

Kaivoksen sulkeminen - Vaikutukset ja uudet mahdollisuudet (KAIVASU)

16.3.2022

Webinaari



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

KAIVASU – Oulun yliopisto Kerttu Saalasti Instituutti

Uudet vedenpuhdistusmahdollisuudet ja
uusiokäyttö

Johanna Laukkanen



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

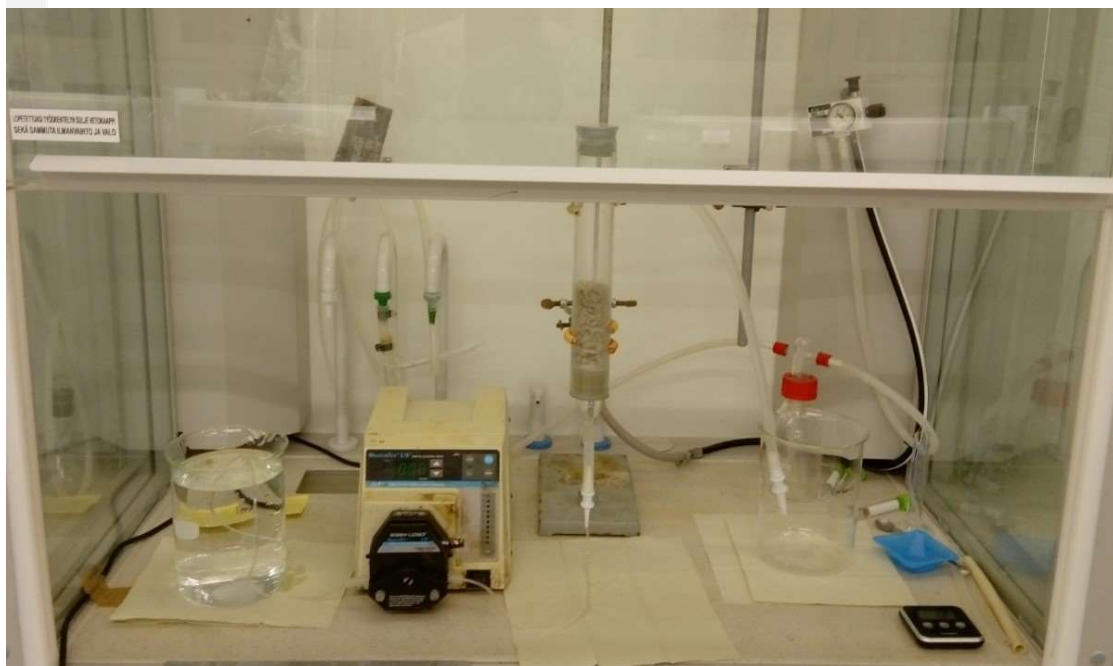
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

KAIVASU-hanke / KSI

Tavoitteena on kehittää uusia vedenpuhdistumenetelmiä, selvittää uusiokäytön mahdollisuuksia ja kartoittaa tietoa suljettavien kaivosten toimenpiteistä ja jakaa tietoa muille tulevaisuudessa.



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Geopolymeerit

Geopolymeerit
BFS
MK BFS
MK 100 + Zeo 20 + Akt 75
MK 100 + Zeo 20 + Akt 100
MK 100 + Zeo 40 + Akt 75
MK 100 + MT 25% + Akt 25%
BFS 100 + Zeo 20 + Akt 75
BFS 100 + Zeo 20 + Akt 100 (1)
BFS 100 + Zeo 20 + Akt 100 (2)
BFS 100 + Zeo 40 + Akt 75
BFS 100 + Zeo 40 + Akt 100
BFS 100 + MT 25% + Akt 25%
BFS 100 + MT 25% + Akt 50%
BFS 50 + MK 50 + MT 25 + Akt 25%

Geopolymeerien valmistuksessa käytetyt raaka-aineet:

BFS = Masuunikuona

MK = Metakaoliini

Zeo = Zeoliitti

MT = Rikastushiekka

Liukoisuustestit

1. Näytteet murskattiin pienemmiksi paloiksi
2. Kuivattiin 105 °C, 24 h
3. Liukoisuustestit
 - Dekantterilasissa (ei sekoitusta)
 - m(adsorbentti): 2 g
 - V(tislattu vesi): 200 mL
4. Määritettiin pH ja johtokyky ajanhetkillä 0 min, 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h ja 24 h
5. Määritettiin metallipitoisuudet 24 h näytteistä

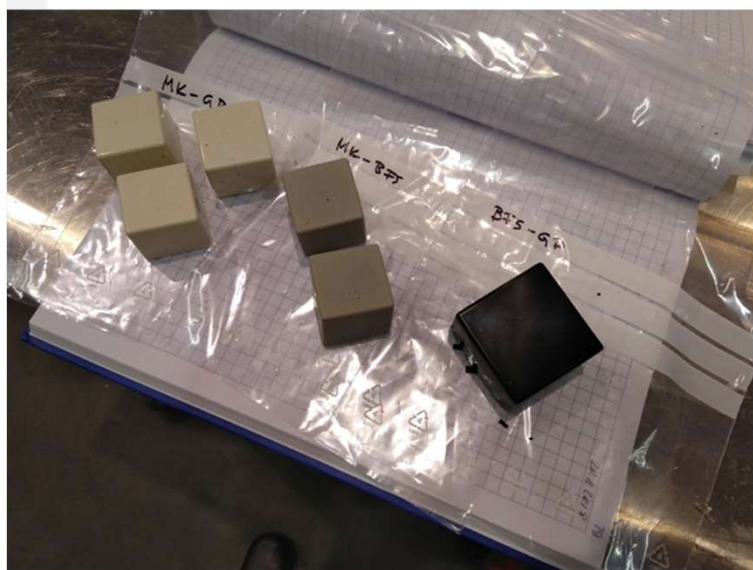


Adsorptiokokeet

1. Näytteet murskattiin ja jauhettiin
2. Seulottiin välille 0.063-0.125 mm
3. Adsorptiokokeet
 - Ravistelukoheet (50 mL falconissa)
 - m(adsorbentti): 0.2 g
 - V(Hituran vesi): 40 mL
 - 24 h sekoitus
 - Fuugaus ja suodatus (0.45 µm)
 - Näytteet kestävästiin väk. HNO₃ (0.2 mL/40 mL)
 - Määritettiin Fe, Ni, Zn, Mn, Al, Cu (AAS)

pH:n ja johtokyvyn seuranta

- Kokeet tehtiin samalla tavalla kuin adsorptiokokeet
- Mitattiin pH ja johtokyky sekoituksen alussa ja lopussa (24 h)



