

KaiHali & DROMINÄ – hankkeiden loppuseminaari

Kaivosvesien kulkeutuminen ja laimeneminen alapuolisessa vesistöissä

Markus Huttunen, Marie Korppoo ja Tapani Rousi

04.12.2018



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



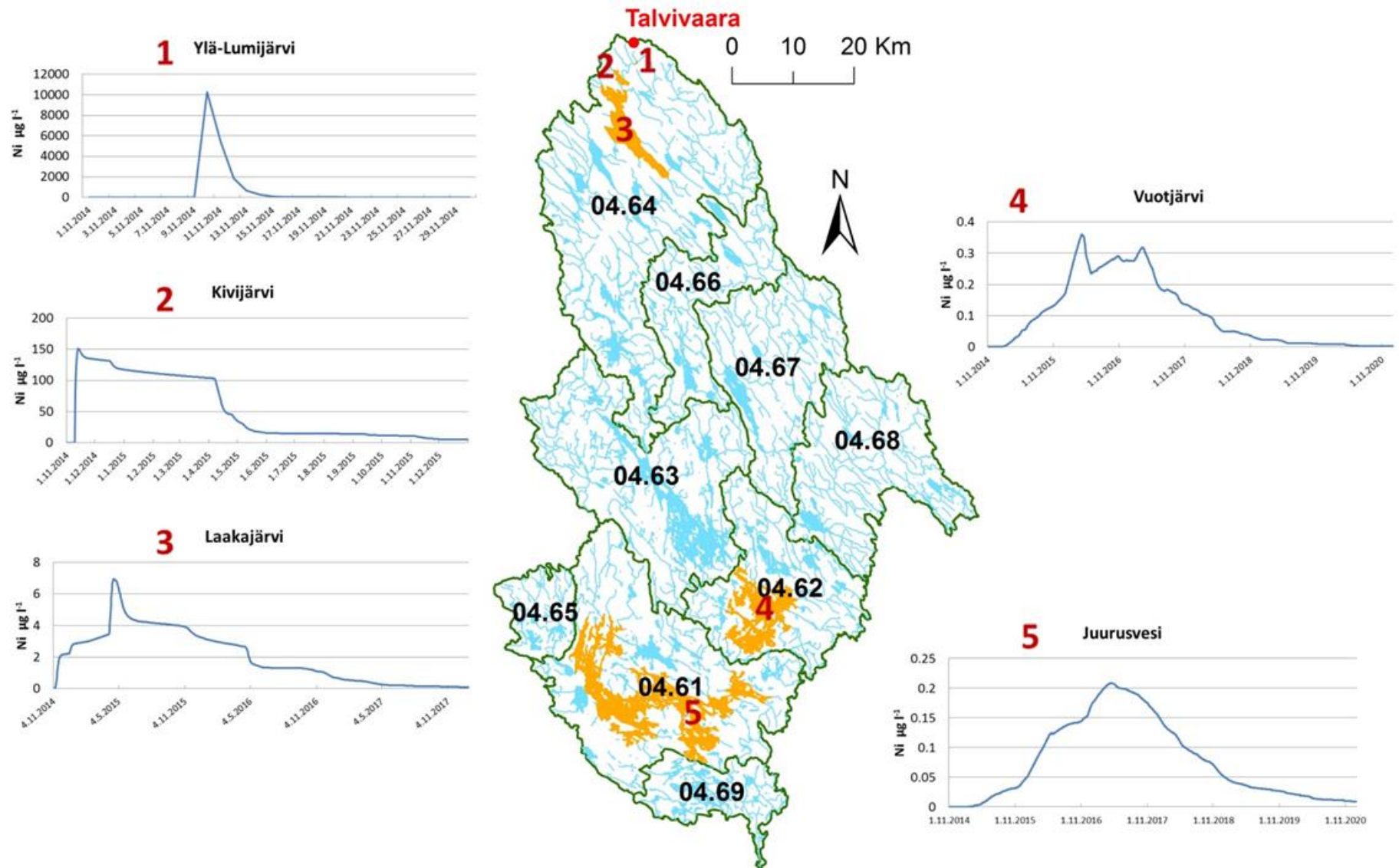
Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Päämäärä

- Kaivosvesien kulkeutuminen ja laimeneminen vesistöissä
 - Pitkätkin joki-järvireitit, kuten Vuoksi tai Oulujoki
- Kulkeutumisen ja laimenemisen VEMALA mallinnus vesistöissä:
 - Onnettomuus tms. poikkeuksellisen päästön reaaliaikainen ennuste
 - Normaalin kuorman vaikutuksen simulointi
 - Tämänhetkinen vesitilanne
 - Suunnittelukäyttö: tietynsuuruisen kuorman vaikutus alapuolisessa vesistöissä erilaisissa vesitilanteissa



Esimerkki (ei todellinen tilanne): 1 tonnin nikkelpäästö Ylä-Lumijärveen 9.11.2014



VEMALA mallin käyttö kulkeutumisen ja laimenemisen arvioinnissa

- Uomien ja järvien hydrologian riittävän tarkka kuvaaminen kulkeutumismallissa. Uomat ja järvet kuvataan valtakunnallisten uoma- ja järvirekisterin perusteella, joita lisäksi tarkennetaan kulkeutumismallin vaatimusten mukaisesti.
 - Mallia voidaan näin soveltaa helposti kaikissa vesistöissä.
- Päästön tai jäteveden todennäköisesti sisältämien metallien ja muiden aineiden kulkeutumisen ja pidättymisen ja näihin vaikuttavien muiden muuttujien kuvaaminen kulkeutumismallissa
- Vaikutusten kuvaus ja haittarajojen arviointi, yhdistäminen BLM malliin (PNEC Pro/BAT)
- Reaaliaikaisen ennusteen toteutus
- Lista kriittisistä kohteista, kuten vedenottamoista:
 - Automaattinen varoitus haittarajan ylittävästä pitoisuudesta

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

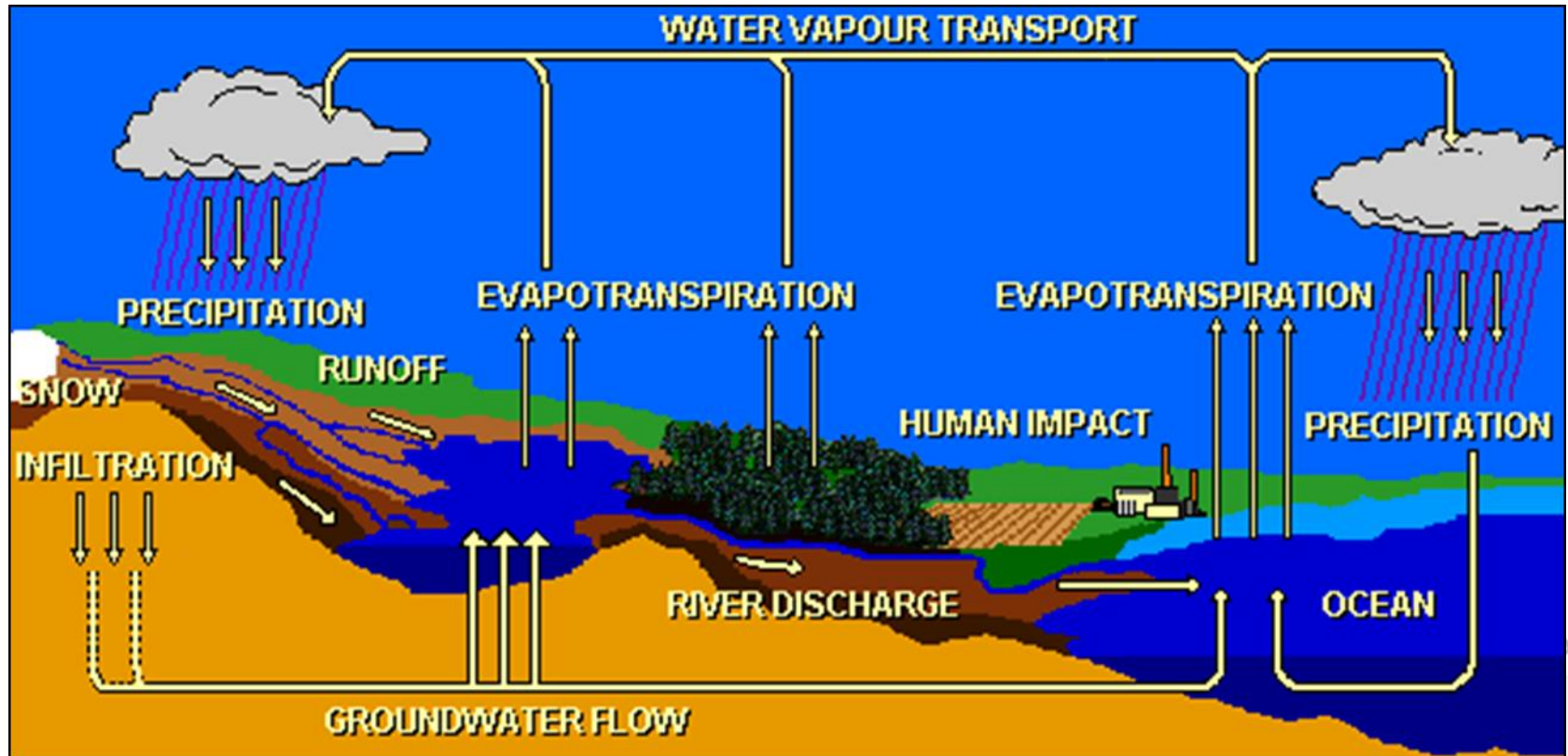
Mikä VEMALA malli on?

