

KAJAK 4

ORIJÄRVEN KAIVANNAISJÄTE- ALUEEN RISKINARVIOINTI

MUTKU-PÄIVÄT 22.9.2021

GTK: Anna Tornivaara, Kaisa Turunen, Tatu Lahtinen

SYKE: Jussi Reinikainen

Envineer Oy: Niko Karjalainen, Matias Viitasalo



AGENDA

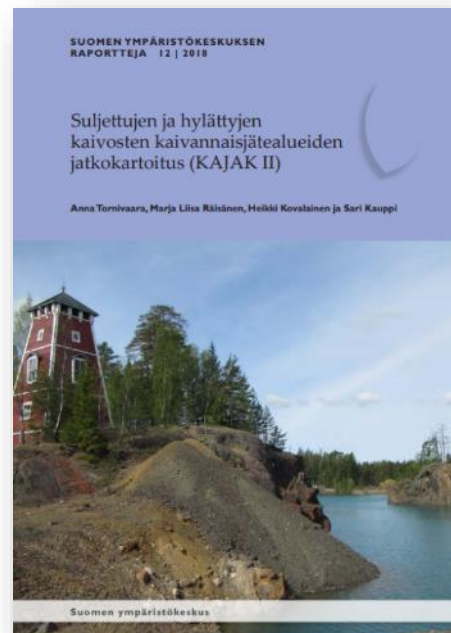
- Tausta
 - KAJAK
 - Orijärvi
- Kenttätutkimus
- Mallinnus
- Riskinarviointi
- Johtopäätökset



AIKAJANA

EU:N NK. KAIVANNAIS- JÄTEDIREKT. (2006/21/EY)

Velvoite kansalliseen luettelointiin
vanhojen kaivannaisjätealueiden
riskikohteista 1.5.2012



KAJAK2



YM

POPELY, GTK,
 SYKE

Talvi 2018



KAJAK4

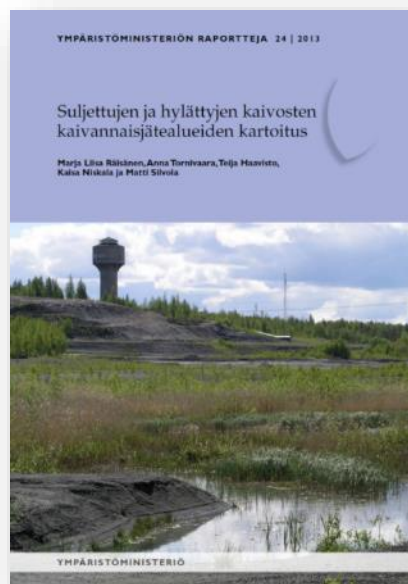


PIRELY
(maap. kuntoon)



