuormituksen pidättyminen ja hallinta vesistössä

OT1. Laimeneminen ja sekoittuminen (Vemala-vesistömalli)

OT2. Vaikutukset kerrostuneisuuteen (MyLake-kerrostumismalli)

OT3. Biologiset vasteet (BLM-malli)

OT1. Pidättymisen ja sedimentaation mallintaminen

OT2. Kustannustehokkaan sedimenttiselvityskonseptin kehittäminen

OT3. Sedimentin geogemiallisten olojen muuttuminen

OT4. Autonomisen mittausaluksen hyödyntäminen

Vesimassa

Sedimentti

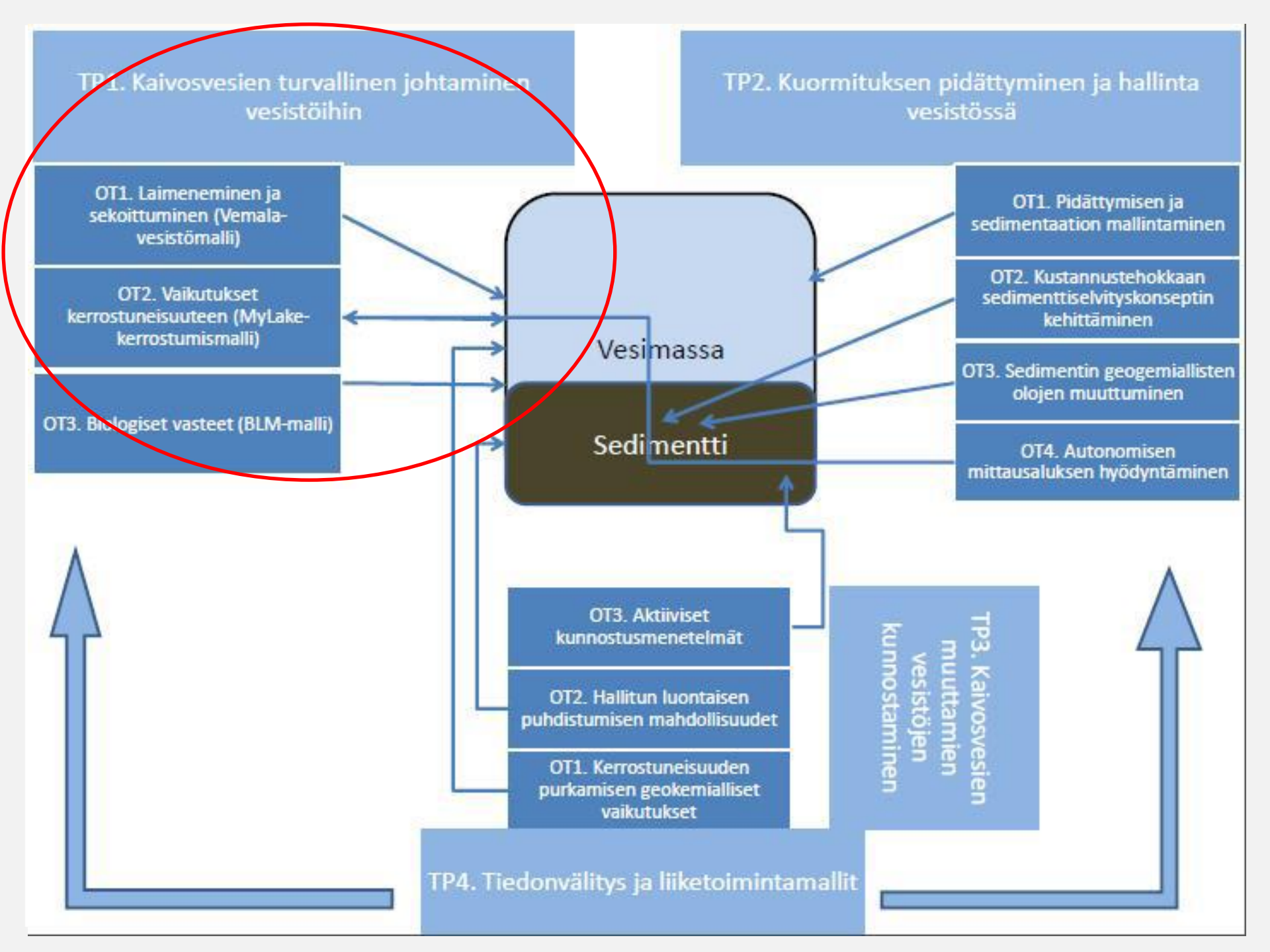
OT3. Aktiiviset kunnostusmenetelmät

OT2. Hallitun luontaisen puhdistumisen mahdollisuudet

OT1. Kerrostuneisuuden purkamisen geokemialliset vaikutukset

TP3. Kaivosvesien muuttamien vesistöjen kunnostaminen

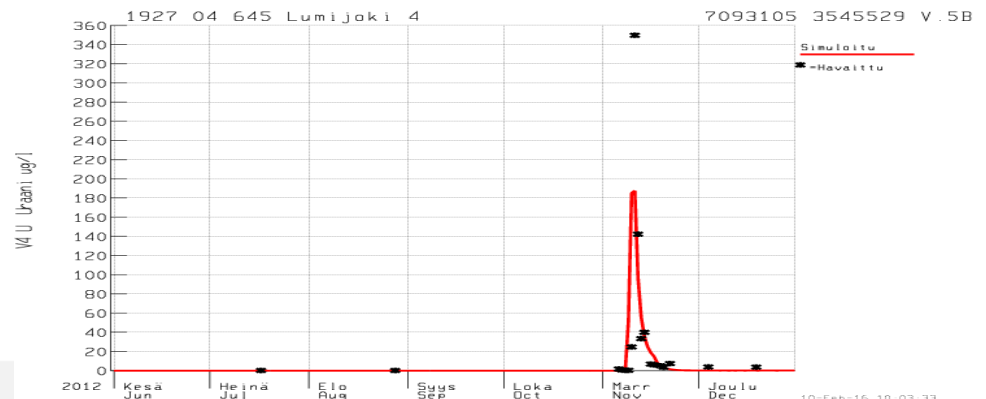
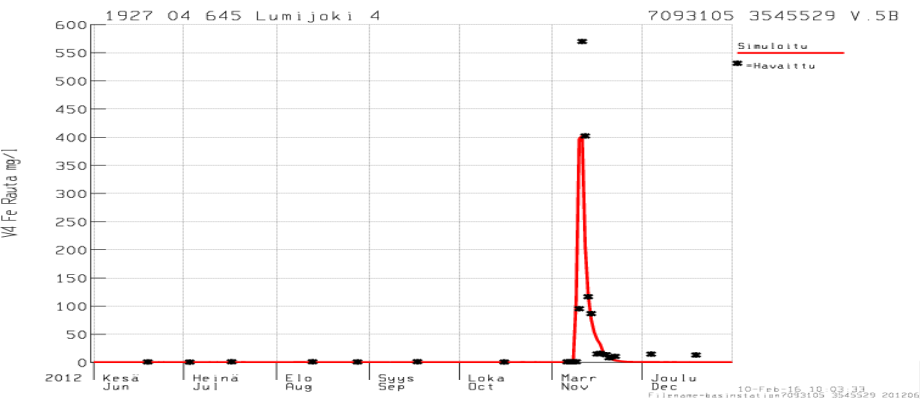
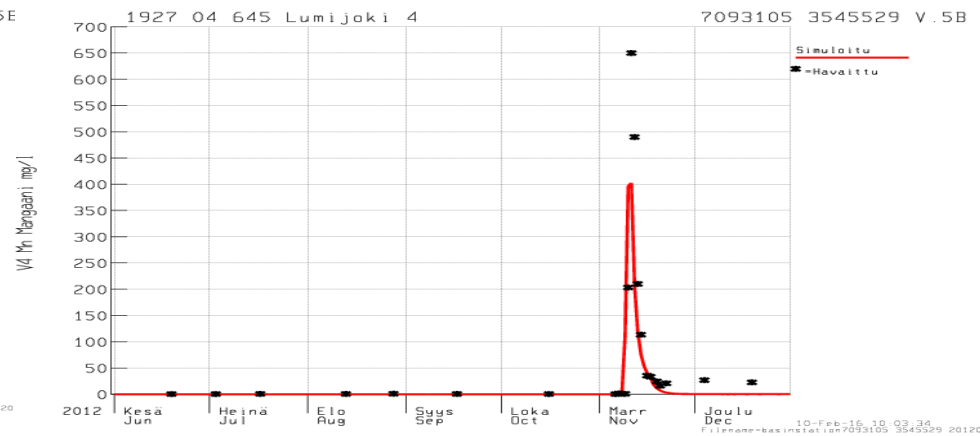
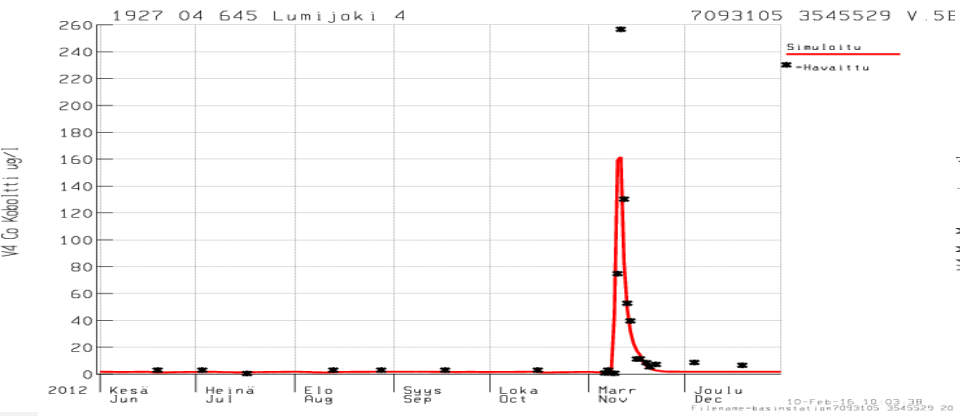
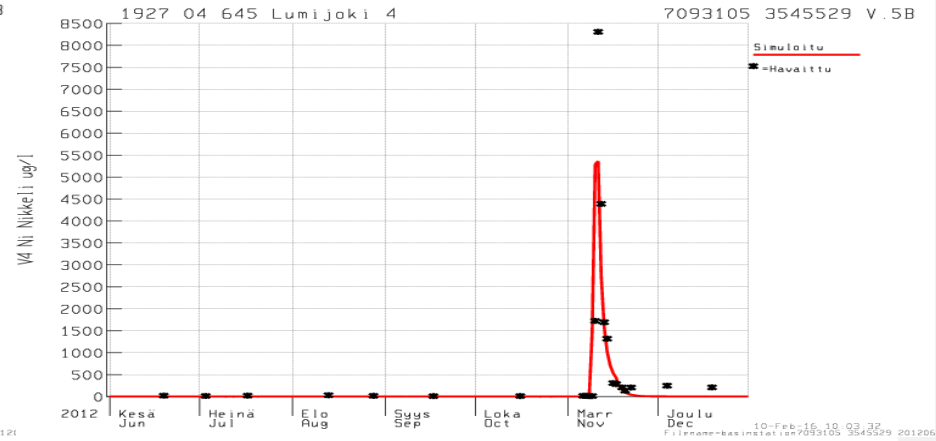
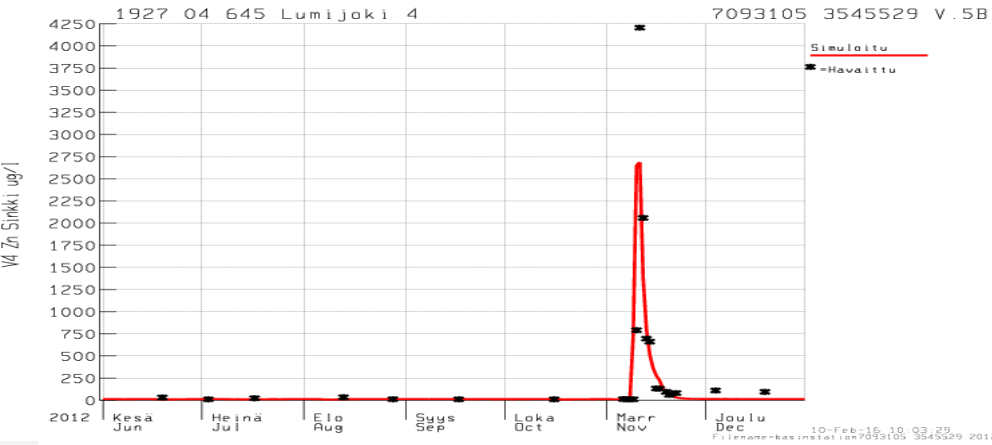
TP4. Tiedonvälitys ja liiketoimintamallit