- Koko Suomen kattava laskentajärjestelmä
- Hydrologian kuvaus
 - Vesien liikkeet uomissa ja järvissä
 - Noin 180 000 osa-aluetta, noin 33 000 järveä
 - Reaaliaikaiset säätiedot, virtaama- ja vedenkorkeushavainnot
 - Vuorokauden laskenta-askel
- Aineiden kulkeutuminen
 - Ravinteet, kiintoaine, TOC, sulfaatti, tietyt metallit (Ni, Zn, Fe, Cu)
 - Kuormitus vesistöön eri lähteistä
 - Mm. luonnonhuuhtouma, pistekuormitus (VAHTI/YLVA rekisteristä)
 - Kulkeutuminen uomissa ja järvissä
 - Sekoittuminen
 - Sedimentaatio
 - Eroosio

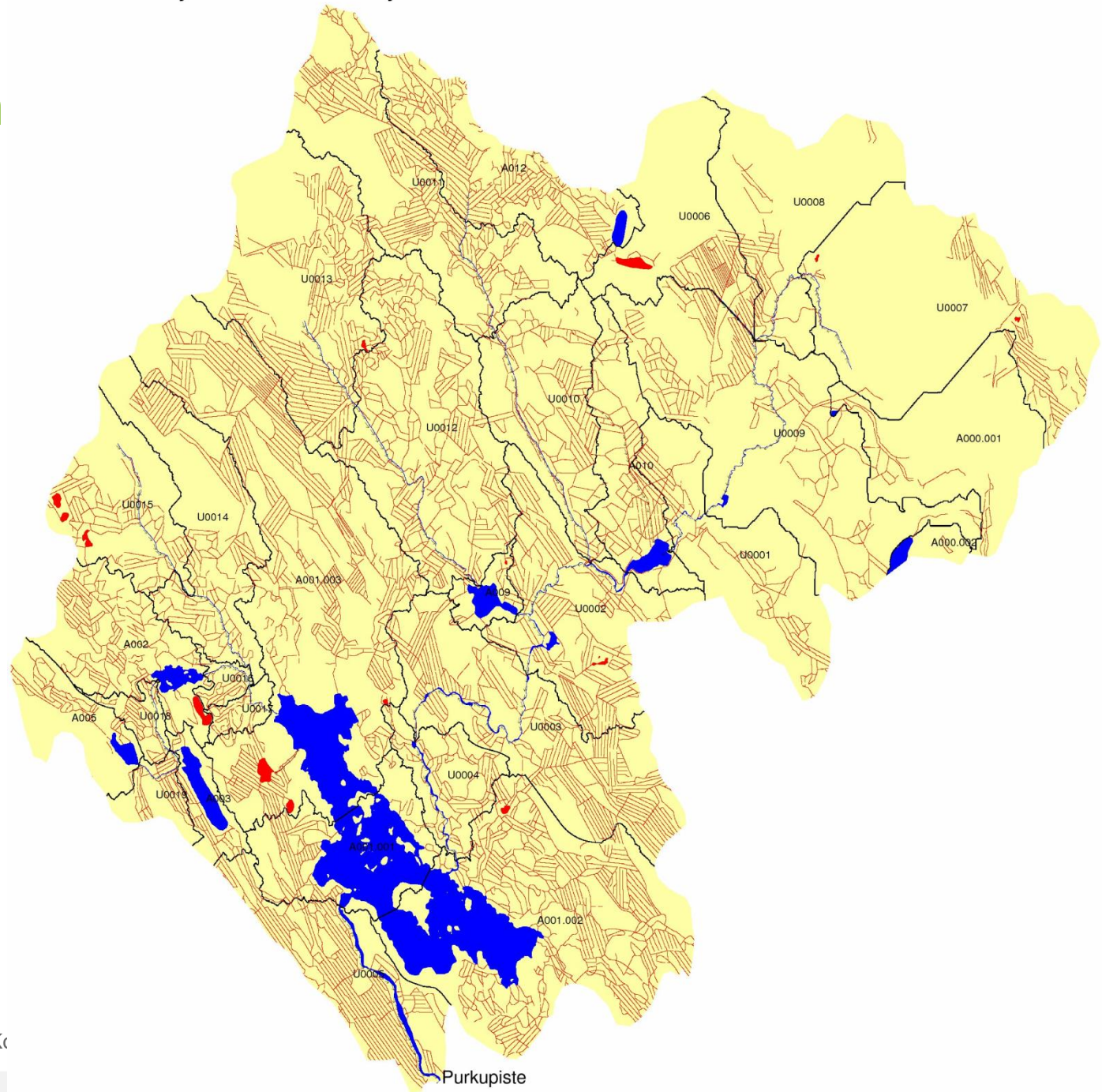
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



Hydrologinen kierto



Vesistöalueen kuvaus



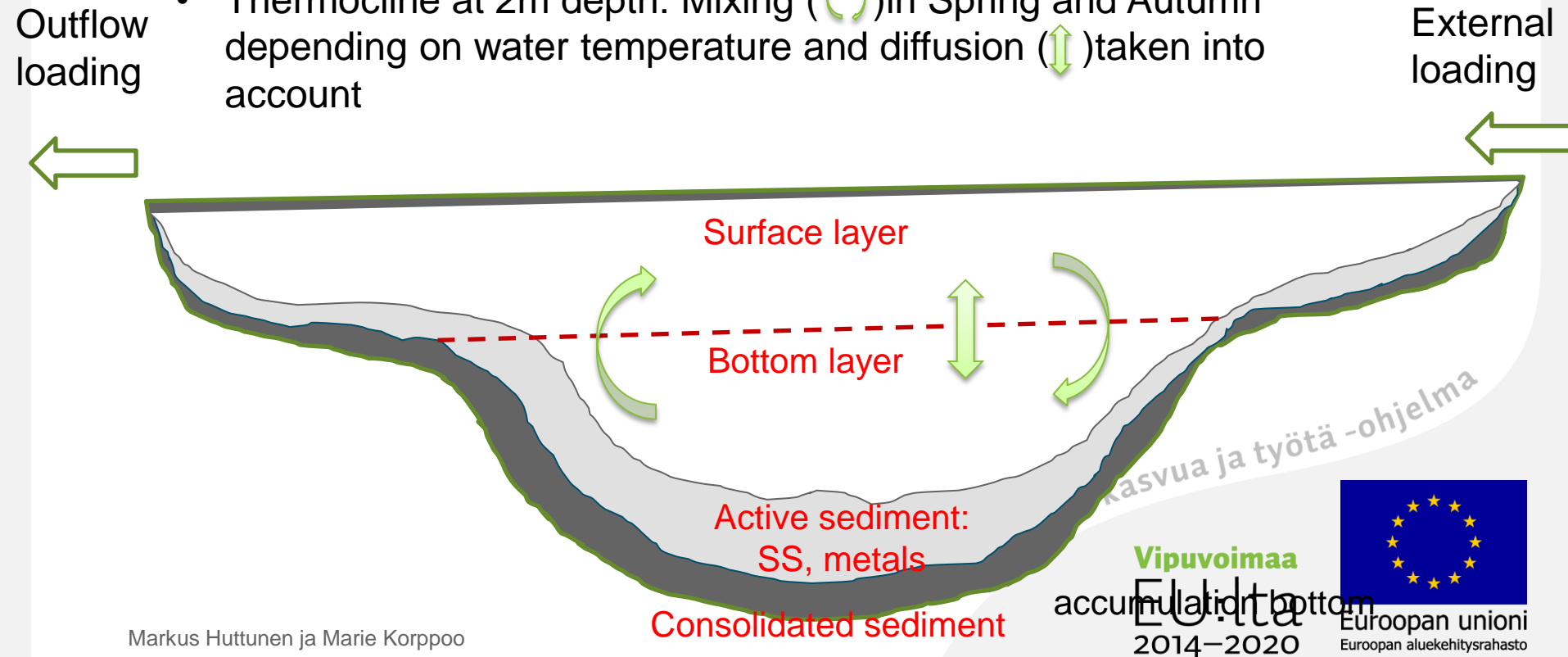
Heavy metals

- Heavy metals (Zinc, Nickel and Copper) are modelled as dissolved and particulate substances.
 - Depending on the metal, the proportion, that can be sedimented, varies and sedimentation and erosion processes are linked to the simulation of suspended sediments in rivers and lakes.
 - Solubility limits were used in Kivijärvi for sulphate, calcium, magnesium and sodium
- To predict the speciation of Zinc and Copper, PNEC Pro/BAT models also requires pH (calculated from electrical conductivity, magnesium, sodium, TP, O₂ and TOC), DOC and Calcium
- Thus VEMALA provides to the PNEC Pro /BAT models:
 - Zinc (Zn)
 - Nickel (Ni)
 - Copper (Cu)
 - DOC
 - Calcium (Ca)
 - pH
 - Electrical conductivity (EC)
 - Magnesium (Mg)
 - Sodium (Na)
 - Total Phosphorus (TP)



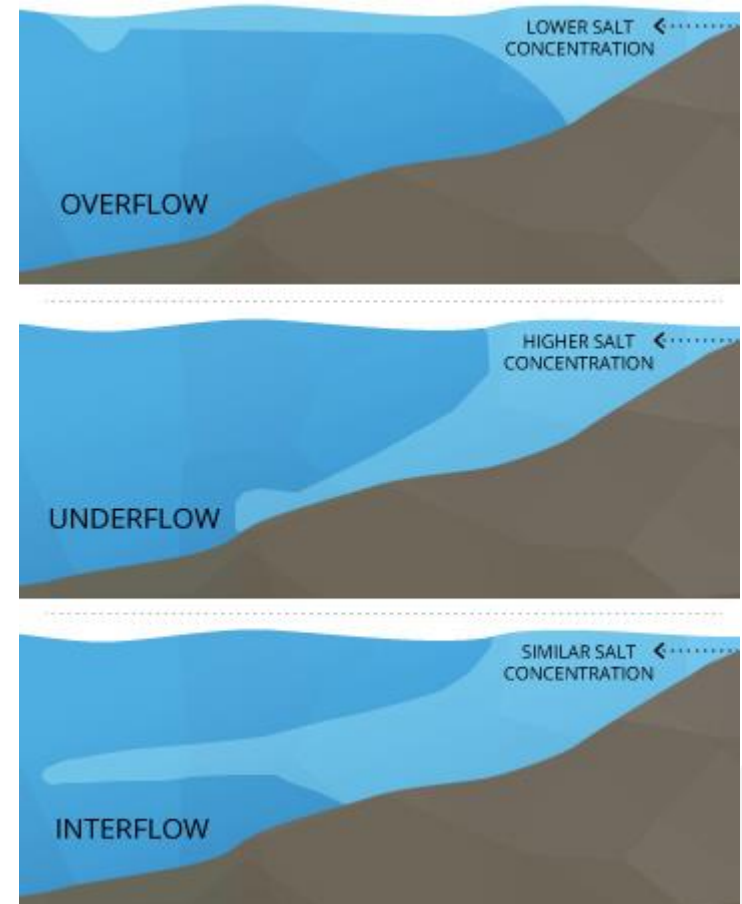
2-layer lake model

- Development of the 2-layer lake model to better simulate retention:
 - 0-2m: surface layer
 - 2-max depth: deep layer with sedimentation and mixing taken into account.
 - Thermocline at 2m depth: Mixing (↻) in Spring and Autumn depending on water temperature and diffusion (↕) taken into account



Lake inflow

- The salinity of an inflow can determine the mixing of the waters:
 - higher salinity inflow -> underflow
 - lower salinity inflow -> overflow
- This mixing mechanism has been implemented in VEMALA and directed either to the surface layer or the deep layer of a lake when a thermocline is present in the lake.



