

LIFE12 ENV/FI/000592 UPACMIC - Utilisation of by-products and alternative construction materials in new mine construction

Teollisuuden sivutuotteiden hyödyntäminen kaivosten ympäristönsuojarakenteissa - PILOTOINTI

Uudet mahdollisuudet kaivosympäristöjen kiertotaloudessa ja kestävässä kehityksessä 16.3.2022

Ins. Emmi Ilonen
Emmi.ilonen@ramboll.fi
+358 400132928



LIFE12 ENV/FI/000592



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment



PILOTOINTIVAIHE



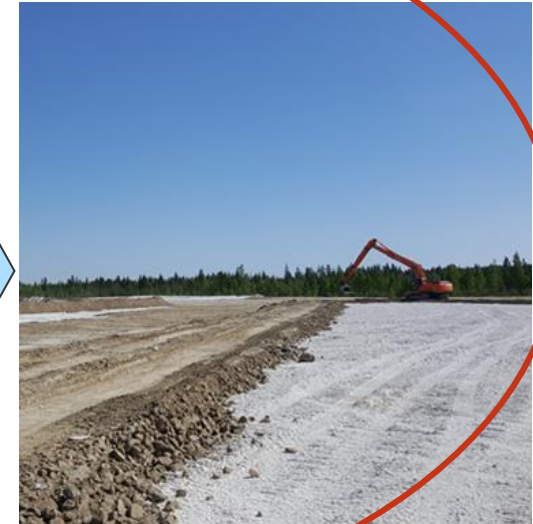
Alueellinen materiaalikartoitus ja mahdollisuudet/reunaehdot (saatavuus, määrät, laatu, kustannukset, aikataulu...)



Materiaalitestaus laboratoriossa (tekniset ominaisuudet ja ympäristökelpoisuus/liukoisuus)



Materiaalien/rakenteiden testaus kenttäolosuhteissa (Laboratoriossa parhaaksi todetut rakenteet)



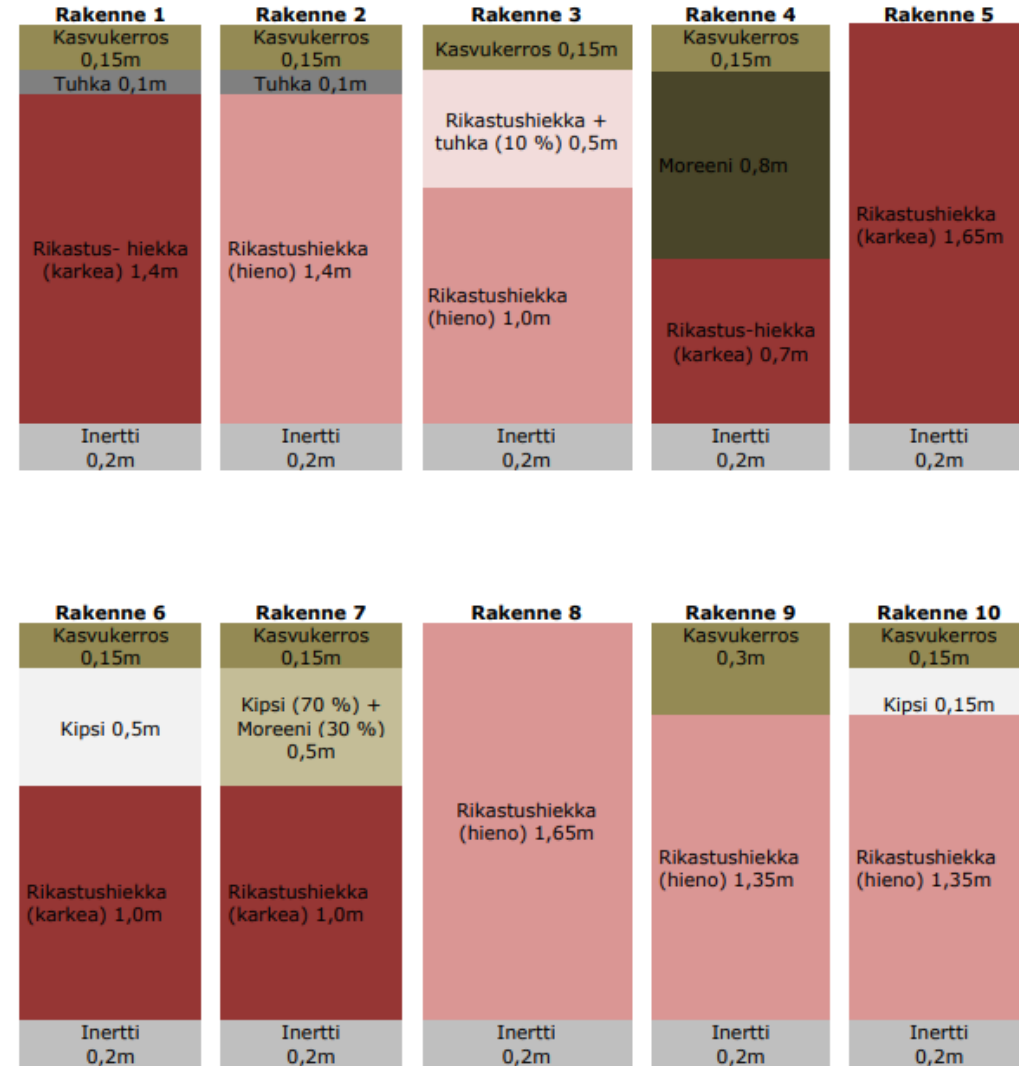
Laajamittainen pilotointi

PILOTTIEN SIJAINTI



PILOTOINTI PYHÄSALMEN KAIVOKSELLA 2016-2019

- Yhdyshenkilönä toimi Maria Hänninen (Pyhäsalmi Mine Oy).
- Rakentamisesta, siihen liittyvästä kalustosta ja materiaaleista vastasi Suomen Maastorakentajat Oy (nykyään Skarta Finland Oy).
- Suunnittelusta, teknisistä ohjeistuksesta, laadunvalvonnasta sekä raportoinnista vastasi Ramboll Finland Oy. Pilottirakenteiden suunnitteluun osallistui myös kanadalainen konsulttifirma Klohn Crippen Berger.
- Testattiin 5 erilaista pintarakennevaihtoehtoa sekä karkean että hienon rikastushiekan peitekerroksissa (yht. 10 rakennetta).
- Peittorakenteissa hyödynnettiin uusiomateriaaleina Yaran toimittamaa kipsiä ja Oulun energian lentotuhkaa, referenssirakenteet: ilman peittokerrosta, moreenipeitto ja pelkkä kasvukerros.

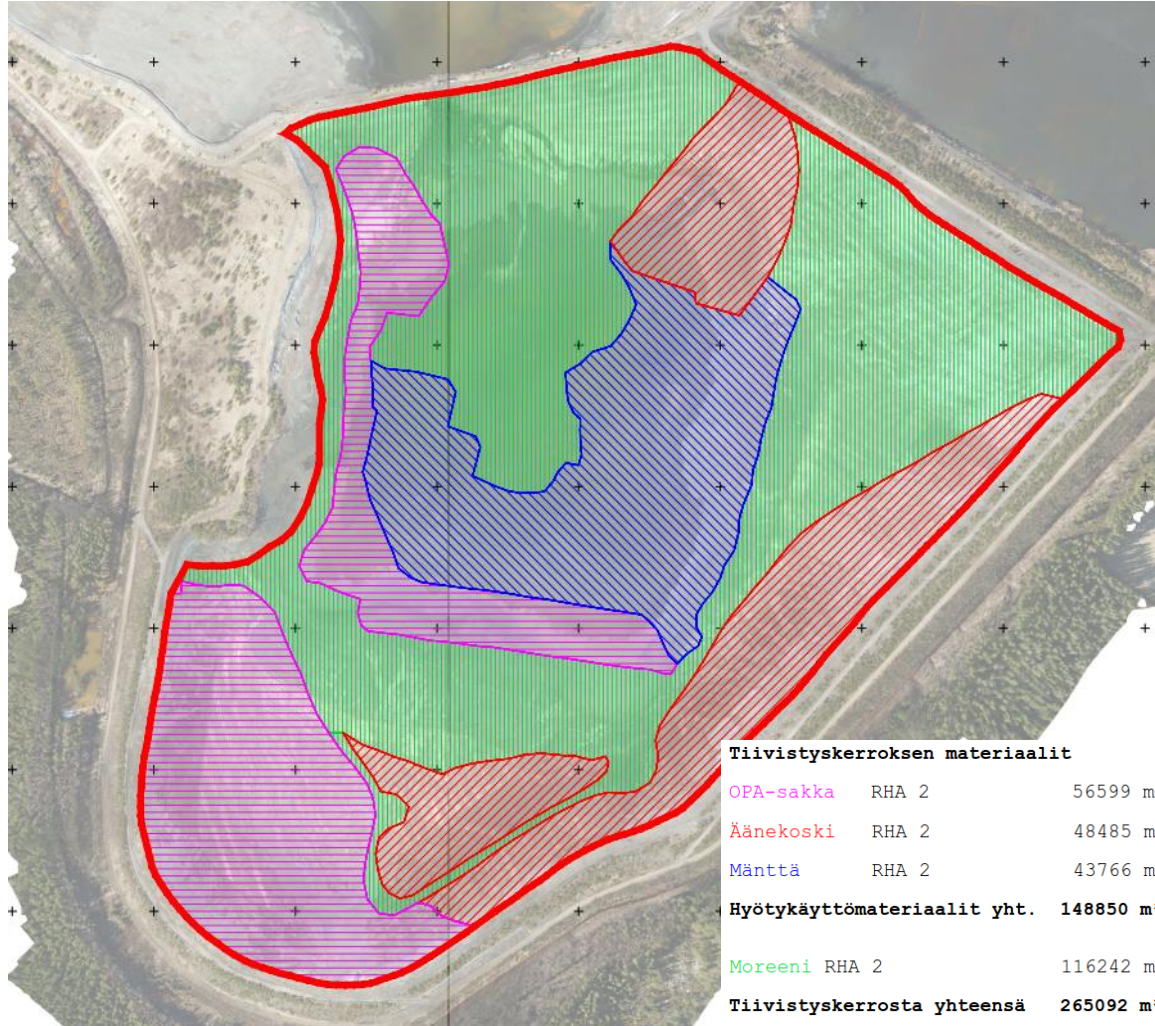


PYHÄSALMEN KOEJÄRJESTELY

- Materiaalit kerrostettiin noin 10 m³ suuruiseen sylinterimäiseen säiliöön, jonka alimpaan inerttiin kerrokseen asennettiin läpi suotautuneen veden keräävä lysimetri.
- Vesi ohjattiin lysimetrikaivoon, josta kerättiin suotovesinäytteitä.
- Lysimetrien seuranta tehtiin aktiivisesti 5/2016-8/2017.
- Lysimetrit purettiin 10/2019, jonka yhteydessä lysimetreistä otettiin vielä suotovesi- ja rakennekerrosnäytteet.
- Suotoveden määrää, pH:ta, redoxia ja sähkönjohtavuutta seurattiin viikoittain. Lisäksi suotovedestä analysoitiin säännöllisesti useita metalleja, sulfaatti-, kloridi- ja fluoridipitoisuuksia sekä DOC.



KUITUSAVIPEITTOKERROKSEN PILOTOINTI HITURASSA 2017-2018



RAKENTEELLE ASETETUT VAATIMUKSET



- Hituran toisen rikastushiekka-altaan peittorakenteet toteutettiin Fortumin toimesta kuitusavella ja moreenilla.
- Peittokerroksen tuli olla homogeeninen ja vedenläpäisevyysarvo $k < 1 \times 10^{-8}$ m/s, paksuus ≥ 200 mm ja mineraalimateriaalin päälle tulee vielä 100 mm kasvukerros.
- Kuitusaven teknisistä ja ympäristöllisistä ominaisuuksista tehtiin tutkimuksia, joilla materiaalin soveltuvuus todennettiin.

PEITTOKERROKSEN TOTEUTUS



- Ennen varsinaisia peittorakenteita jokaista kuitusavimateriaalia (Metsä Tissue Mänttä, Stora Enso Oyj Oulu ja Metsä Board Oyj Äänekoski) testattiin noin 10 m x 20 m koekentissä.
- Koekenttien avulla määritettiin tarvittavan materiaalikerroksen paksuutta ennen tiivistystä ja selvitettiin tavoiteteiveyden saavuttamiseksi tarvittavat toimintatavat.
- Peitekerroksen tiivistäminen suoritettiin yliajamalla telakaivinkoneella. Tiivistyksen jälkeen kerrospaksuus oli ainakin 250 mm, jolla huomioitiin kuitusaven biohajoavuus.
- Rakentaminen onnistui parhaiten kuivissa olosuhteissa, pienikin vesisade keskeytti rakentamisen.
- Levitetty ja tiivistetty kuitusavi tuli peittää välittömästi, jotta estettiin materiaalin kuivuminen.