GTK, SYKE,
Envineer Oy

Kevät 2021



KAJAK1



YM



KAIELY,
GTK, SYKE

Talvi 2013



KAJAK3



YM, GTK, SYKE,
Kaivosteollisuus ry

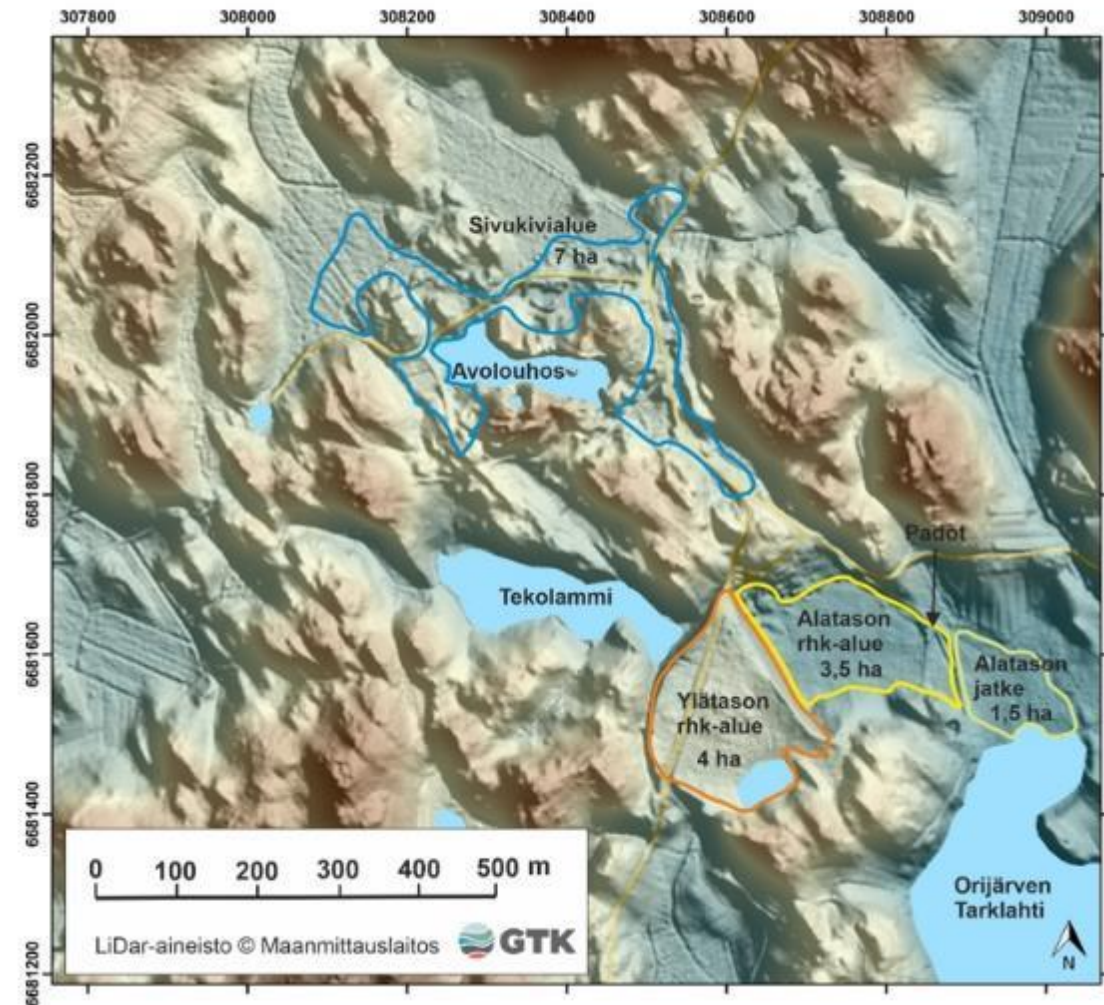


GTK, SYKE,
Envineer Oy

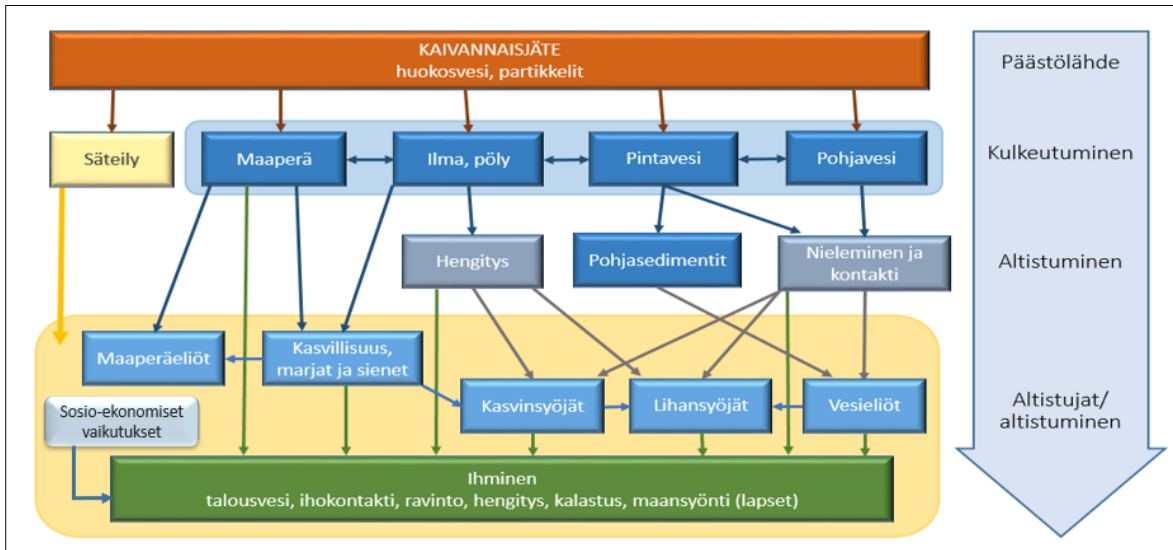
Syksy 2020

ORIJÄRVI PÄHKINÄNKUORESSA

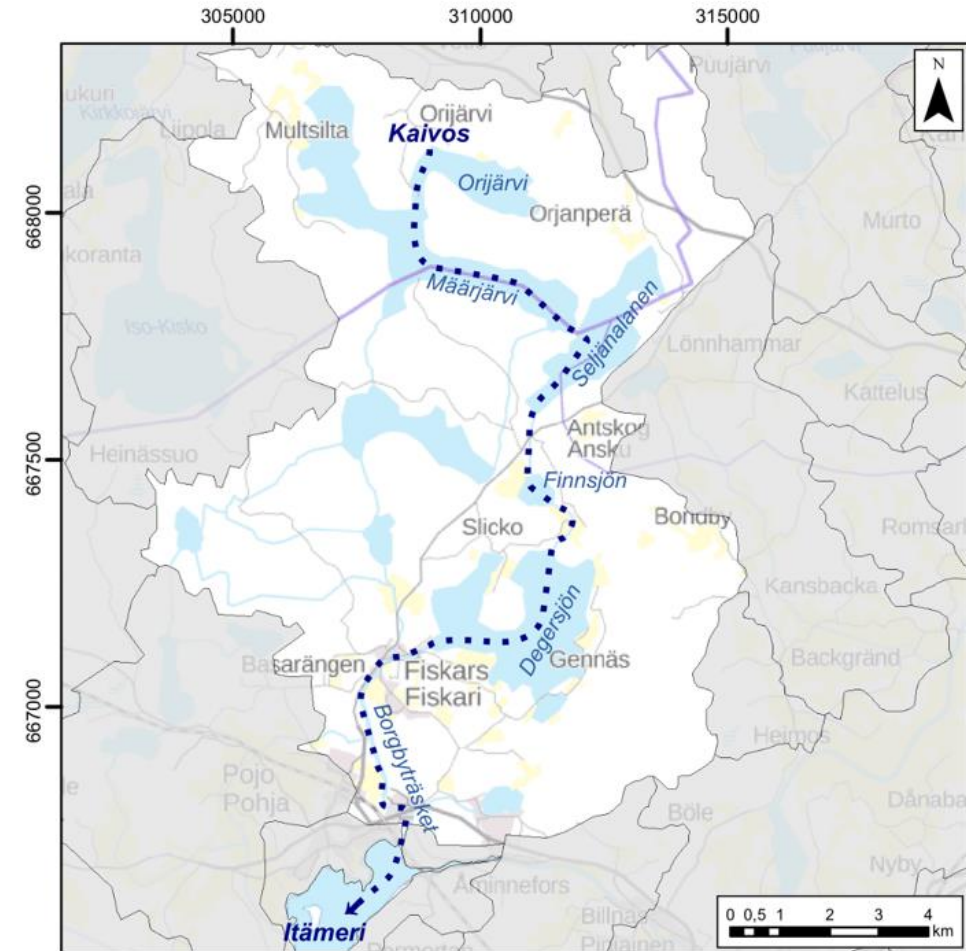
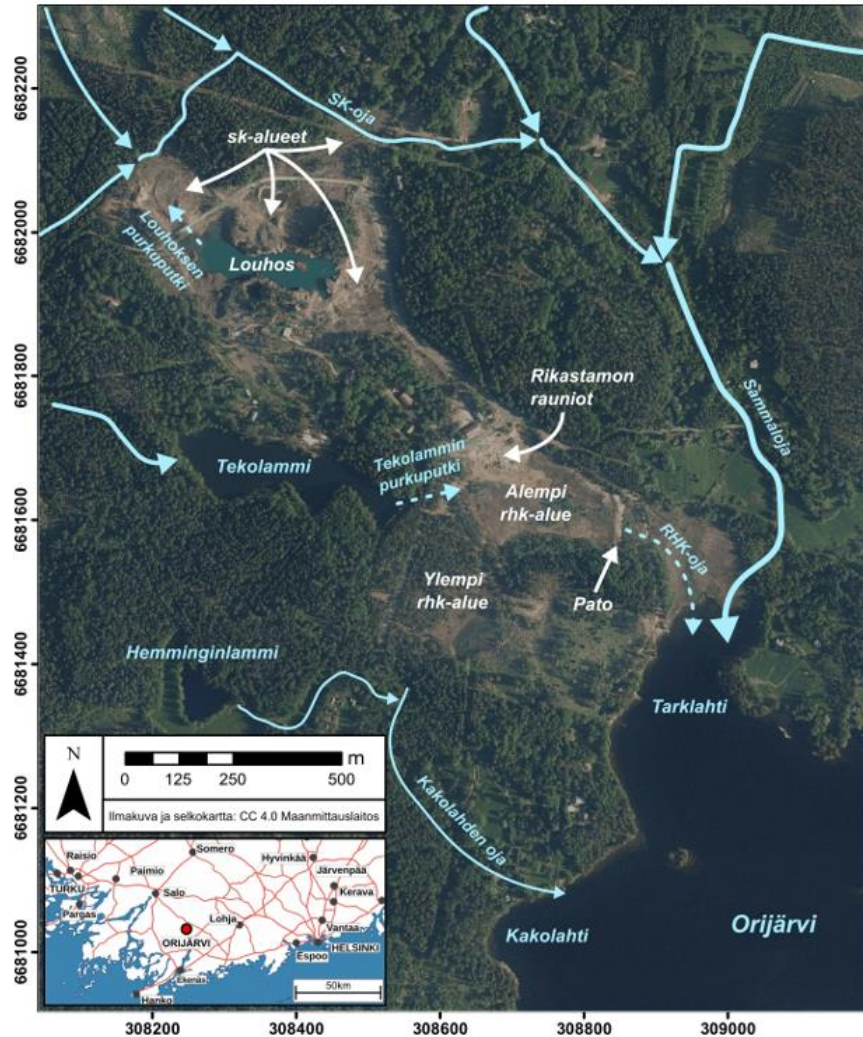
- Sulfidimalmikaivos (Cu, Zn, Pb)
- Kaivos toiminut 1757-1956
- Ei varsinaisesti suljettu
- Läjitetty rikastushiekkaa n. 1 Mt ja sivukiviä n. 0,5 Mt
- Jätealueella suotavat pohjat
- Ei varsinaisia peittorakenteita
- Vedenlaatua seurattu 1960-luvulta lähtien
 - Purojen vesi paikoin jopa pH 3:n tienoilla
 - Kohonneita Zn-, Cu-, Pb- ja Cd-pitoisuuksia
 - Ei pohjavesialuetta
 - Rhk-alue yhteydessä Orijärveen (1,8 km²)
 - Orijärveen kuormitusta kaivannaisalueelta
 - Järven metallipitoisuudet koholla ja piilevälajisto suppea



ORIJÄRVEN KAIVOKSEN KÄSITTEELLINEN MALLI



KAIVOKSEN VALUMA-ALUE JA PINTAVEDET



Kuva 8. Kartta Fiskarsinjoen 3. jakovaiheen valuma-alueesta, johon Orijärven kaivos kuuluu. Veden päävirtausreitti kaivokselta Itämeren Pohjanpitäjänlahteen on esitetty kartassa sinisellä katkoviivalla. Muut ympäröivät 3. jakovaiheen valuma-alueet on esitetty harmaalla. Taustakartta: MML. Valuma-alueiden rajat: SYKE.

KIINNOSTAVAT KOHTEET MÄÄRITETTY: KENTTÄTYÖT

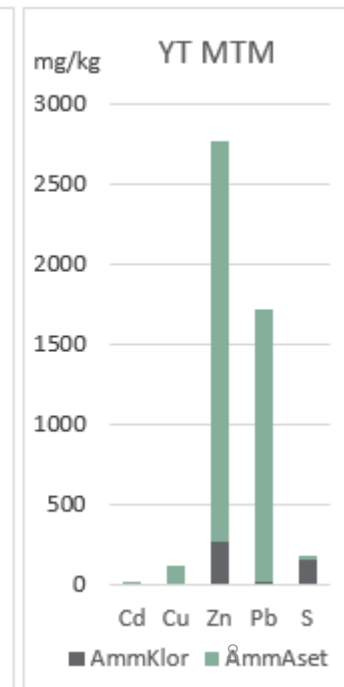
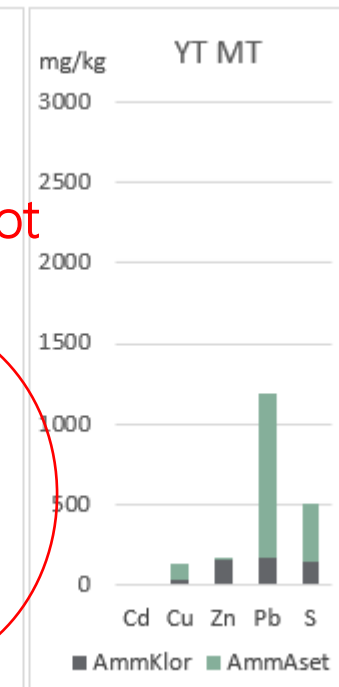
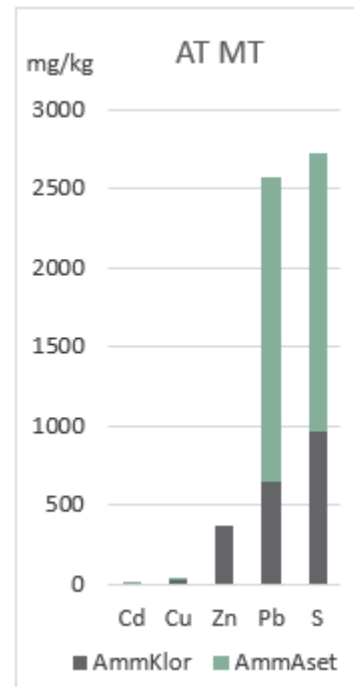
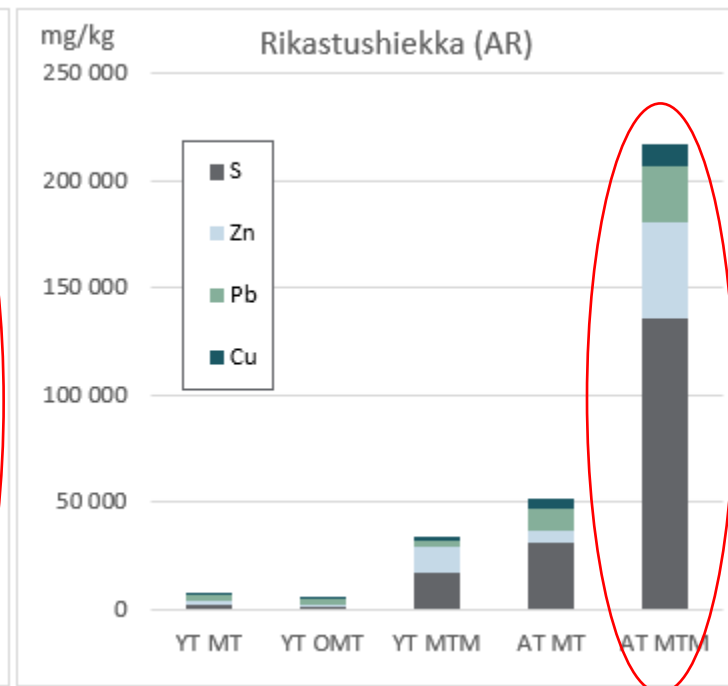
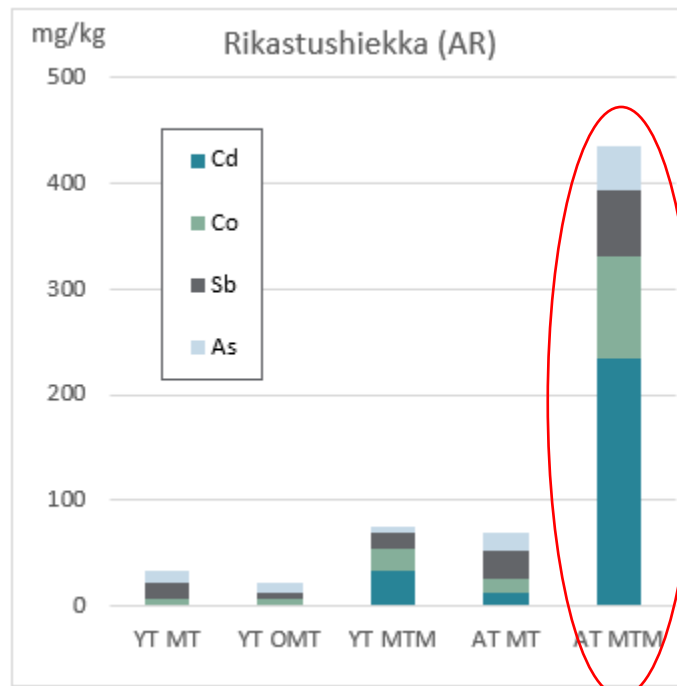
- Maastokatselmus
 - Kaivannaisjätealueiden laajuus
 - Purot ja virtaamat
- Näytteenottoa:
 - Sivukivi, rikastushiekka
 - Puro-/ojasedimentti
 - Pintavedet (purot, järvi, lämpäreet ja avolouhos)
 - Pohjavesi
- Pintavesien fysikaaliset parametrit ja geokemia
- Virtausmittaukset
- Muiden tutkimukset mm.
 - Vesinäytteitä, piilevätutkimuksia
 - Maaperänäytteitä