Transport and retention in rivers

- Each river stretch is simulated as fully mixed
- Average length 900 m
- Sedimentation and erosion of metals are connected to the processes of suspended solids
 - Transport capacity of the particulate fraction is a function of the water velocity in rivers
 - Erosion happens from uncompacted sediments at the bottom of the river stretch.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

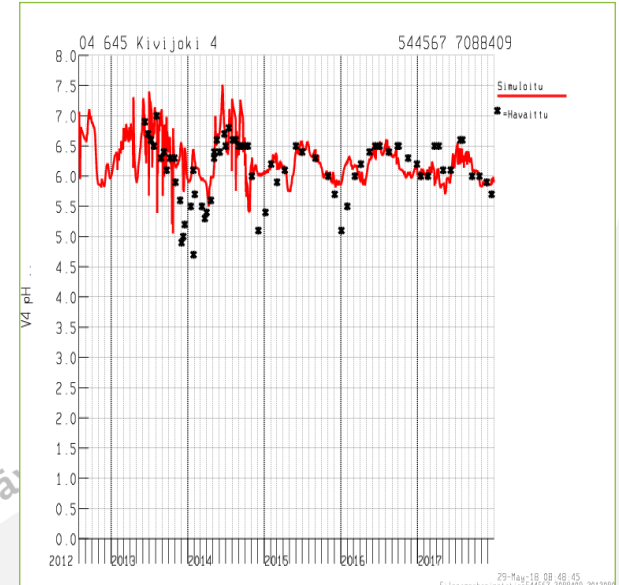
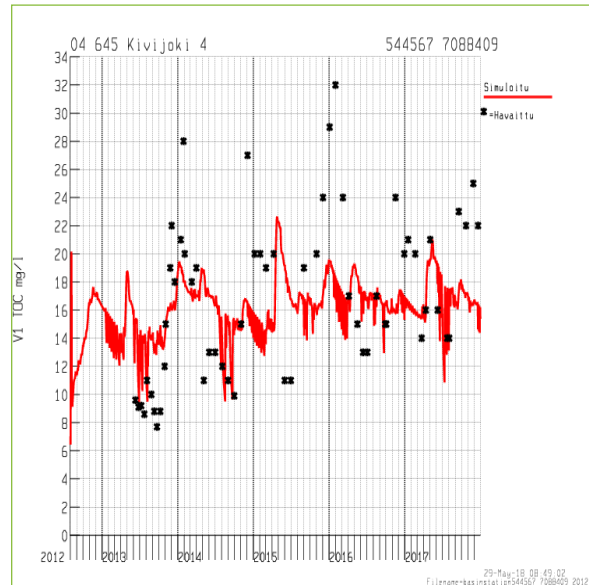
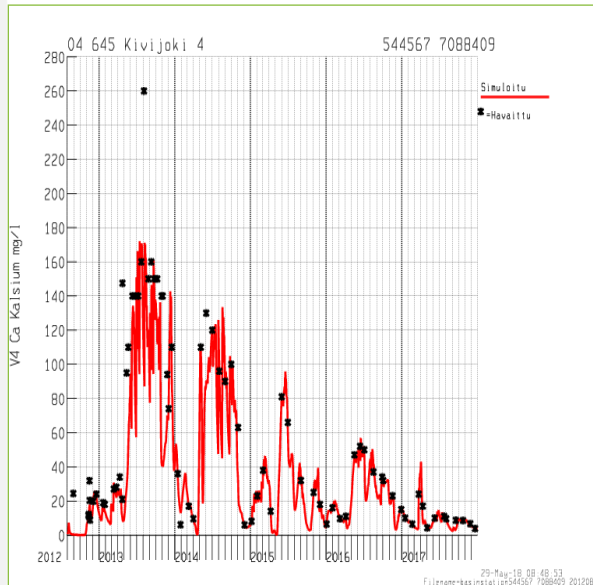
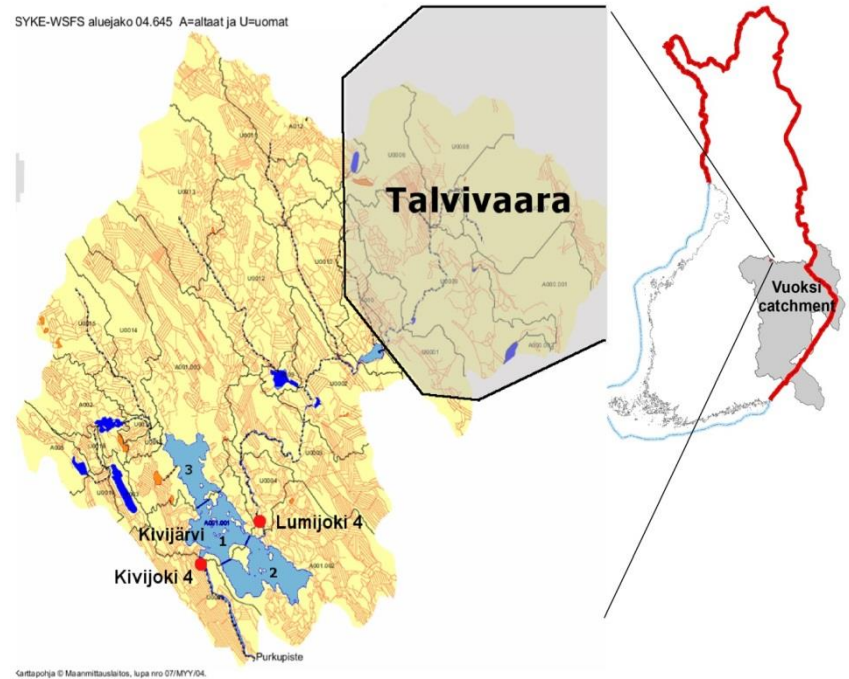
Limitations

- The scale of the application of the VEMALA model (whole Finland) requires a simplified simulation of lake processes
- However, large loading of mining effluents can require more detailed mixing processes. Thus, there are some limitations to the new 2-layer lake model:
 - Lake stratification cannot be predicted but can be simulated (no mixing, only diffusion)
 - Only 2 layers -> integration of the MyLake model to better simulate stratification and mixing.
 - 3D model (e.g. COHERENS) can be coupled to VEMALA to simulate the mixing more accurately

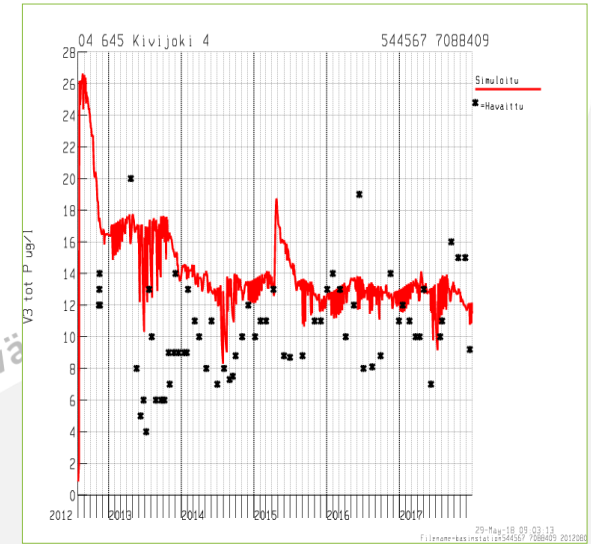
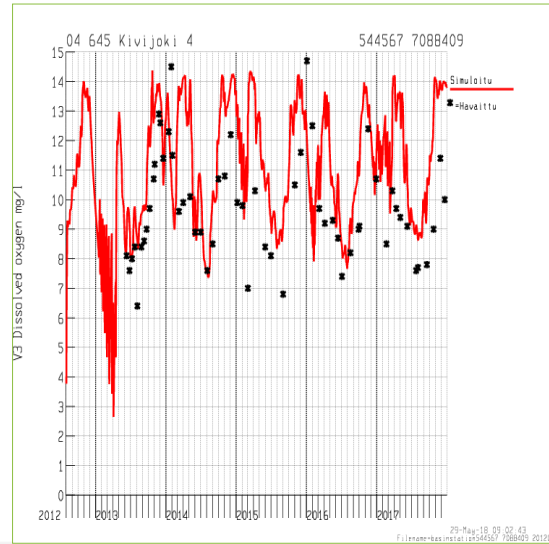
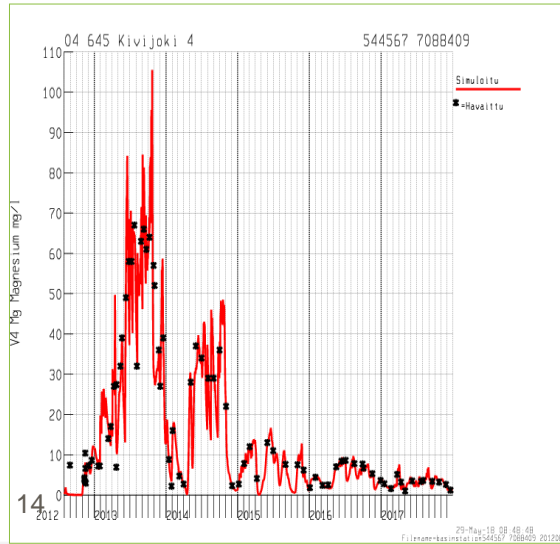
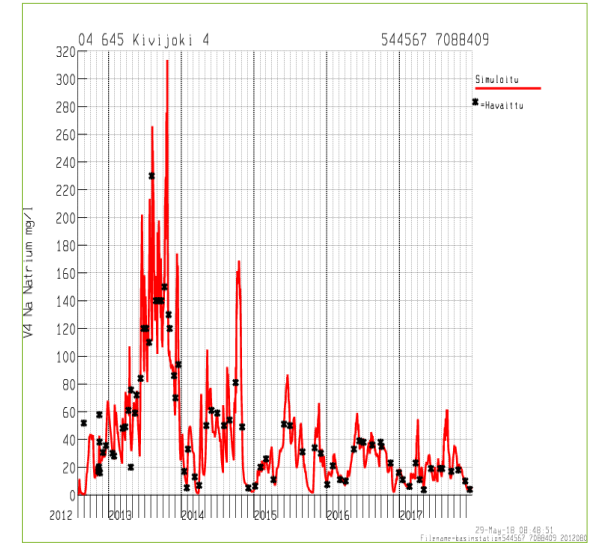
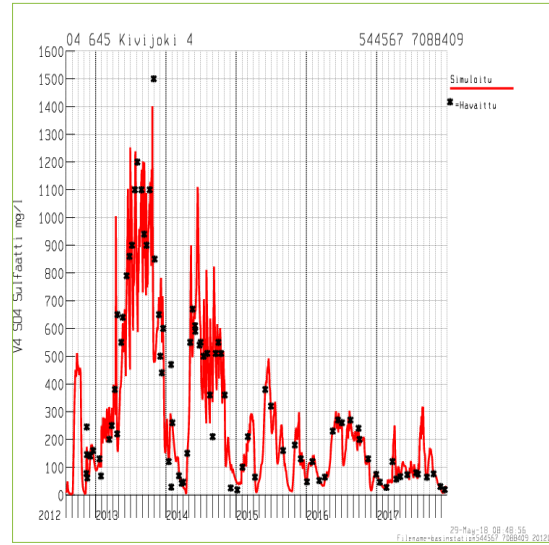
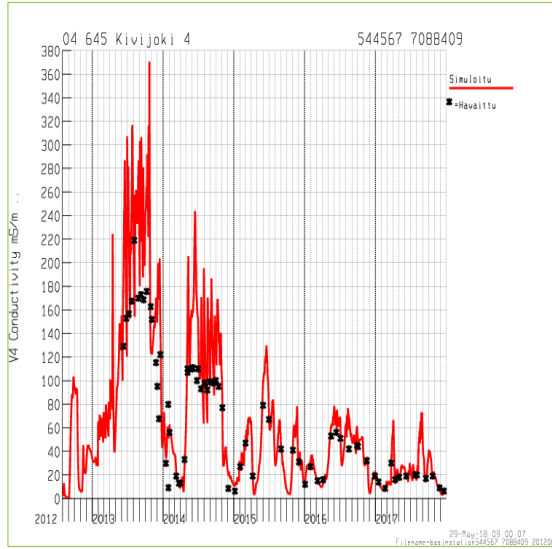
Kestävä kasvua ja työtä -ohjelma