# WSFS-VEMALA mallinnus: vesistökuormituksen eteneminen, laimeneminen ja sekoittuminen

- Kehitetään kaivokselta lähtevän päästön tai luvallisen kuormituksen etenemisen reaaliaikaista ennustamista alapuolisessa vesistössä
- Ennuste perustuu päästön lisäksi sen hetkiseen vesitilanteeseen ja sääennusteeseen.
- Kehitettävä työkalu voi laskea päästön kulkeutumisen ja pidättymisen, ja lisäksi muut tarvittavat muuttujat, kuten lämpötila, pH, happipitoisuus ja TOC/DOC pitoisuus,
  - jotka vaikuttavat siihen missä muodossa tarkasteltavat aineet ovat ja miten ne etenevät tai pidättyvät

# Talvivaara 2012 accident: Zn, Ni, Co, Mn, Fe ja U

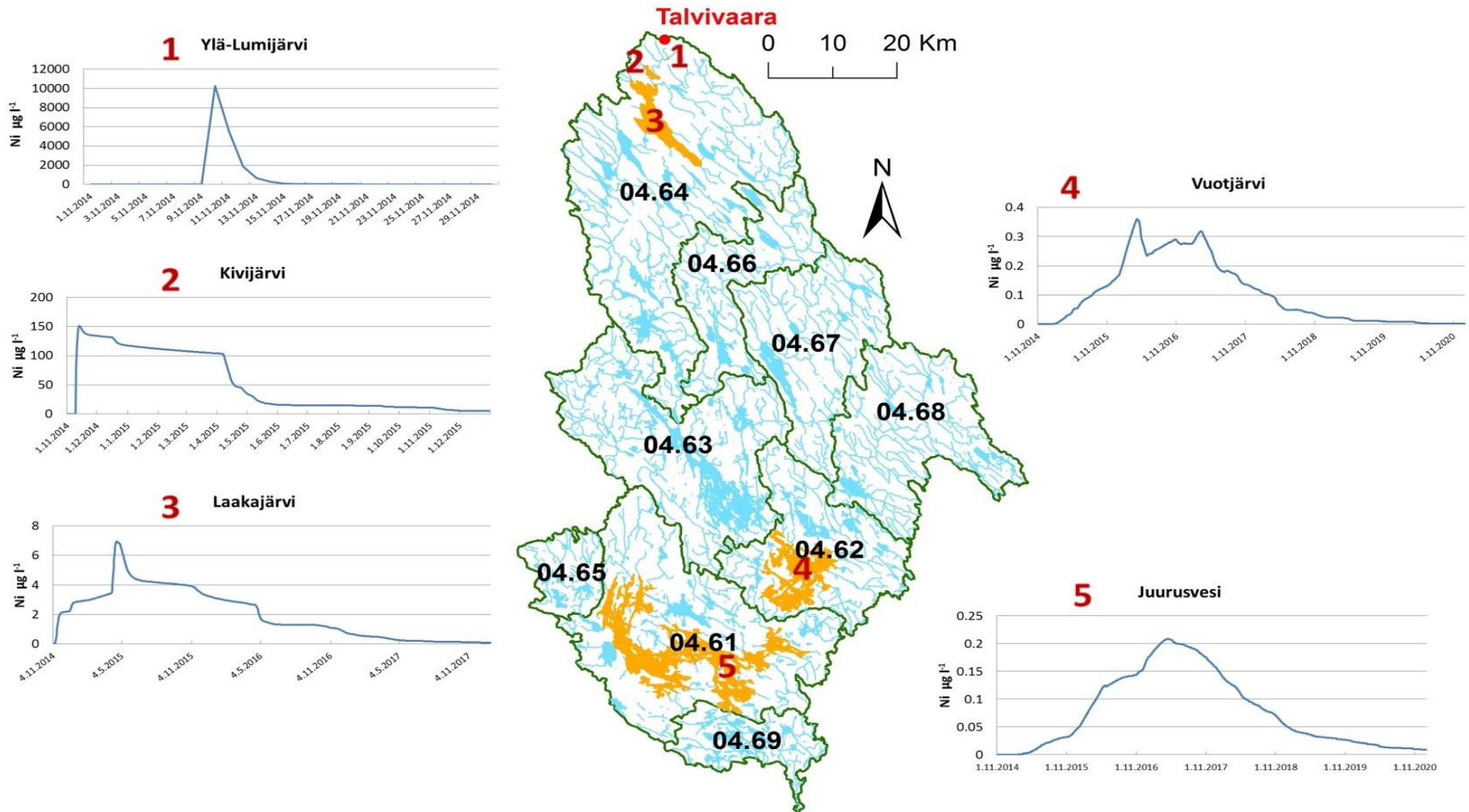




# Results

The aim is to better predict the transport of substances in rivers and lakes downstream of an industrial leak for determining toxicity risks:

- Simulation of a hypothetical 1 tonne of Nickel discharged on the 09/11/2014 into the freshwater ecosystem from Talvivaara