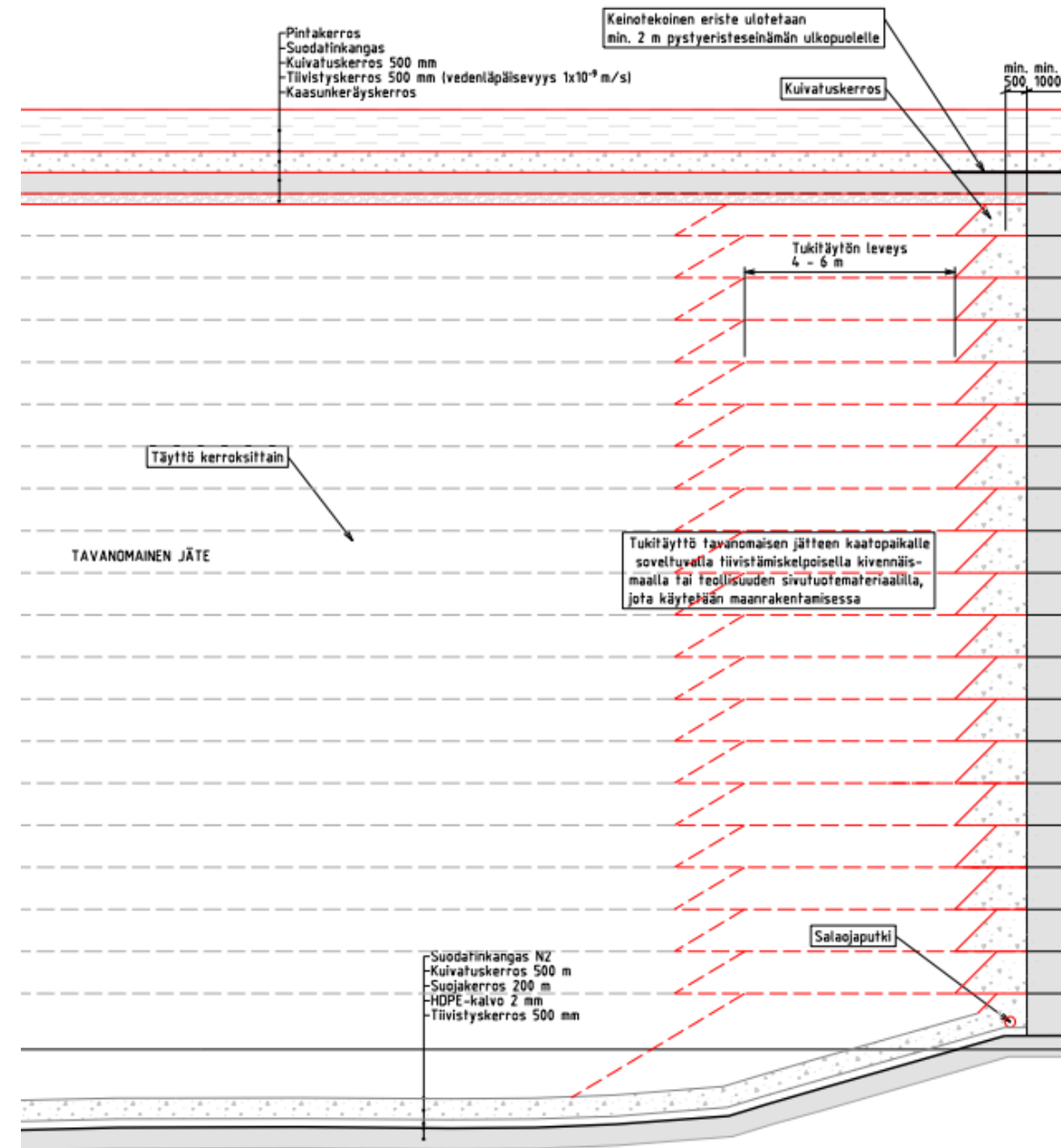
HITURASSA 2017-2018 UUSIOMATERIAALEILLA SÄÄSTETYT LUONNONVARAT

- Tiivistyskerros:
 - $148\,850\text{m}^2 \times 200\text{ mm} = 29\,770\text{ m}^3\text{ktr}$
- Kasvukerros:
 - Käytettiin yhteensä noin $5000\text{ m}^3\text{ktr}$ oksahaketta ja mädätysjätettä, jotka myös korvasivat neitseellisiä materiaaleja.



KUOPION PYSTYERISTERAKENNE

- Rakenteen toteutti Fortum Waste Solution Oy, suunnittelusta vastasi Afry Finland Oy ja laadunvalvonnasta Envineer Oy.
- Rakentaminen aloitettiin syksyllä 2020 ja suunnitellusta seinäpinta-alasta noin puolet valmistui joulukuussa 2020. Rakentamista jatketaan keväällä 2022.
- Pystyeristerakenteen tehtävänä oli estää suotovesien ja niiden mukana haitta-aineiden valuminen vaarallisen jätteen läjitysalueelta tavanomaisen jätteen läjitysalueelle.
- Pystyeristerakenteelta vaadittava vedenläpäisy arvo $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s.
- Tiivistyskerroksen materiaalina käytettiin kahden eri alueen ylijäämäsavea, jonka tiivistysominaisuudet ja siihen vaadittavat työtavat selvitettiin ennen rakentamista koekentillä.
- Vaadittavan tiiveyden saavuttamiseksi materiaalia tiivistettiin noin 500 mm kerroksissa kaapelikauhalla painaen.
- Rakenteen tiiveyttä seurattiin Troxler-mittarilla.

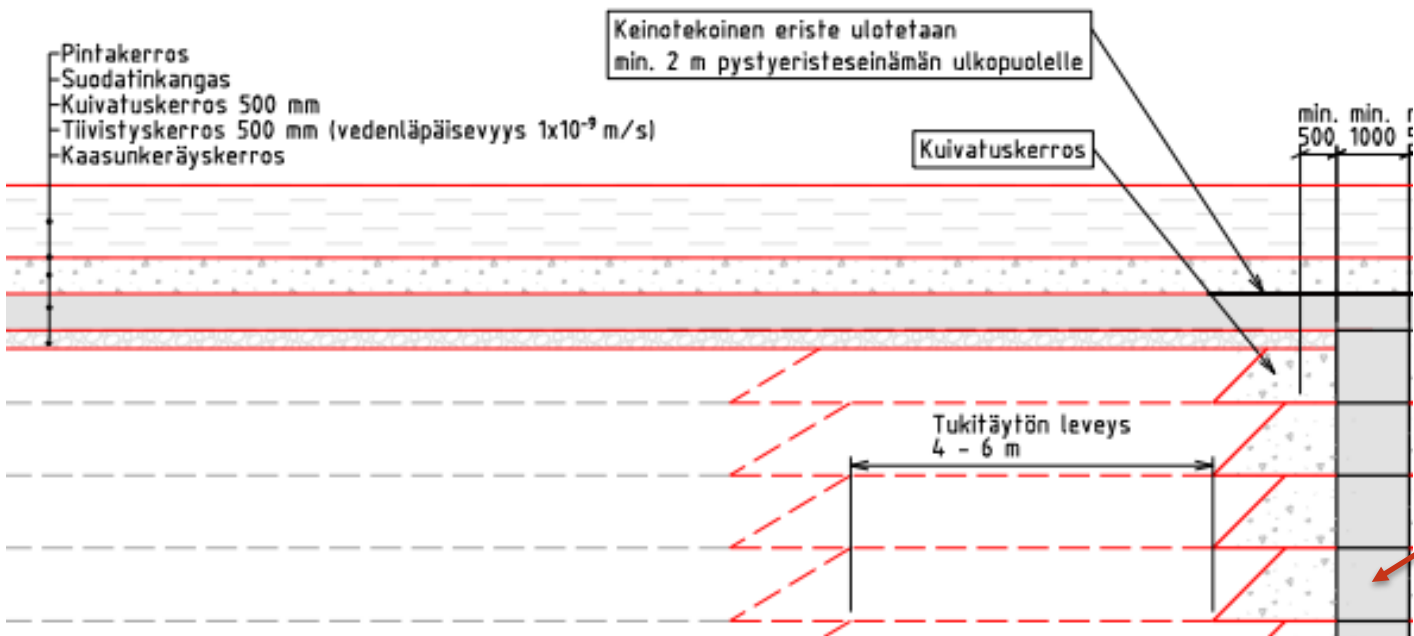


TIIVISTYSKERROS

Vanhan pohjarakenteen HDPE-muovikalvo kaivettiin esiin ja puhdistettiin.

Tiivistyskerros rakennettiin muotin avulla ylijäämäsavesta. Tiivistyskerroksen molemmille puolille asennettiin salaojaputket.

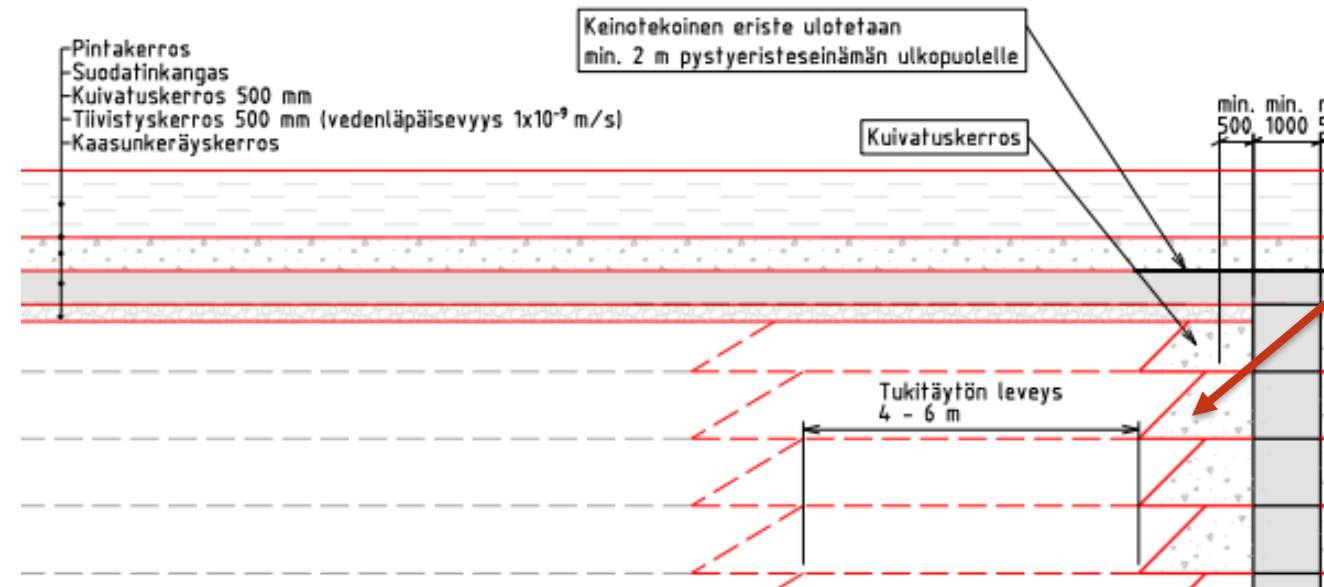
Yhdellä muotillisella rakentui 3-4 metriä valmista noin metrin levyistä tiivistyskerrosta.



KUIVATUSKERROS

Kuivatuskerros rakennettiin vähintään 0,5 m leveänä Riikinvoima Oy:n karkeasta pohjatuhkasta.

Tiivistyskerros tuettiin kuivatuskerroksen materiaalilla ennen muotin siirtämistä.