Talvivaara mine

Simulation of the impact of the Talvivaara-Terrafame mining effluent on the water quality within the Vuoksi basin in Lumijoki, Kivijärvi and Kivijoki



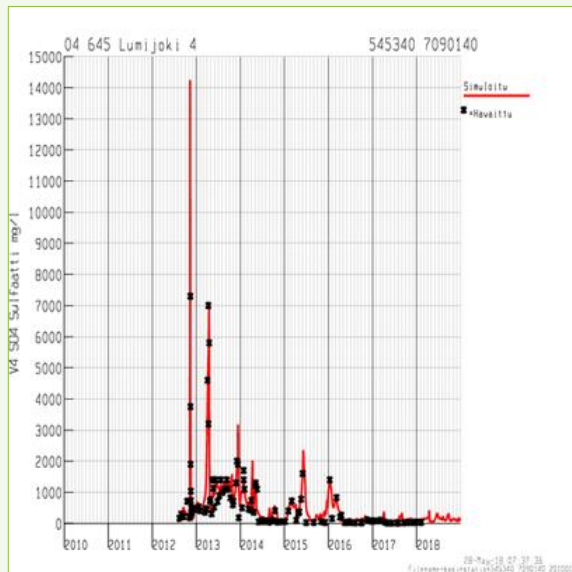
- Simulation of pH based on Electrical conductivity (based on the total dissolved solids: sulphate, calcium, magnesium, manganese, sodium...), total phosphorus, oxygen, sodium and magnesium
- $pH = 7.7 - 0.01231 * Mg - 0.00643 * Na + 0.008525 * cond - 0.07627 * O_2 - 0.05991 * TOC + 0.029996 * TP$



Sulphate simulations

Kivijärvi has been divided into 3 basins and 2 layers.

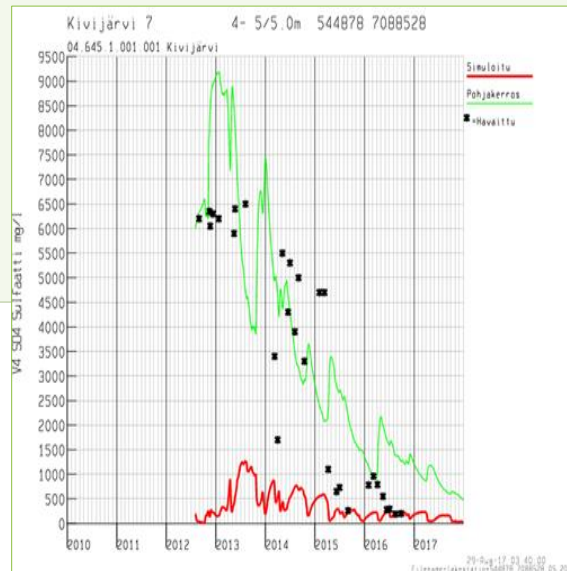
Kivijärvi Epilimnion



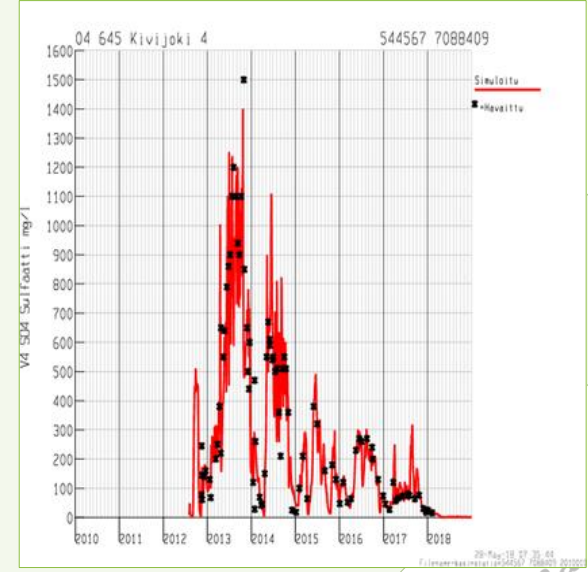
Lumijoki 4
(Upstream)

Kivijärvi Hypolimnion

Markus Huttunen ja Marie Korppoo



Kivijoki 4
(Downstream)



Estävää kysymä jättyä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

PNEC Pro/BAT models

Biotic ligand models predict the toxicity of heavy metals under various environmental conditions, by predicting the safe dissolved metal concentrations (Me⁺ HC5s) in those circumstances.

- PNEC Pro model:
 - Nickel: $Ni+HC_{5s}=122.08+1.38*[DOC]-16.44*pH+0.12*[Ca]$
 - Zinc: $Zn+HC_{5s}= -52.2+1.53*[DOC]+7.42*pH+0.06*[Ca]$
 - Cu: $Cu+HC_{5s}= 62.6+2.74*[DOC]-6.38*pH-0.23*[Ca]$
- BAT model for Cu and Ni only

Annex 1. Algorithm from the CuBAT

$HC_5(Cu) = A * DOC^B$
The HC5 is in the units of $\mu g L^{-1}$. DOC: $mg L^{-1}$. Ca: $mg L^{-1}$
Where:

$$A = A_0 * pH^{A1} * Ca^{A2} + A_1 * pH^{A3} * Ca^{A4} + A_2 * pH^{A5} + A_3 * pH^{A6} * Ca^{A7} + A_4 * pH^{A8} * Ca^{A9} + A_5 * pH^{A10} + A_6 * Ca^{A11} + A_7 * Ca^{A12}$$

$$B = B_0 * pH^{B1} * Ca^{B2} + B_1 * pH^{B3} * Ca^{B4} + B_2 * Ca^{B5} + B_3 * Ca^{B6} + B_4$$

The values of these coefficients are dependent on whether Ca is greater than or less than $6 mg L^{-1}$

	If Ca < 6 mg L ⁻¹	If Ca > 6 mg L ⁻¹
A32	0.007098	-2.44051E-06
A31	-0.03879	0.001488681
A30	0.045889	0.085218353
A22	-0.18924	-4.94866E-05
A21	0.844229	-0.030123758
A20	-1.14588	-2.755898334
A12	1.23624	-0.00011114
A11	-7.81038	0.191105459
A10	8.499675	27.19433593
A02	-3.81348	0.000632693
A01	-71.5243	-0.38144968
A00	-24.0449	-81.85965156
B12	-0.00263	0
B11	0.819788	0
B10	-0.02091	0.032538
B02	0.019243	0
B01	-0.11296	-0.00096
B00	1.446186	0.004907

Development and use of the nickel bioavailability assessment tool



APPENDIX. ALGORITHM FROM THE NiBAT

The equation for the estimation of the Ni HC5 using the BAT tool is displayed below:

$$= -0.56967982318224 * pH^3 + -0.546442220881186 * pH^2 * DOC + 0.017873574212145 * pH^2 * Ca + 13.9139170475463 * pH^2 + 0.000677478793063272 * pH * DOC^2 + -0.00235133997132463 * pH * DOC * Ca + 8.1312683310178 * pH * DOC + 0.000743787798609306 * pH * Ca^2 + -0.408903859243256 * pH * Ca + -114.841714537138 * pH + 0.0000207135900987445 * DOC^3 + 0.0000263556571728847 * DOC^2 * Ca + -0.00768857333627623 * DOC^2 + 0.000389205532491767 * DOC * Ca^2 + -0.0245331646917477 * DOC * Ca + -28.075457573396 * DOC + -0.000600450945465155 * Ca^3 + 0.00124576134400644 * Ca^2 + 1.98617171918137 * Ca + 322.209425623404$$

This is the equation that sits in the MBAT and is what will be incorporated into the Environment Agency's National Laboratory Service information system.