RIKASTUSHIEKKA

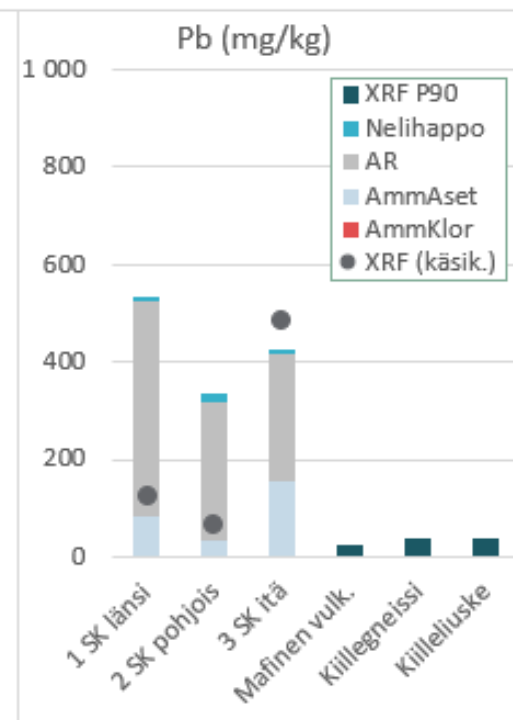
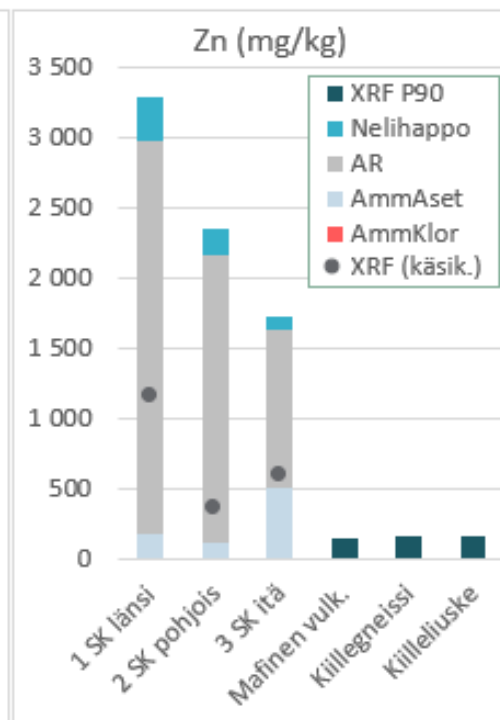
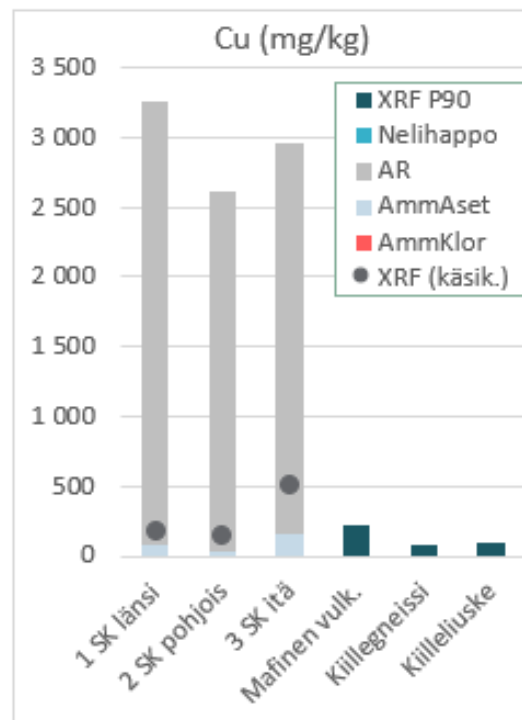