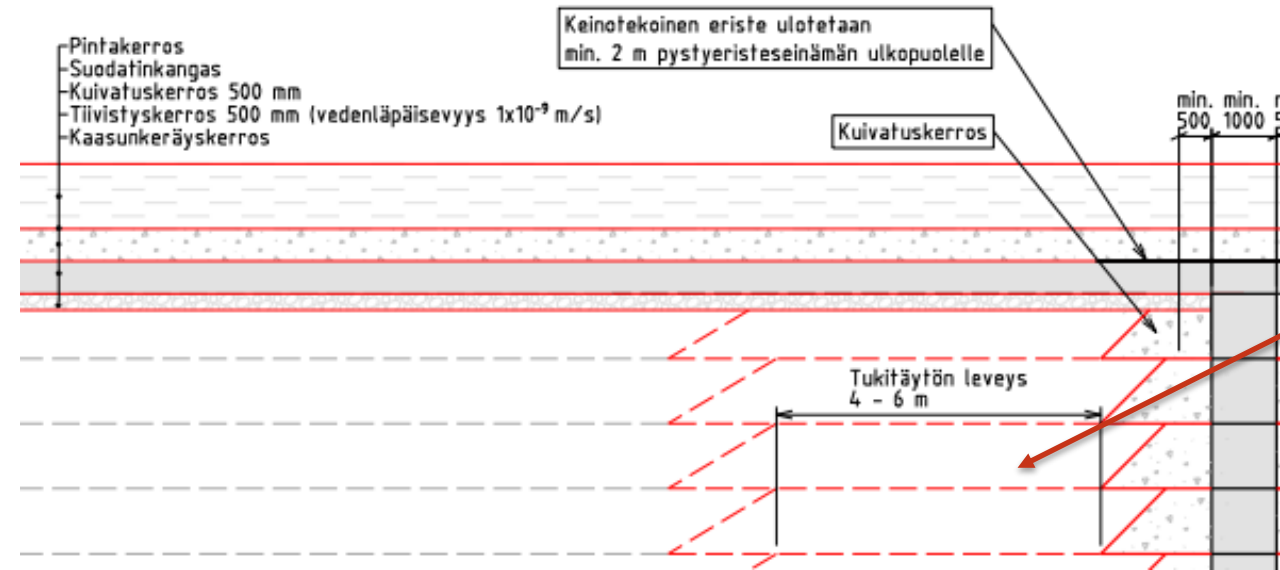


TUKIKERROS

Tiivistys- ja kuivatuskerrosta tuettiin 4-6 metrin tukikerroksella, joka toimi samalla kaivinkoneen työskentelyalustana ja dumpperien kulkureitinä.

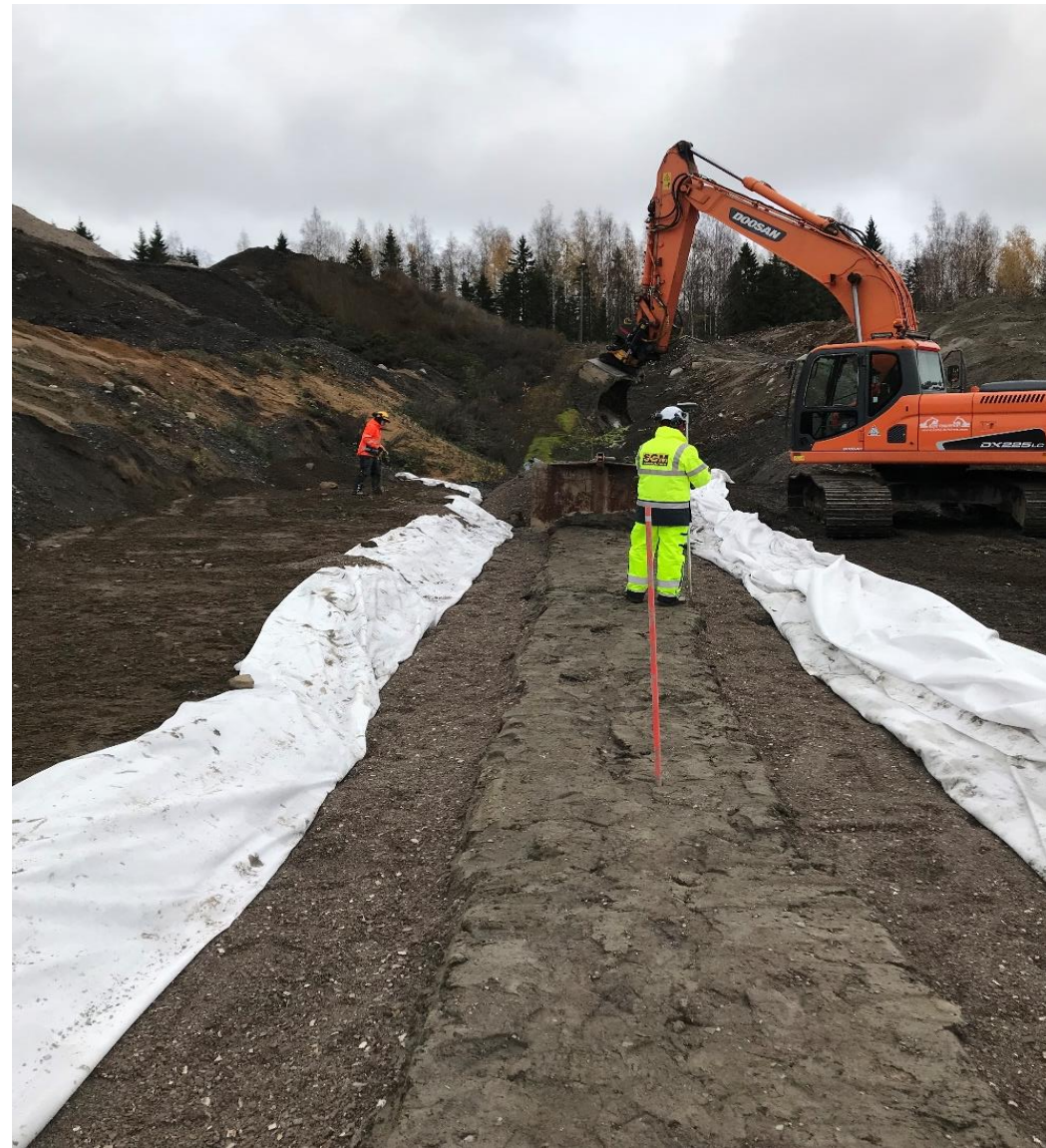
Tukitäyttömateriaalina käytettiin tiivistämiskelpoisia maa-aineksia, jotka täyttivät oman alueensa kaatopaikkakelpoisuuden.

Tukitäytön ja kuivatuskerroksen väliin asennettiin N3 suodatinkangas, jolla estettiin materiaalien sekoittuminen.



SÄÄSTETYT LUONNONVARAT

Materiaali	Kerros	Määrä (m ³)
Mäkelän alueen savi	Tiivis	300
Hamulan alueen savi	Tiivis	1700
Riikinvoima Oy:n tuhka	Kuivatus	1950
Hituran vesienkäsittelysakka	Tuki	2000
Mondi Powerflute Oy:n tuhka	Tuki	2000
Jäte-/ylijäämämaat	Tuki	Tukikerrokset (sis. tuhka ja sakka) 19500
YHTEENSÄ		23 450



HITURAN PEITERAKENTEET 2021



- Hituran esimurska-alue peitettiin maisemointitarkoituksessa ylijäämäsavella Skartan toimesta kesän 2021 aikana.
- Peiterakenteelle oli asetettu vedenläpäisevyys vaatimus k -arvo $\leq 10^{-8}$ m/s.
- Alueen pinta-ala oli 33 941 m².
- Peittämiseen käytettiin savimateriaalia 16 970 m³ltr.
- Savikerroksen päälle rakennettuun kasvukerrokseen käytettiin paikallista humusmaata noin 3 400 m³ltr.
- Rakennetta käytettiin yhtenä vertailukohteena erilaisten peiterakennemateriaalien hiilijalanjälkien ja elinkaarien vertailussa.

SAVIKERROS



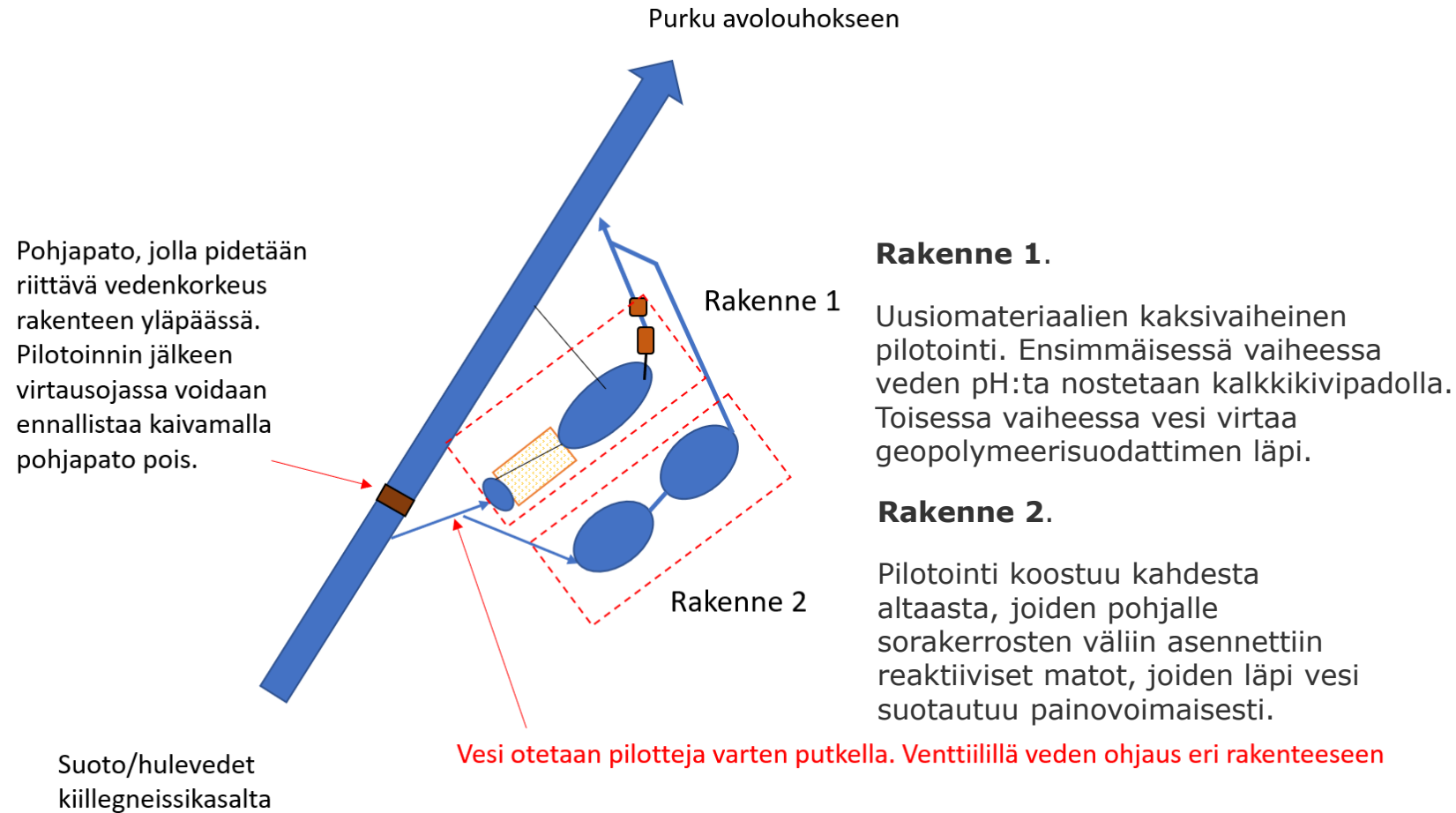
- Rakenne toteutettiin kaivinkone- ja puskukonetyönä.
- Tasoitetun pohjamaan päälle tiivistettiin savimateriaali kaivinkoneen kauhalla.
- Peitekerroksen vahvuutta seurattiin koneohjauksella ja pistokoeluontoisilla tarkastuksilla.

KASVUKERROS



- Tiivistetyn savikerroksen päälle rakennettiin kasvukerros.
- Kasvukerros tiivistettiin sille määrättyjen yliajokertojen mukaisesti.

SUOTOVESIEN KÄSITTELY REAKTIIVISILLA RAKENTEILLA HITURASSA 2021



Rakenne 1.

Uusiomateriaalien kaksivaiheinen pilotointi. Ensimmäisessä vaiheessa veden pH:ta nostetaan kalkkikivipadolla. Toisessa vaiheessa vesi virtaa geopolymeerisuodattimen läpi.

Rakenne 2.

Pilotointi koostuu kahdesta altaasta, joiden pohjalle sorakerrosten väliin asennettiin reaktiiviset matot, joiden läpi vesi suotautuu painovoimaisesti.