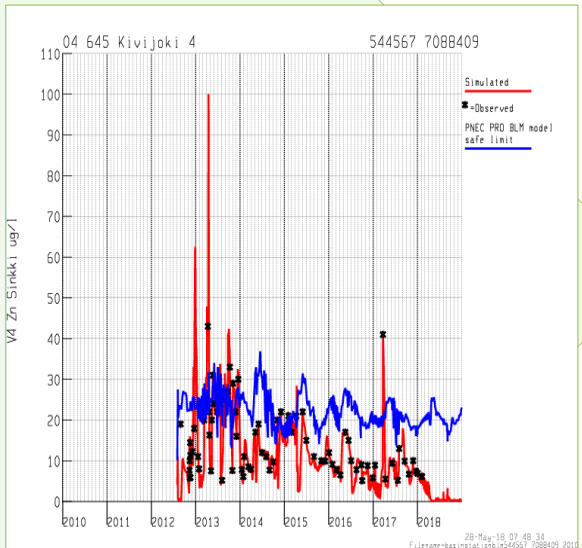
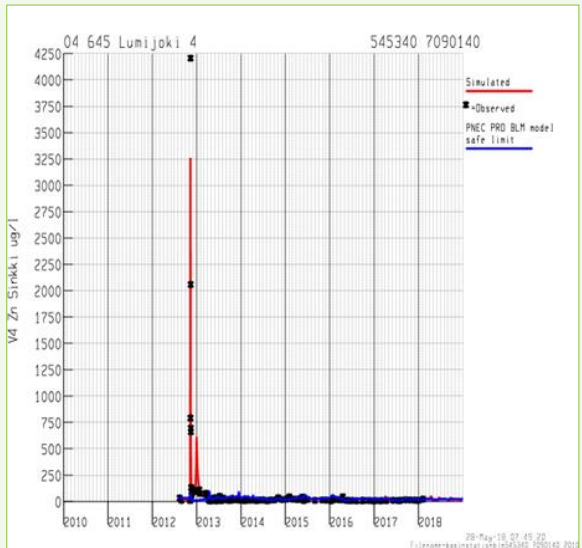
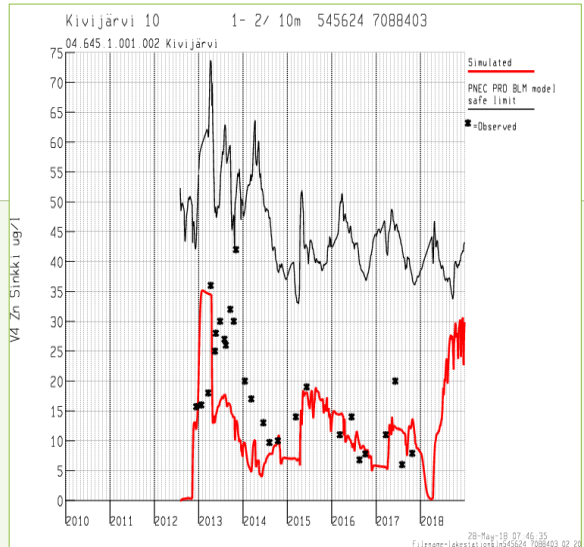
stävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Zinc simulations

Kivijärvi Epilimnion



Lumijoki 4
(Upstream)

Kivijärvi Hypolimnion

Kivijoki 4
(Downstream)

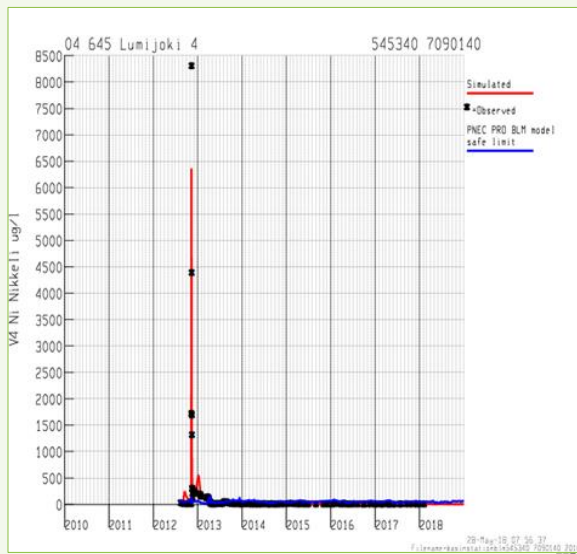
Markus Huttunen ja Marie Korppoo

Vipuvoimaa
EU:lta
2014-2020

Euroopan unioni
 Euroopan aluekehitysrahasto

Nickel simulations

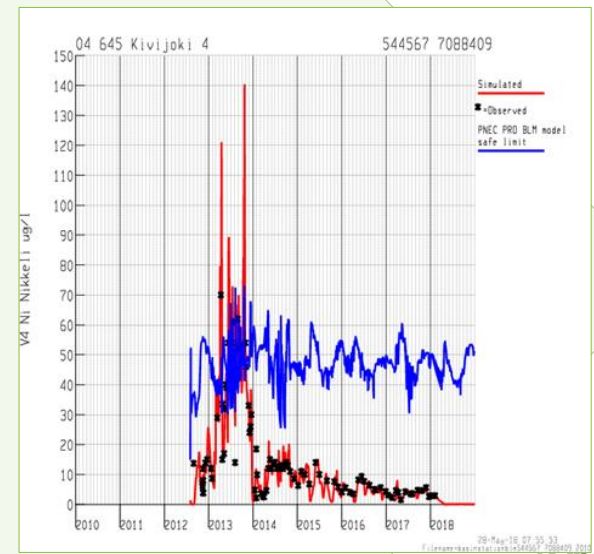
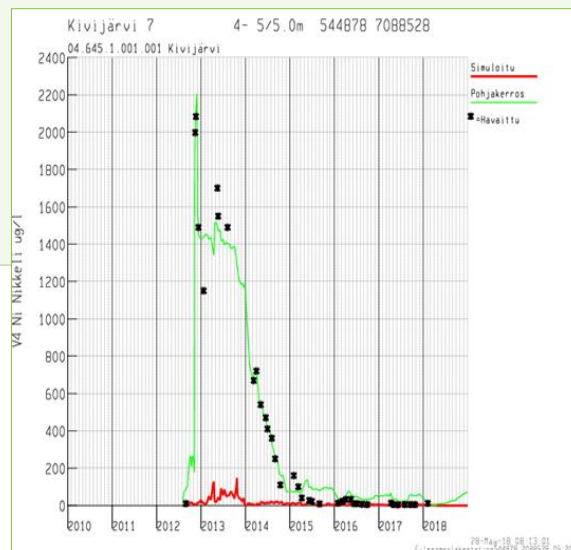
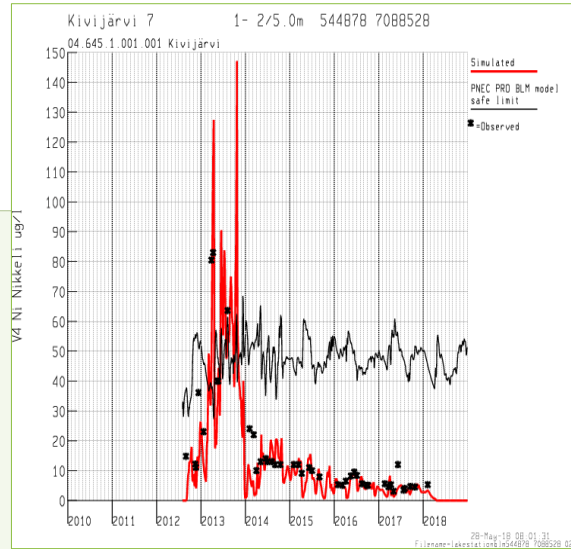
Kivijärvi Epilimnion



Lumijoki 4
(Upstream)

Kivijärvi Hypolimnion

Markus Huttunen ja Marie Korppoo

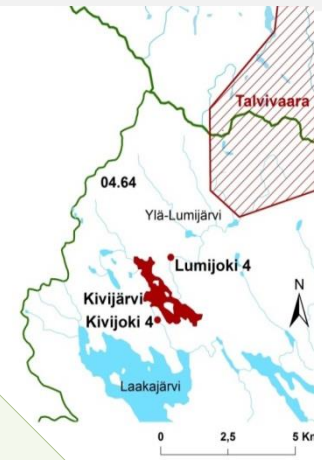


Kivijoki 4
(Downstream)

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

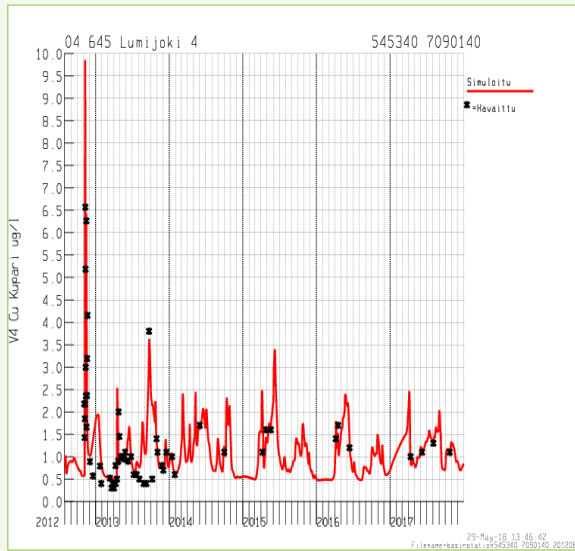


Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto



Copper simulations

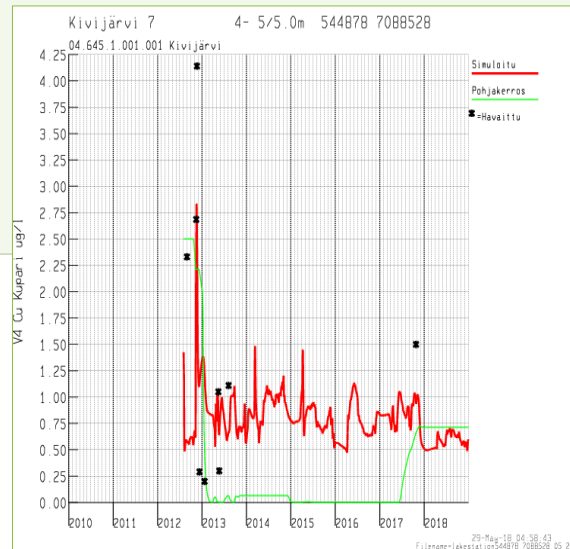
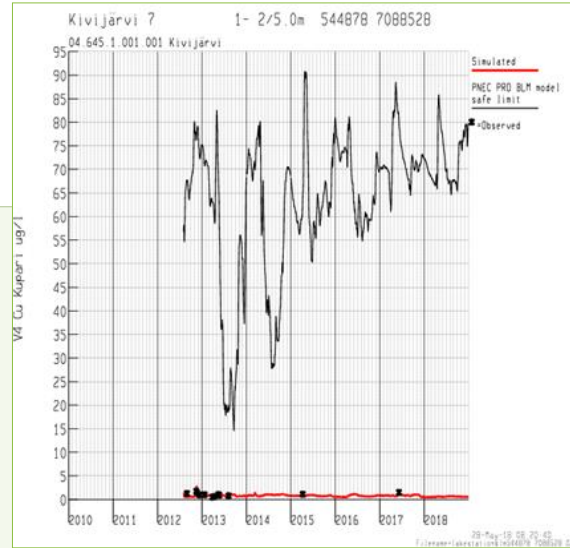
Kivijärvi Epilimnion