AT:alataso, YT:ylätaso, MT:muuttunut, MTM:muutumaton



Heikkouutot

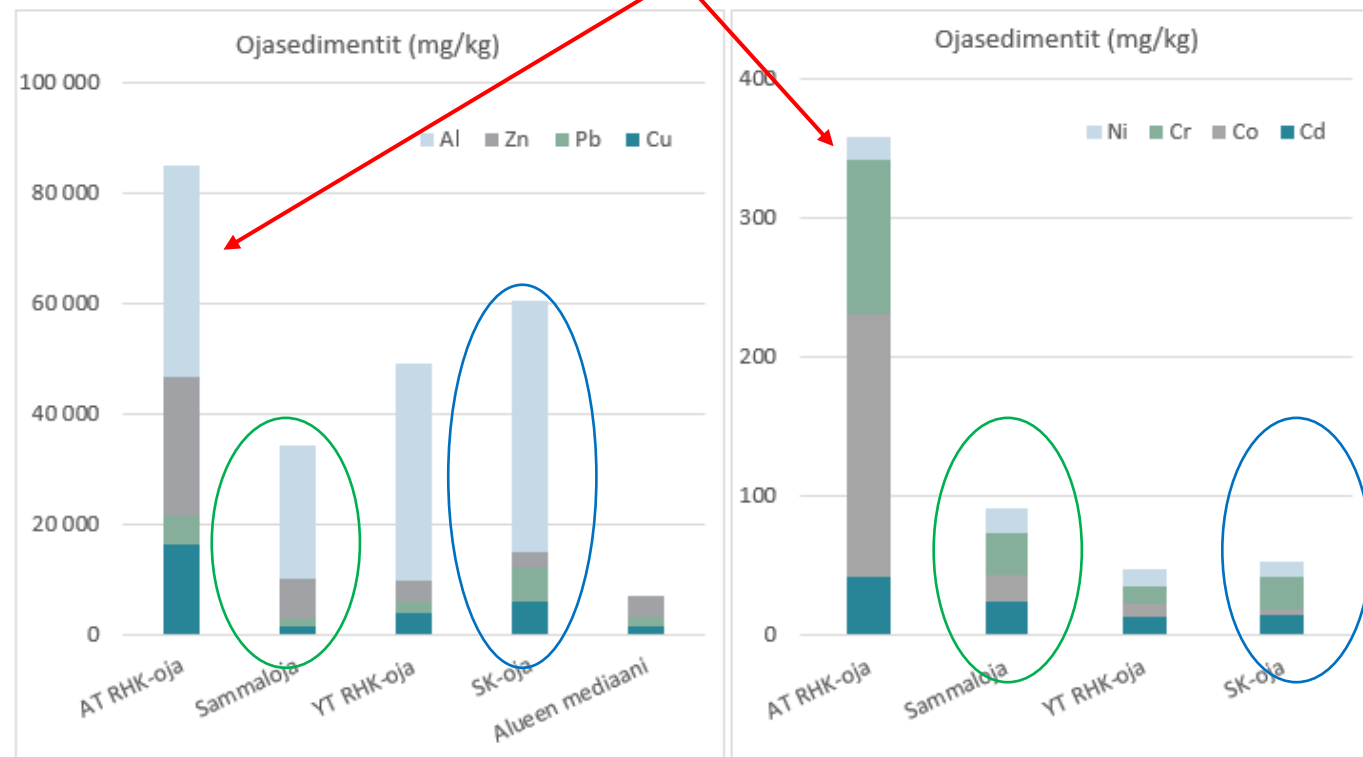
SIVUKIVI



OJASEDIMENTIT

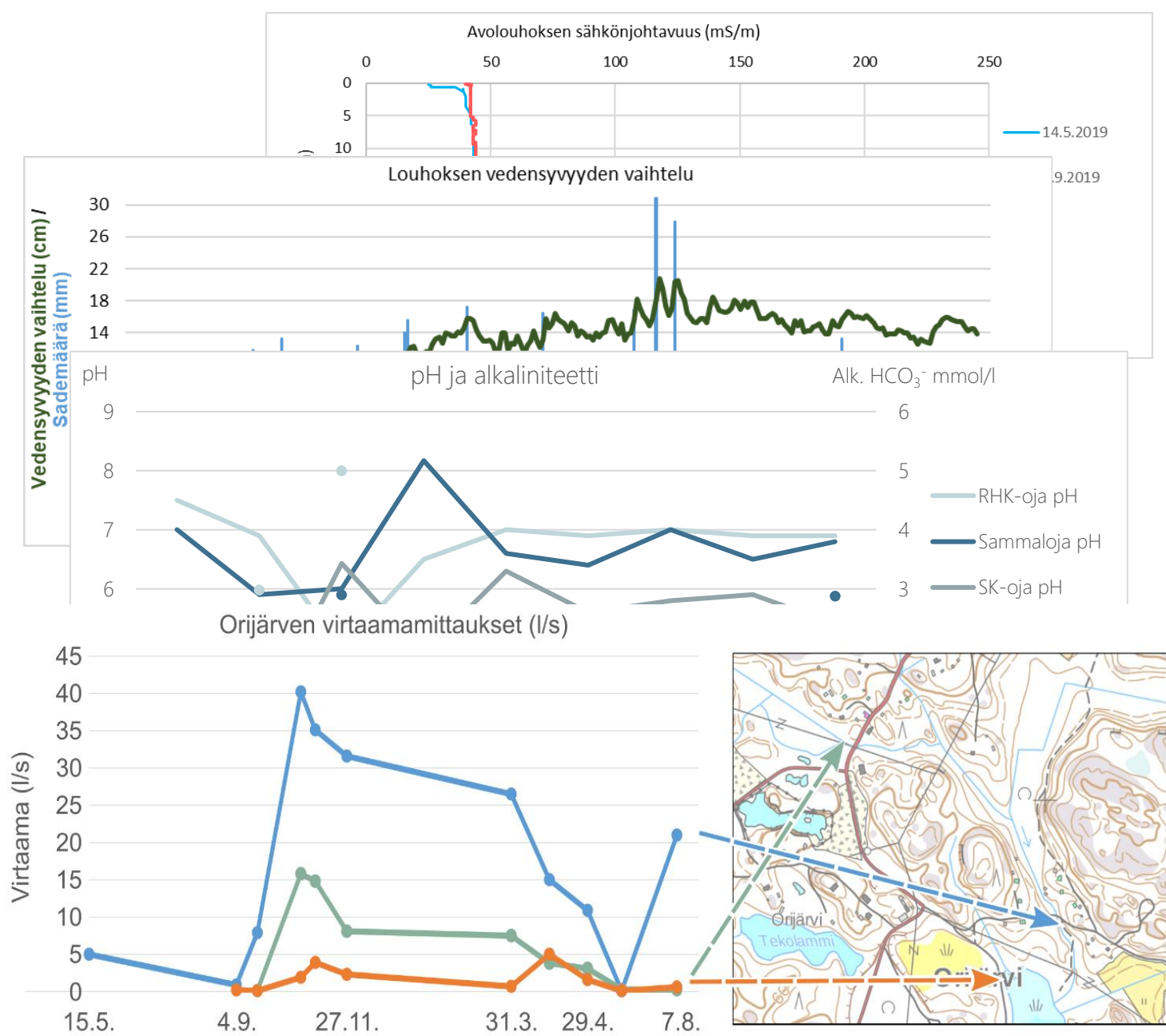


Rikastushiekka-alueen
päällä



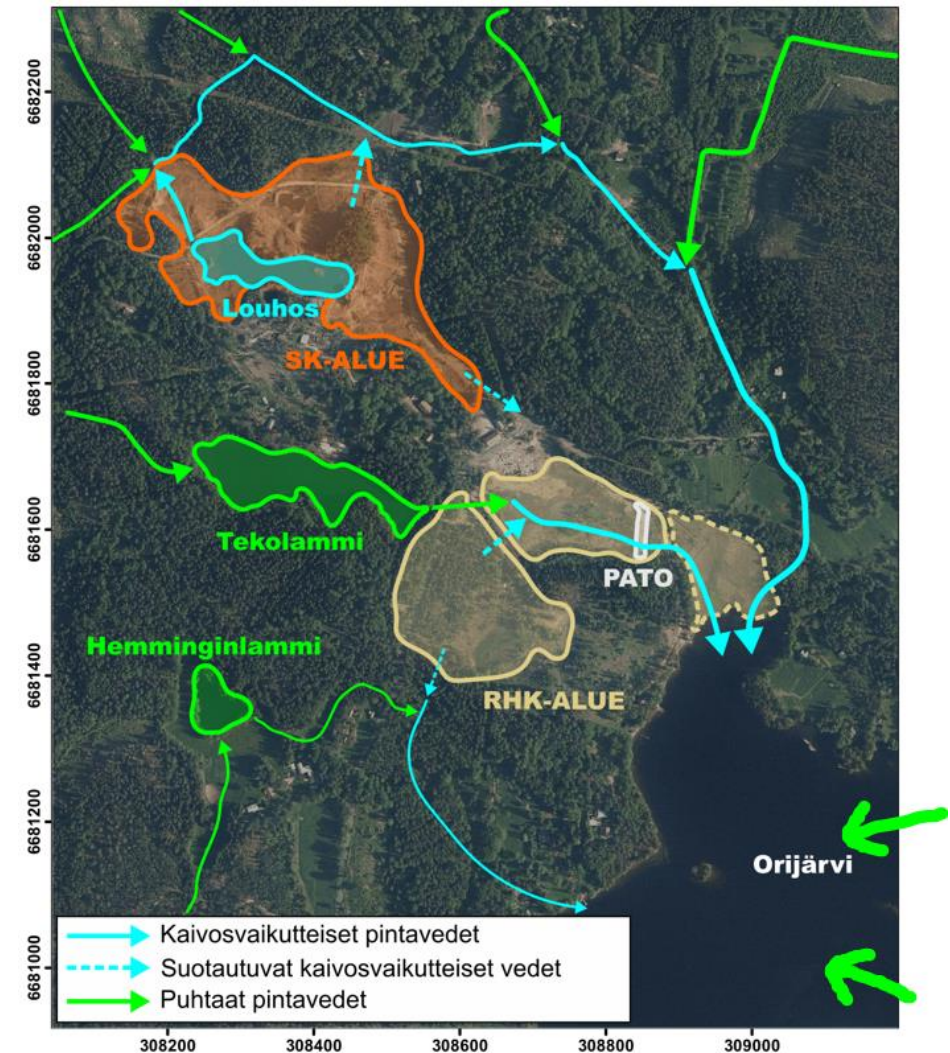
Kuva 25. Alumiinin, sinkin, lyijyn, kuparin, nikkelin, kromin, koboltin ja kadmiumin pitoisuudet (mg/kg) Orijärven ojien sedimenteissä vuonna 2019 (typpihappoliuotus, EPA 3051 + ICP-OES/MS-tekniikka). Alueen mediaani koostuu 15 näytestä (Ewurun 2000).

VESINÄYTTEET



KUORMITUKSEN ARVIOINTI

- Pohjautuu käsitteelliseen malliin, Orijärven tapauksessa pintavedet keskeisessä roolissa
- Työn alussa riskikohteet kartalle, jonka jälkeen valuma-alueiden ja kulkeutumisreittien rajausta = VALUMA-ALUEMALLI
- Pyrkimys selvittää kuormitusta ei vain konsentraatiota
- Konsentraatioiden selvitys näytteenotolla ja virtaaman arviointi valuma-alueen ja virtausmittausten pohjalta
- Vuodenaikaisvaihtelut merkittäviä sekä virtaamassa että konsentraatioissa, riittävän pitkä tarkkailujakso (15 kk)
- Saatiin vastaus nykyiseen kuormitukseen, ei historialliseen tai tulevaan kuormitukseen
- Konsentraatiot tai kuormitusarvio ei vielä kerro riskitasoa tai ympäristövaikutusta

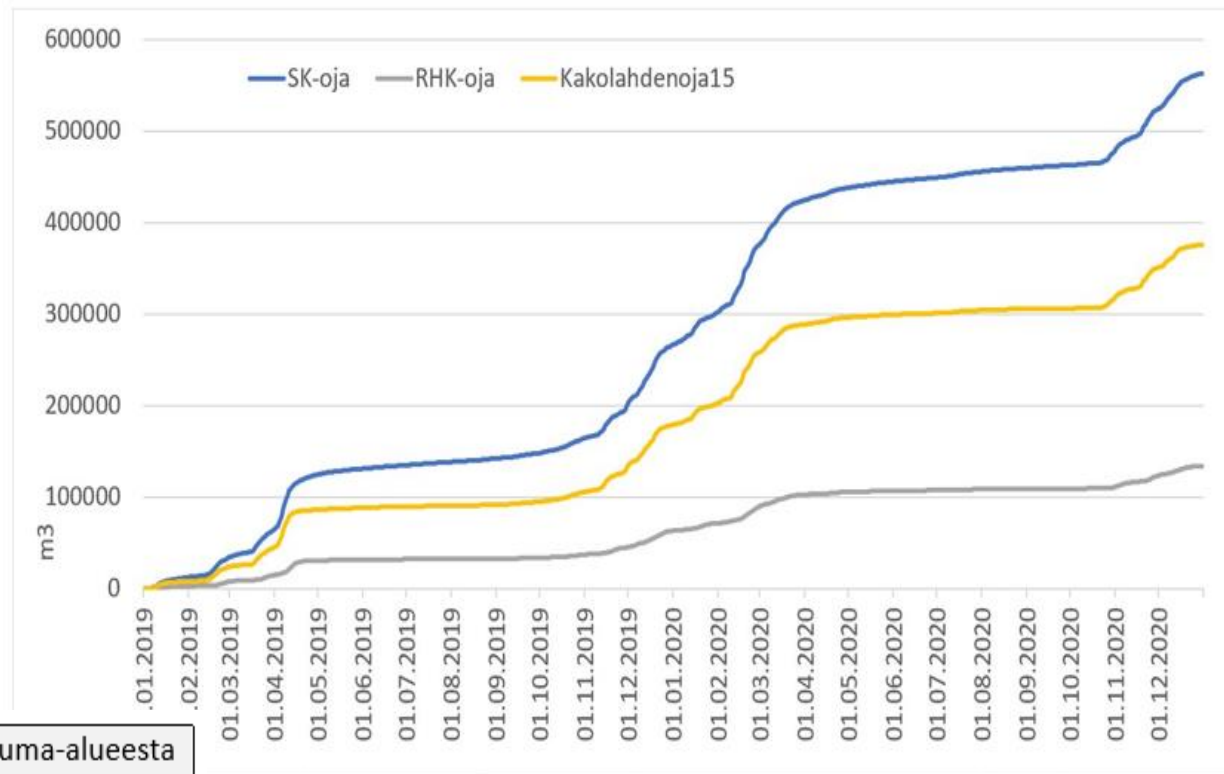


VALUMA-ALUEMALLI

- Orijärven valuma-alueen ja sen osavaluma-alueiden määrittäminen
- Kaivosalueen osalta valuma-alueet määriteltiin mahdollisimman tarkasti kuormituslähteiden välisten suhteiden selvittämiseksi selvittämiseksi