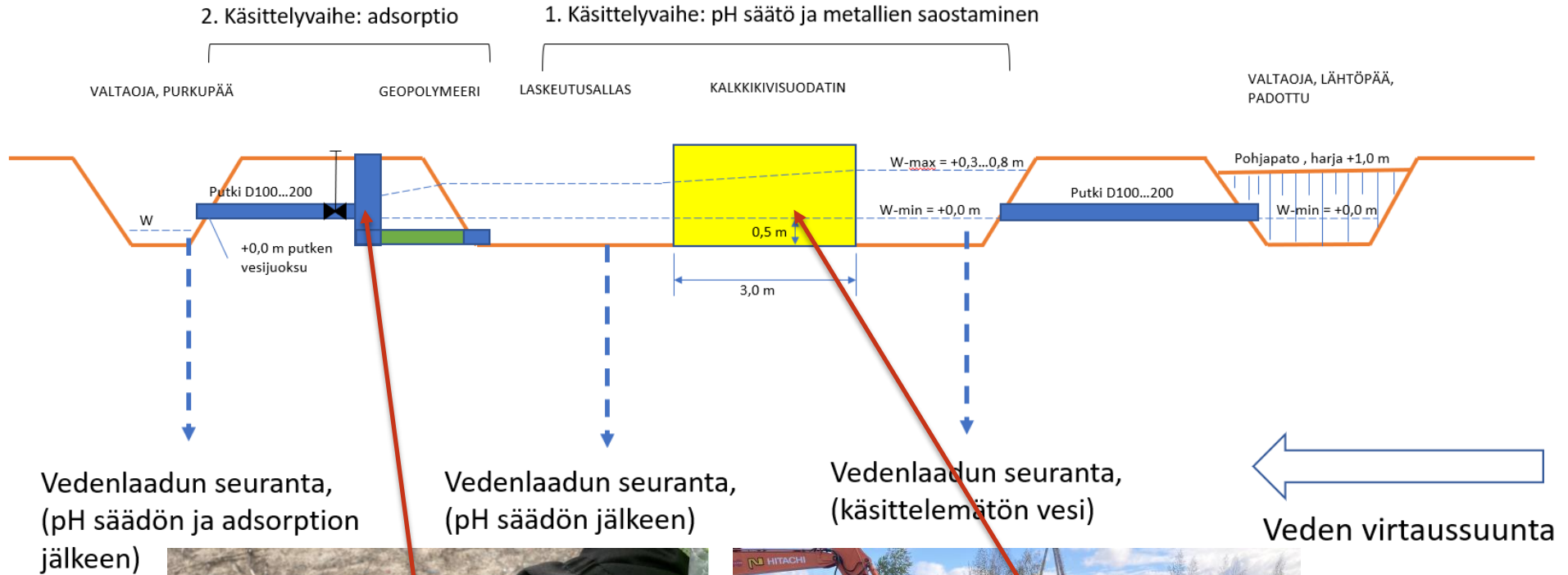
Pilottirakenteet rakennettiin loppukesästä 2021 Skartan toimesta.

Pilotoinnin seurannasta ja vesinäytteiden analysoinnista vastasi Feasib Analytics Oy.

Pilotoinnin suunnittelusta ja tulosten raportoinnista vastasi Ramboll Finland Oy.

Suotoveden seuranta aloitettiin elokuun lopulla 2021 ja kesti vuoden loppuun. Seuranta mahdollisesti jatkuu keväällä.

UUSIOMATERIAALIEN PILOTOINTI





← Geopolymeerikaivo

Tasausallas

Kalkkikivipato

Laskeutusallas

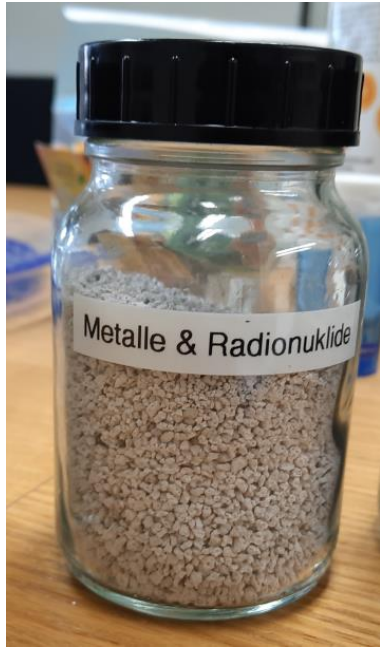
UUSIOMATERIAALIT

- Kalkkikivi oli raekooltaan noin 2-20 mm ja se oli ylijäämämateriaalia SMA Minerals Oy:n kalkkikivikaivokselta.
- Patoon kalkkimateriaalia kului noin 15 m³ (padon mitat rakenteen pinnassa 4x3x1,2 m, pohjan pinta-ala jonkin verran suurempi).

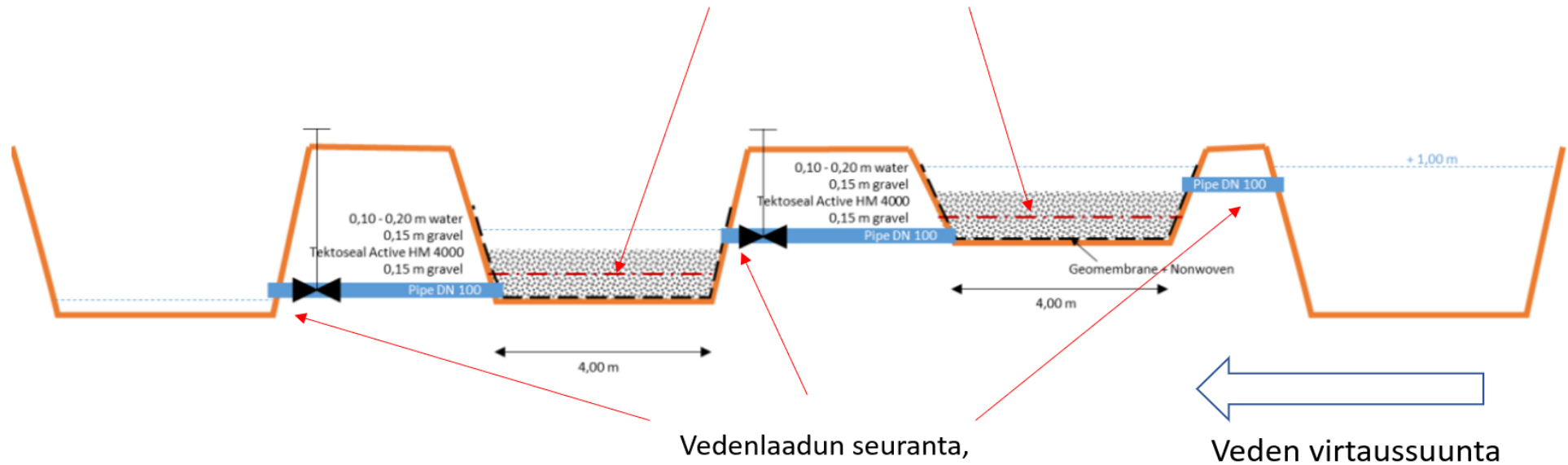


- Kalkkipatoaltaan jälkeiseen kaivoon asetettu suodatin oli teollisuuden jätteistä valmistettu masuunikuonageopolymeeri.
- Geopolymeeri oli Oulun Yliopiston tuottama ja sen kehitystyö on osa KAIVASU-hanketta (Kaivoksen sulkeminen -Vaikutukset ja uudet mahdollisuudet).

MATTORAKENTEIDEN PILOTOINTI



Metalleja sitova reaktiivinen matto, joka on asennettu 15cm sorakerrosten väliin



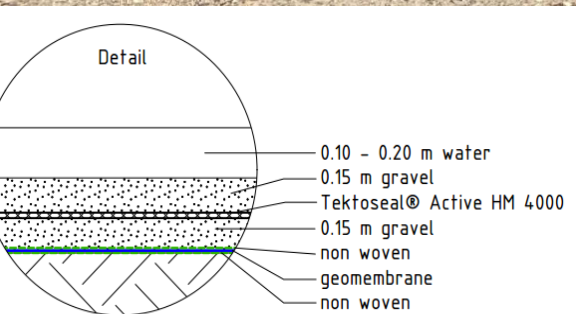
Rakenteessa vesi suotautuu painovoimaisesti mattojen läpi.

Mattorakenne Tektoseal® Active HM 4000 on aktiivinen geokomposiitti, joka koostuu kahdesta geotekstiilikerroksesta ja niiden välissä olevasta kationisesta rakeisesta adsorbentista.

Maton toimittaja/valmistaja on saksalainen yritys Huesker Synthetic GmbH.

Matossa on 4000 g adsorbenttia jokaista neliometriä kohden. Rakeinen adsorbentti on kalsiumalumiinisilikaatti, jonka pinnalle veden sisältämät metallit adsorboituvat.

2. mattoallas



LIFE12 ENV/FI/000592 UPACMIC - Utilisation of by-products and alternative construction materials in new mine construction
Teollisuuden sivutuotteiden hyödyntäminen kaivosten ympäristönsuojarakenteissa –pilottien seurantatulokset

DI Pyry Potila

pyry.potila@ramboll.fi

+358 445489015



LIFE12 ENV/FI/000592



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

RAMBOLL

skarta

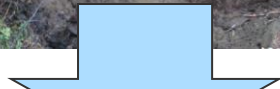
fortum
For a cleaner world



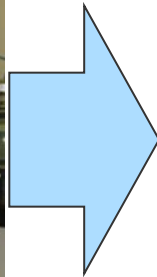
SUUNNITTELUPROSESSI



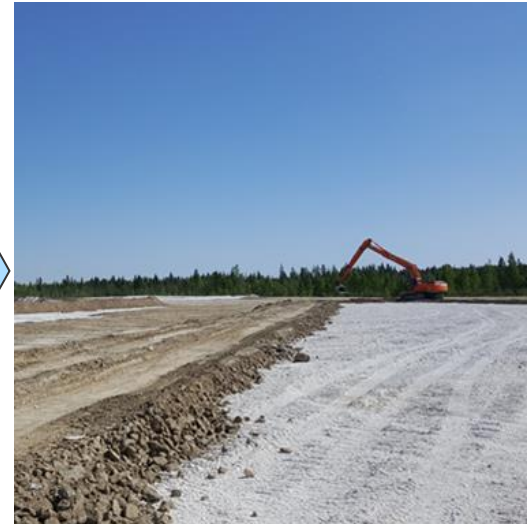
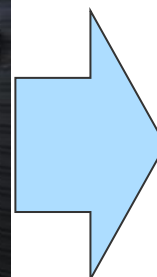
Alueellinen materiaalikartoitus ja mahdollisuudet/reunaehdot (saatavuus, määrät, laatu, kustannukset, aikataulu...)