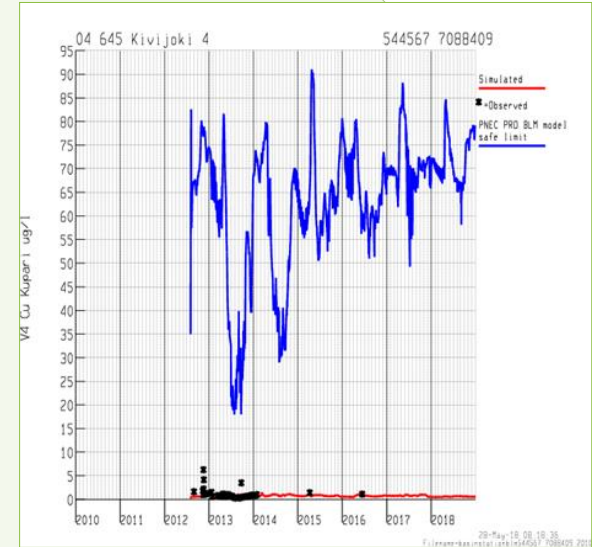
Lumijoki 4
(Upstream)

Kivijärvi Hypolimnion

Markus Huttunen ja Marie Korppoo



Kivijoki 4
(Downstream)



...tävää (kysymä jättyä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

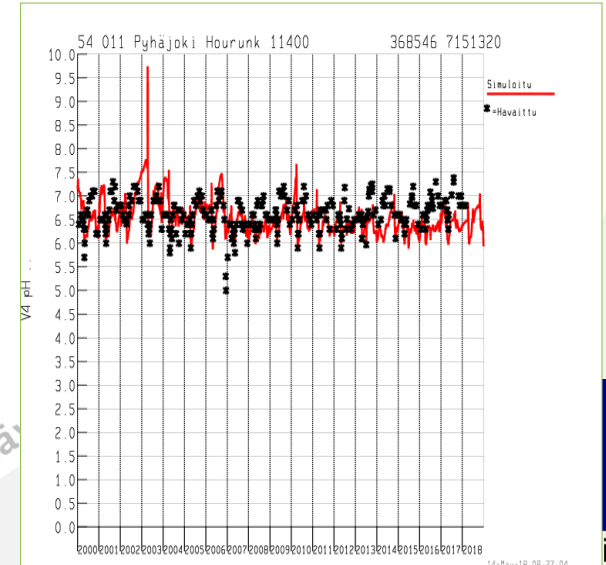
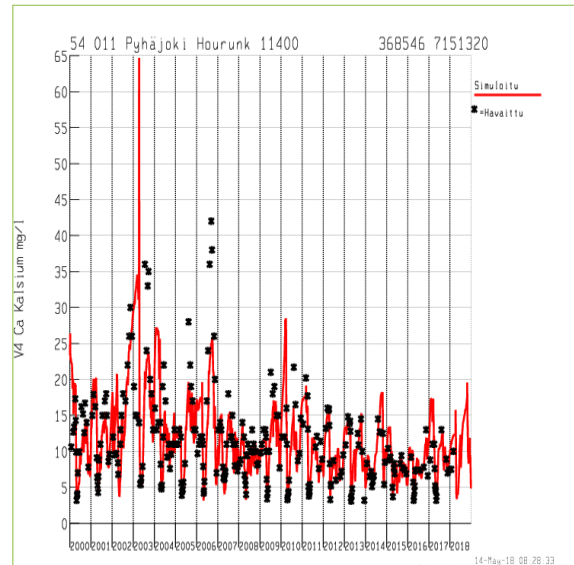
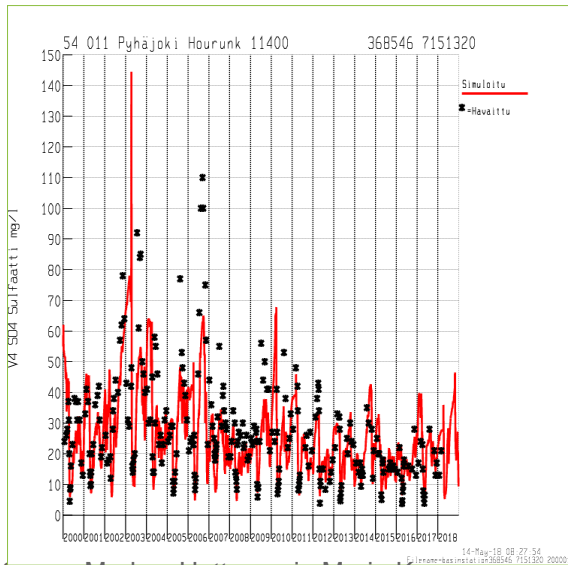
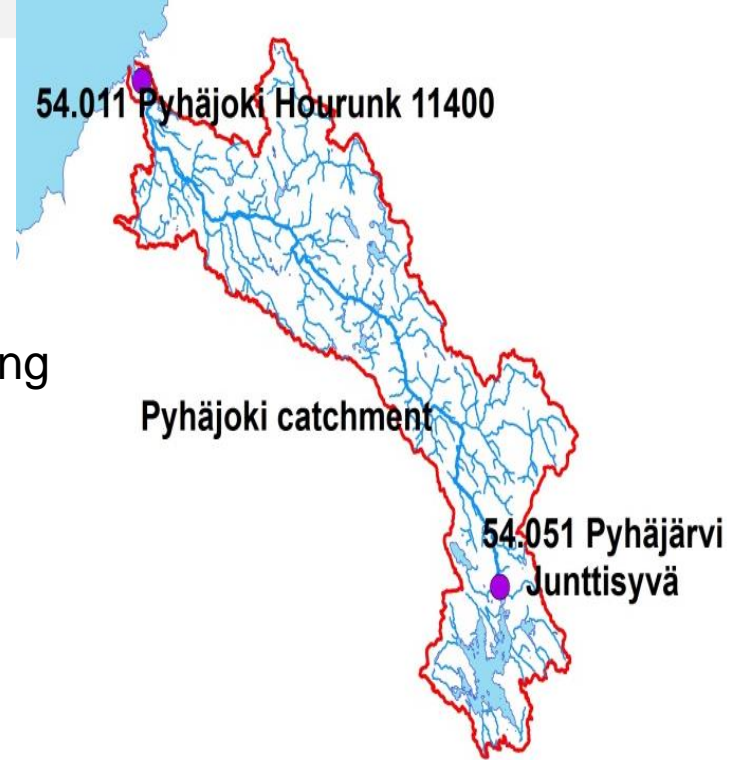


Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Pyhäsälmi mine

- Simulation of the impact of the Pyhäsälmi mining effluent on the water quality within the whole Pyhäjoki basin.
- Zinc and Copper

54.011 Pyhäjoki Hourunk 11400



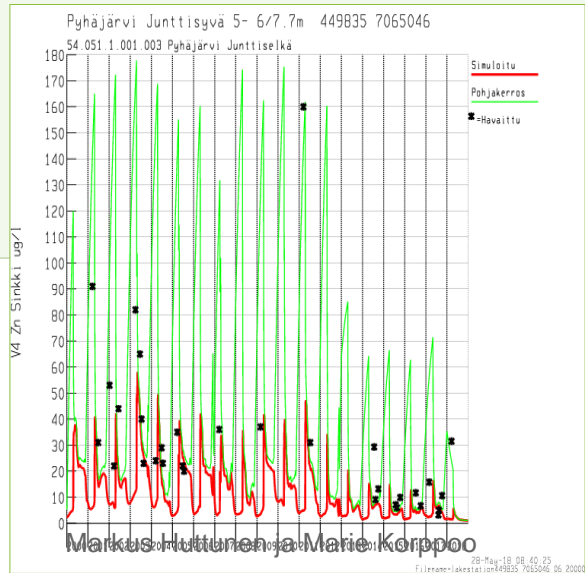
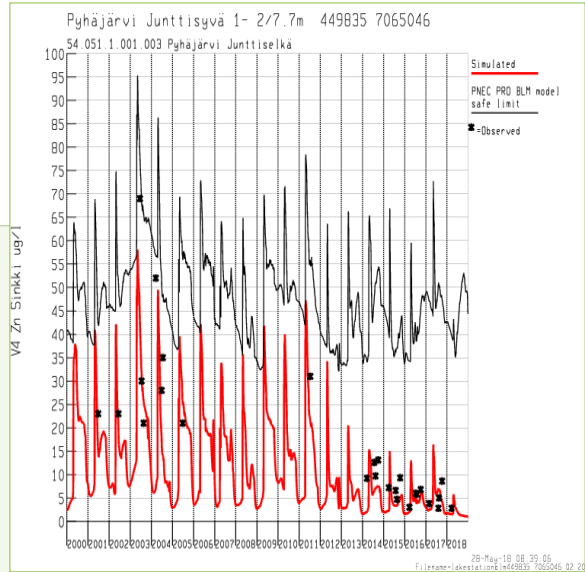
Zinc simulations