# Vaikutukset kerrostuneisuuteen (MyLake)

## Työpaketti 1 osatehtävä 2 (SYKE)

- Otetaan huomioon kaivosvesien metallit laskettaessa veden tiheyttä (sähkönjohtavuus hyvä indikaattori)
- MyLake-malli kalibroidaan kahteen edustavaan, mutta erityyppiseen järveen
  - esim. pysyvästi kerrostunut järvi ja järvi, jota pysyvä kerrostuneisuus uhkaa
- Validointi käyttäen riippumattomia vesialueita, jotka edustavat samaa järvityyppiä
- Mittauskampanjoiden tulisi keskittyä samoille alueille
  - tarvitaan syvyystiedot, lämpötila- ja suolaisuusluotauksia ja –aikasarjoja, sekä tulo- ja lähtövirtaamat ja -pitoisuudet
  - paikallinen säätieto plussaa
- MyLake –mallia muutettu siten, että suolaisuuden/sähkönjohtavuuden huomioiminen tiheyden laskennassa mahdollista
- Sähkönjohtavuuden/suolaisuuden käyttämistä kehitetty erityisesti Kivijärvelle, sovellettu Nuasjärvellä
- Herkkyystarkastelu kesken

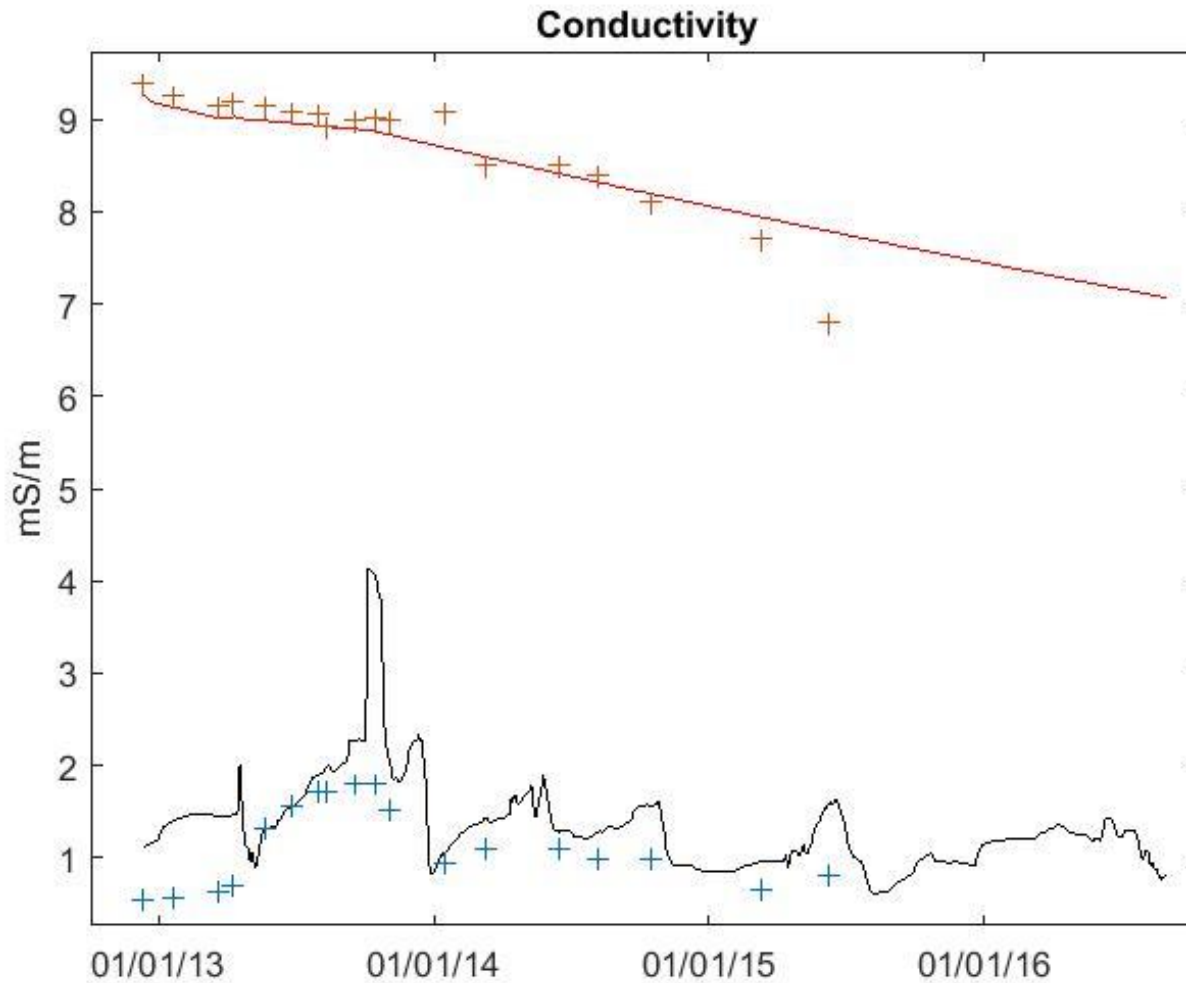
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



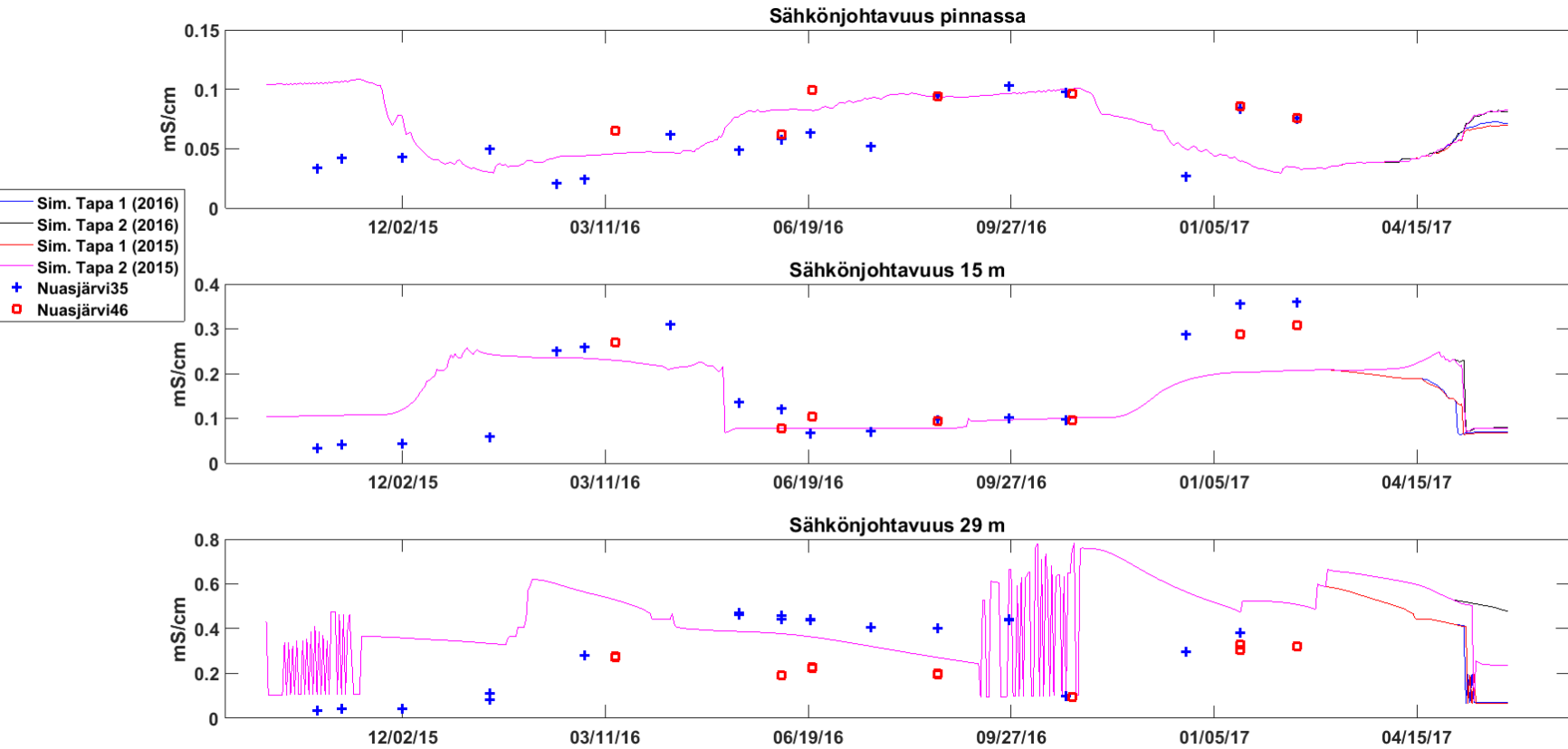
Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

# Lake Kivijärvi - MyLake modelling of conductivity



# Simuloidut ja mitatut sähköjohtavuus arvot Nuasjärvellä

([Juntunen, J., Huttunen, M. & Krogerus, K. 2017. Raportti Nuasjärveen johdettavien Terrafamen kaivoksen purkuvesien vaikutuksesta Nuasjärven kerrostumiseen. Suomen ympäristökeskus](#))