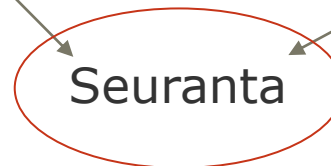
Materiaalitestaus laboratoriossa (tekniset ominaisuudet ja ympäristökelpoisuus/liukoisuus)



Materiaalien/rakenteiden testaus kenttäolosuhteissa (Laboratoriossa parhaaksi todetut rakenteet)

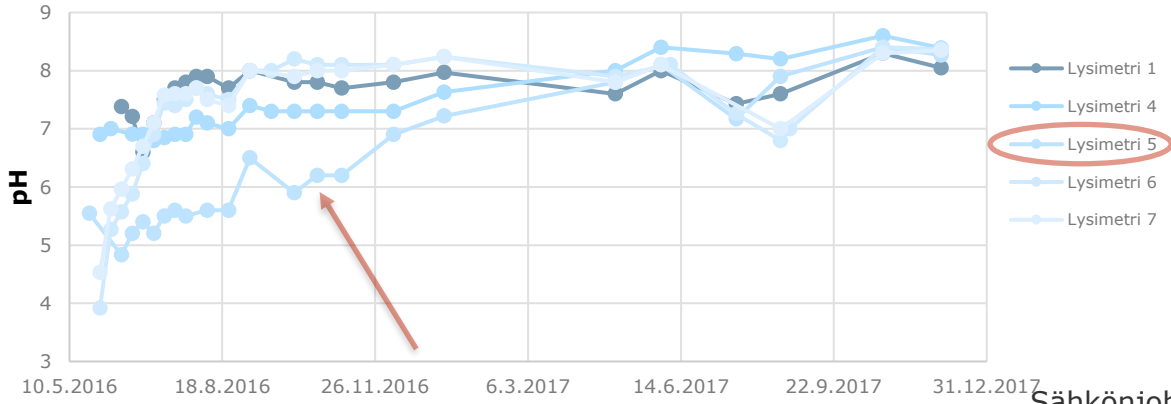


Laajamittainen pilotointi

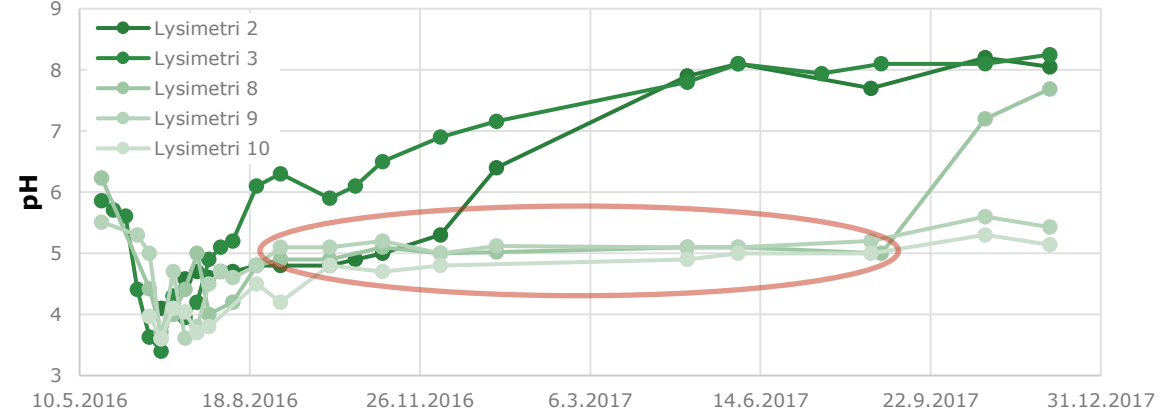


PYHÄSALMEN SÄILIÖKOKKEET

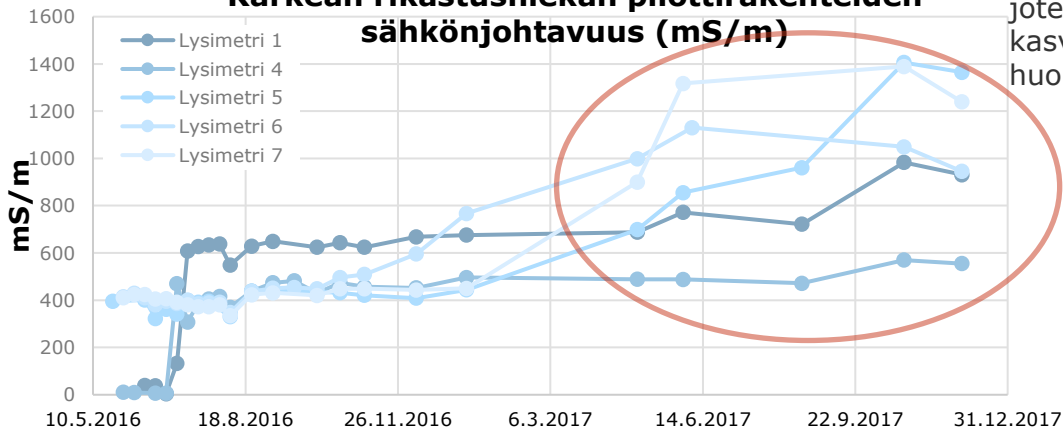
Karkean rikastushiekan pilottirakenteiden pH - tulokset



Hienon rikastushiekan pilottirakenteiden pH - tulokset

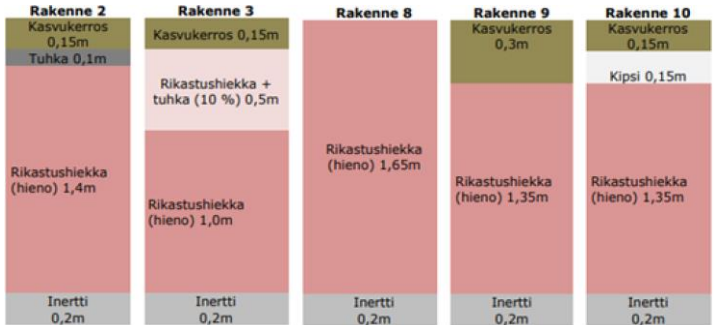
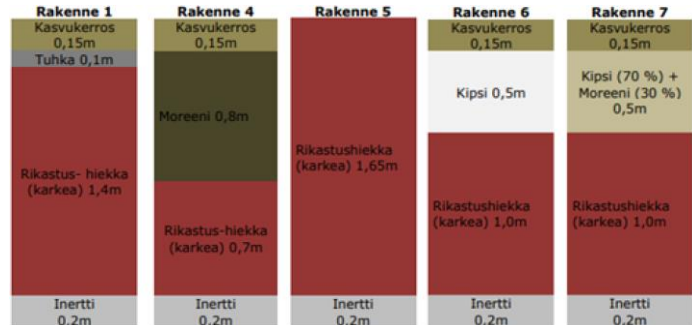
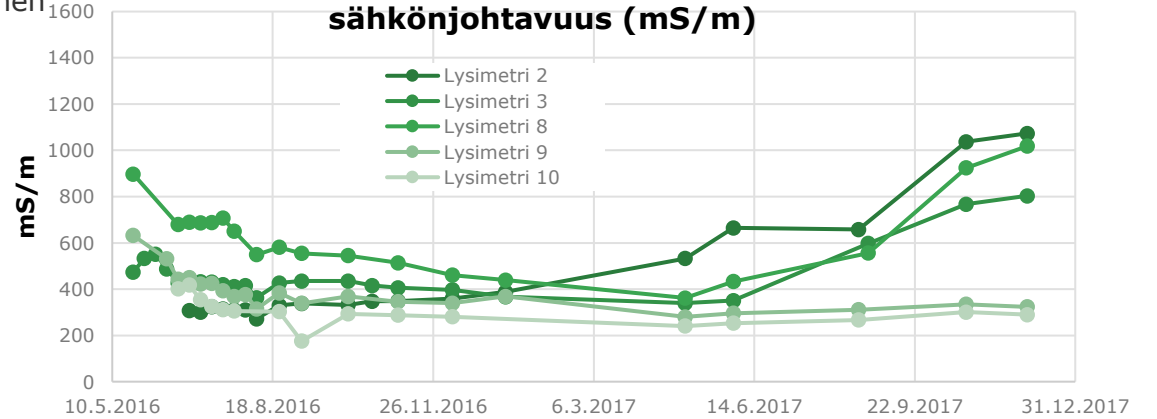


Karkean rikastushiekan pilottirakenteiden sähköjohtavuus (mS/m)



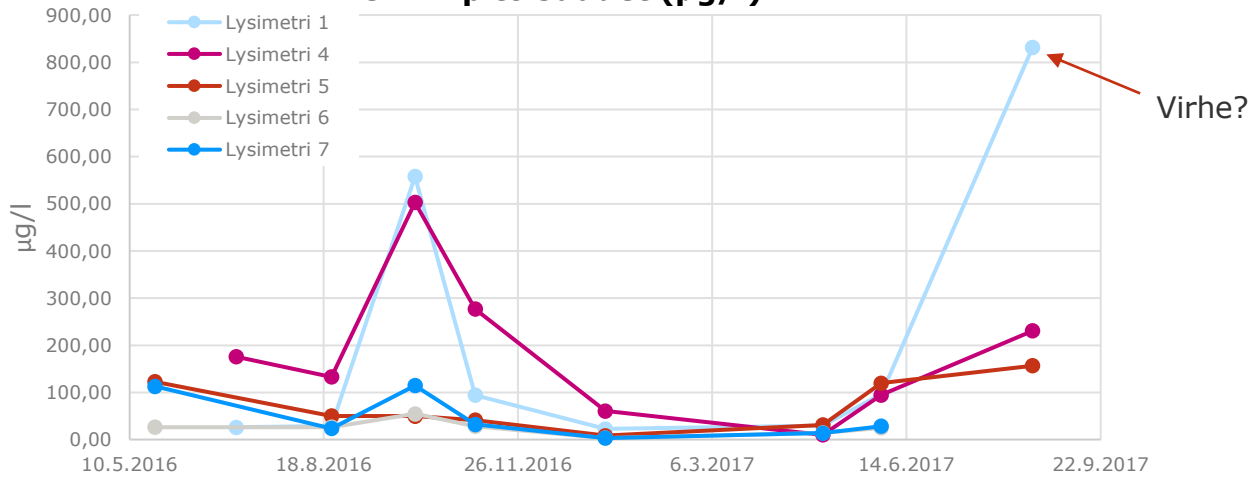
Sähkönjohtavuus kasvaa jatkuvasti, joten liukeneminen kasvaa pH:sta huolimatta.

Hienon rikastushiekan rakenteiden sähköjohtavuus (mS/m)

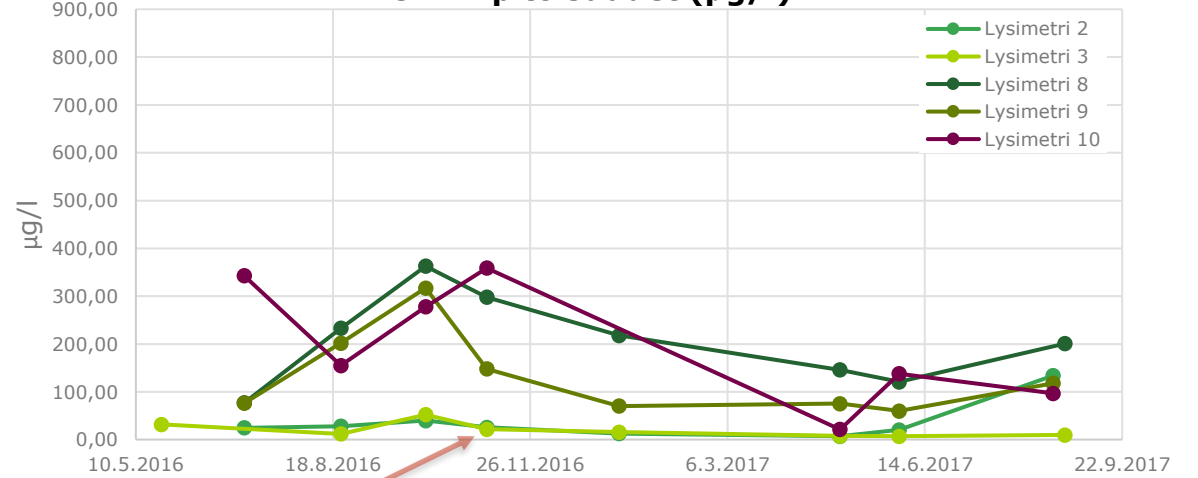


PYHÄSALMEN SÄILIÖKOKKEET

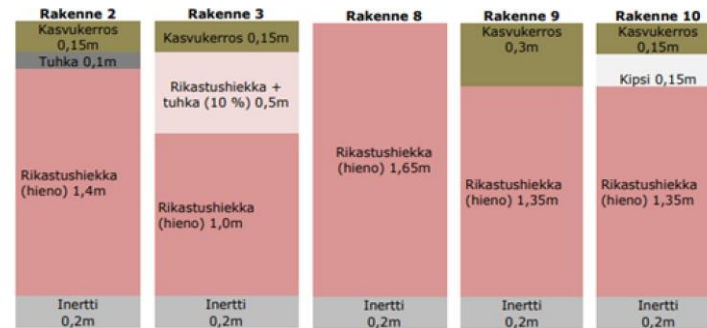
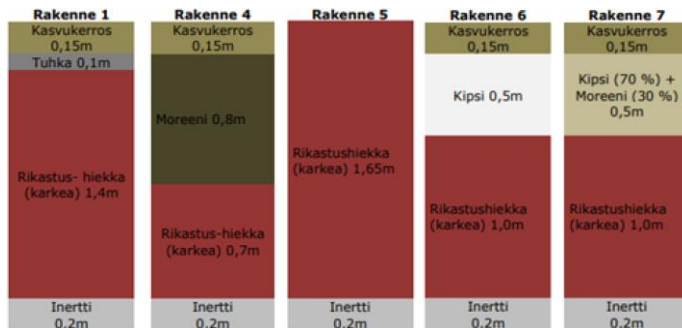
Karkean rikastushiekan pilottirakenteiden suotoveden sinkkipitoisuudet (µg/l)



Hienon rikastushiekan pilottirakenteiden suotoveden sinkkipitoisuudet (µg/l)



Rakenteissa 2 ja 3 tuhka vaikuttaisi pidättävän sinkin hiekassa.