Osavaluma-alueet Orijärveen tulevat vesijakeet

Osavaluma-alueet	Valuma-alueen pinta-ala (ha)	Osuus Orijärven valuma-alueesta (%)
Sammaloja	257	22
SK-oja	46	3,9
Muu valuma-alue	211	18
RHK-oja	31	2,6
Kakolahdenoja	38	3,2
Muu valuma-alue	690	58
Orijärven vesialue	177	15
Orijärvi yhteensä	1 192	100



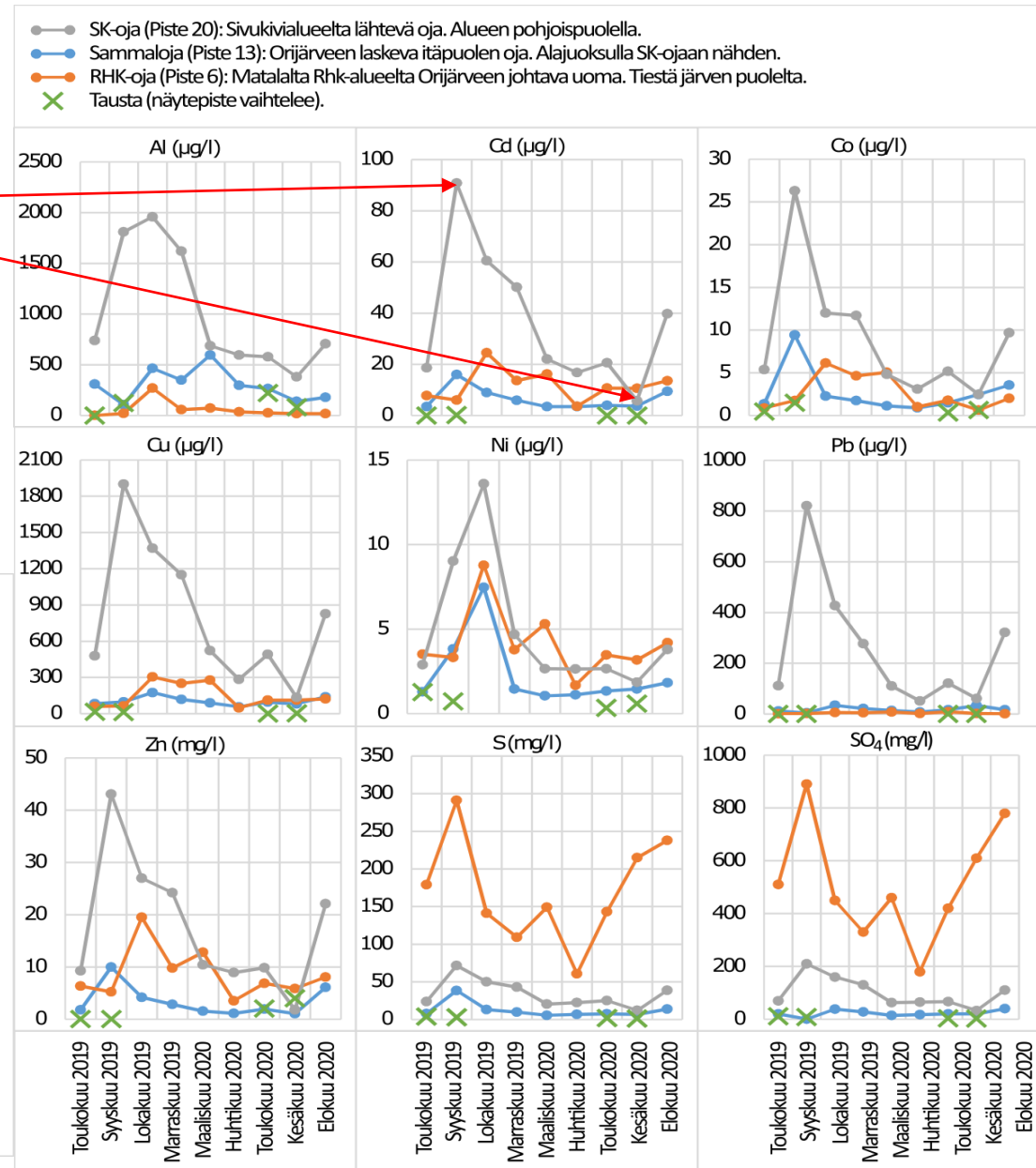
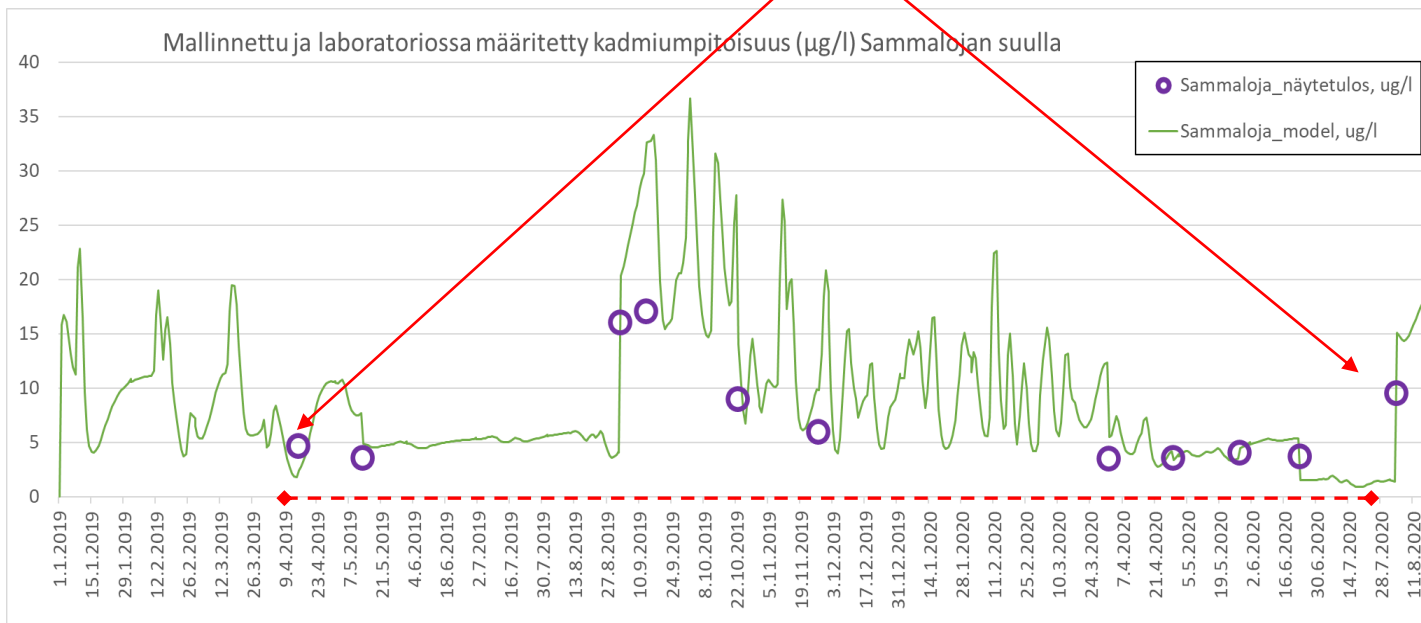
Orijärven kaivosalueelta tulevia vesiä sisältävien ojapisteiden mallinnetun virtaaman kumulatiivinen kehittyminen vuosien 2019–2020 aikana

- Orijärven kaivosalue muodostaa alle 10 % Orijärven valuma-alueesta ja riskikohteet vielä selvästi vähemmän

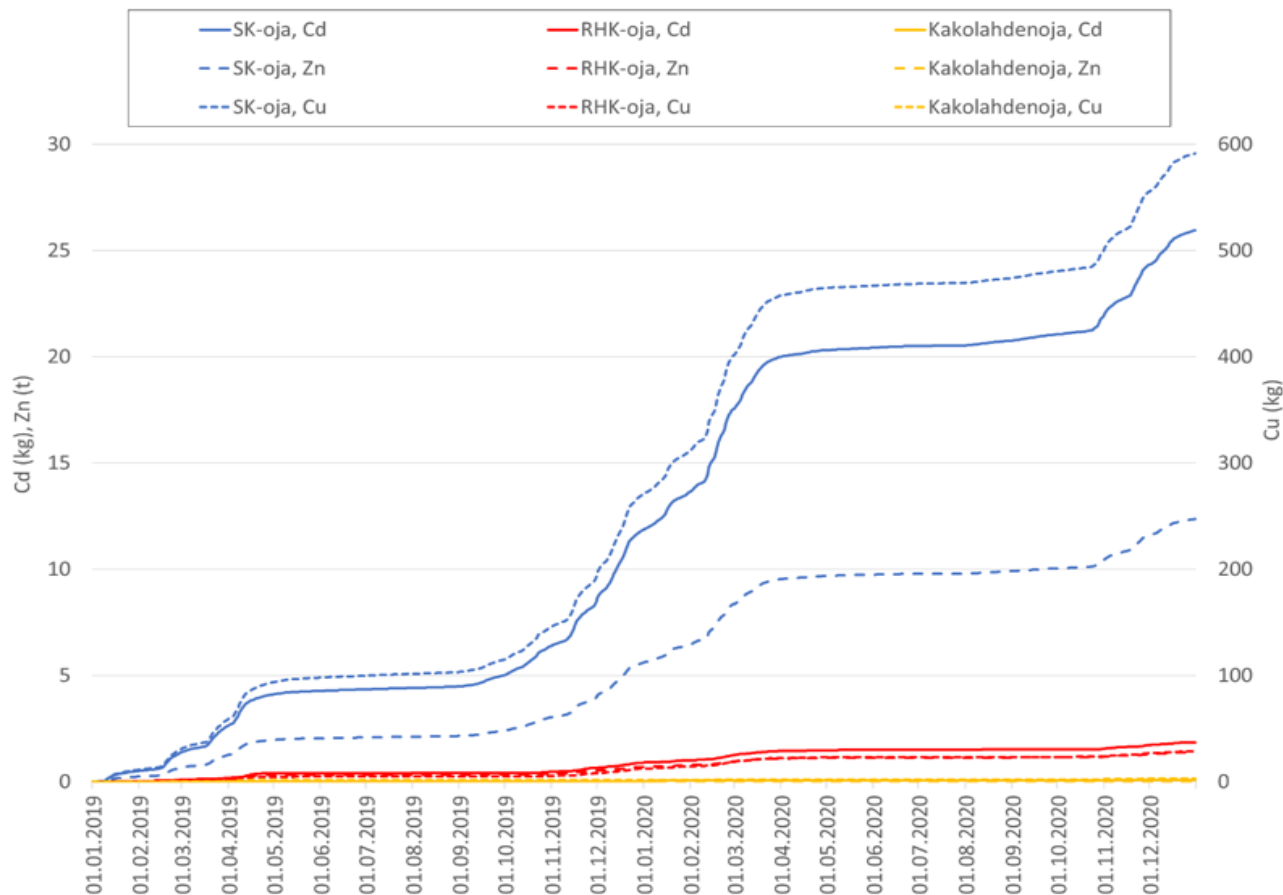
VALUMA-ALUEMALLI

- Konsentraatioiden vuodenaikaisvaihtelu on merkittävää
- Virtaamaan ja konsentraatioihin pohjautuva laskennallinen kuormitus mallinnettiin GoldSim-ohjelmalla, joka on yksi toimiva työkalu
- Yksinkertaisilla valuma-alueilla mallinnus voidaan tehdä esim. excel-tarkasteluna
- Malli kalibroitiin virtaamien ja konsentraatioiden osalta mahdollisuuksien mukaan