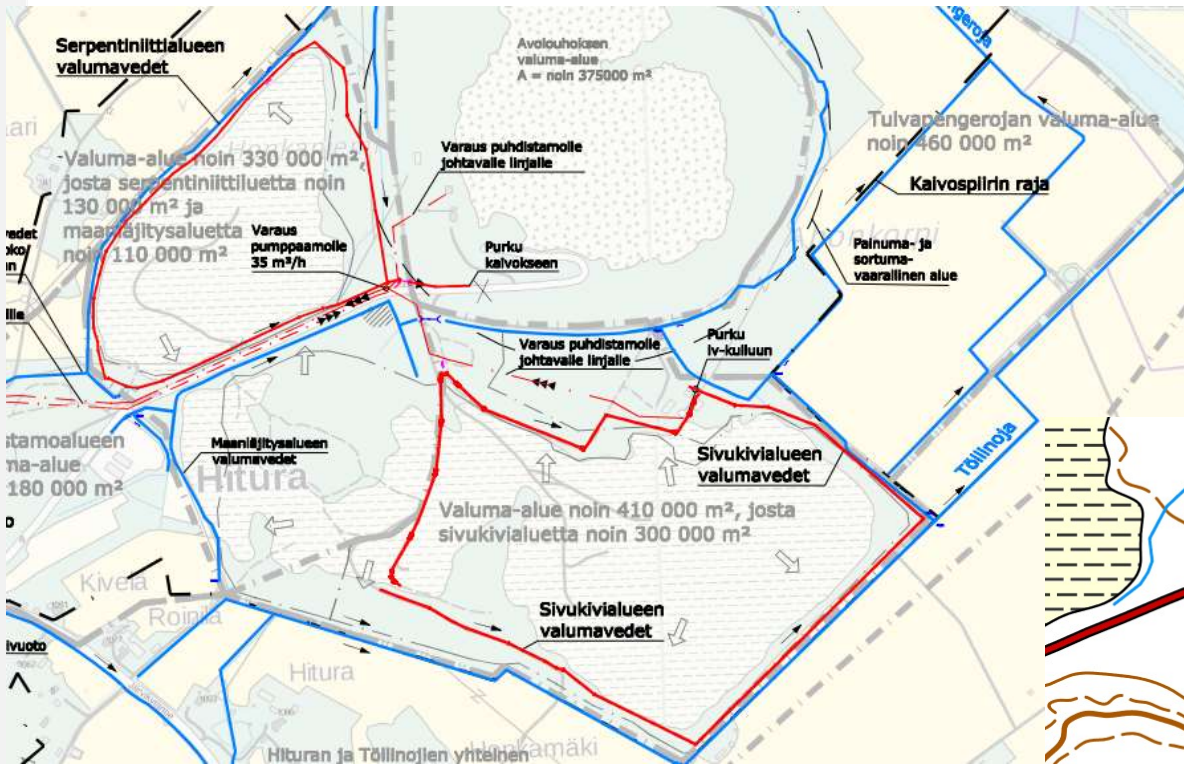
3.2022

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

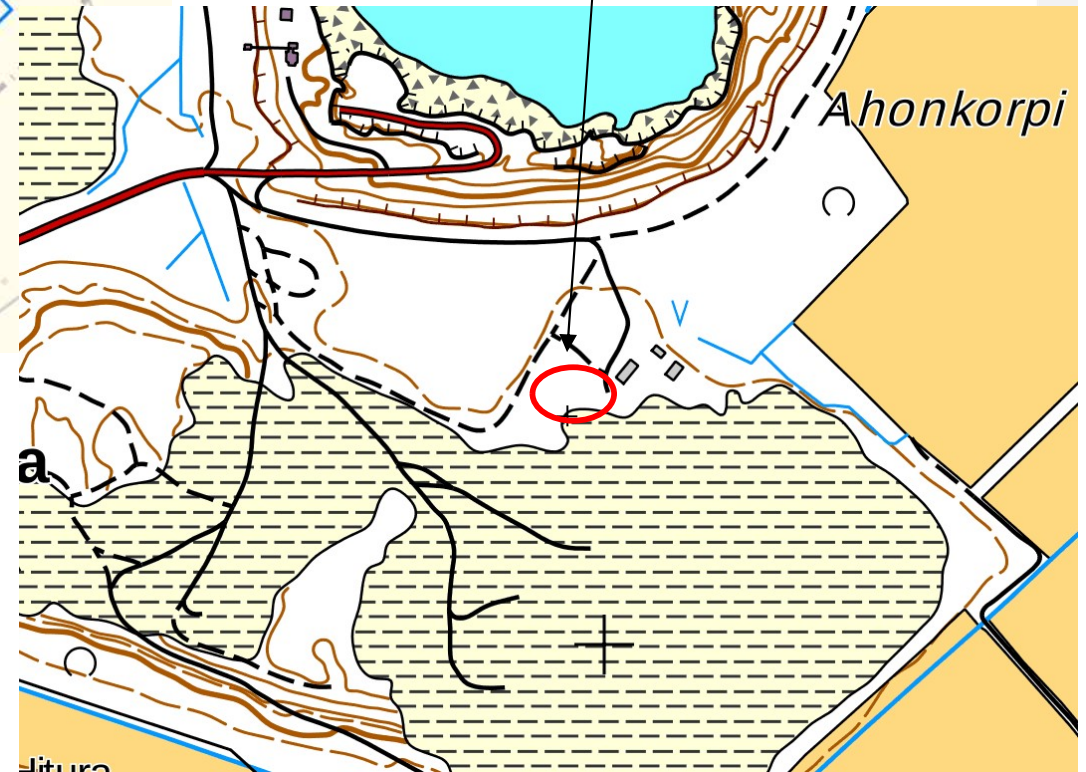
Vipuvoimaa
EU:lta
2014-2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto



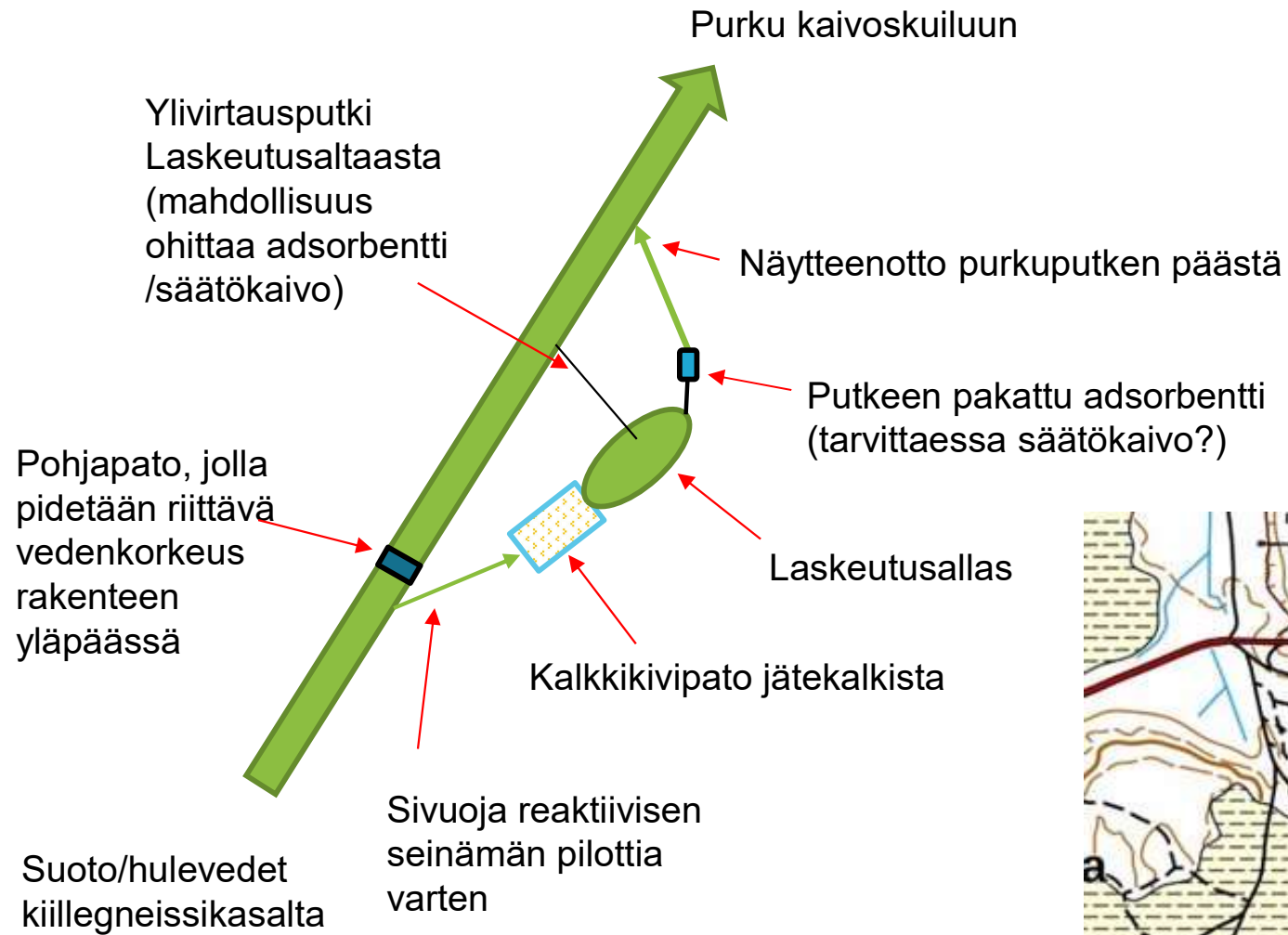
Pilotin sijoittaminen ennen vesien IV-kulkuun ohjaamista



vipuvoimaa
EU:lta
 2014–2020

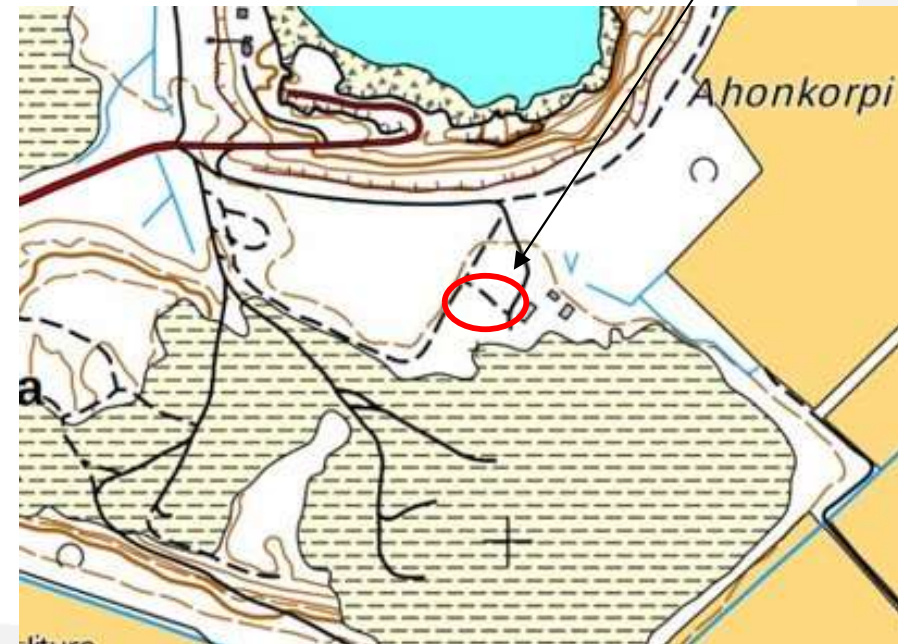


Alustava periaatekuva reaktiivisen seinämän pilotista

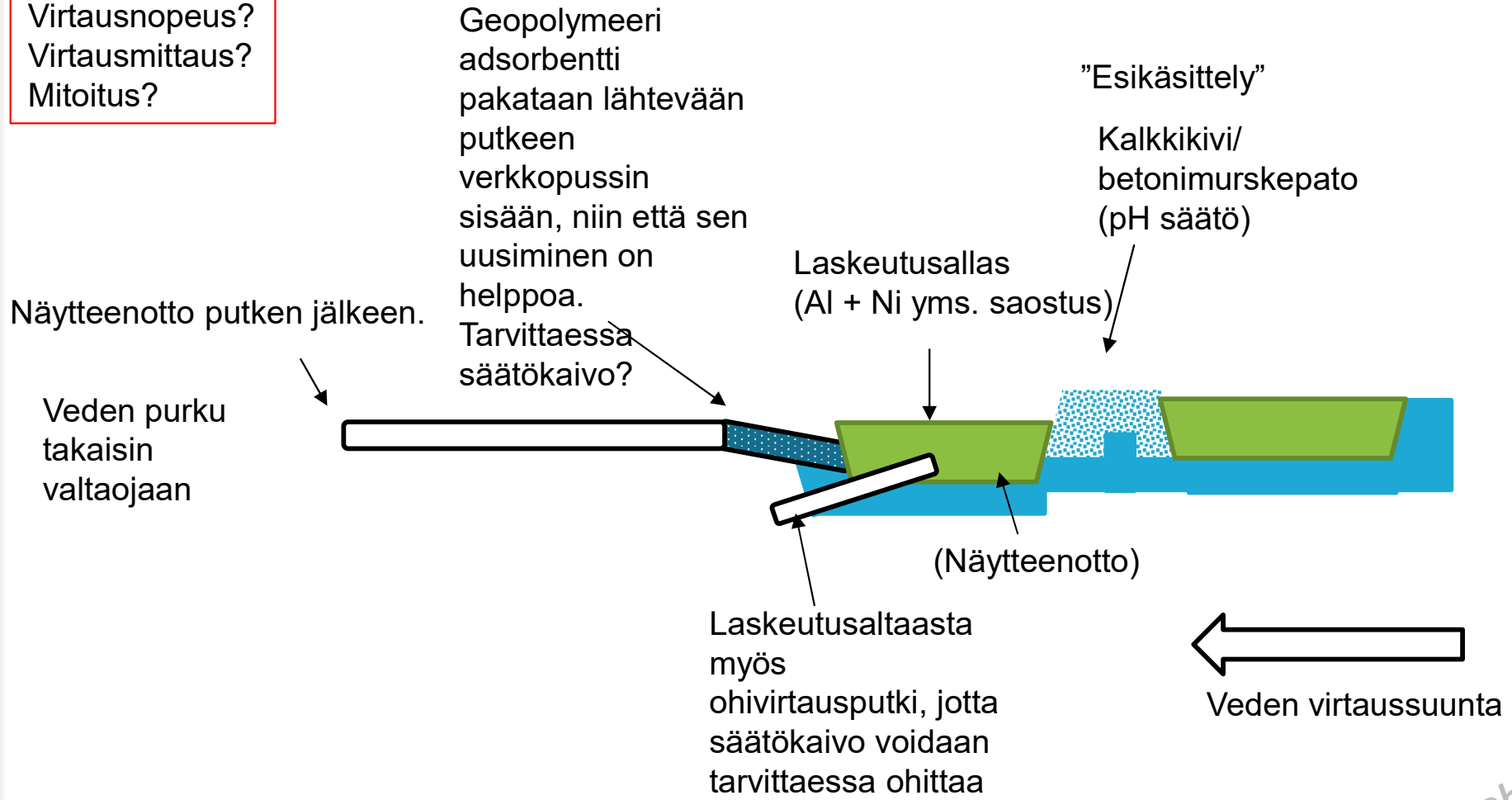


Virtaus
rakenteen
läpi arviolta
1-4m³/vrk

Pilotin sijoittaminen
ennen vesien IV-
kuiluun ohjaamista



Virtausnopeus?
Virtausmittaus?
Mitoitus?