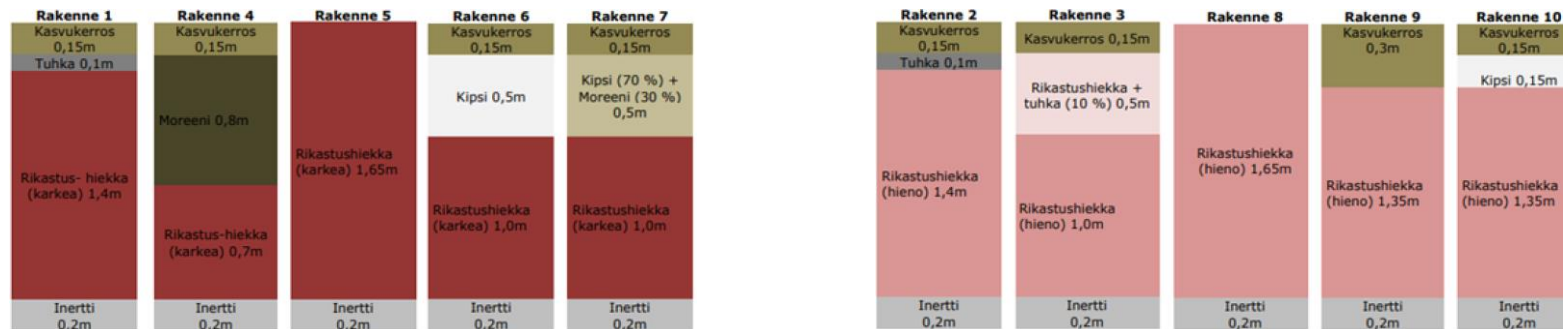


PYHÄSALMEN SÄILIÖKOKKEET

5.11.2019

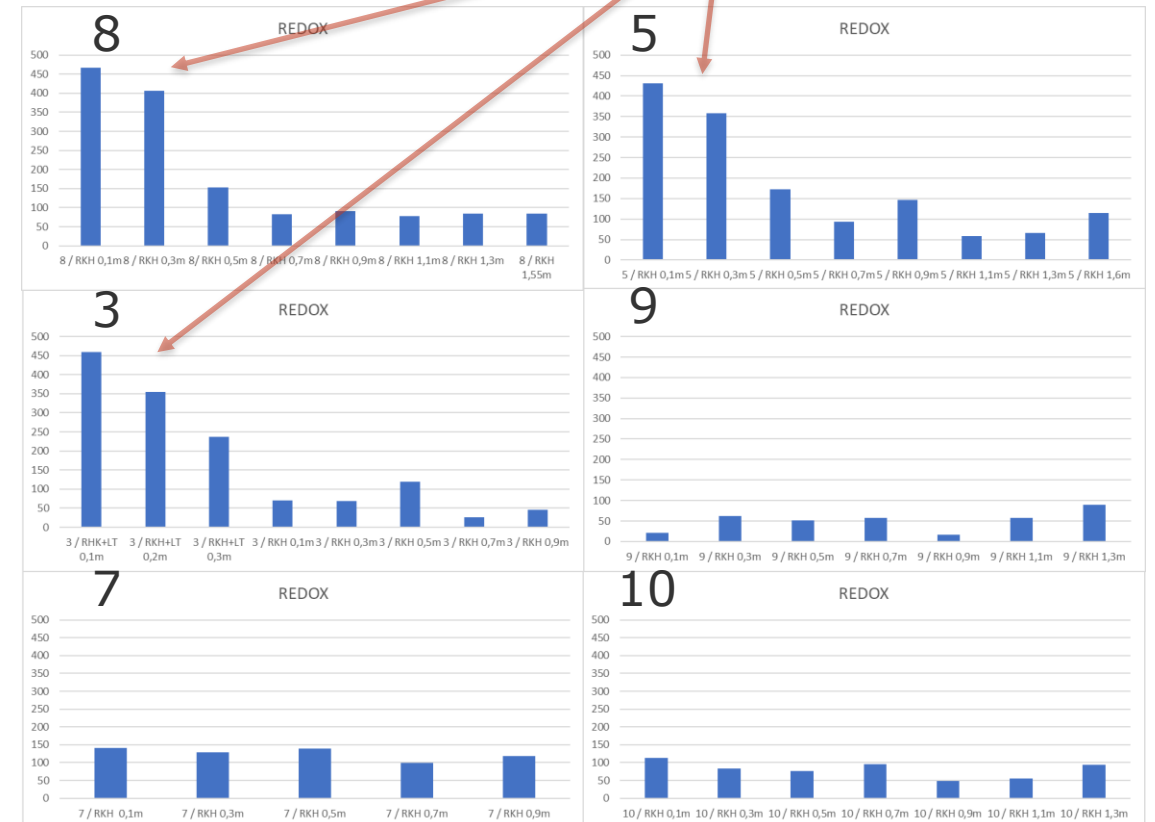
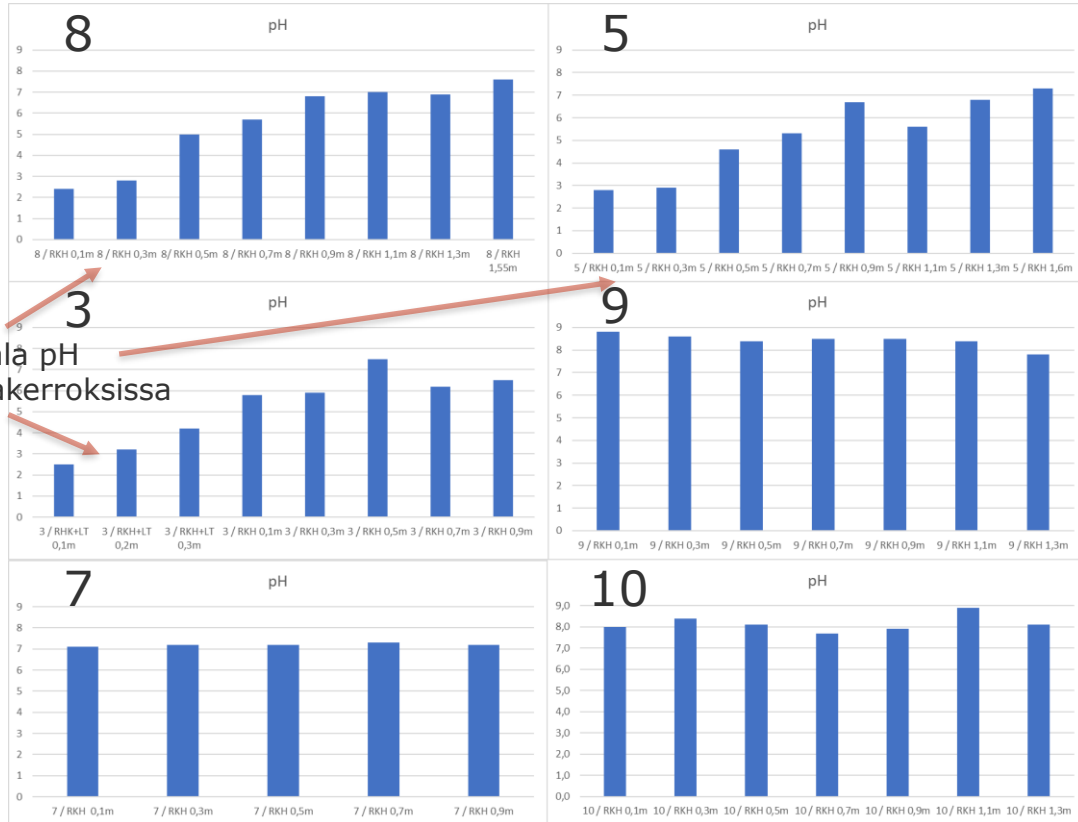


Rakenne 10

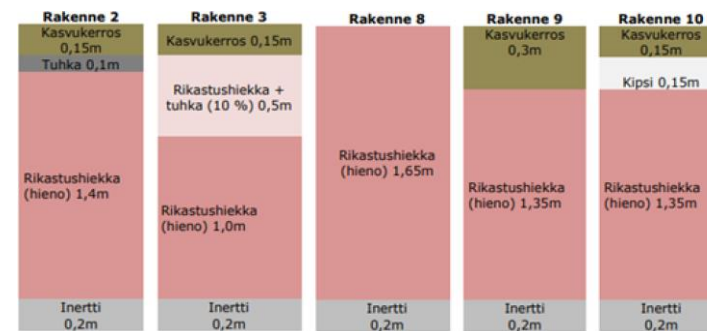
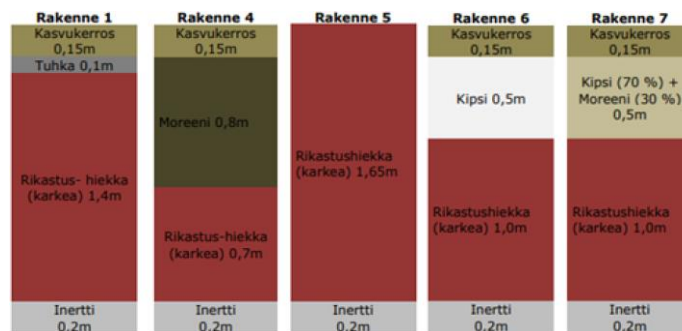


PYHÄSALMEN SÄILIÖKOKKEET

Kohonnut redox-potentiaali kertoo pintakerroksien hapettumisesta.

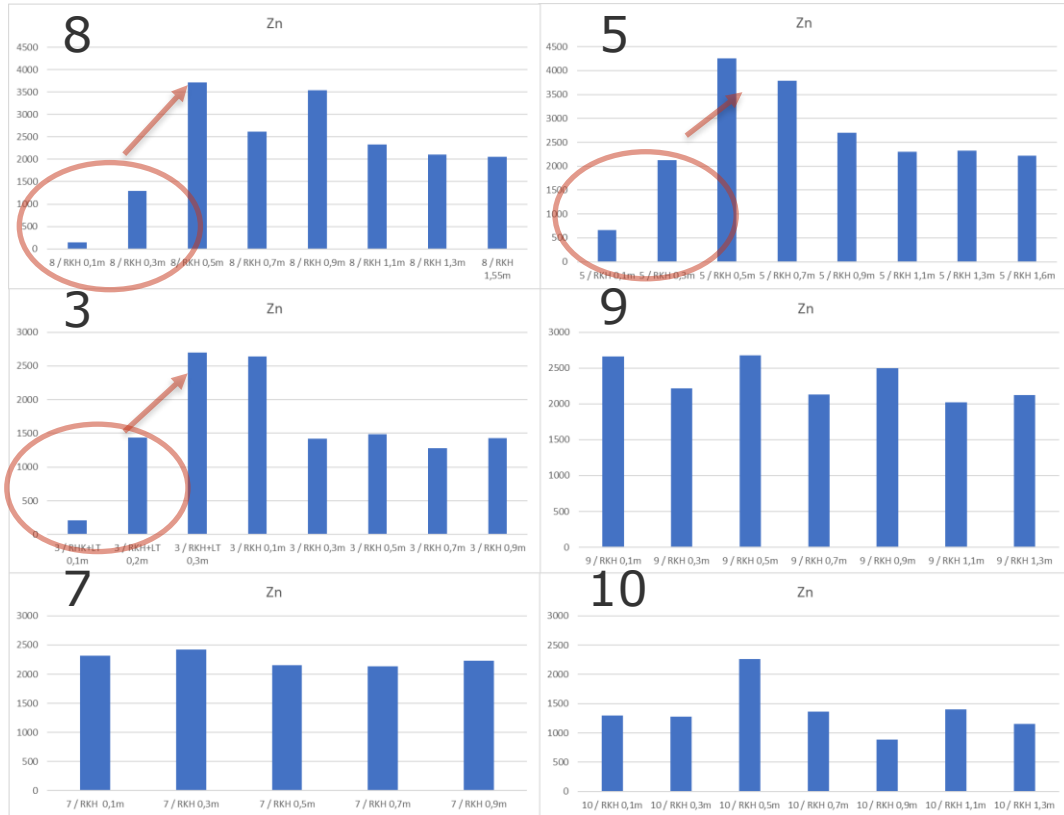


Matala pH pintakerroksissa

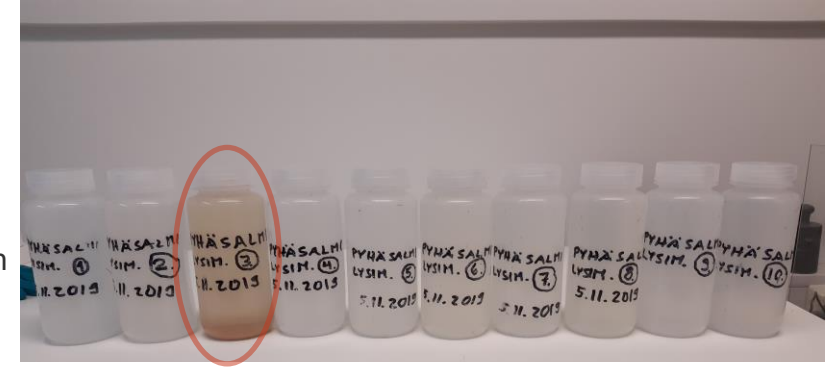


PYHÄSALMEN SÄILIÖKOKKEET

Sinkki siirtynyt pinnasta syvemmälle rakenteeseen?