54.011 Pyhäjoki Hourunk 11400

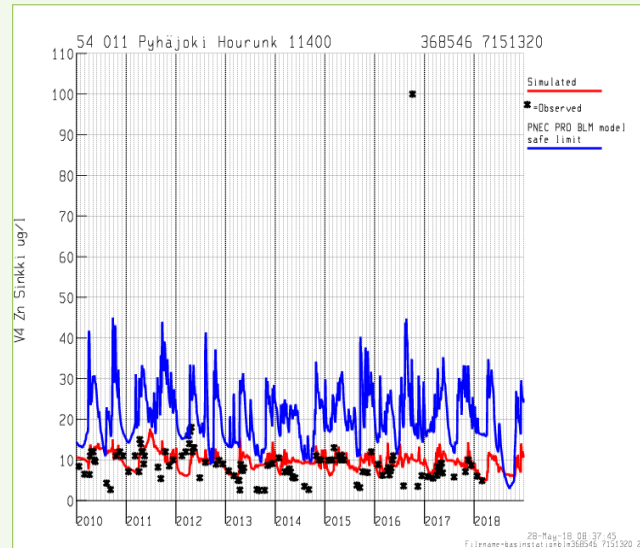
Pyhäjoki catchment

54.051 Pyhäjärvi Junttisyvä

Epilimnion



Hypolimnion



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

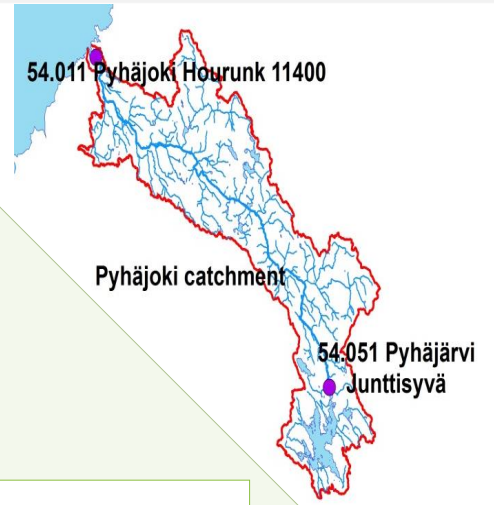


Copper simulations

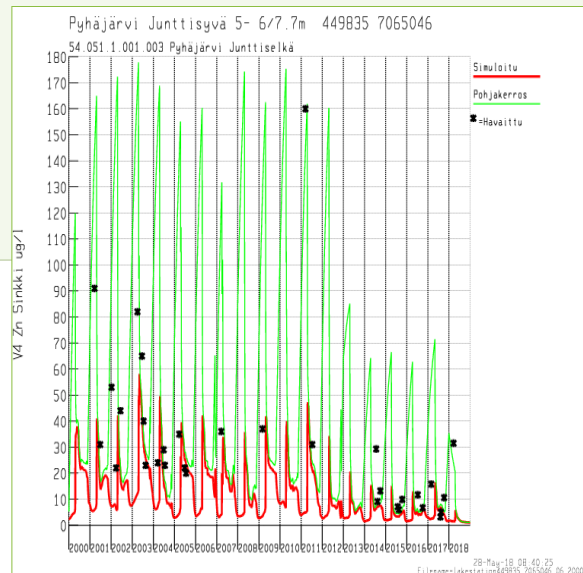
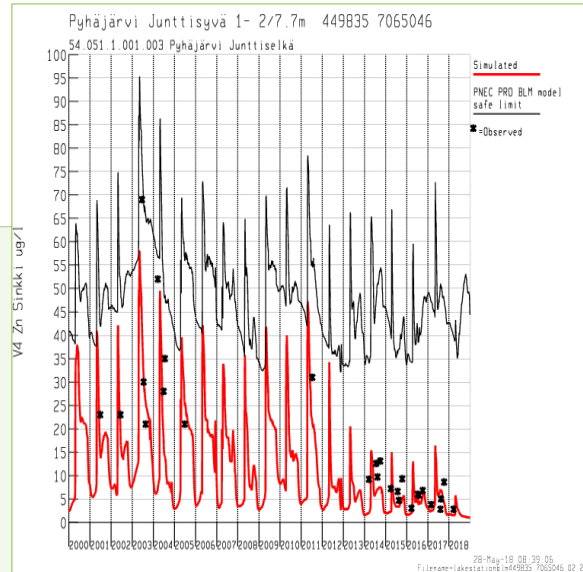
54.011 Pyhäjoki Hourunk 11400

Pyhäjoki catchment

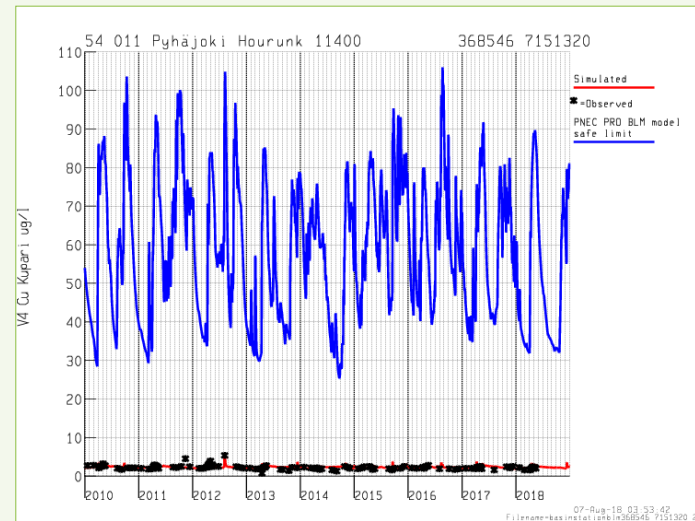
54.051 Pyhäjärvi Junttisyvä



Epilimnion



Hypolimnion



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



Loading data

- Vahti and YLVA-database



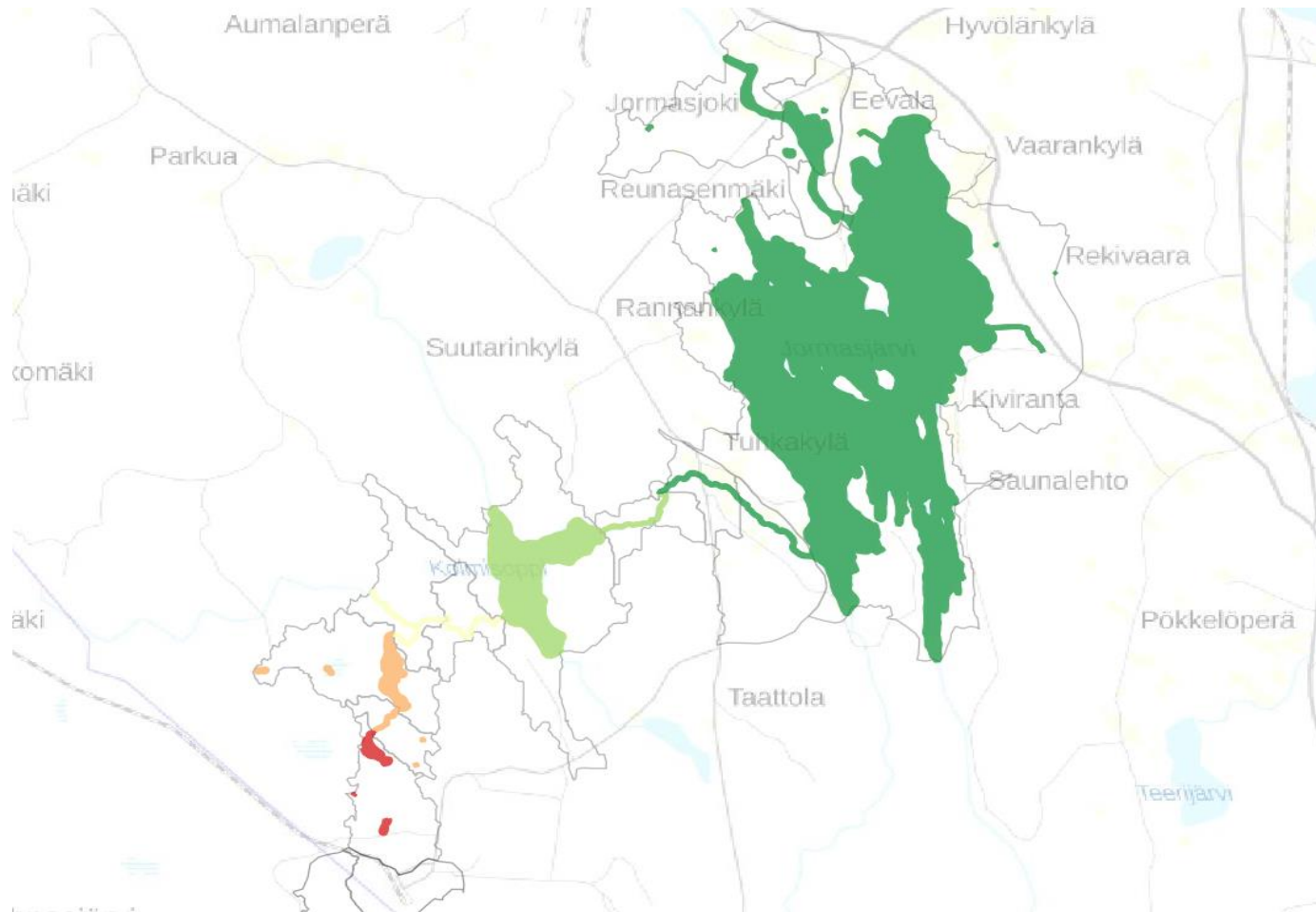
Kuva 18. Asiakaskohtaisten tietojen poiminta (KuntaVAHTI-käyttöliittymä).