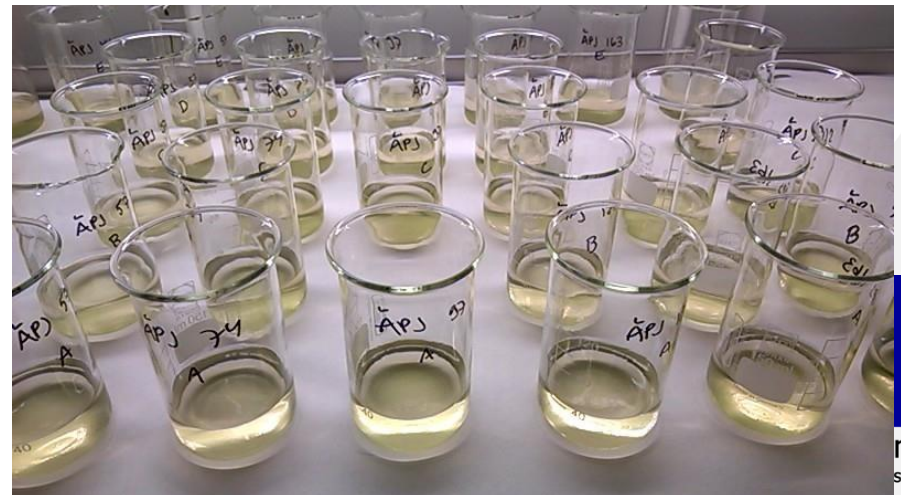
# Työpaketti 1, osatehtävä 3

## Biologiset vasteet (SYKE)

### Bioligandimallit (BLM) 1

#### Tavoitteet:

- Demonstraatio; yksinkertaiset EU mallit metallien riskinarvioimisessa (laskevat paikalliset ympäristölaatunormit eli haitattomat pitoisuudet perustuen vedenlaatuun).
  - Ni, Cu, Zn
  - Vaadittava minimi veden laatu; pH, DOC, Ca
  - Sekä yhteisvaikutusmallin demonstraatio eli arvioidaan metallien yhteisvaikutusta additiivisen mallin kautta
- **Tilanne 31.5.2017**
  - Data on olemassa ja mallitukset tehty



TP1. Kaivosvesien turvallinen johtaminen vesistöihin

TP2. Kuormituksen pidättäminen ja hallinta vesistössä

OT1. Laimeneminen ja sekoittuminen (Vemala-vesistömalli)

OT2. Vaikutukset kerrostuneisuuteen (MyLake-kerrostumismalli)

OT3. Biologiset vasteet (BLM-malli)

OT1. Pidättymisen ja sedimentaation mallintaminen

OT2. Kustannustehokkaan sedimenttiselvityskonseptin kehittäminen

OT3. Sedimentin geogemiallisten olojen muuttuminen

OT4. Autonomisen mittausalustan ryödyttäminen

Vesimassa

Sedimentti

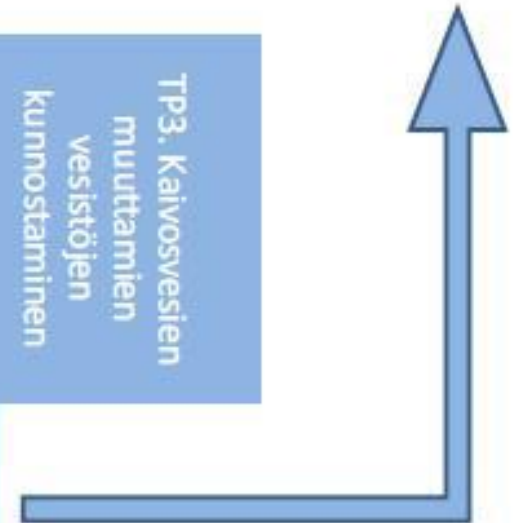
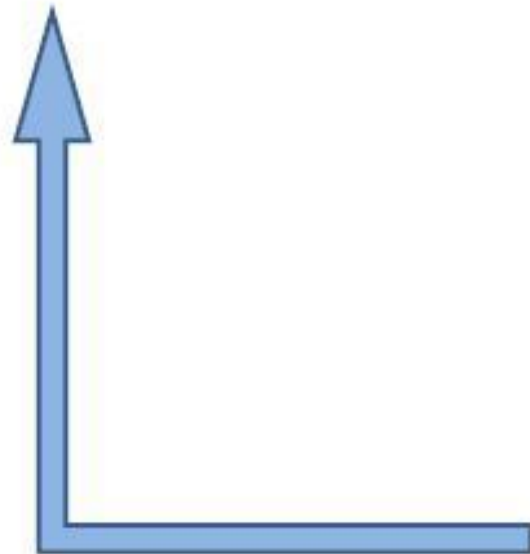
OT3. Aktiiviset kunnostusmenetelmät

OT2. Hallitun luontaisen puhdistumisen mahdollisuudet

OT1. Kerrostuneisuuden purkamisen geokemialliset vaikutukset

TP3. Kaivosvesien muuttamien vesistöjen kunnostaminen

TP4. Tiedonvälitys ja liiketoimintamallit



# Kustannustehokkaan sedimenttiselvityskonseptin kehittäminen

Työpaketti 2 Osatehtävä 2 (GTK)

- Osatehtävän tavoitteet
  - Selvitetään sedimenttitutkimusten laatuun vaikuttavat tekijät
  - Laaditaan ohjeistus kustannustehokkaasta sedimenttitutkimuksesta
- Osatehtävänä toimenpiteet
  - Sedimenttitutkimustulosten koostaminen eri lähteistä
  - Osatehtävän 1 tulosten hyödyntäminen
  - Laitteistojen ja järjestelmien kuvaus, rajoitukset, eri menetelmillä saatava informaatio ja käyttö
  - Sedimenttitutkimusohjeistuksen laadinta kaivosvesistöihin

*Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma*

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



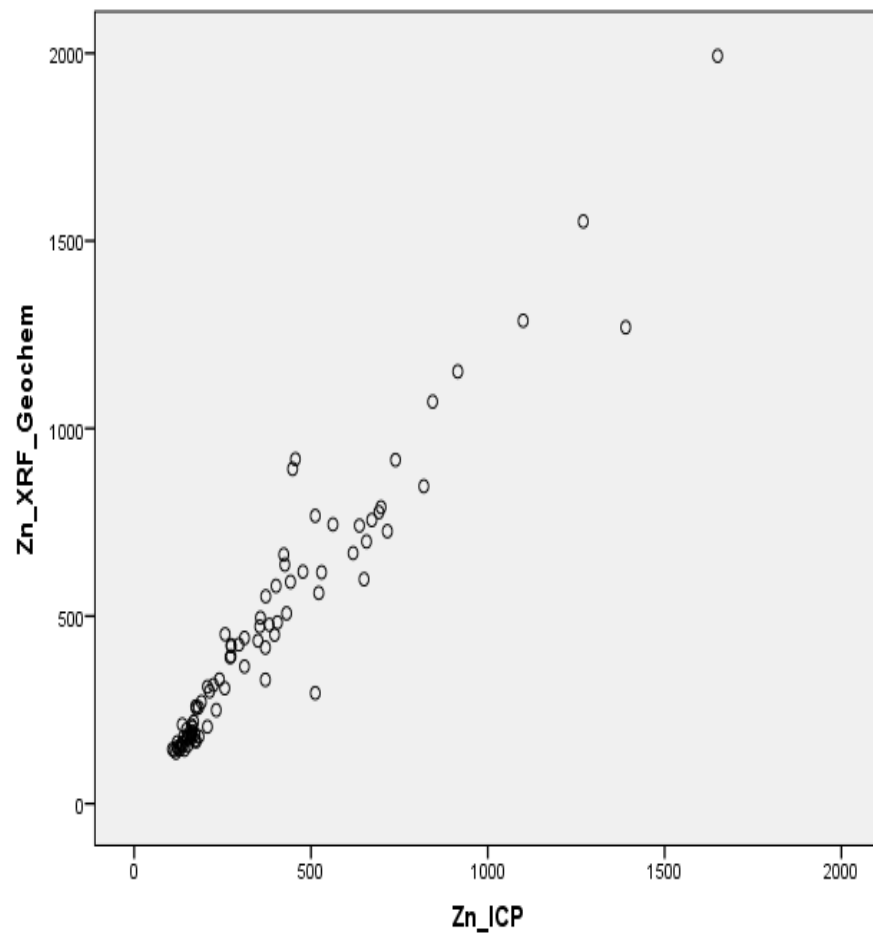
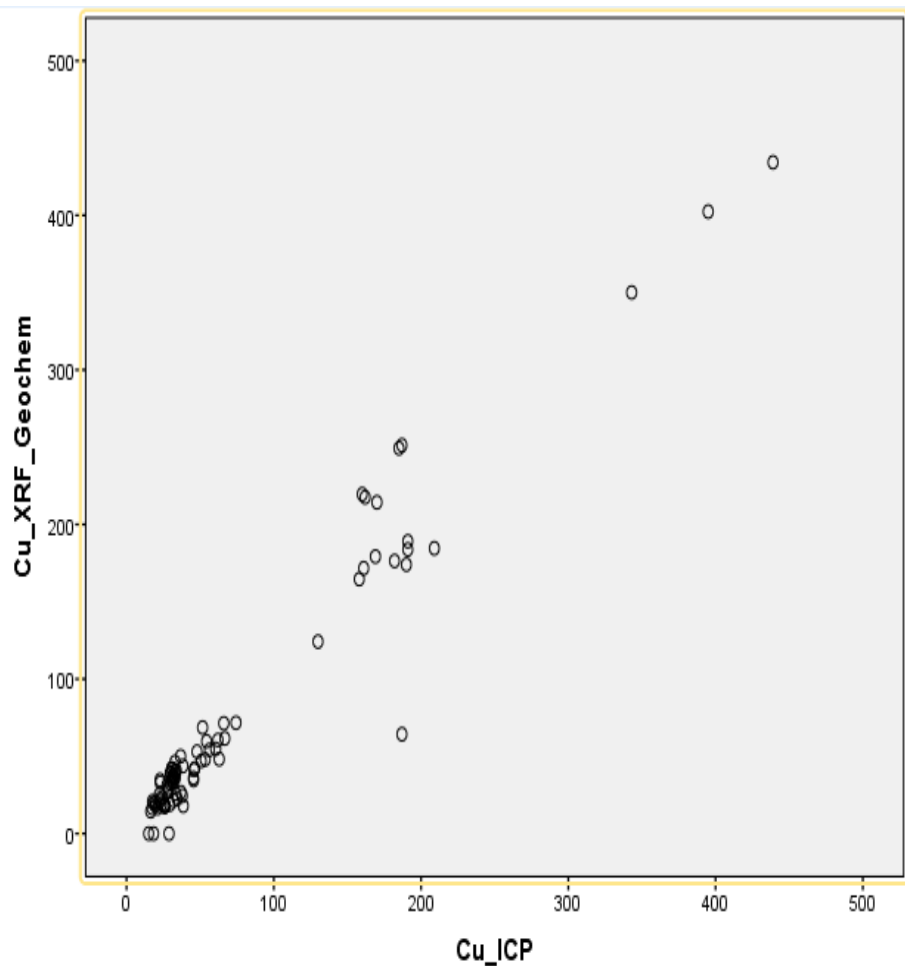
Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto