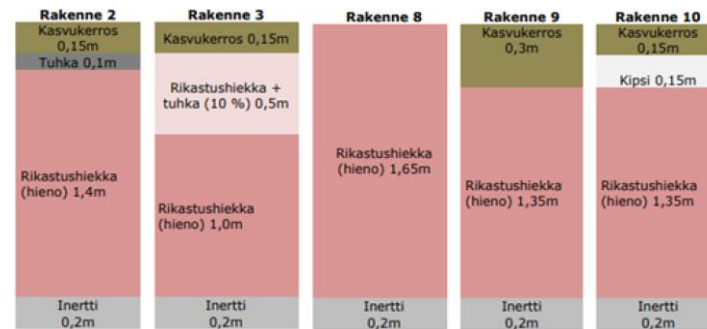
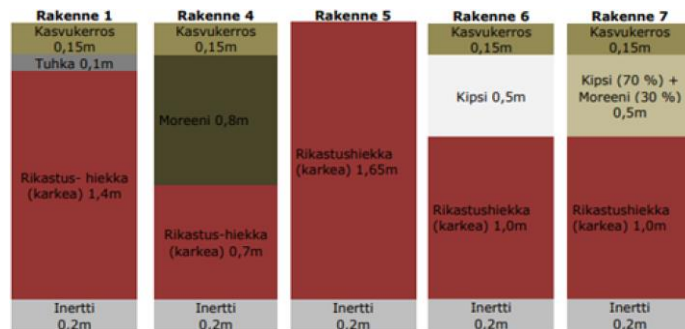
3. rakenteesta liuennut paljon rautaa muihin verrattuna



	Ph	REDOX	EC	DOC	fluoridi	kloridi	sulfaatti	Ca	K	Mg	Na	S
			[mS/cm]	mg/L	mg/L	mg/L	g/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Lysimeter 1	7,5	183	6,6	1,86	0,26	8,98	4,67	268	119	903	40,8	1570
Lysimeter 2	8,1	165	13,08	6,40	1,03	12,50	12	285	84,6	2390	34,5	3740
Lysimeter 3	6,6	22	16,16	11,60	<1,00	7,48	15,9	300	227	2980	71,6	4940
Lysimeter 4	8,0	131	4,78	2,16	<0,200	2,18	2,44	210	15,6	460	14,7	803
Lysimeter 5	6,5	220	9,74	4,37	<0,400	4,19	9,12	320	100	1440	33,8	2620
Lysimeter 6	8,1	166	20,2	7,79	1,19	4,54	21,5	285	74,9	4090	19	6440
Lysimeter 7	8,2	172	6,6	2,81	0,26	1,13	3,34	192	36	623	78,7	981
Lysimeter 8	7,7	184	21,5	10,10	4,67	4,41	20,5	238	115	3990	18,4	6350
Lysimeter 9	7,8	185	3,1	2,42	<0,200	15,20	1,46	298	34,7	141	33,8	484
Lysimeter 10	5,4	260	3,97	1,55	<0,200	5,90	1,17	183	43	119	198	370

	Zn	Ni	Cu	Fe	Al	Ba	Mn	V	Cd
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Lysimeter 1	1720	40,70	2,80	<4,0	<4,00	18,40	9290	0,28	5,48
Lysimeter 2	116	<2,00	6,90	<10,0	<10,0	26,40	5180	1,98	0,25
Lysimeter 3	2050	42,20	<5,0	11600	<10,0	23,20	17200	<0,250	0,69
Lysimeter 4	64,40	<2,00	1,90	2,10	<2,00	8,80	6,48	0,96	<0,020
Lysimeter 5	5520	152	2,30	5,90	10,60	23,50	39300	<0,100	2,64
Lysimeter 6	442	4,88	<10,0	24,00	<20,0	31,10	20600	4,63	<0,200
Lysimeter 7	123	<2,00	2,20	<2,0	<2,00	15,20	170	0,69	0,04
Lysimeter 8	555	6,69	<10,0	<20,0	<20,0	22,20	12600	1,46	0,65
Lysimeter 9	120	3,18	1,50	<2,0	<2,00	17,70	783	0,21	0,19
Lysimeter 10	225	33,90	6,10	13,00	570	13,10	1160,00	0,10	1,05

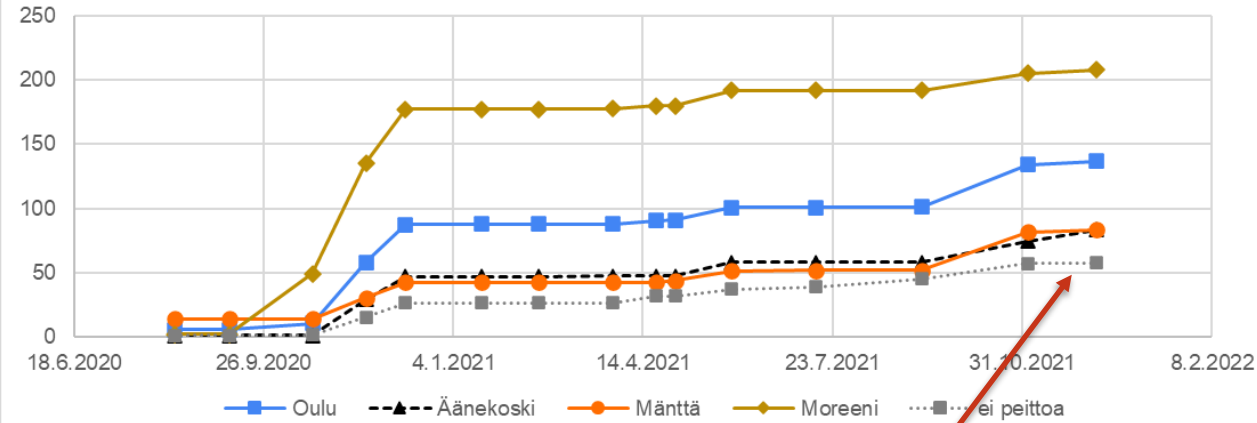
RAMBOLL



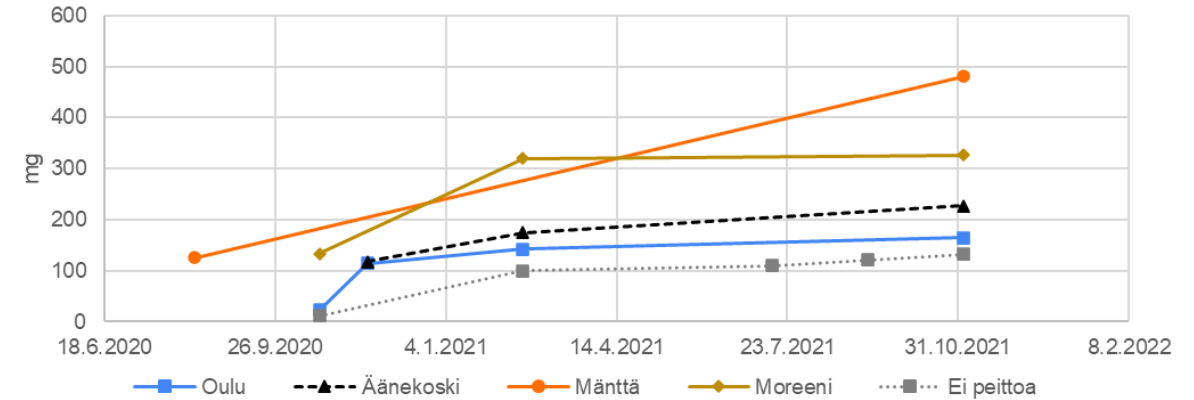
KUITUSAVIPEITTOKERROKSIEN SEURANTA

- Seuranta aloitettiin kesällä 2020 ja jatkuu edelleen. Seurantaa toteuttaa GTK ja Fortum.

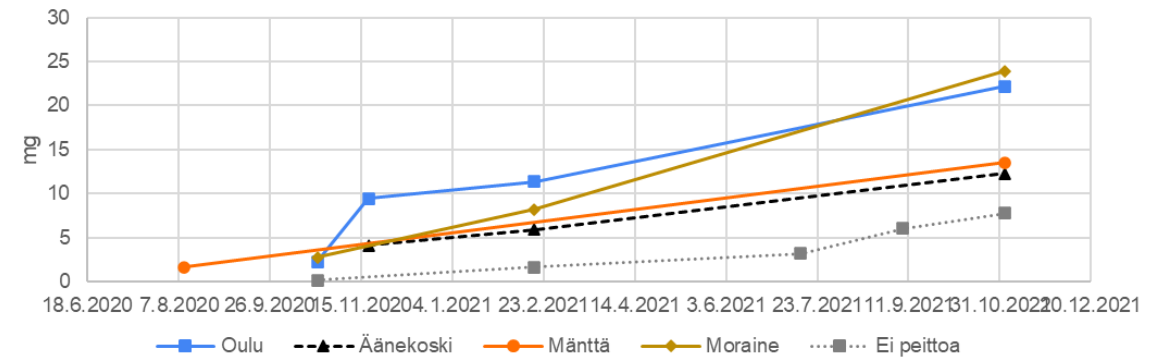
Läpimennyt vesimäärä kumulatiivisesti, L



Kumulatiivinen nikkelin määrä suotautuneessa vedessä



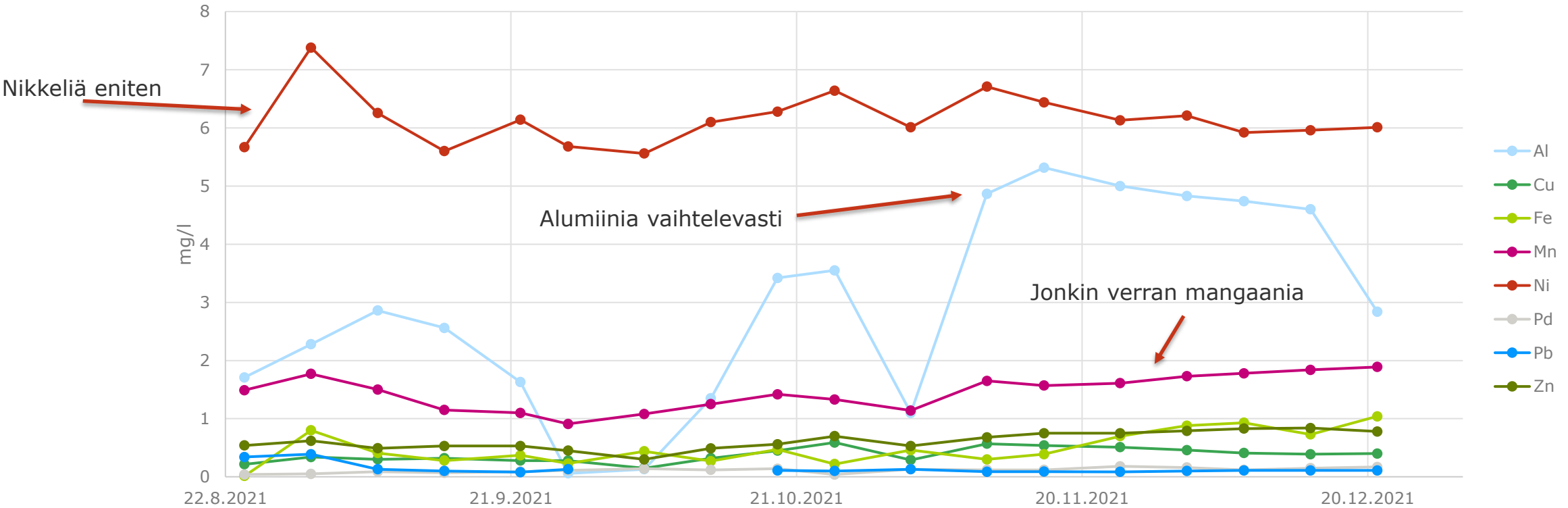
Kumulatiivinen sinkin määrä suotautuneessa vedessä