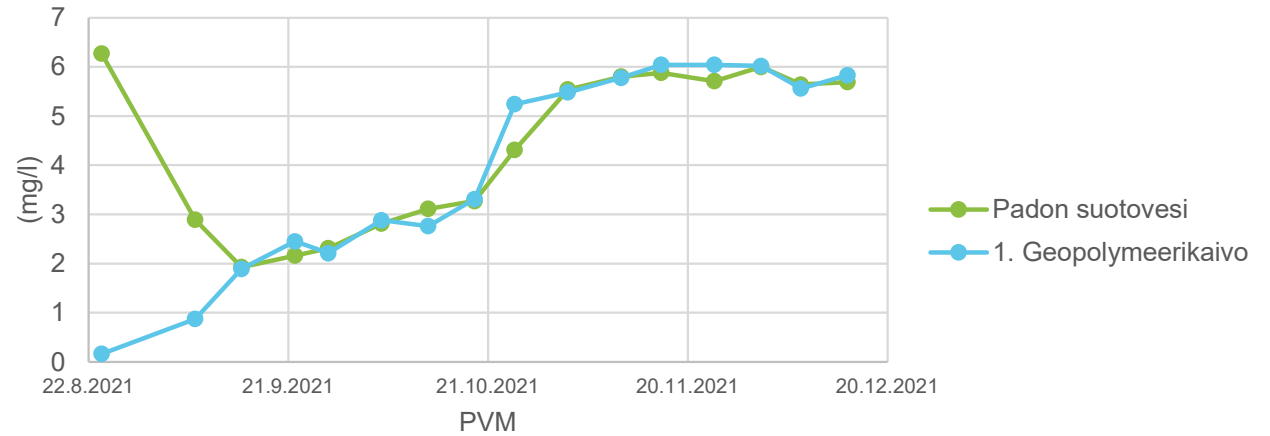
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014-2020

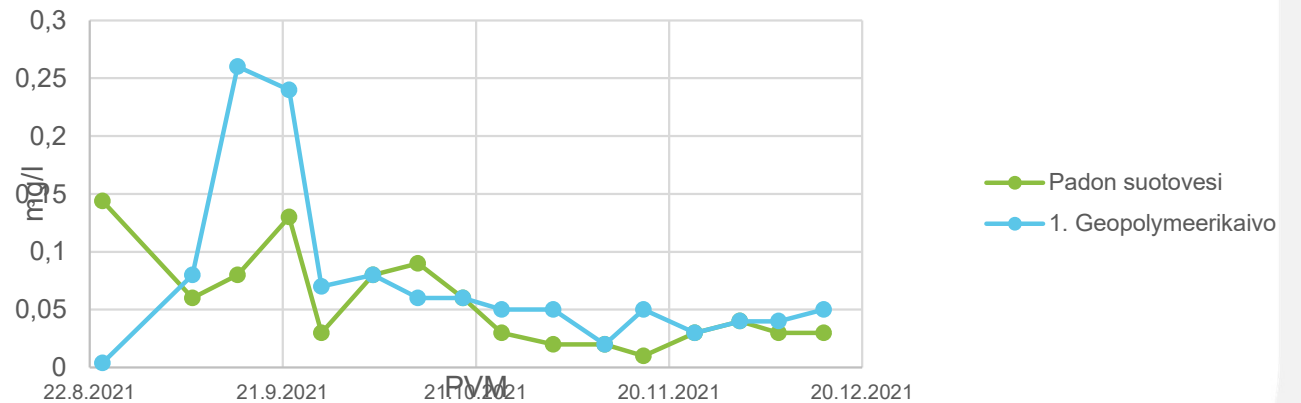




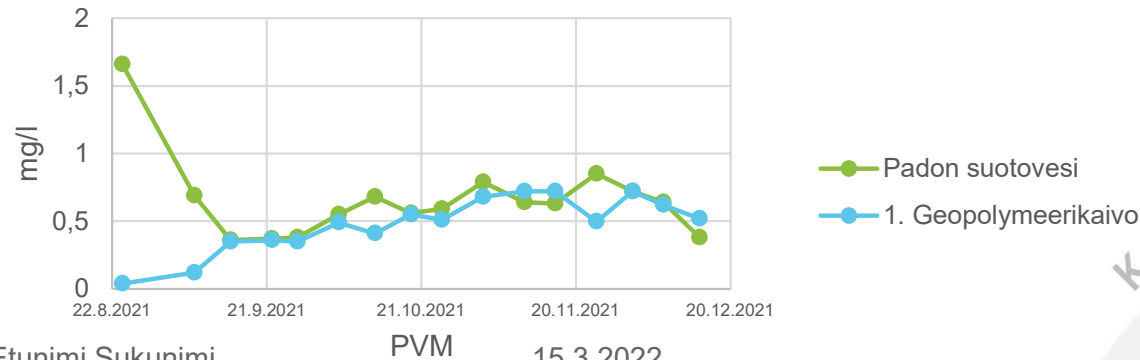
Ni (mg/l)



Fe (mg/l)



Mn (mg/l)



Uusiokäyttö

- Alueella toimii yrityksiä jo tällä hetkellä
- Tuulivoima
- Ulkoilukäyttö
- Testirakenteet ja niiden jatkokäyttö
- Sukellus
- Laiduntaminen
- Metsästys / Pienriista
- Moottoriurheilukeskus
- Matkailu / Leirintäalue
- Rakennusten muu hyödyntäminen

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Uusiokäyttömahdollisuuksia kyselyn perusteella

- **Alueen linkittäminen osaksi nykyisiä luontopolku- ja maastopyöräilyreitistöjä**
 - Kaivosen lähiympäristöt sisältävät monia vakiintuneita polkuja ja reittejä. Kaivosympäristön liittäminen osaksi näitä toisi lisämahdollisuuksia mm. alamäkimaastopyöräilyyn, kuntoportaille yms. liikunnallisiin aktiviteetteihin.
- **Alueen hyödyntäminen energiantuotannossa**
 - Aurinkoenergia
 - Vesivoima
- **Alueen hyödyntäminen matkailullisesti**
 - Näköalatasanne oheistoimintoineen mm. kahvilaa, historiaa
 - Rantabulevardi (Pidisjärven ranta ja Kalajoen rinnalla kulkeva penkkatie)
 - Kulttuurimaisema (pellot, vanhat ladot, joki)

Uusiokäytön suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon

- Mahdollisten peitto- ja suojarakenteiden kestävyys ja näiden aiheuttamat toiminnalliset rajoitukset
- Vastuukysymykset

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

KAIVASU

GTK

Sivumateriaalien hyödyntäminen kaivosalueen peittorakenteissa ja kaivosalueen mallintaminen

Miradije Rama ja Vaula Lukkarinen



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Sulkemisrakenteet ja ympäristö

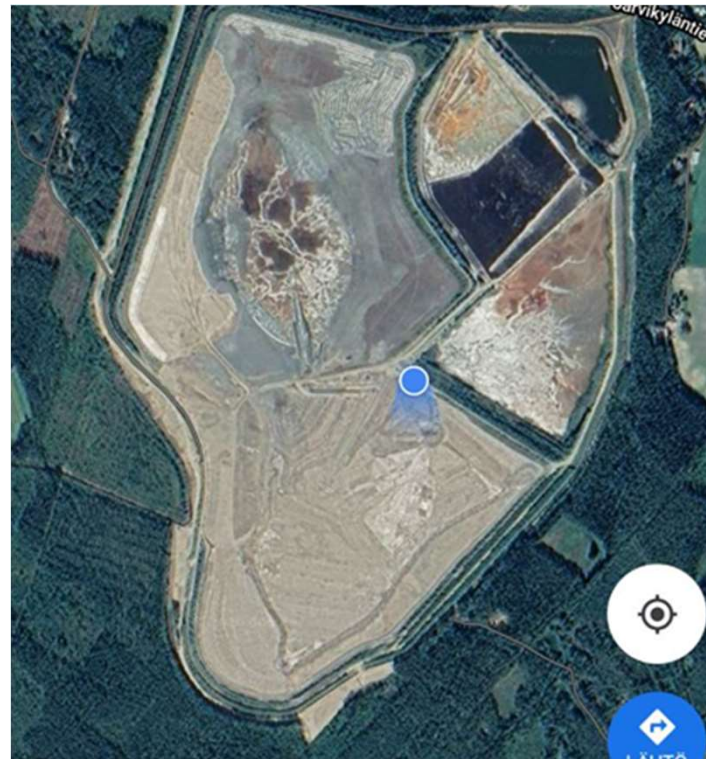
- ❑ Tavoitteena on luoda edellytyksiä innovatiivisten, sekundääristen raaka-aineiden (kuitusavi) hyötykäyttöä ja kiertotaloutta tukevien peittorakennemateriaalien käyttämiselle.
 - Paperiteollisuuden sivulietteet: OPA-sakka, Äänekosken kuitusavi ja Mäntän kuitusavi.
 - Sekundääristen sivuvirtojen käytöllä vähennetään merkittävästi jätteiden loppusijoituksen ympäristövaikutuksia ja säästää luonnonvaroja kun sivuvirtoja hyödynnetään korvaamaan maaperästä louhittavia neitseellisiä raaka-aineita.