Mallinnettu ja laboratoriossa määritetty kadmiumpitoisuus (µg/l) Sammallojan suulla



KUORMITUS



Orijärven kaivosalueelta tulevia vesiä sisältävien ojapisteiden mallinnetun kadmium-, sinkki- ja kuparikuormituksen kumulatiivinen kehittyminen vuosien 2019–2020 aikana.

Mallinnettu Orijärveen tuleva kadmiumin, sinkin ja kuparin kuormitus kaivosalueen eri lähteistä ja kulkeutumisreiteiltä perustuen säävuosiin 1990–2019.

	Cd		Zn		Cu	
Päästölähde ja oja	kg/v	Orijärven kokonaiskuormasta	kg/v	Orijärven kokonaiskuormasta	kg/v	Orijärven kokonaiskuormasta
Sammaloja	9,2	92,7 %	4 390	89,9 %	223	94,2 %
Sivukivialue, SK-oja	9,2	92,5 %	4 372	89,6 %	205	86,8 %
Rikastushiekka-alue, RHK-oja	0,6	6 %	480	10 %	8	3 %
Rikastushiekka-alue, Kakolahdenoja	0,03	<1 %	0,02	<1 %	2	<1 %
Kaivosalueelta yht.	<u>9,8</u>	<u>99 %</u>	<u>4 870</u>	<u>99 %</u>	<u>215</u>	<u>91 %</u>

- Orijärven sinkki- ja kadmiumkuormituksesta lähes 100 % tulee Orijärven vanhalta kaivosalueelta ja kuparin osalta yli 90 %
- Kaivosalueelta tulevasta kuormituksesta noin 90 % on peräisin sivukivialueelta
- Molemmat tiedot ovat oleellisia arvioitaessa kunnostustarvetta ja –toimenpiteitä
- Kuormitus on huomattavaa

KUORMITUS JA PITOISUUDET ORIJÄRVESSÄ

- Mitatut pitoisuudet laskussa 70-luvulta lähtien
 - Mittausten perusteella melko tasainen sekoittuminen koko järvessä (oletuksena myös mallinnuksissa)
- Mallinnettu kuormitus (säävuodet 1990–2019) ja pitoisuuskeskiarvo (vs. mitattu pitoisuus, 2019)
 - Cd: 9,8 kg/a → 1,9 µg/l (0,8 µg/l)
 - Cu: 215 kg/a → 46 µg/l (17 µg/l)
 - Zn: 4870 kg/a → 898 µg/l (423 µg/l)
- Yksinkertainen vertailulaskenta (osavaluma-alueiden teoreettinen vuosivirtaama; sadanta 650 mm/a, valumakerroin 0,5; valumavesien pitoisuudet 2019-2020)
 - Cd: 6 kg/v → 1,2 µg/l (0,8 µg/l)
 - Cu: 100 kg/v → 23 µg/l (17 µg/l)
 - Pb: 16 kg/v → 3,2 µg/l (0,24 µg/l)
 - Zn: 3400 kg/v → 654 µg/l (423 µg/l)

Näytteenotto	Cd (µg/l)			Cu (µg/l)			Pb (µg/l)			Zn (µg/l)		
pvm	1 m	10 m	20 m	1 m	10 m	20 m	1 m	10 m	20 m	1 m	10 m	20 m
5.11.1974	3			50								
24.3.1976										1200	1100	1200
7.11.1979	3			24						1300		
26.10.1982				27						1000		
14.11.1985	1,5			27						950		
21.7.1997				22		27	1,3		2	700		810
2.8.2000	7,5		2,5	20		25	1,32		2,6	615		963
30.7.2008	1,1		1,2	22		28	0,15		0,82	600		700
3.11.2009	1			21			0,19			640		
30.11.2009	1			21			0,21					
19.1.2010	1,1			21			0,24					
15.2.2010	1,1			21			0,36					
16.3.2010	1,2			25			0,36		3			
26.5.2010	1			23			0,46					
30.6.2010	0,99			23			0,27			630		
28.7.2010	0,93			21			0,17			590		
30.8.2010	0,92			20			0,13			580		
29.9.2010	0,95			20			0,17			590		
14.10.2010	0,98			20			0,16			600		
27.10.2010	0,99			20			0,15			620		
7.3.2013	0,86			19	21		0,31	0,39		570	610	
10.7.2013	0,85	0,98		18	20		0,18	0,28		540	620	
29.8.2013	0,77	0,99		16	21		0,08	0,21		520	620	
16.10.2013	0,86	0,88		17	18		0,08	0,09		560	580	
19.3.2019	0,56	0,86	0,85	12	18	18	0,15	0,11	0,09	390	600	600
5.8.2019	0,73	0,77	0,85	16	18	19	0,06	0,15	0,2	490	570	560
28.8.2019	0,67	0,86	0,89	14	18	19	0,03	0,11	0,15	450	560	570
3.10.2019	0,73	0,75	0,89	14	14	18	0,05	0,09	0,16	490	490	580

VAIKUTUKSET VEDENLAATUUN (= KULKEUTUMISRISKI)

- Yleiset vertailuarvot ylittyvät Orijärnessä...
 - Cd -> noin kymmenkertaisesti
 - Cu -> noin kaksinkertaisesti
 - Zn -> yli satakertaisesti
- ... ja alapuolisissa vesistöissä
 - Cd -> Anskunjokeen asti
 - Zn -> Fiskarsinjokeen asti

→ Kulkeutuminen merkittävää (Cd ja Zn)
→ Ekologiset riskit arvioitava tarkemmin

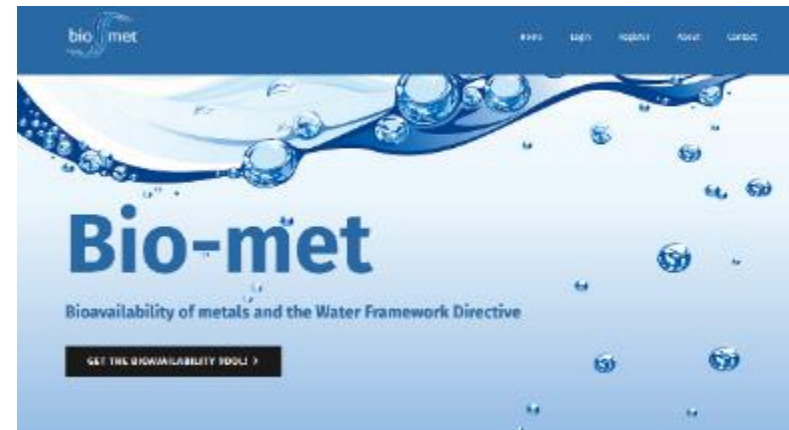
Aine	AA-EQS (µg/l)	MAC-EQS (µg/l)	PNEC, EU-riskinarviointi (µg/l)	Mitattu (2019), Orijärvi, (µg/l)
Kadmium <40 mg CaCO ₃ /l (luokka 1)	≤ 0,08	≤0,45		0,8
Lyijy	1,2 (biosaatava)	14		0,24
Kupari			7,8	17
Sinkki < 24 mg/l CaCO ₃ (luokka 1)			3,1	423

Vesistö	Näytteenotto	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)
Määrjärvi Pikipöksynkari	19.7.2018	0,14	2,6	0,1	110
Määrjärvi Aitsaari	2019 (n = 4)	0,18	4,5	0,035	125
Seljäläinen	2019 (n = 4)	0,11	3,3	0,015	84
Seljäläinen Lahdenp.	10.8.2000	0,16	3,1	0,07	107
Anskunjoki	9.8.2000	0,16	3,9	-	99
Fiskarsinjoki	2017 (n = 6)	0,015	2,9	-	21

EKOLOGISET RISKIT – EKOTOKSIKOLOGISET VIITEARVOT

Taulukko 27. Kadmiumin toksisuus eri eliöryhmille pitkä- ja lyhytaikaisissa testeissä (JRC 2007).