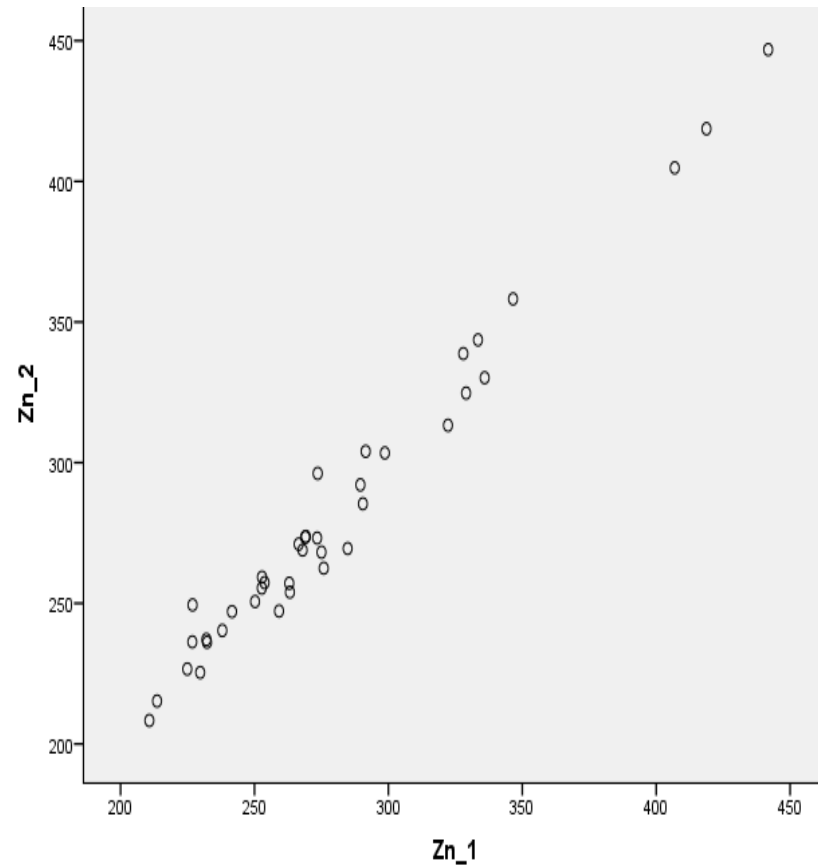
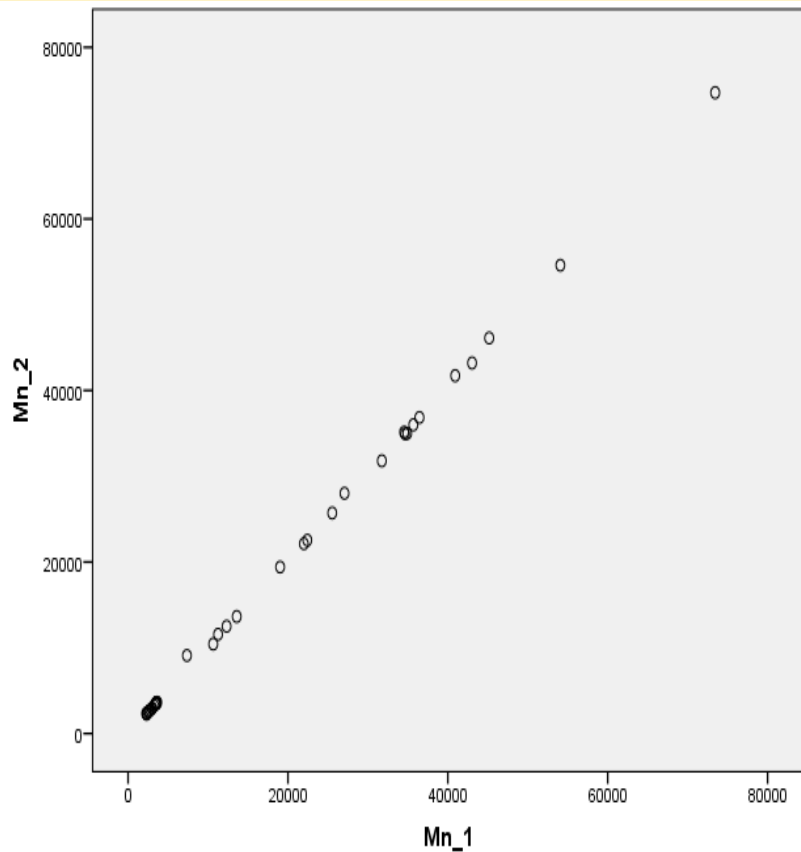
Kuivattua sedimenttiä  
mittausampullissa (alle 1€)