- ❑ Tutkimuksen tarkoituksena on luoda tietokonemalli, jolla voidaan tarkastella peittorakenteiden toimivuutta myös pitkällä aikavälillä.

Kestävä kasvua ja työtä -ohjelma

Peittorakennemateriaalien tutkimukset

- Campbell Scientificin sääasema asennus rikastushiekka-altaalle



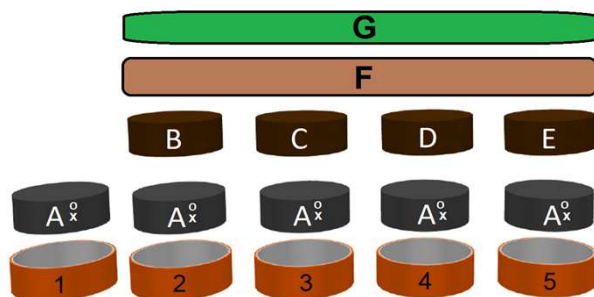
- Lämpötila, tuulen suunta ja nopeus, sadanta, haihdunta, auringon säteily määrä.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Peittorakennemateriaalien tutkimukset

□ Lysimetrien asennus

Hituran lysimetritesti koostuu 5 kpl 30 cm korkeista ja 100 cm halkaisijaltaan olevista lysimetreistä, jotka kaivetaan rikastushiekan pintakerroksen sisään.



G= Moreeni kasvukerros
F= Moreeni
E= OPA-sakka
D= Äänekosken kuitusavi
C= Mäntän kuitusavi
B= Moreeni
A = Rikastushiekka



Lysimetrien asennusta valmisteltiin mm. liittämällä sensorit loggausasemaan.



Lysimetrien rikastushiekan pintaosiin asennettiin happi-, sekä W-T-EC –sensorit.

Peittorakennemateriaalien tutkimukset

Lysimetrit 1-4 peitettiin vielä noin 20 cm moreenikerroksella ja noin 5 cm moreenisella kasvukerroksella. Lysimetrien suotovesiletkun liitettiin veden määrää mittaaviin tipping bucket –mittareihin, joista vesi virtaa edelleen keräyskanistereihin.

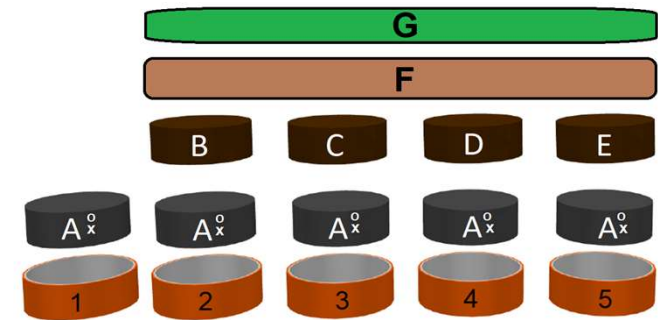


Peittorakennemateriaalien tutkimukset

□ Peitematerialin karakterisointi

Testien dataa käytetään haitta-aineiden liikkuvuuden arvioinnissa (eri vahvuisia uuttoja, joiden perusteella nähdään kuinka liukoissa faaseissa haitta-aineet ovat) ja lähtödatana mallinnuksessa.

	S *	AP	NP	NPR
Näyte	%	kg CaCO ₃ /t	kg CaCO ₃ /t	
Rikastushiekka	1,1	34,5	178,8	5,18
Moreeni	<0.01	<0.3	-0,6	
OPA-sakka*	0,15	4,6	372,3	81,8
Ääneskosken kuitusavi*	0,03	1	775,6	768
Mäntän kuitusavi*	0,05	1,7	374	219



G= Moreeni kasvukerros, F= Moreeni, E= OPA-sakka
D= Ääneskosken kuitusavi, C= Mäntän kuitusavi, B= Moreeni
A = Rikastushiekka

Rikastushiekassa on hieman sulfideja, mutta ei näyttäisi olevan happoa tuottavaa ainesta, peitemateriaaleilla on hyvä neutralointipotentiaali

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Peittorakennemateriaalien tutkimukset

☐ Materiaalien karakterisointi

Lysimetrikokeissa käytetyn materiaalien geokemialliset analyysitulokset ICP-OES- ja ICP-MS tekniikalla sekä PIMA-asetuksen kuningasvesiuuttotuloksiin perustuvat kynnyks- ja ohjearvot.

	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-OES	ICP-OES	ICP-OES	ICP-OES	ICP-OES	ICP-OES
Alkuaine	As	Cd	Pb	Sb	Co	Cr	Cu	Ni	V	Zn
Näyte	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Rikastushiekka	6,25	0,3	3,63	0,11	82,8	332	1510	1780	21	43
Moreeni	2,12	0,03	3,51	0,13	5,8	23,9	16,4	17	28,4	25
OPA-sakka	0,73	0,12	2,94	0,11	<1	7,3	5	3,6	4,2	40
Äänenkosken kuitusavi	0,23	0,19	1,97	<0.02	<1	23,1	1,7	5,2	1,4	18
Mäntän kuitusavi	0,59	0,07	2,88	0,11	2,1	6,8	96,3	5,2	8,8	24
SMA-näyte1	2,08	0,31	4,22	0,13	1,1	7,1	4,6	5,9	7	29
Sma-näyte2	1,28	0,07	4,97	0,19	1,2	10,3	4,3	5,5	7	31

	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V
PIMA kynnyksarvo	2	5	0,5	1	20	100	100	60	50	200	100
PIMA alempi ohjearvo	10	50	2	10	100	200	150	200	100	250	150
PIMA ylempi ohjearvo	50	100	5	20	250	300	200	750	150	400	250

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Peittorakennemateriaalien tutkimukset

□ Hituran lysimetriseuranta tulokset

Lysimetreistä suotautuvan veden määrää tarkkaillaan ja analysoidaan säännöllisesti.

PVM		pH	EC [mS/cm]	SO4(2-)	Al*	Ca*	Co*	Cu*	Fe*	K*	Mg*	Mn*	Na*	Ni*	Si*	Zn*
10.08.2020	LY3	7,43	29,1	15900	< 0,03	460	0,24	0,02	0,01	300	11000	43	28	9	2,3	0,12
22.10.2020	LY1	8	1476	15888	< 0,15	390	0,11	0,03	< 0,05	180	11000	24	49	2,2	1,1	0,22
	LY4	7,8	861	15833	< 0,15	350	0,06	< 0,03	< 0,05	110	3700	18	28	2,7	1,1	0,06
	LY5	7,5	1195	15820	< 0,15	360	0,16	< 0,03	< 0,05	190	7900	39	33	6,3	1,3	0,1
19.11.2020	LY1	7,6	27,3	15828		430	0,1	0,04	< 0,05	240	11000	19	48	1,6	0,9	0,1
	LY2	7,8	26,1	15715		400	0,1	0,04	< 0,05	240	9100	25	45	4	1,6	0,1
18.2.2021	LY1	7,7	12,5	12529	< 0,03	190	0,0	0,01	0,04	87	3000	4,7	25	0,3	0,5	0,0
	LY2	7,7	15,7	34142	< 0,03	270	0,1	0,04	< 0,01	240	8600	18	66	2,4	1,7	0,1
	LY4	7,6	2,8	1608	< 0,03	200	0,0	< 0,005	< 0,015	23	310	1,5	12	0,2	0,5	0,0
	LY5	7,4	5,4	5416	< 0,03	130	0,0	0,01	< 0,01	52	1200	5,7	5,4	0,9	0,6	0,0
14.7.2021	LY5	6,5	3,8	3695	< 0,08	530	< 0,02	0,14	0,037	46	630	3,5	3,1	0,8	2,1	0,3
3.11.2021	LY1	7,9	15	18000	< 0,08	130	0,0	0,08	< 0,025	140	4900	5,5	29	0,6	1,4	0,4
	LY2	7,9	17	24000	< 0,08	350	0,1	0,06	< 0,025	180	5700	9	50	1,5	1,9	0,6
	LY3	7,8	15	23000	< 0,08	360	0,1	0,03	< 0,025	160	3900	11	70	1,5	2,1	0,2
	LY4	7,7	7,6	7600	< 0,08	380	< 0,01	0,05	< 0,025	100	1600	0,019	18	0,3	1,1	1,1
	LY5	7,5	6	5800	< 0,08	390	< 0,01	0,02	< 0,025	79	1200	0,12	5,1	0,8	1,6	0,1