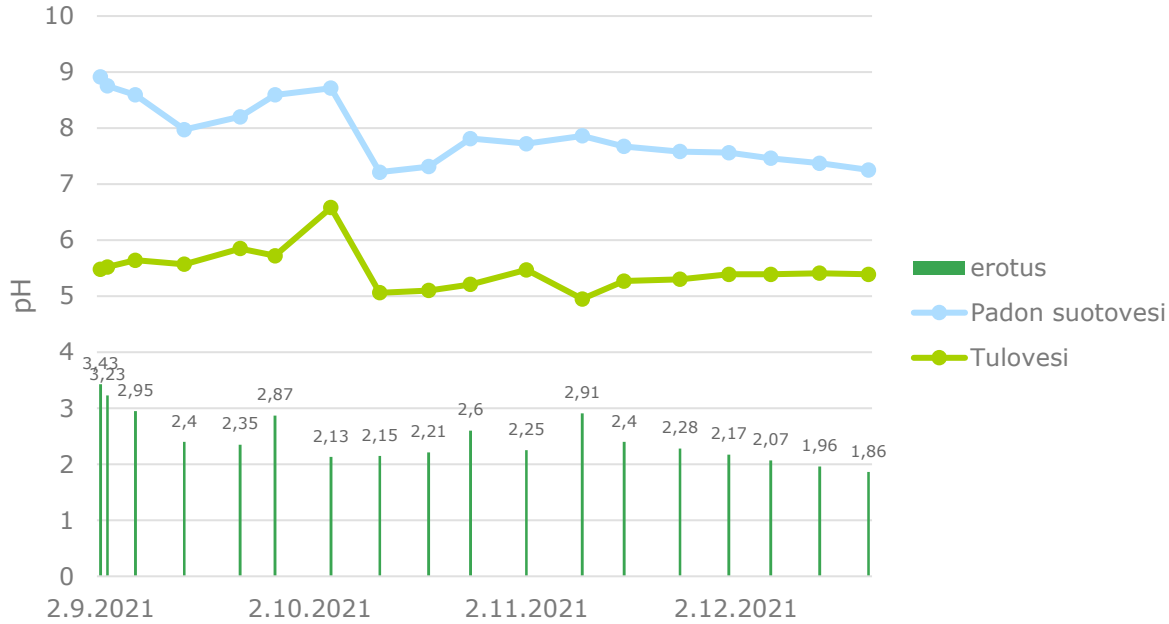
Ei peittoa

REAKTIIVISTEN RAKENTEIDEN SEURATA

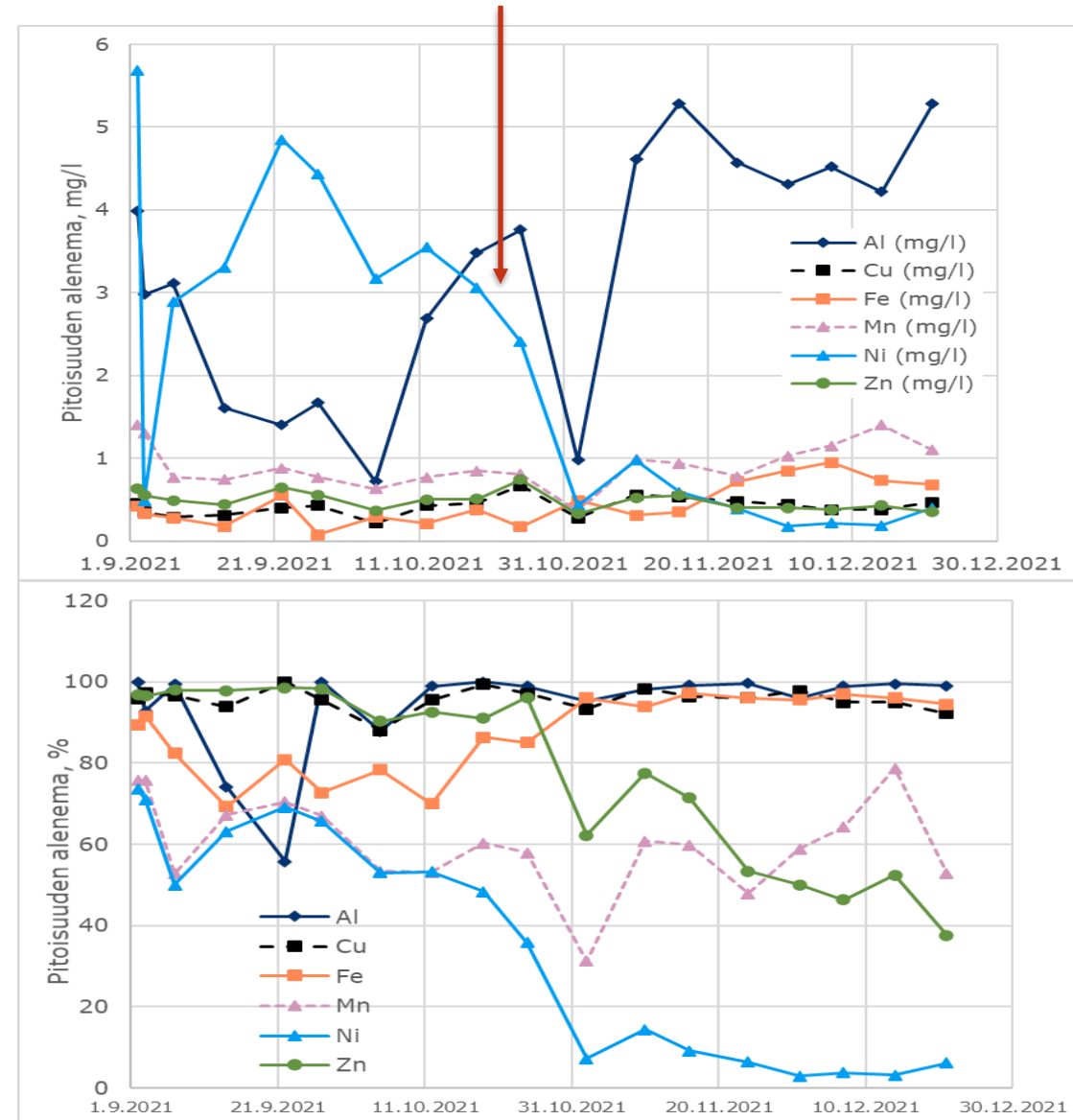
Tulevan veden pitoisuudet



KALKKIKIVIPADON SEURANTA



Nikkeli-pitoisuuden alentuminen loppuu n. 1,5 kk jälkeen

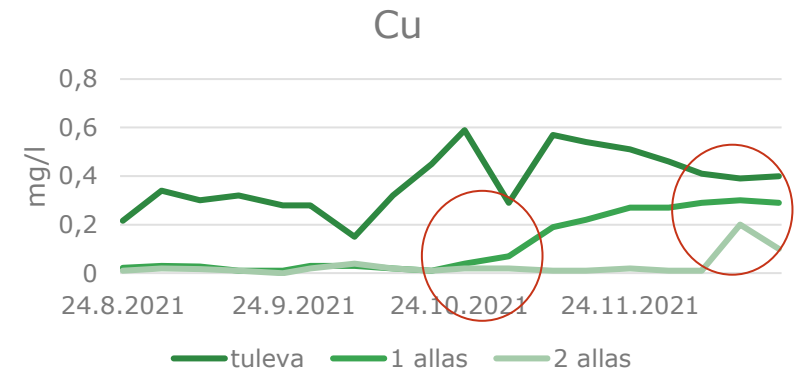
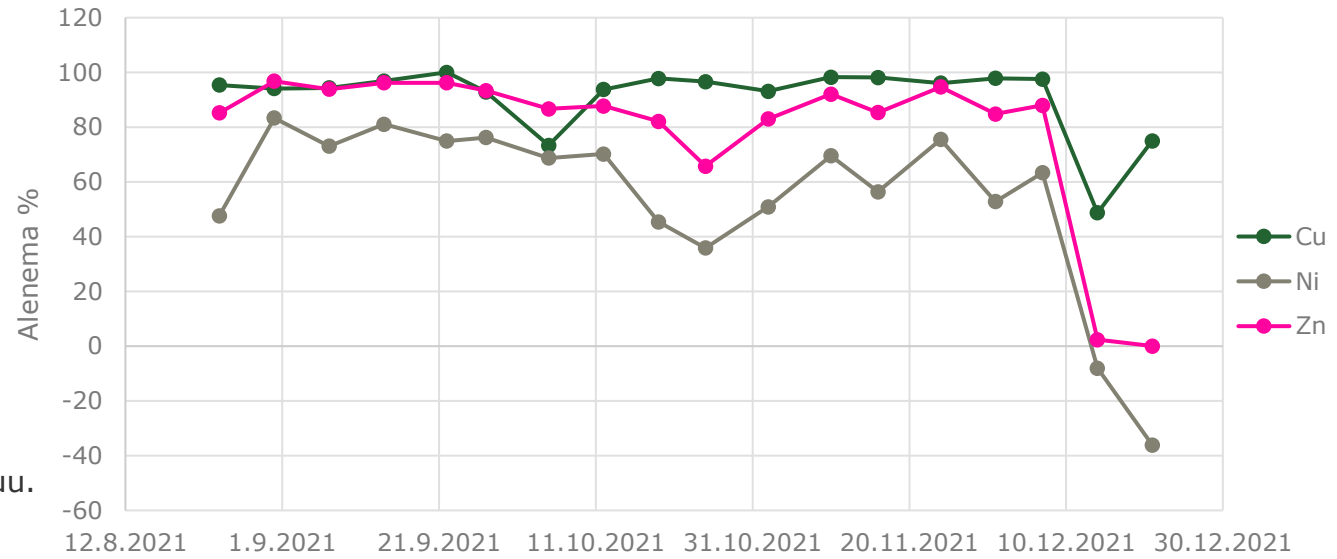
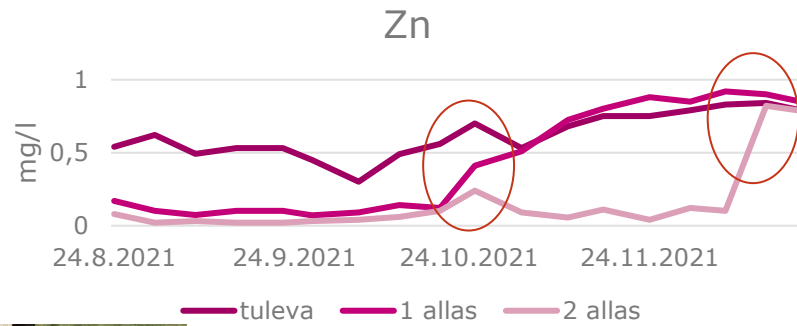
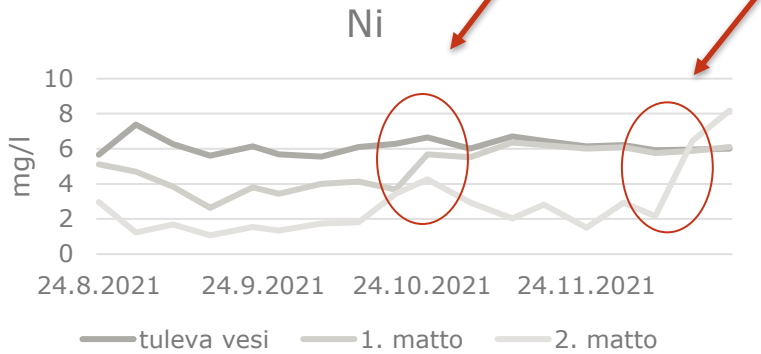


REAKTIIVISET MATOT

Matto kestää noin 2 kk testiympäristössä.

1. maton adsorptiokapasiteetti loppuu.

2. maton adsorptiokapasiteetti loppuu.



MENTIMETER KYSYMYKSET


Mene puhelimella tai selaimella
osoitteeseen

www.menti.com

Syötä koodi:

1595 3629

RAMBOLL



Mitä kehittämistarpeita tai
jatkokehitysmahdollisuuksia
näet UPACMIC -hankkeen
esittelemissä ratkaisuisa?

KIITOS!

KYSYMYKSIÄ?



RAMBOLL