# Vertailu: ICP\_OES-happoliukoinen ja kannettava XRF-laite

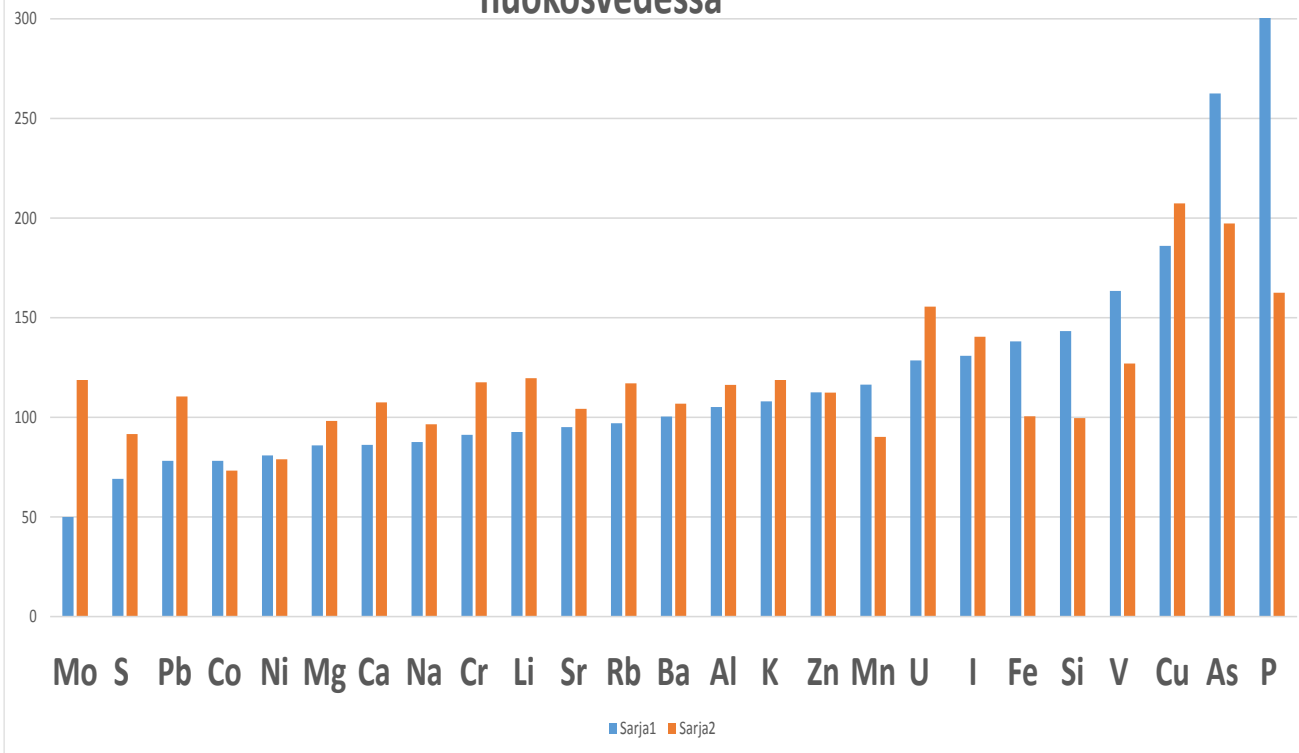


# Analyysin toistettavuus, kannettava XRF





## Pitoisuuksien suhteellinen ero % kahden näyteparin huokosvedessä



Alipaineella toimiva huokosveden keräin

	Al	As	Ba	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Ni	P	Pb	Sr	U	V	Zn	Ca	Fe	K	Mg	Na	S	Si
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/	mg/	mg/	mg/	mg/	mg/	mg/
Huokosvesi, Näyte 1, Otos 1	92	2	88	3.3	2.2	0.4	5.3	7100	1.3	157	0.6	49	0.1	2.8	8	29	20	1.2	5.3	23	47	6
Huokosvesi, Näyte 1, Otos 2	97	5	88	2.6	2.0	0.7	4.9	8290	1.1	699	0.4	47	0.1	4.5	9	25	27	1.3	4.5	20	32	9
Huokosvesi, Näyte 2, Otos 1	147	4	66	5.1	1.9	0.4	3.9	7800	3.7	224	0.7	47	0.1	2.8	9	23	18	1.1	5.7	20	37	7
Huokosvesi, Näyte 2, Otos 2	171	8	70	3.7	2.3	0.9	4.6	7060	2.9	364	0.7	49	0.1	3.6	10	24	18	1.3	5.6	19	34	7

# Autonomisen mittausaluksen hyödyntäminen vesistöjen profiilin mittauksessa

Työpaketti 2 Osatehtävä 4 (Cemis-Oulu)

- Osatehtävän tavoitteet:

- Selvittää autonomisen mittausaluksen hyödynnettävyyttä kerrostuneiden vesistöjen profiilimittaukseen
- Selvittää profiilimittauksesta saatavan aineiston käyttökelpoisuutta mallien syöttötietoina



- Osatehtävän toimenpiteet:

- Autonomisen mittausaluksen jatkokehitys profiilimittauksen osalta (kevät 2016)
- Mittaukset pilottikohteissa 2015 ja 2016
- Aineiston käyttökelpoisuuden arviointi mallien syöttötietona
- Tulosten käsittely ja raportointi

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

# Autonomisen mittausaluksen ominaisuudet

## - Autonominen toiminta

- Navigointi reitin mukaisesti
- Vedenlaadun mittaus
- Näytteenotto
- Kaikuluotaus

## - Laskettava mittausanturi

- Mittausrunkona EXO2 ja antureina syvyys, johtavuus, lämpötila, pH, ORP, sameus, liuennut happi, liuennut orgaaninen aine (fDOM) ja kokonaislevä
- Mittaussyvyys säädettävissä 0...6 m

## - Näytteenottoyksikkö

- 10 näytepullon karuselli (1 l pullo)
- Näytteenottosyvyys säädettävissä 0...6m

## - Viistokaikuluotain

- Starfish 453 OEM
- Lowrance HDS-7 Gen-3

## - Toiminta-aika 6-8 tuntia

- Paino n. 150 kg Kantavuus n. 200kg

- Koko 1,6m\*3,4m

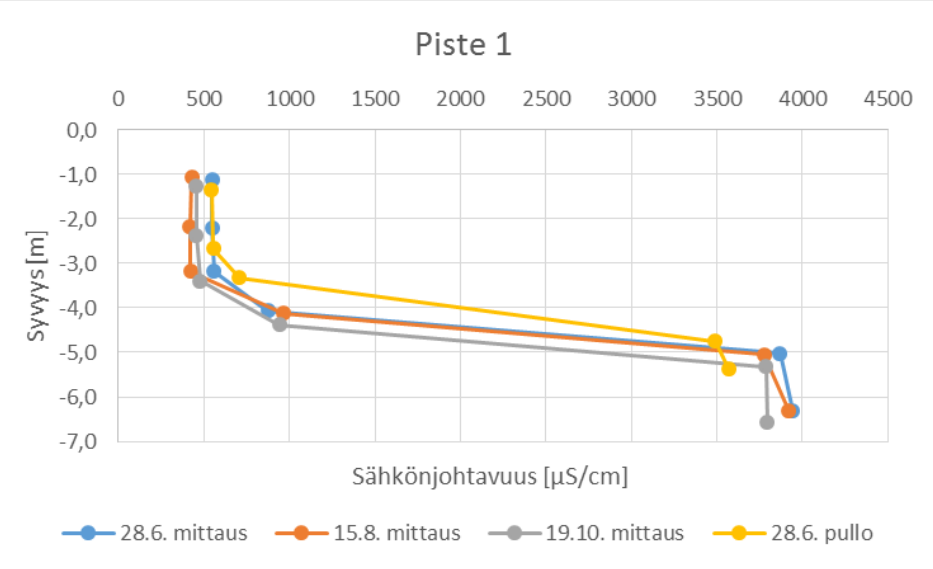
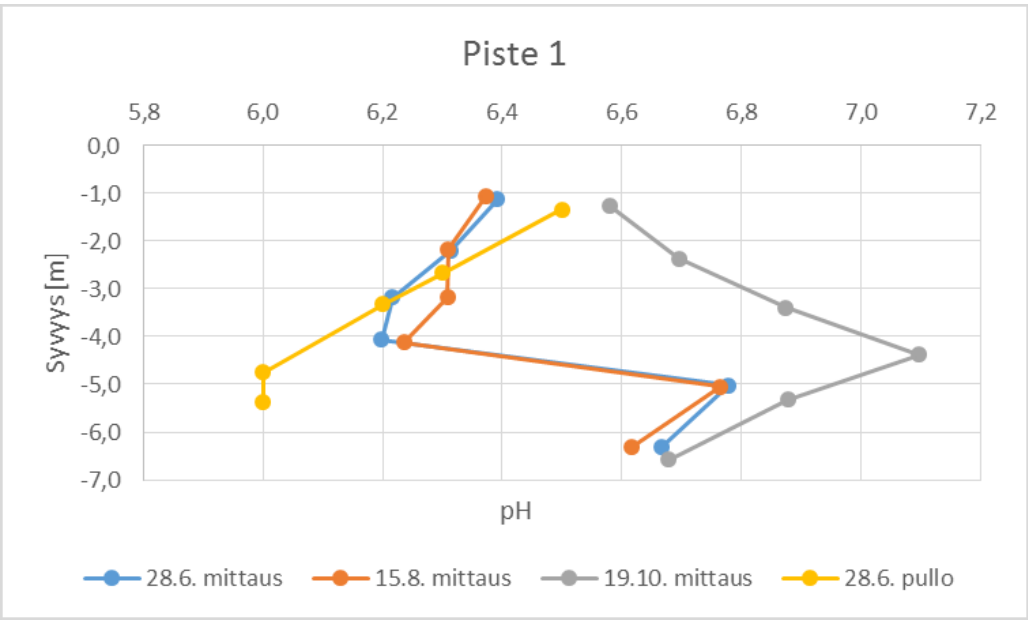
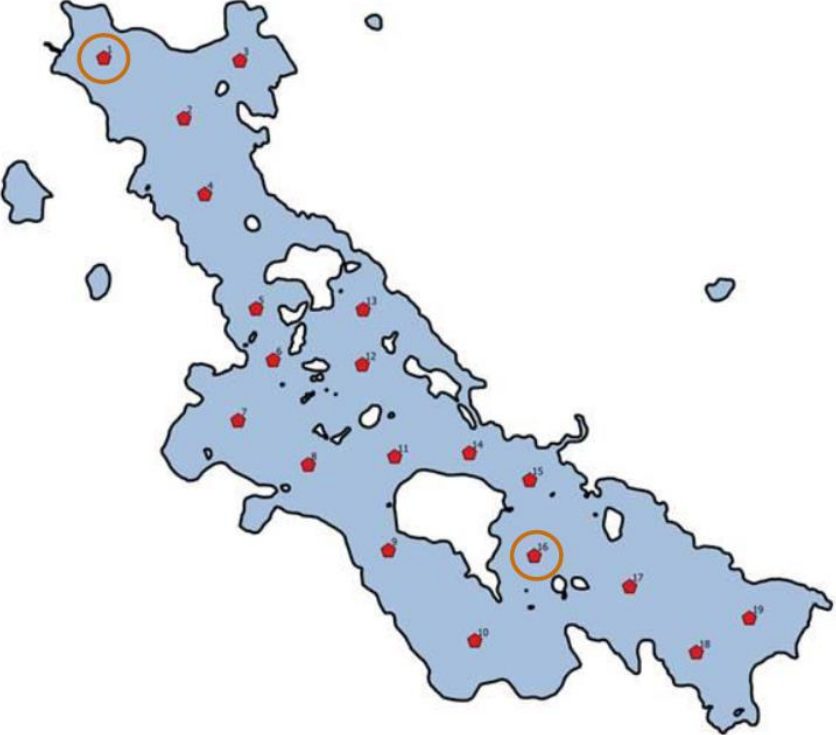