- Natural background load
 - Calibrated by river observations
 - Includes also other human sources (not in VAHTI or YLVA)
- Accidental leaks
 - Estimated loading for Talvivaara 2012 case
- Vemala simulation can also be applied for estimating input loading

Päästöjen kulkeutumisen visualisointi

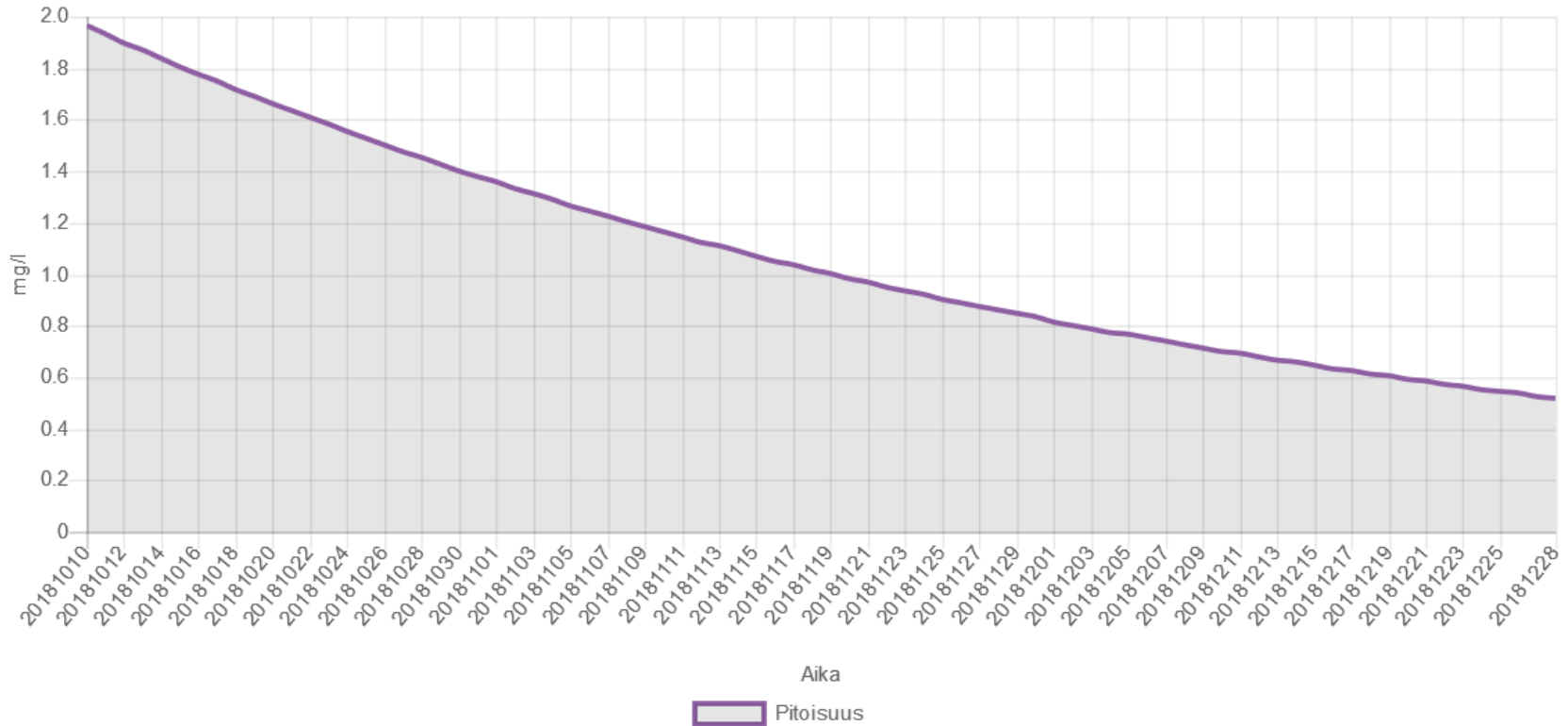
- Kaihali-projektin yhteydessä tehdään interaktiivinen selainpohjainen työkalu, jolla voi visualisoida päästöjen kulkeutumista ja laimenemista joki-järviverkossa.
- Kun käyttäjä klikkaa haluttua kohtaa kartalla ja asettaa päästön suuruuden, niin sovellus näyttää minne päästöt kulkeutuvat ja maksimipitoisuudet kussakin vesimuodostelmassa. Lisäksi kun käyttäjä klikkaa tiettyä vesimuodostelmaa, niin sovellus näyttää miten pitoisuudet laimenevat ajan funktiona juuri kyseisessä vesimuodostelmassa.
- Sovellus käyttää VEMALA:n aluejakoa ja uoma-järviverkkoa.
- Sovellus valmistuu vuoden loppuun mennessä ja on vapaasti käytettävissä VEMALA:n sertifikaattiasiakkaille

Karttakäyttöliittymä esimerkki

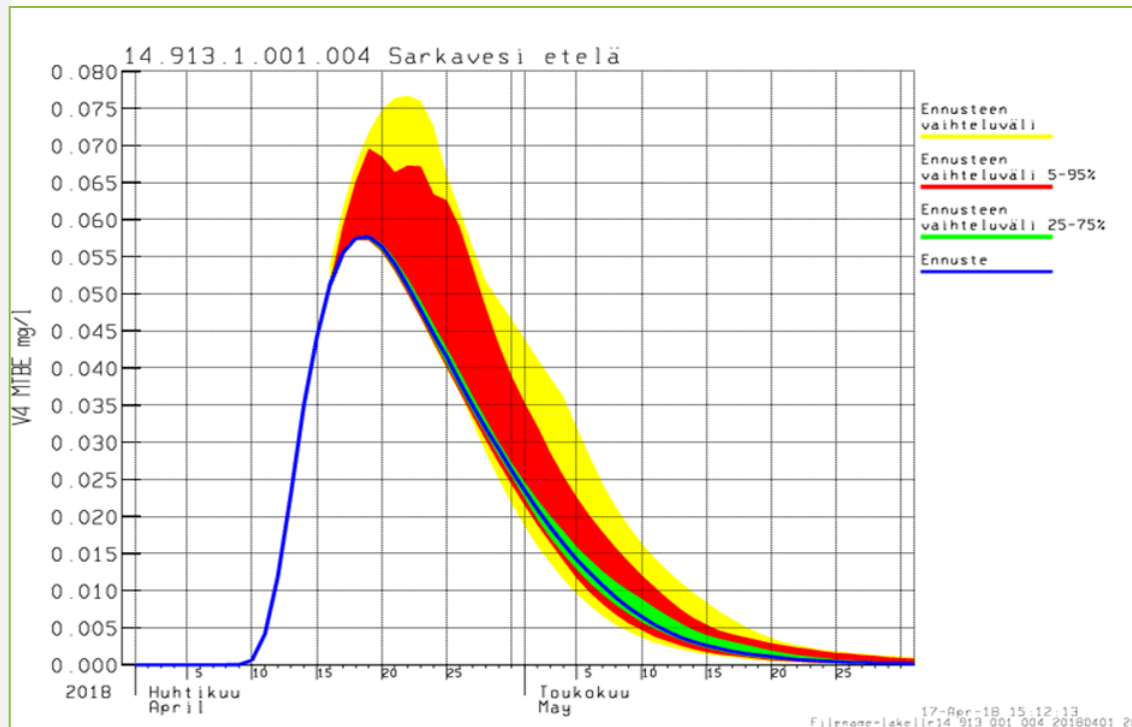
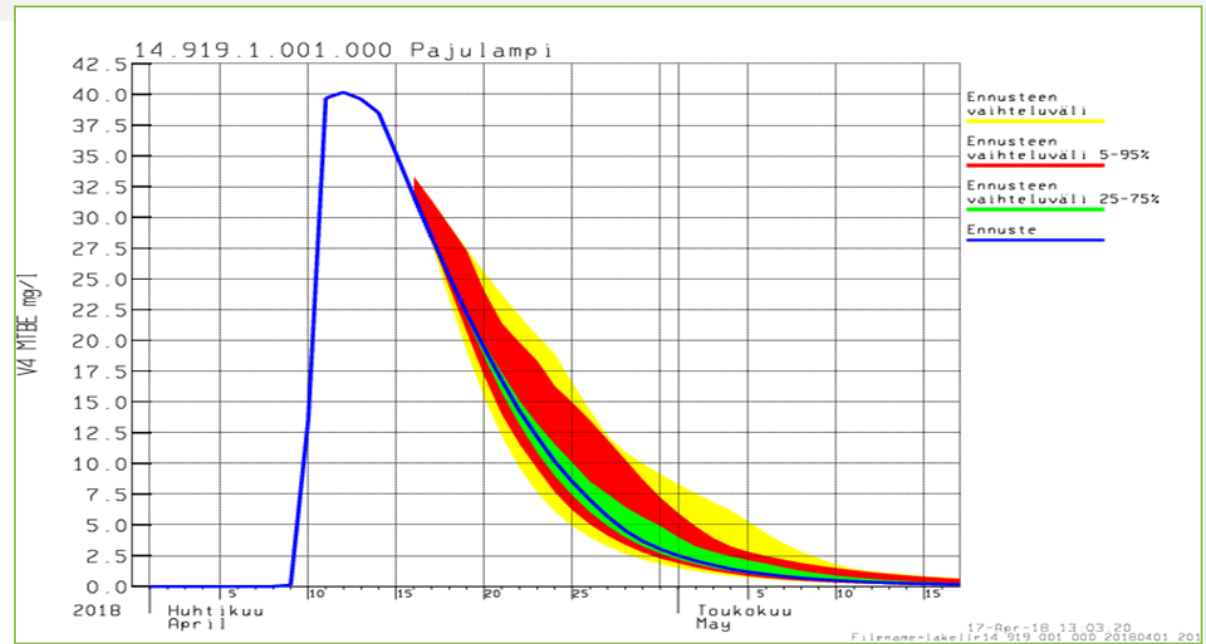


Pitoisuus ajan funktiona

Pitoisuus mg/l



MTBE ennuste 16.4.2018 Mäntyharju



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

VEMALAn käyttö:

- Reaaliaikaiset laskentatulokset VEMALAn käyttöliittymässä
- Karttatyökalulla kulkeutumisen simulointi keskimääräisessä virtaamatilanteessa:
 - VEMALAn käyttöliittymän kautta
- VEMALA simuloinnit VEMALA ryhmän tekeminä
 - Jatkossa mahdollista saada VEMALA simulointiympäristö osaksi VEMALA käyttöliittymää



Yhteenveto

- Kulkeutumisen ja laimenemisen VEMALA mallinnus vesistössä:
 - Onnettomuus tms. päästön reaaliaikainen ennuste
 - Oli käytössä Mäntyharjun MTBE päästössä keväällä 2018
 - Normaalin kuorman vaikutuksen simulointi
 - Suunnittelukäyttö: tietynsuuruisen kuorman vaikutus alapuolisessa vesistössä erilaisissa vesitilanteissa
 - Karttapohjainen pitoisuuksien esitys ja laskentatyökalu
- VEMALA linkitettävissä tarkempaan järvimalliin:
 - MyLake malli integroitavissa osaksi VEMALAA
 - Järven 3D malli (Esim. COHERENS) linkitettävissä VEMALA simulointiin:
 - Syöte järveen VEMALASTA, 3D laskennan tulos syötteenä VEMALAA

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



- markus.huttunen@ymparisto.fi
- marie.korppoo@ymparisto.fi
- tapani.rousi@ymparisto.fi