* µg/l

LY1 = OPA-sakka

LY2 = Äänekosken kuitusavi

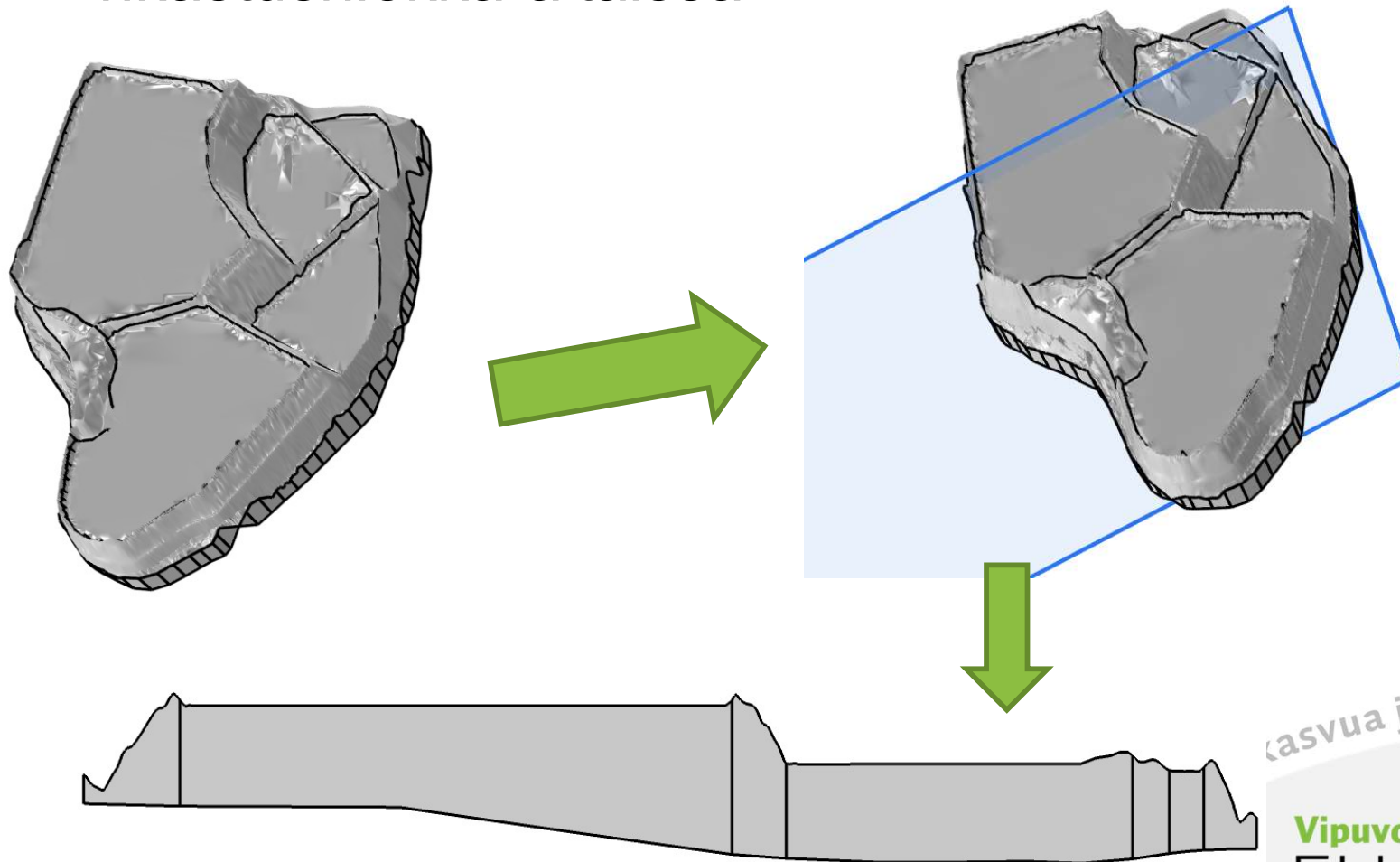
LY3 = Mäntän kuitusavi

LY4 = Moreeni

LY5 = Rikastushiekka

Rikastushiekka-alueen malli

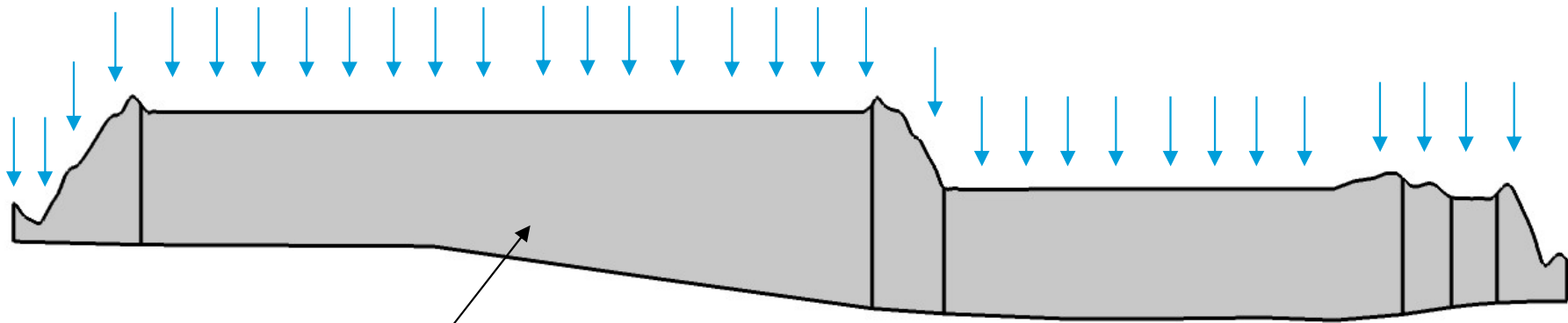
- Malli keskittyy kaivosjätteen rapautumiseen rikastushiekka-altaissa



Kasvua ja työtä -ohjelma

Käsitteellistäminen

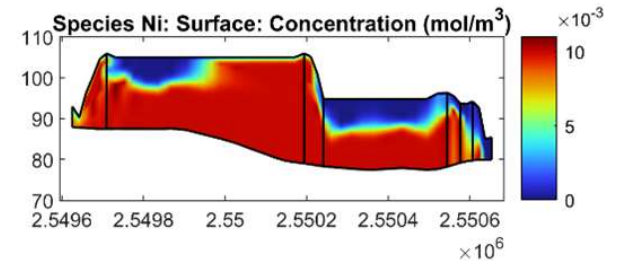
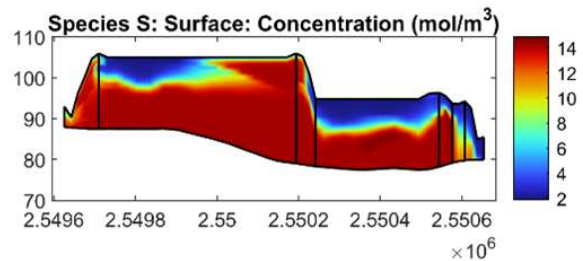
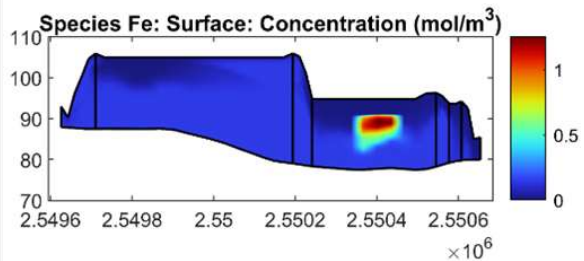
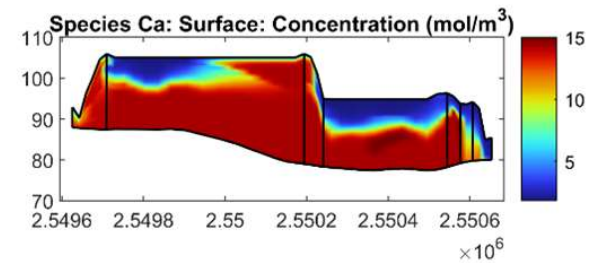
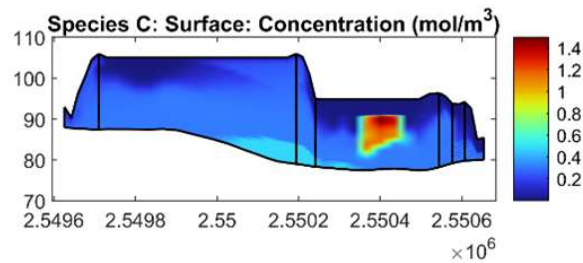
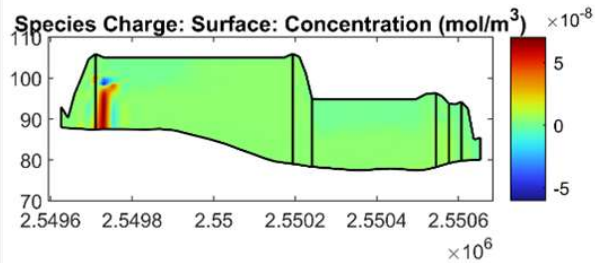
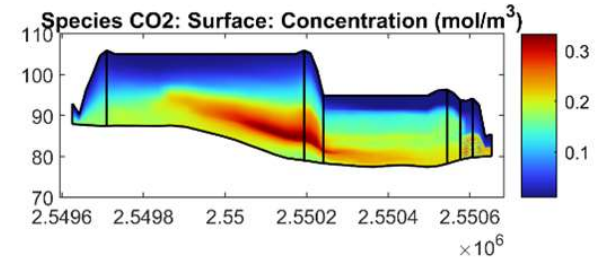
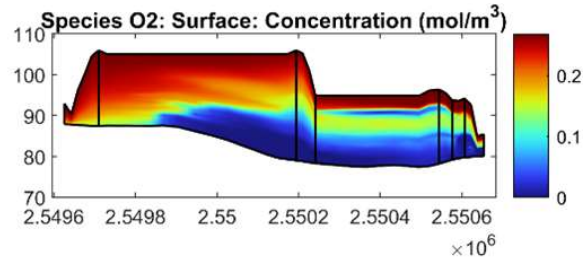
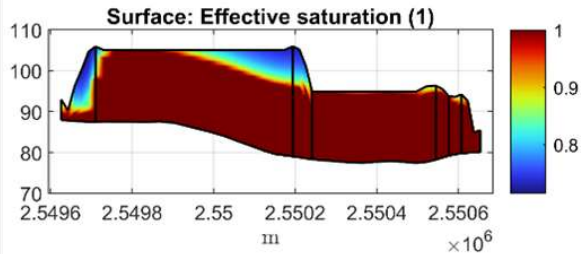
Sadanta ja veden suotautuminen
O₂ tunkeutuminen sisään
CO₂ poistuminen



Pyriitin ja kalsiitin liukeneminen
Happamuuden ja
hapettumistuotteiden vapautuminen
Redox prosessit