Kestävää kasvua ja työtä

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto



TP1. Kaivosvesien turvallinen johtaminen vesistöihin

TP2. Kuormituksen pidättäminen ja hallinta vesistössä

OT1. Laimeneminen ja sekoittuminen (Vemala-vesistömalli)

OT2. Vaikutukset kerrostuneisuuteen (MyLake-kerrostumismalli)

OT3. Biologiset vasteet (BLM-malli)

OT1. Pidättymisen ja sedimentaation mallintaminen

OT2. Kustannustehokkaan sedimenttiselvityskonseptin kehittäminen

OT3. Sedimentin geogemiallisten olojen muuttuminen

OT4. Autonomisen mittausaluksen hyödyntäminen

Vesimassa

Sedimentti

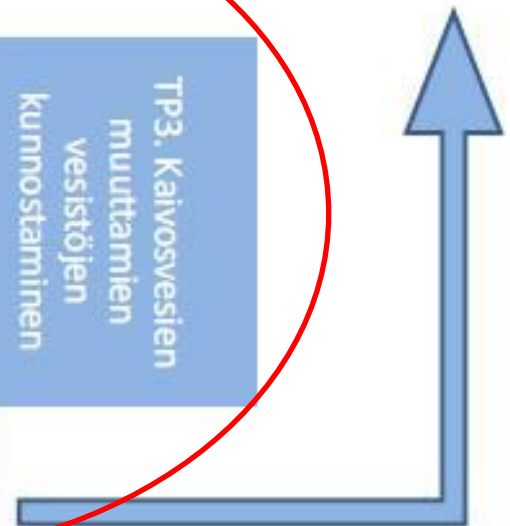
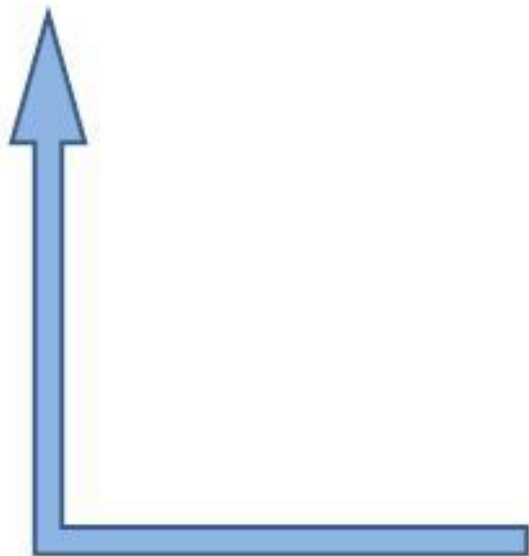
OT3. Aktiiviset kunnostusmenetelmät

OT2. Hallitun luontaisen puhdistumisen mahdollisuudet

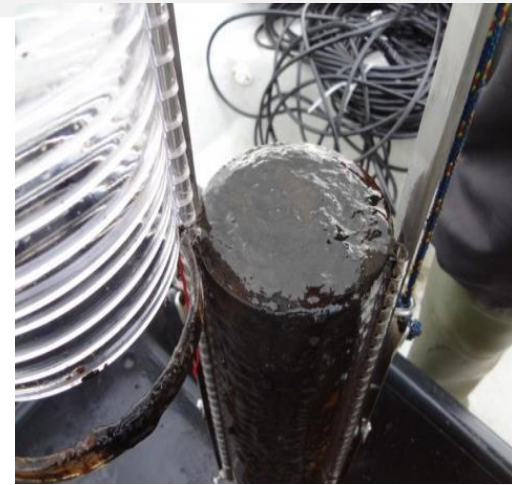
OT1. Kerrostuneisuuden purkamisen geokemialliset vaikutukset

TP3. Kaivosvesien muuttamien vesistöjen kunnostaminen

TP4. Tiedonvälitys ja liiketoimintamallit



# TP 3: Kaivosvesien muuttamien vesistöjen kustannustehokas kunnostaminen



- Kerrostuneisuuden purkaminen turvallisesti
  - Alusveden hapettumisesta aiheutuvat muutokset
  - Kokeellisten mittausten suorittaminen
- Hallitun luontaisen puhdistumisen (MNA) mahdollisuudet
  - Sedimenttien käsittely eri pakotteilla (orgaaninen aines, yms.)
  - Muut poistokokeet
- Uudet kokeelliset menetelmät
  - Peroksidilisäys sedimentin hapettajana
  - Geopolymeeripohjaisten adsorbenttien soveltuvuus metallien poistoon

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020

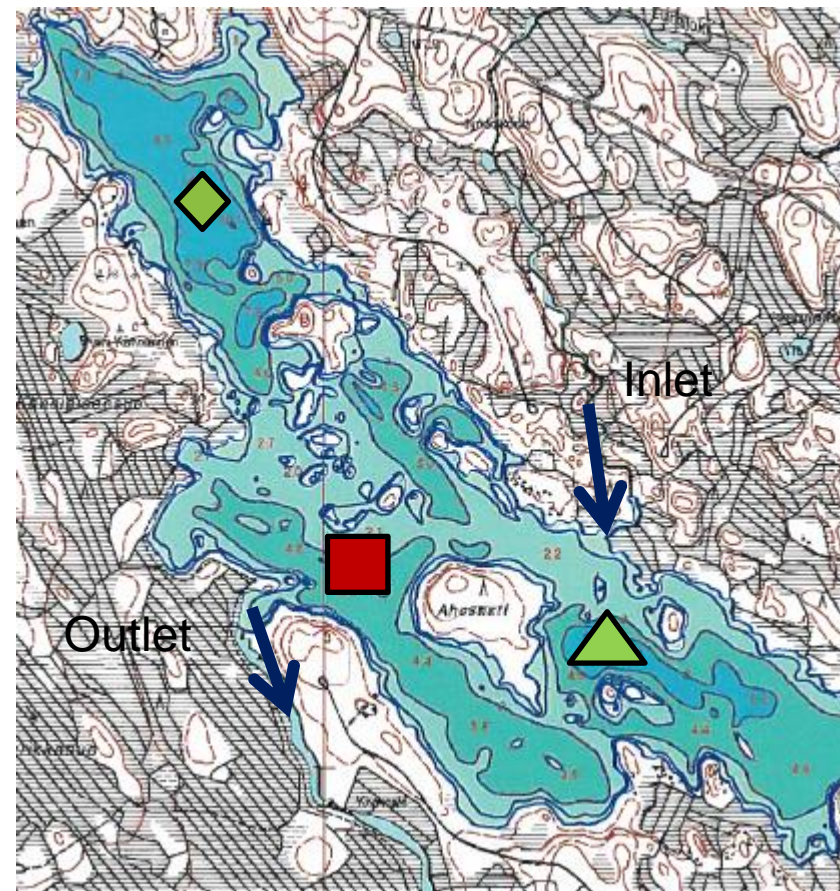
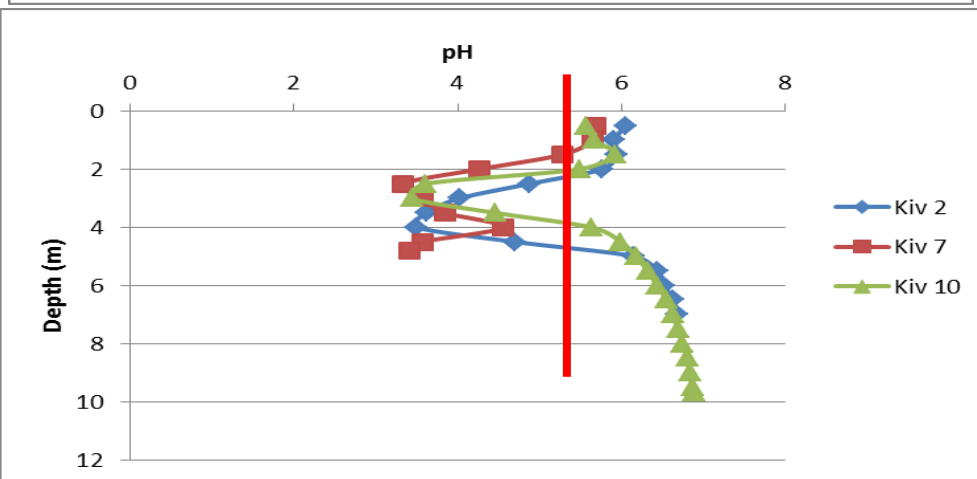
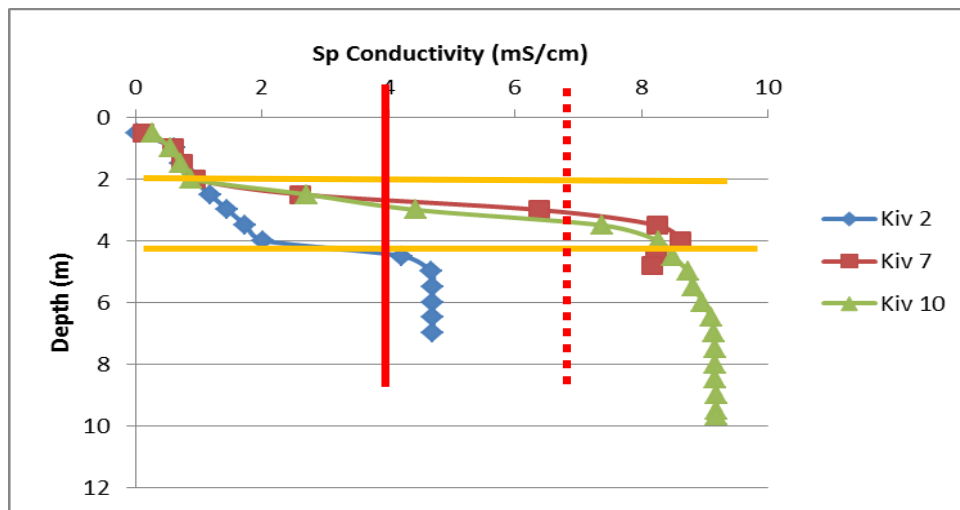


Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto



# Kivijärvi 18.-21.2.2013

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



# Kerrostuneisuuden purkaminen turvallisesti

Työpaketti 3 – Osatehtävä 1 (GTK/SYKE)

- Tarkoituksena on ollut selvittää happamoituuuko järvien vesi kerrostuneisuuden purkamiseksi tehtävän ilmastuksen tai sekoituksen yhteydessä
- Kokeita tehty talvina 2015-2016 ja 2016-2017 Talvivaaran alapuolisilla järvillä. Tulokset ristiriitaisia. Happamoitumista tapahtunut osassa kokeista.



# Aktiiviset kunnostusmenetelmät (KAMK)

## Työpaketti 3 – Osatehtävä 3 (KAMK)

- Toimenpiteet:
  - Kirjallisuuskatsaus kaivosvesien muuttamien vesistöjen aktiivisista kunnostusmenetelmistä.
  - Laboratorio- ja kenttäkokeet kiinteiden peroksidien käytöstä happikadon torjunnassa.
    - Kiinteät peroksidit,  $\text{CaO}_2$  ja  $\text{MgO}_2$ , vapauttavat hitaasti happea ja nostavat veden alkaliniteettä.
    - Sovellettu Suomessa luonnonvesien kunnostamiseen, ei kuitenkaan kaivosvaikutteisten vesistöjen kontekstissa.
    - Tutkitaan: kemikaalien vaikutus happipitoisuuteen ja muihin kemiallisiin ominaisuuksiin, tarvittavat annosmäärät, kustannukset, datan käyttö GTK:n mallinuksissa, kenttäkoe rajatussa ympäristössä.
  - Laboratorio- ja kenttäkokeet geopolymeeriadsorbenttien käytöstä epäpuhtauksien poistossa.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

# Kaivosvesien muuttamien vesistöjen kunnostaminen - uudet kokeelliset menetelmät

---

## Kirjallisuuskatsaus

Kajaanin Ammattikorkeakoulu Oy  
Tero Luukkonen



**Euroopan unioni**  
Euroopan aluekehitysrahasto  
Euroopan sosiaalirahasto

*Kestävä kasvua ja työtä -ohjelma*

**Vipuvoimaa**  
**EU:lta**  
2014–2020

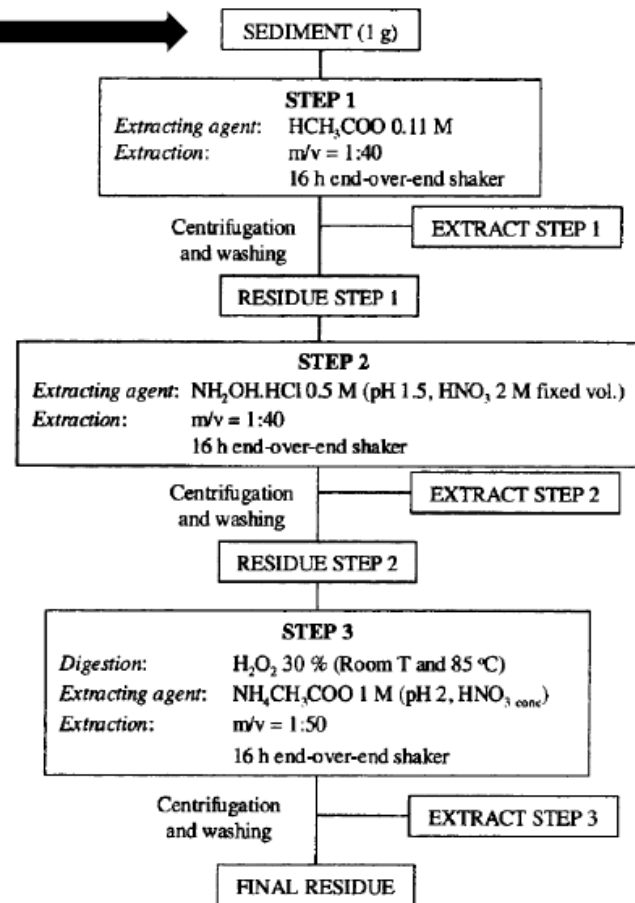


**Euroopan unioni**  
Euroopan aluekehitysrahasto

# Optimoitu BCR (Community Bureau of Reference) –uuttomenetelmä: Kivijärven ja Pyhäjärven sedimentit



2 vko seisotus +4 °C,  
adsorbenttien annostus 2,5 %; 5 %  
tai 10 % (per kuiva-aine)



S1: Happoliukoinen /  
vaihdettavissa oleva

S2: Pelkistävä

S3: Hapettava

S4: Jäännös

kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



TP1. Kaivosvesien turvallinen johtaminen vesistöihin

TP2. Kuormituksen pidättäminen ja hallinta vesistössä

OT1. Laimeneminen ja sekoittuminen (Vemala-vesistömalli)

OT2. Vaikutukset kerrostuneisuuteen (MyLake-kerrostumismalli)

OT3. Biologiset vasteet (BLM-malli)

OT1. Pidättymisen ja sedimentaation mallintaminen

OT2. Kustannustehokkaan sedimenttiselvityskonseptin kehittäminen

OT3. Sedimentin geogemiallisten olojen muuttuminen

OT4. Autonomisen mittausaluksen hyödyntäminen

Vesimassa

Sedimentti

OT3. Aktiiviset kunnostusmenetelmät

OT2. Hallitun luontaisen puhdistumisen mahdollisuudet

OT1. Kerrostuneisuuden purkamisen geokemialliset vaikutukset

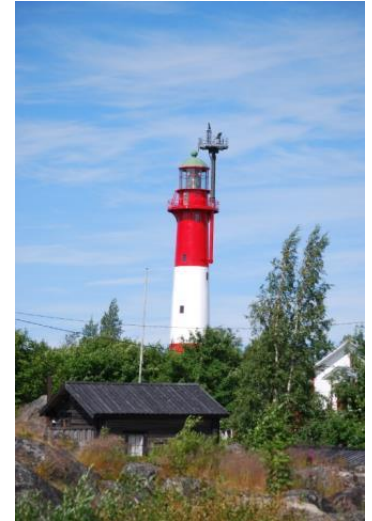
TP3. Kaivosvesien muuttamien vesistöjen kunnostaminen

TP4. Tiedonvälitys ja liiketoimintamallit



# TP 4: Tiedonvälitys ja liiketoimintamallit

- Osatehtävä 1
  - Tiedotus
    - Hankkeen ulkoiset sivut (GTK Wiki)
    - Raportit ja julkaisut (myös ammatt)
  - Hankehallinto
- Osatehtävä 2
  - Hankkeen tuloksien liiketoimintapotentiaalin selvitys yhdessä kaivo



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020