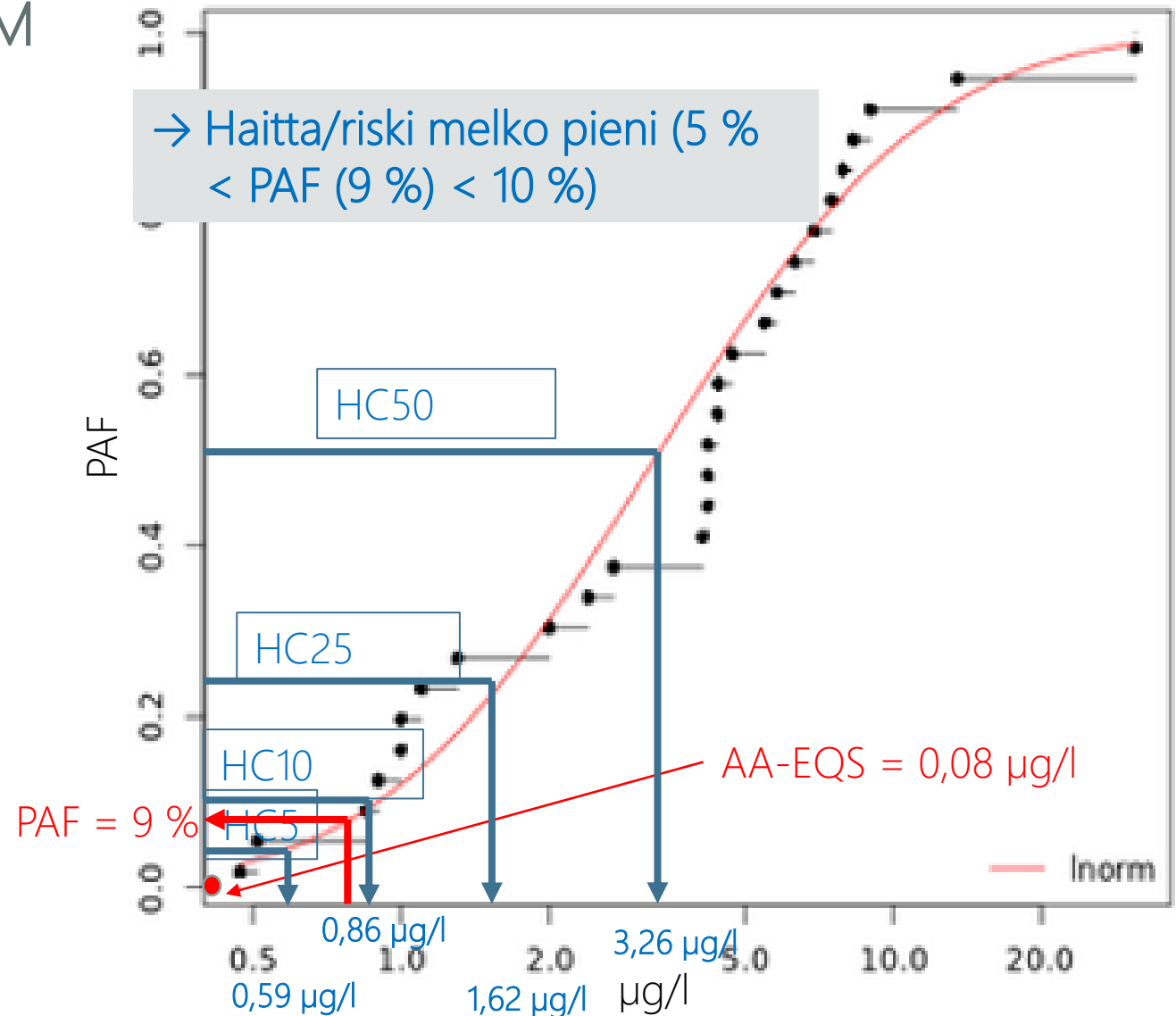
NOEC µg/l					
ELIÖRYHMÄ	min.	5 %	med.	max.	n
kalat/sammakkoeläimet	0,47	0,86	4,2	62	19
selkärangattomat	0,16	0,21	2,0	11	22
perustuottajat	0,85	1,4	6,9	31	8
LOEC µg/l					
ELIÖRYHMÄ	min.	5 %	med.	max.	n
kalat/sammakkoeläimet	0,78	1,7	11	132	20
selkärangattomat	0,28	0,29	1,9	25	19
perustuottajat	1,9	3,1	18	100	9
E/LC ₅₀ µg/l (pitkäaikaistestit)					
ELIÖRYHMÄ	min.	5 %	med.	max.	n
kalat/sammakkoeläimet	3,4	4,8	20	650	7
selkärangattomat	1	1,7	5	32	14
perustuottajat	6,1	9,9	59	1000	12
E/LC ₅₀ µg/l (akuuttitestit)					
ELIÖRYHMÄ	min.	5 %	med.	max.	n
kalat/sammakkoeläimet	0,9	2	1500	40200	31
selkärangattomat	7	24,5	166	74000	61



- Toksisuustiedot pääosin metallien EU-riskinarvioinneista
 - NOEC -> HC-arvot (Aldenberg & Jaworska 2000)
 - Herkkyysjakaumat (MOSAICSSD, <https://mosaic.univ-lyon1.fr/ssd>) -> PAF (Potentially Affected Fraction)
- Metallien biosaatavuus
 - Biosaatavuudella korjatut HC5-arvot: Cu, Pb, Zn
 - BLM-malli (Bio-Met, <https://bio-met.net>)
 - Orijärvi: pH = 7, DOC = 3,7 mg/l ja Ca = 8,03 mg/l
 - Kadmiumilla oletus: liukoinen pitoisuus vastaa biosaatavaa osuutta (alhaisimmat NOEC-arvot pehmeässä vedessä (< 50 mg/l CaCO₃; Orijärvi < 20 mg/l CaCO₃)

Vertailuarvo	Cd (µg/l)	Cd (µg/l), 90 % lv.	n
HC5	0,59	0,32–0,92	28
HC10	0,86	0,51–1,28	28
HC25	1,62	1,08–2,27	28
HC50	3,26	2,34–4,56	28

- Pitoisuus Orijärvessä (2019) 0,8 µg/l vastaa noin tasoa HC10 (PAF = 9 %) eli herkimmille eliöille voi aiheutua haittaa
 - Lähinnä 1. asteen kuluttajat (esim. vesikirppu)
- Orijärven alapuolisissa vesistöissä vaikutus nykyisellä päästötasolla mitätön
 - Esim. Määrjärvi, Cd: 0,2 µg/l (2019)
 - Min. LOEC = 0,29 µg/l



EKOLOGISET RISKIT – KUPARI

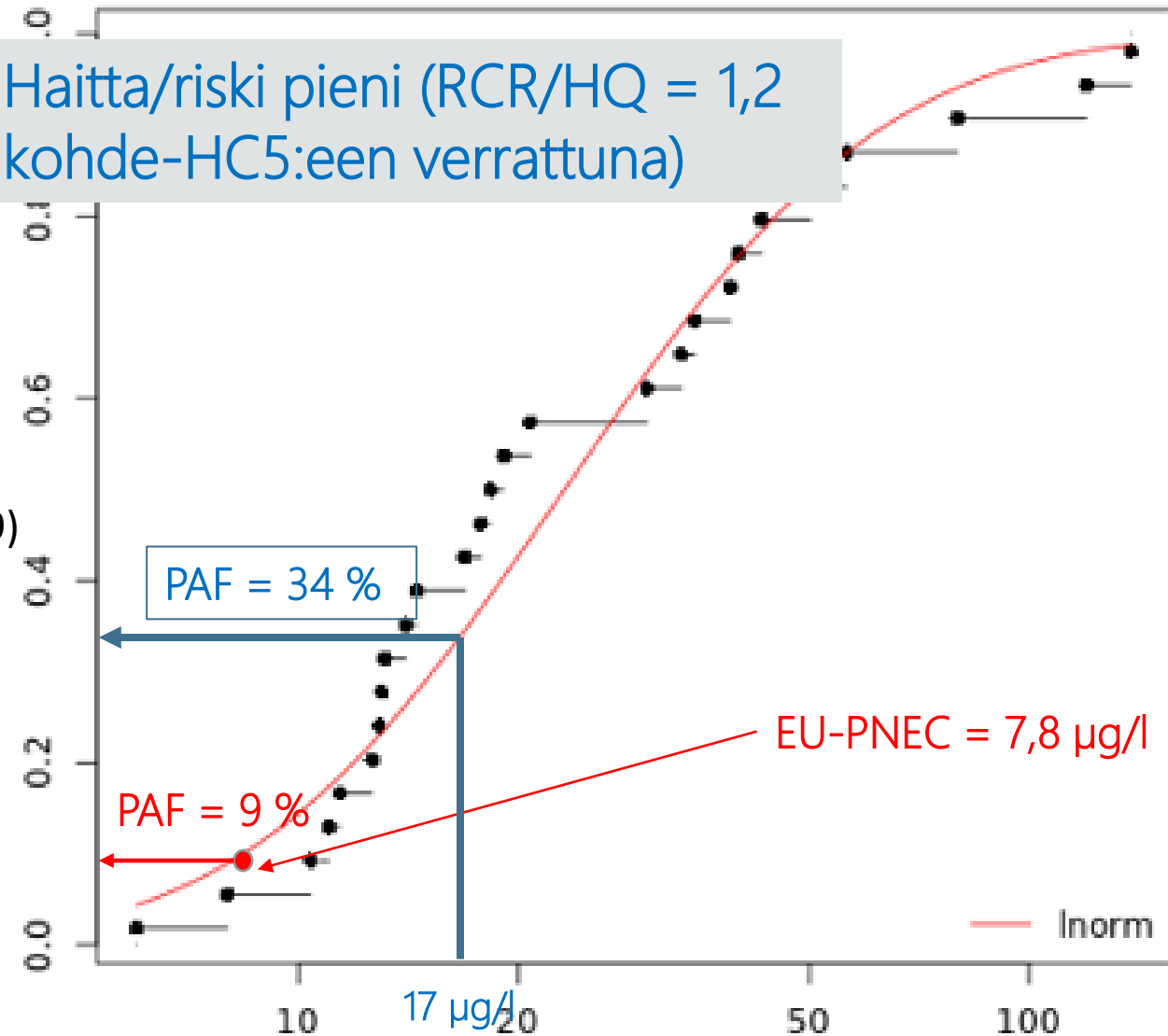
Vertailuarvo	Cu (µg/l)	Cu (µg/l), 90 % lv.	n
HC5	6,04	3,70–8,60	27
HC10	8,13	5,32–11,13	27
HC25	13,35	9,60–17,48	27
HC50	23,13	17,68–30,25	27

- Pitoisuus Orijärvässä (2019) 17 µg/l -> PAF = 34 %
 - Vaikutukset 1/3 lajeista mahd. kaikilla trofiatasoilla
 - Herkimpien osalta myös Määrjärvässä (4,5 µg/l; 2019)

Bio-Met -laskenta

Parametri	Pitoisuus (µg/l)	Kohde-HC5 (µg/l)	BioF (-)	Biosaattava pitoisuus (µg/l)	AA- EQS _{biosaattava} (µg/l)	RCR (-)
Kupari	17	14,5	0,07	1,17	1	1,17