Kestävä kasvua ja työtä -ohjelma

Liuenneet spesiekit 10 vuoden jälkeen

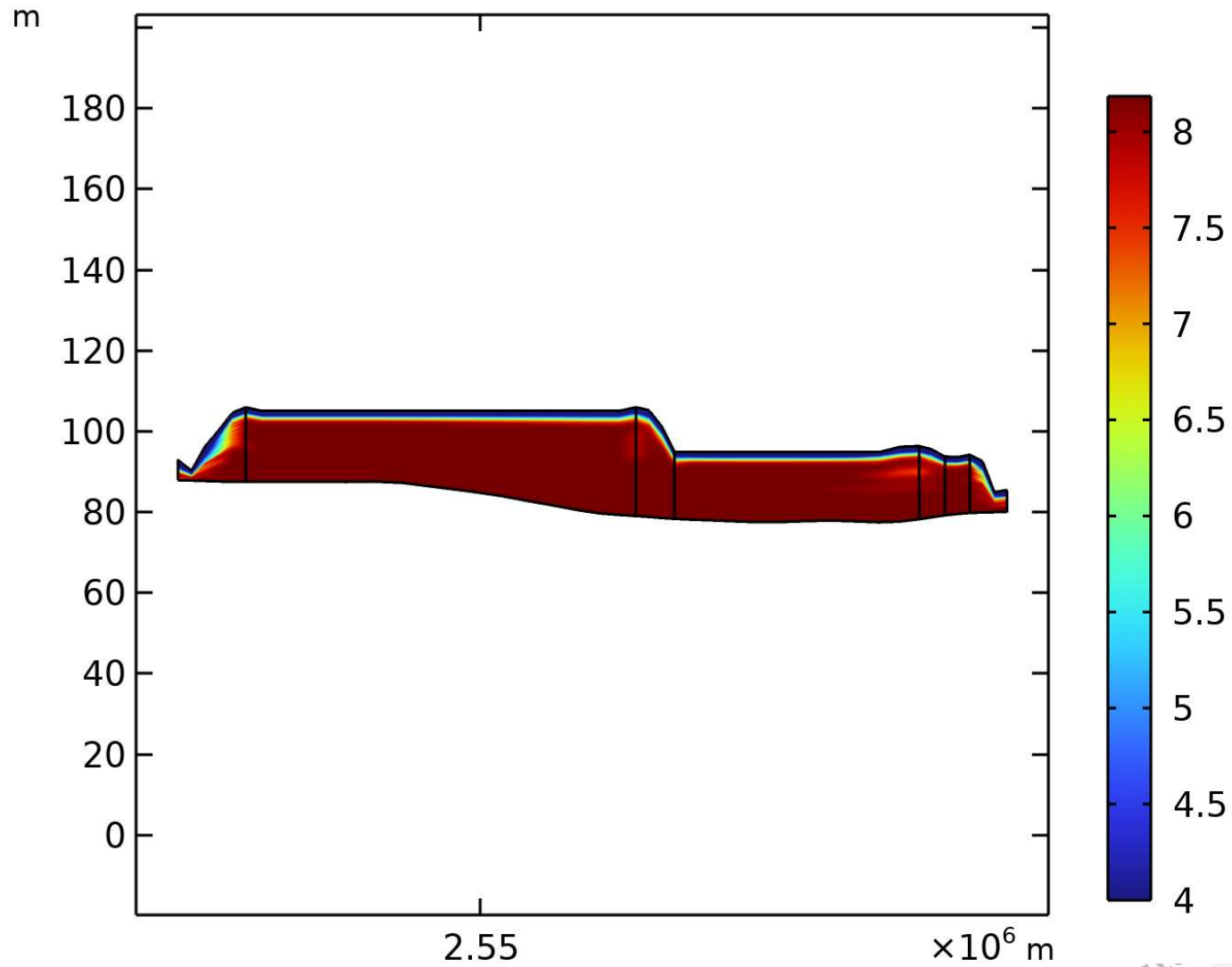


Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



pH



Kesä-
kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

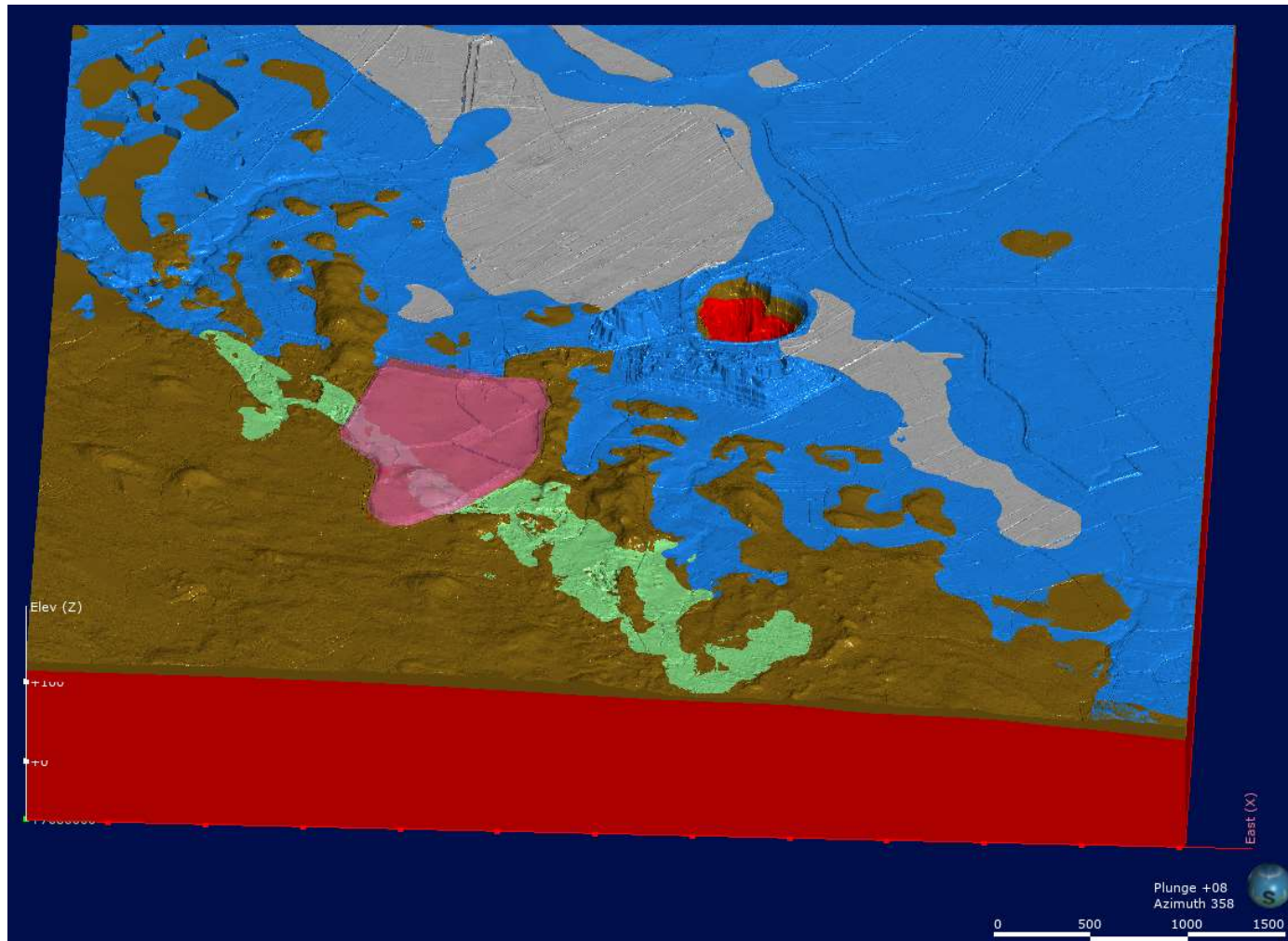


Virtausmalli ja reaktiivinen kulkeutumismallinnus

- 3D-geometria perustuen Silja Pietilän ja Kristiina Nuottimäen gradujen maaperäaineistoihin
 - Aineisto ei soveltunut suoraan sellaisenaan
- Pohjavedenpinnat ELY-keskuksen seurannasta

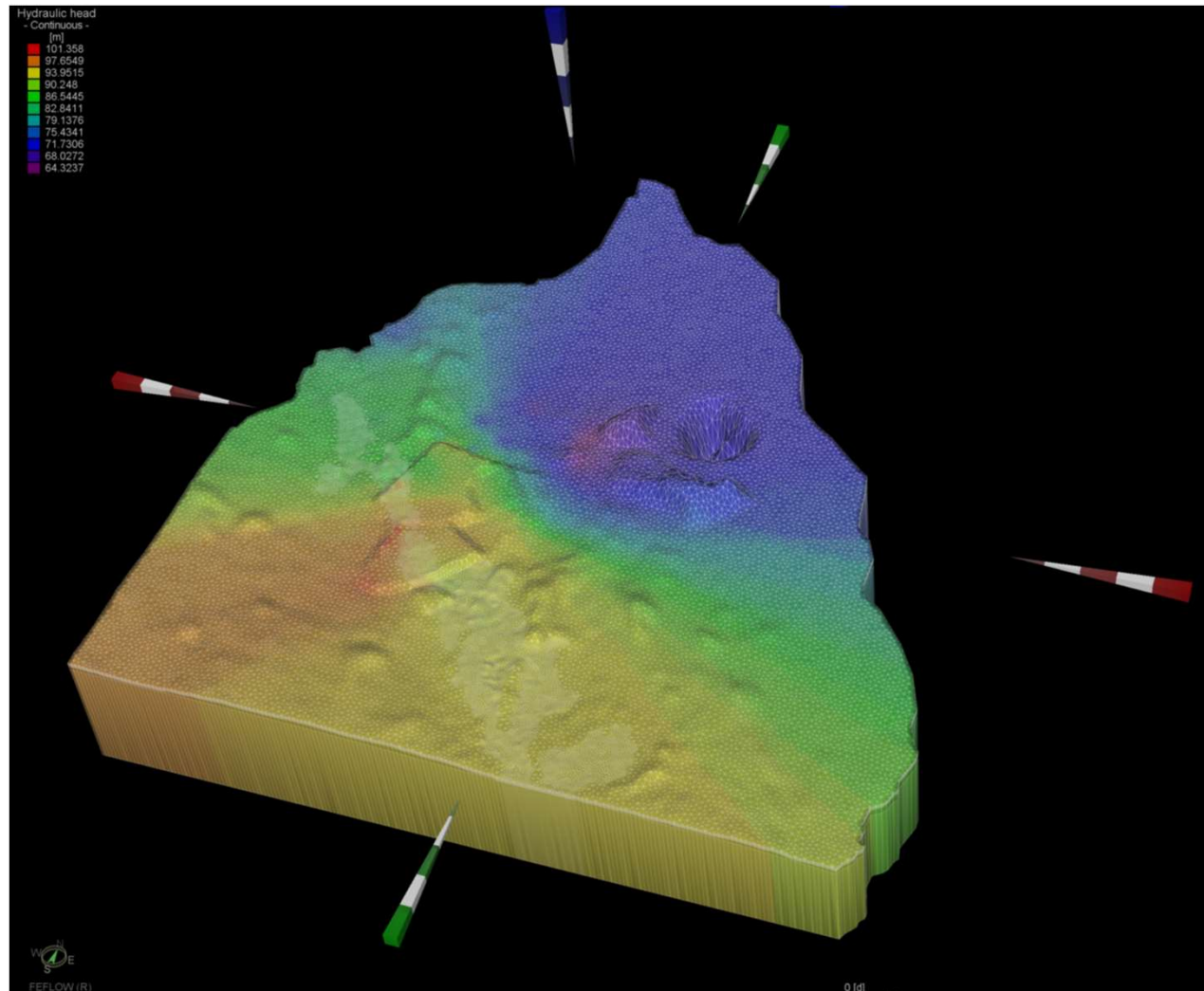
- Reaktiivinen kulkeutumismalli työn alla

Malligeometria



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Lähtötilanne, pohjavedenpinta



Kestävä
a työtä -ohjelma

KAIVASU

SYKE

Avolouhoksen hyödyntäminen bioreaktorina

Tiina Laamanen ja Ritva Nilivaara



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



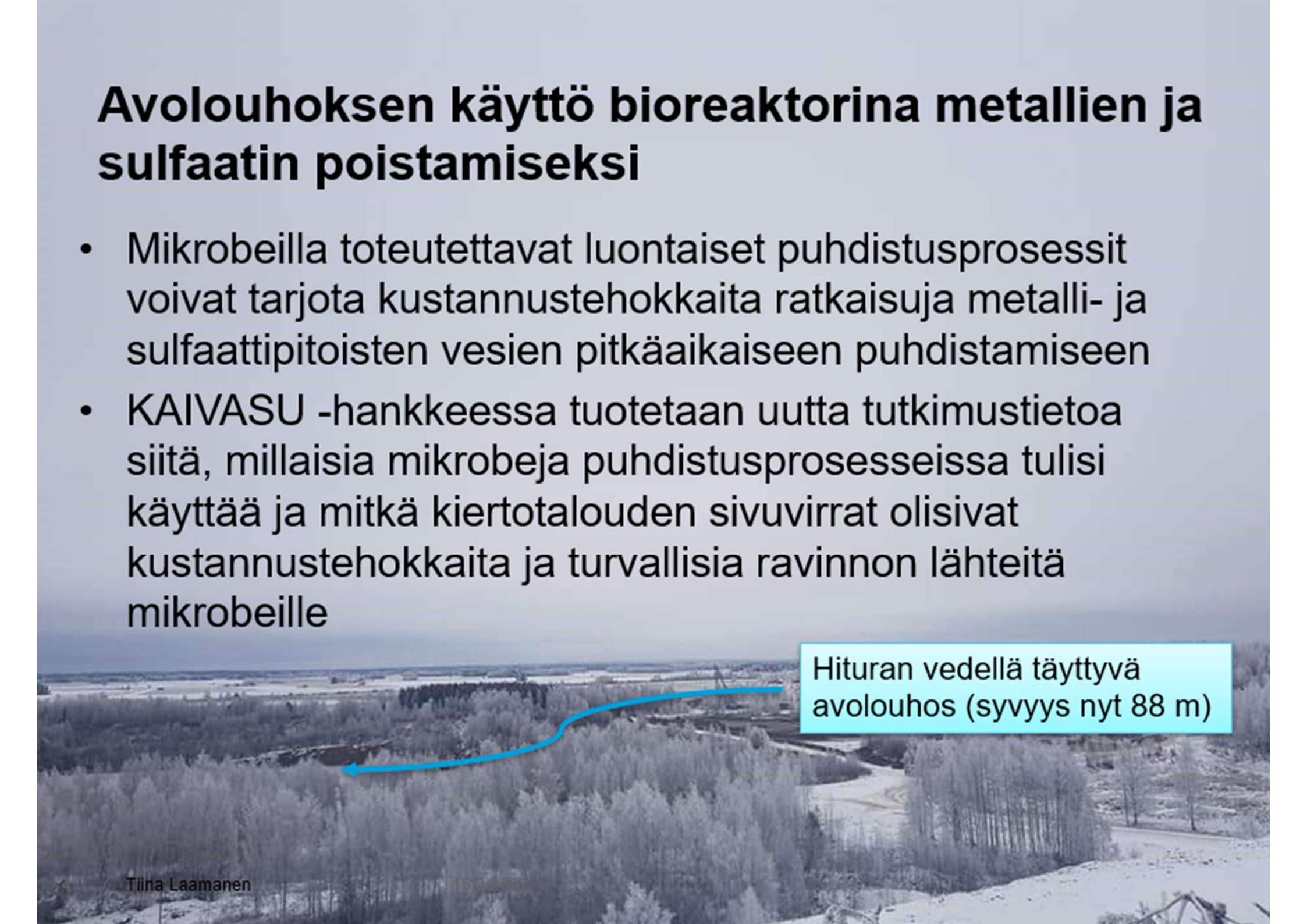
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Avolouhoksen käyttö bioreaktorina metallien ja sulfaatin poistamiseksi

- Mikrobeilla toteutettavat luontaiset puhdistusprosessit voivat tarjota kustannustehokkaita ratkaisuja metalli- ja sulfaattipitoisten vesien pitkäaikaiseen puhdistamiseen
- KAIVASU -hankkeessa tuotetaan uutta tutkimustietoa siitä, millaisia mikrobeja puhdistusprosesseissa tulisi käyttää ja mitkä kiertotalouden sivuvirrat olisivat kustannustehokkaita ja turvallisia ravinnon lähteitä mikrobeille

An aerial photograph of a winter landscape with snow-covered ground and bare trees. A blue arrow points from a text box on the right to a depression in the ground in the middle of the image.

Hituran vedellä täyttyvä avolouhos (syvyys nyt 88 m)

Taustaa

- Mikrobien avulla voidaan pelkistää sulfaattia ja metalleja takaisin sulfideiksi
- Liukoiset metallit ja suolaantumista aiheuttava sulfaatti saadaan saostettua vedestä bioprosessin avulla
- Prosessin käyntiin saaminen vaatii hiilen lähteen, jotta bakteereille on ravintoa käytettävissä
- Hituran avolouhoksen mahdollinen käyttäminen bioreaktorina on tunnistettu jo Hituran kaivoksen sulkemisen yleissuunnitelmassa (WSP Environmental Oy, 2008)

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Tavoitteet

- **Tutkia** mikrobien soveltuvuutta puhdistukseen laboratoriomittakaavan pullokokeissa
- **Testata** pullokokeissa parhaiksi havaittuja syötteitä (esim. puuhake) ja olosuhteita avolouhosta jäljittelevässä bioreaktorikokeessa.
- **Luoda** toimintamalli metallien ja sulfaatin poistamiseksi avolouhoksen vedestä.



Laboratoriomittakaavan pullokoe

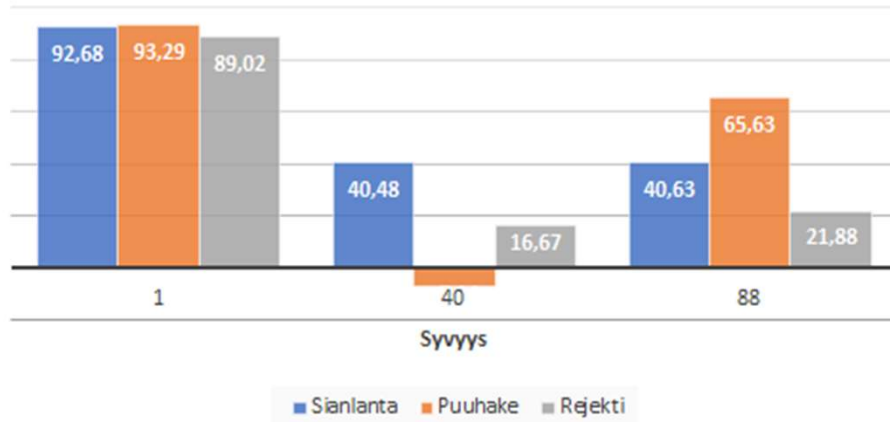
- Haettiin keväällä 2020 Hituran avolouhoksen vettä metrin, 44 metrin ja 88 metrin syvyyksistä
- Syötteeksi mikrobeille tarjottiin sian lantaa, puuhaketta ja biokaasulaitoksen rejektiä
- 8 viikon inkubointi kasvatuskaapissa
- Kokeen alussa ja lopussa
 - mitattiin sähkönjohtavuus, pH, redox
 - analysointiin vesinäytteet (ravinteet ja metallit)
 - otettiin mikrobinäytteet myöhempään DNA-sekvensointiin



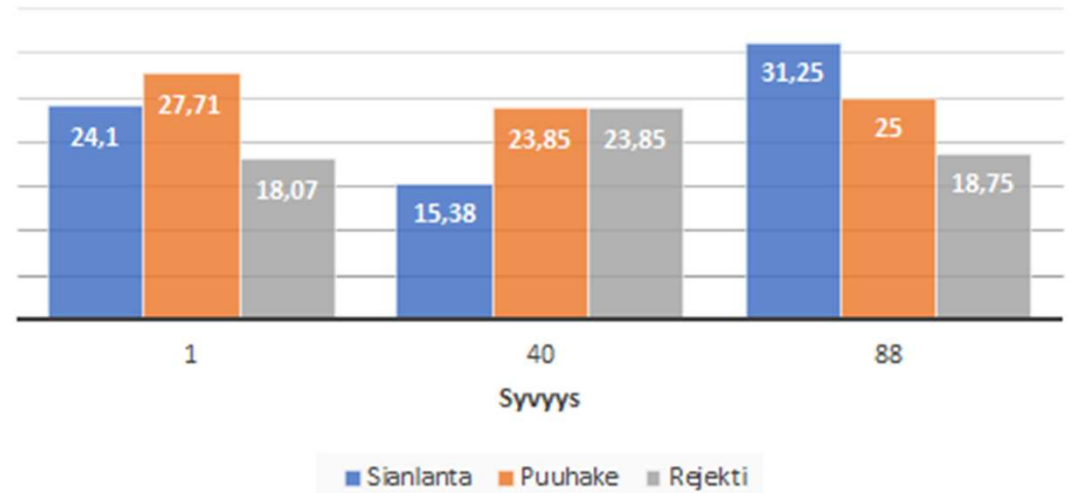
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Tuloksia: pullokoee