→ Haitta/riski pieni (RCR/HQ = 1,2
kohde-HC5:een verrattuna)



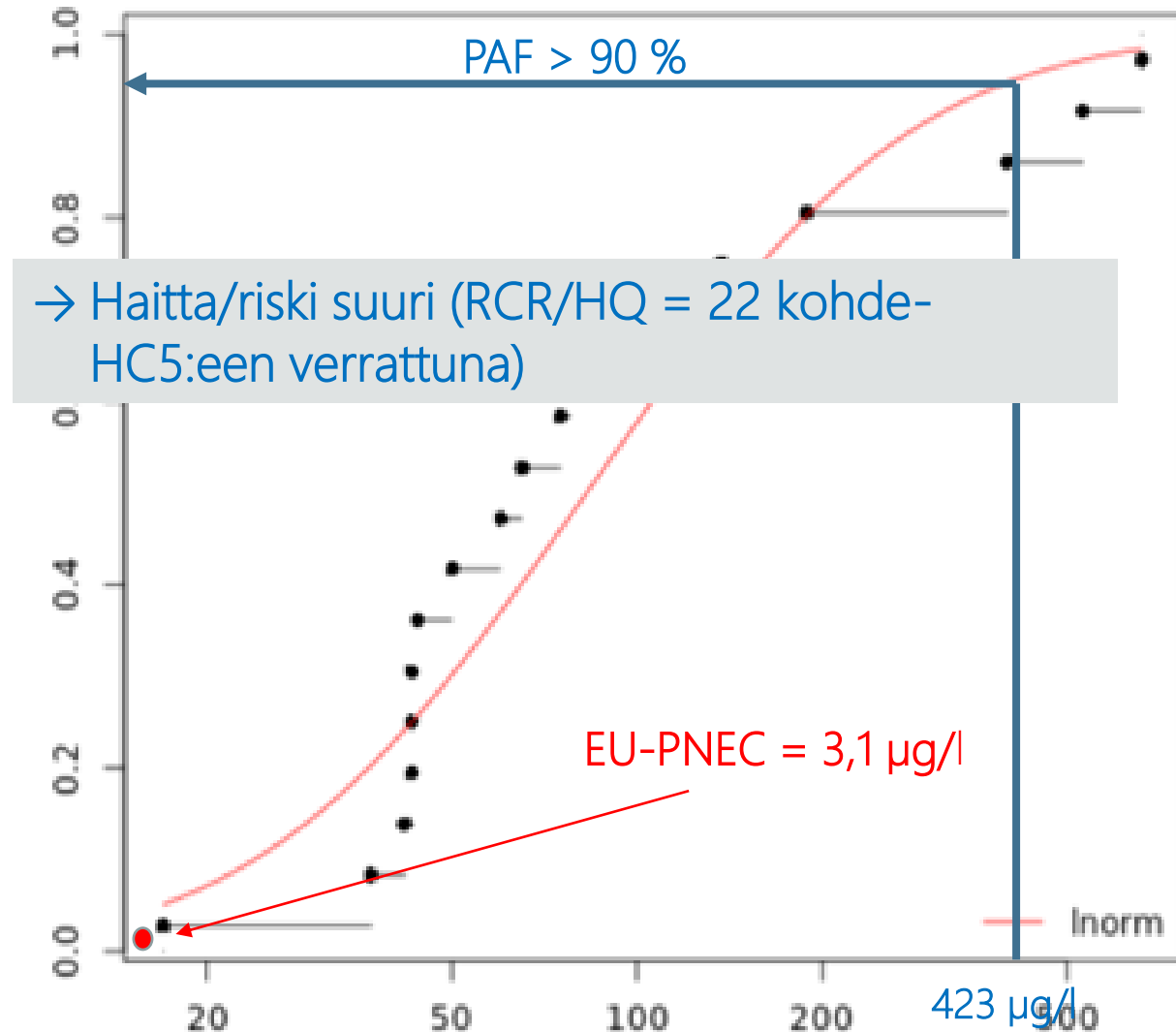
EKOLOGISET RISKIT – SINKKI

Vertailuarvo	Zn (µg/l)	Zn (µg/l), 90 % lv.	n
HC5	14,50	7,09–26,30	18
HC10	22,56	11,46–35,98	18
HC25	41,81	24,85–62,64	18
HC50	82,82	60,78–112,85	18

- Pitoisuus Orijärnessä (2019) 423 µg/l -> PAF > 90 %
 - Vain kaksi NOEC-arvoa (2/18) kaloille tätä suurempia
 - Vaikutukset mahdollisia Seljälalaseen asti

Bio-Met -laskenta

Parametri	Pitoisuus (µg/l)	Kohde-HC5 (µg/l)	BioF (-)	Biosaattava pitoisuus (µg/l)	AA-EQS _{biosaattava} (µg/l)	RCR (-)
Sinkki	423	19,7	0,55	235	10,9	21,53



AIEMMAT BIOLOGISET TUTKIMUKSET

- Ekologisen tilan luokittelu 2008 lähtien (VHS)
 - Huom! Laskennallinen luokitus
- Useita muita tutkimuksia 2000-luvulla (erityisesti kasviplankton)
 - Orijärvi vähälajinen
 - Piilevät puuttuvat lähes kokonaan
 - Vaikutukset näkyvät myös alapuolisissa järvissä
 - Erot vertailujärviin yllättävän pieniä (Huom! Zn: PAF > 90 %)...?
- Nykyinen kuormituksen merkitys?
 - Piilevät hävinneet jo kaivostoiminnan aikaisen kuormituksen seurauksena (sedimenttitutkimukset)
 - Kaloja pyydetään myös Orijärveltä

Orijärven ekologisen tilan biologiset luokittelumuuttujat 2012-2017 (VHS 2020)

Muuttuja	Mittaustulos	Laskennallinen tilaluokitus	Arvioitu tilaluokitus
Klorofylli-a	2 µg/l	Erinomainen	Tyydyttävä
Kokonaisbiomassa	0,39 mg/l	Erinomainen	Tyydyttävä
Haitallisten sinilevien %-osuus	2,93 %	Erinomainen	Tyydyttävä
TPI kasviplankton trofiaindeksi	-2,03	Erinomainen	Tyydyttävä

Järvi	Ajankohta	Näytteitä (n)	Biomassa (µg/l)	Tiheys (kpl/ml)	Klorofylli-a (µg/l)	TPI	Haitalliset sinilevät (%)	Taksonit	Lajit, 60 % biomassasta
Orijärvi	2008–2013	6	442	5 520	2,7	-1,75	3,3	29	7
Määrjärvi	2008–2013	6	447	8 663	2,4	-1,55	0,4	36	6
Seljänalanen	2005–2016	9	539	6 625	2,7	-0,9	0,3	38	6
Degersjön	2005–2016	9	651	4 753	4,1	-0,99	1,8	44	5
Vertailujärvet									
Simijärvi	1986–2017	14	393	3 389	2,2	-2,07	0,1	40	7
Iso-Kisko	2007–2016	13	467	4 839	2,8	-0,91	6,2	52	11

Ekologiset riskit – yhteenveto

- Haitat vesiekosysteemille (Orijärvi ja alapuoliset vesistöt) todennäköisesti merkittäviä ja aiheutuvat pääosin sinkistä
 - Cd ja Cu mahd. haitallinen herkimmille eliöille, mutta vaikutukset pieniä Zn verrattuna ja rajoittunevat Orijärveen
- **Kunnostustarve (eli lähinnä sinkkipäästöjen vähentäminen; samalla myös muu metallipäästö vähenee)**
- Lisätutkimukset suositeltavia mm. kunnostuksen vaikuttavuuden arvioimiseksi
 - Kalasto ja eläinplankton (esim. lajimäärät vertailuvesistöihin suhteutettuna)
 - Tarkempi BLM-mallinnus biosaatavuuden huomioimiseksi Orijärvessä ja alapuolisissa vesistöissä...?
 - Lisätieto olisi tarpeellista myös muita KAJAK-hankkeita varten ekologisen riskinarvioinnin kehittämiseksi
- **Muut riskit merkityksettömiä (esim. suora altistuminen ja vedenkäyttö)**



JOHTOPÄÄTÖKSET

- Aiemmin tehdyt tutkimukset ovat antaneet harhaanjohtavaa tietoa kuormituksesta
- Valuma-aluemalli oli tärkeässä osassa keskeisten kuormituslähteiden ja -reittien hahmottamisessa → kohdennettu näytteenotto
- Valuma-aluemallin pohjalta tehdyssä kuormitustarkastelussa oli yllättävää sivukivialueen suuri merkitys suhteessa rikastushiekka-alueeseen
- Tällä hetkellä rikastushiekka-alueen tila stabiloitunut, mutta vedellä kyllästyneessä osassa edelleen suuri kuormituspotentiaali
- Eri riskikohteiden merkitys ympäristön kannalta voi muuttua merkittävästi
- Maankäytön rajoitukset
- Kunnostuksen suunnittelu → Ensisijaisena sivukivialue (peitot, kalkkikiviojat, kosteikot, avolouhoksen täyttö)



OPITTUA - KAJAK

- Kohteet ovat uniikkeja - geologian, toimintahistorian ja sijainnin pohjalta
- Käsitteellinen malli toimii lähtökohtana riskinarvioinnissa
 - Pintavesikuormitus on yleensä merkittävin pitkäaikainen ympäristövaikutus Suomessa
- Konkreettinen (numeerinen) tavoitteenasettelu erittäin tärkeää
- Riskinarviointi on tarkentuva iteratiivinen prosessi, jossa jokainen tutkimusvaihe on suunniteltava niin, että tutkimukset tukevat riskinarvioinnin tavoitteita
- Työhön on varattava riittävästi resursseja (aikaa, osaamista ja rahaa)
 - tyypillisesti vähintään 1,5 v. projekti, jossa tehdään paljon maastotöitä ja analytiikkaa sekä mallintamista
- Keskeisiä tarvittavia osaamisalueita kaivosympäristön tuttuuden lisäksi ovat mm.
 - Geokemia, hydrogeologia, hydrologia, geotekniikka, hanketalous, projektinjohto, ympäristöoikeus





KIITOS!

anna.tornivaara@gtk.fi

jussi.reinikainen@syke.fi

niko.karjalainen@envineer.fi