Kuparin reduktio

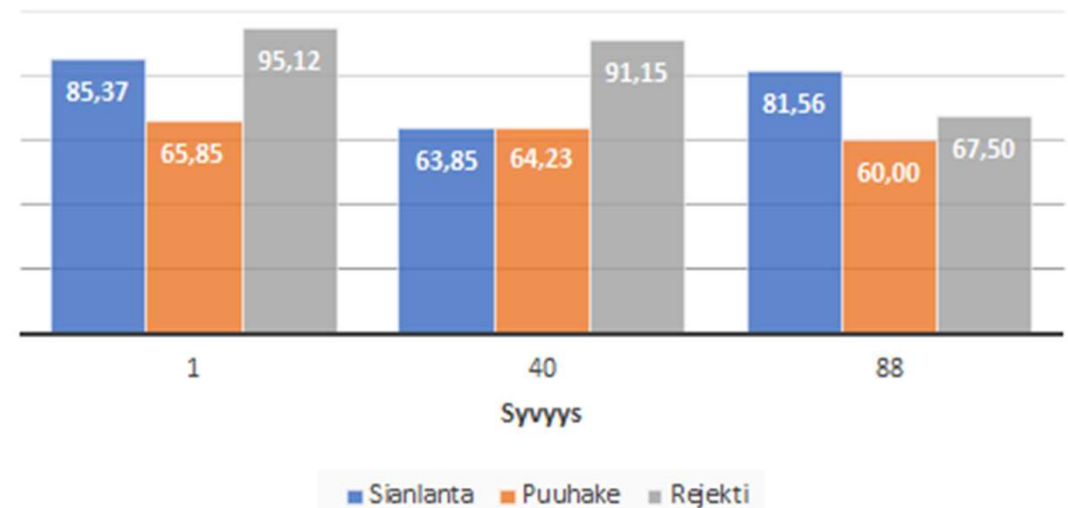


Sulfaatin reduktio



1 m	alku	Sianlanta	Puuhake	Rejetti	Kontrolli
pH	7,8	7,0	6,0	7,2	5,5
Redox	227	-314	-135	-220	122
Happi	6,10	0,16	0,54	0,00	9,40
40 m	alku	Sianlanta	Puuhake	Rejetti	Kontrolli
pH	6,9	6,9	5,9	7,1	8,0
Redox	352	-290	-191	-264	15
Happi	6,78	0,14	0,17	0,00	9,43
88 m	alku	Sianlanta	Puuhake	Rejetti	Kontrolli
pH	6,9	6,9	6,1	6,9	7,8
Redox	369	-290	-125	-124	53
Happi	8,11	0,01	1,11	0,00	9,50

Nikkelin reduktio



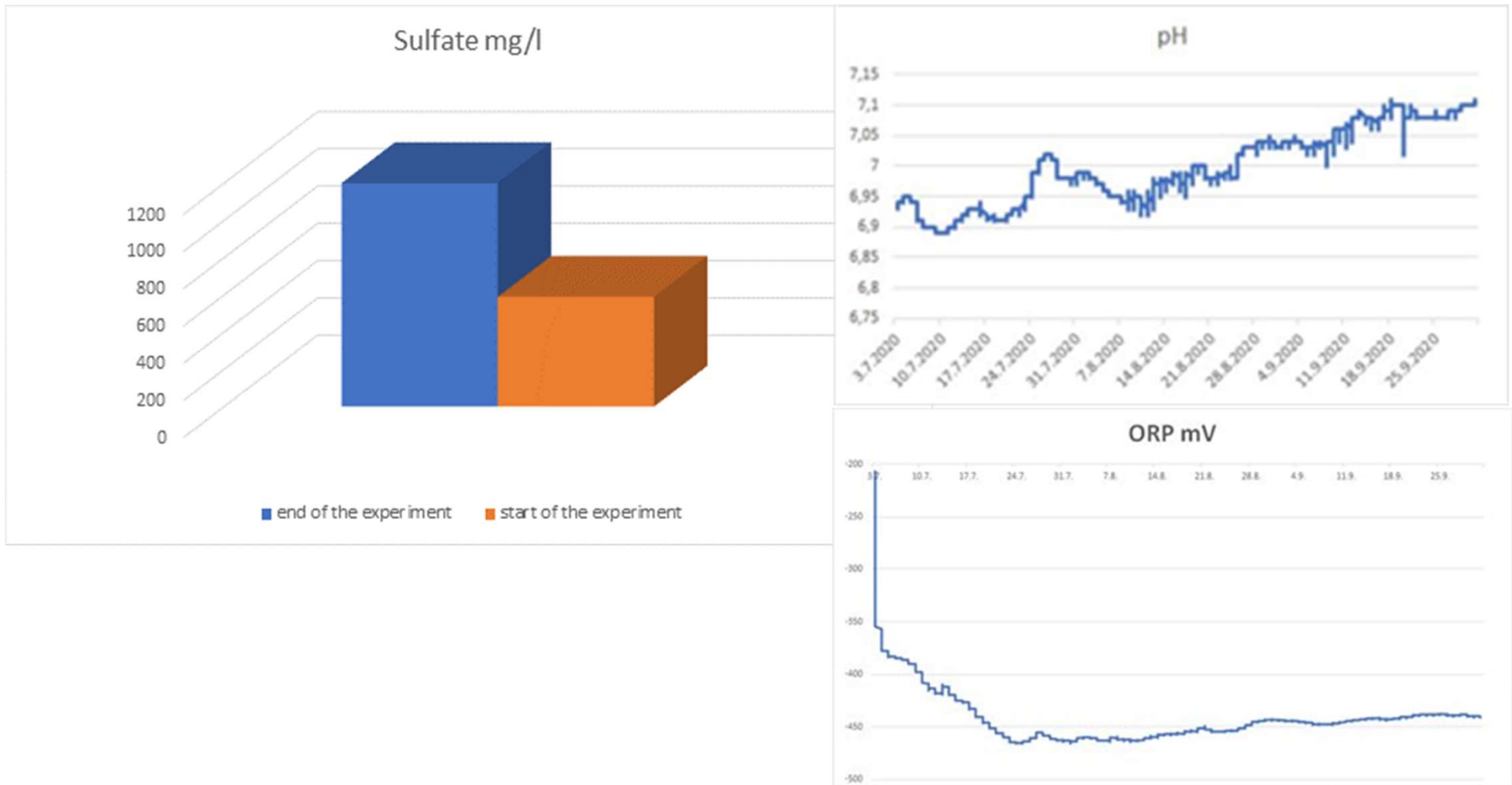
Mesokosmosmittakaavan konttikoe

- 700 litraa Hituran avolouhoksen vettä pumpattiin 40 metristä
- Syötteeksi mikrobeille sian lantaa
- Jatkuvat toimiset mittarit koko kokeen ajan: pH, happi, sähkönjohtavuus, redox
- Vesinäytteet alussa ja lopussa
- Mikrobinäytteet alussa ja lopussa eri vesikerroksista
 - Bioinformatiikka-analyysit sekvensoidulle aineistolle parhaillaan käynnissä



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Tuloksia: konttikoe



Kestävää kasvua ja työtä

Johtopäätöksiä

- Sianlanta toimii varmimmin - kaikissa tapauksissa tulokset hyviä
- Rejekti puhdistamolietettä käyttävältä biokaasulaitokselta - sisältää jotain raskametalleja, ei hyvä vaihtoehto
- Puuhake hyvä kasvualusta bakteereille - hidas hajoaminen ehkä hättäsä tehoa? Ei sisällä itsessään kovin vahvaa bakteeriympäristöä
- Päästiin lähes hapettomiin olosuhteisiin - puuhake hajoaa hitaasti, joten tulokset heikoimmat



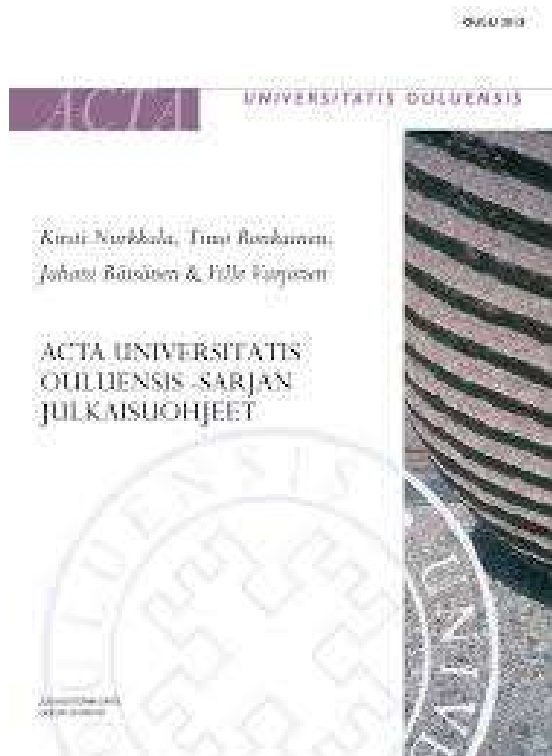
Mikrobinäytteiden analysointi

- Mikrobinäytteiden DNA eristettiin kaupallisella kitillä ja DNA:n saanto varmistettiin tarkoitukseen kehitetyllä spektrofotometrillä
- Näytteet lähetettiin kaupalliselle toimijalle (FIMM) sekvensointaviksi Illuminan MiSeq –sekvensaattorilla
- Valmis sekvensointiaineisto analysoidaan bioinformatiikan työkaluilla (Qiime2)
- Indikaattorilajianalyysi, erityisenä mielenkiinnon kohteena mm. SRB-bakteerit



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

- KAIVASU-hankkeen loppuraportti tullaan julkaisemaan Acta F-sarjassa



Sisällys

Abstract

Tiivistelmä

Kiitokset

Lyhenteet ▶

Osajulkaisut ▶

Sisällys ▶

1 Johdanto

2 Työpaketti 1 Sulkemistoimien lähtötiedot

2.1 Tausta

3 Työpaketti 2, Sulkemirakenteet ja ympäristö (GTK ja YO)

3.1 Tavoitteet

3.2 Toimenpiteet

3.2.1 Sääaseman asennus

3.2.2 Lysimetrien asennus

3.2.3 Materiaalien karakterisointi

3.2.4 Hituran rikastushiekka-alueen infiltratrimittaukset

3.3 Seuranta

3.4 Tulokset

3.1 Johtopäätökset

4 Taulukon lisääminen

5 Suorat lainaukset, listat (luettelmat), kaavat ja merkkityylit

Lähdeluettelo ▶

Liitteet ▶

Osajulkaisut ▶

11

13

15

17

19

23

23

28

28

29

29

29

32

33

34

34

37

38

40

42

44

46

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

MENTIMETER KYSYMYKSET

Mene puhelimella tai
selaimella osoitteeseen

www.menti.com

Syötä koodi:

1595 3629

