

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

## Teollisuuden sivutuotteiden hyödyntäminen kaivosten ympäristönsuojarakenteissa

Uudet mahdollisuudet kaivosympäristöjen kiertotaloudessa ja kestävässä kehityksessä 8.4.2022

DI Pyry Potila

Ins. Emmi Ilonen

[pyry.potila@ramboll.fi](mailto:pyry.potila@ramboll.fi)

[emmi.ilonen@ramboll.fi](mailto:emmi.ilonen@ramboll.fi)





# PROJEKTIN LÄHTÖKOHTA JA TAVOITTEET

Kaivosten ympäristösuojelurakenteet vaativat suuria määriä luonnon kiviaineksia. Samaan aikaan teollisuudesta ja kaivostoiminnasta muodostuu suuria määriä maarakentamisessa hyödyntämiskelpoisia materiaaleja.

Hanke on alkanut vuonna 2013 ja päättyy 8/2022.



Tavoitteena löytää toimivia, ympäristöystävällisiä ja kustannustehokkaita vaihtoehtoja kaivosteollisuuteen

... hyödyntäen mahdollisuuksien mukaan muun teollisuuden sivuvirtoja ja erityisesti kaivosten omia jätemateriaaleja tai sivutuotteita.



# VIDEO

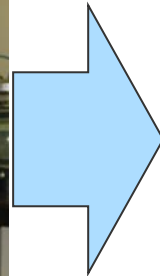
(Projektin esittely video)



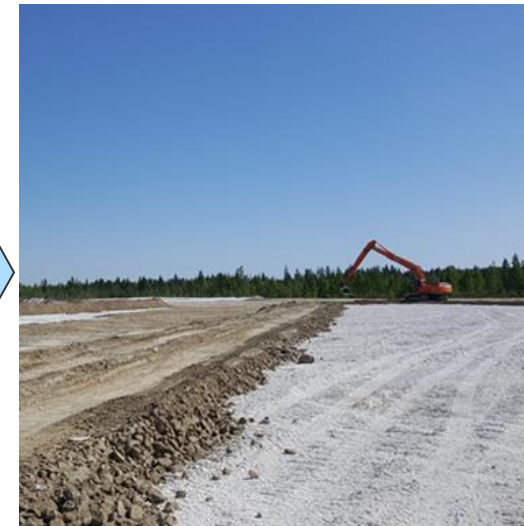
Alueellinen materiaalikartoitus ja mahdollisuudet/reunaehdot  
(saatavuus, määrät, laatu, kustannukset, aikataulu...)



Materiaalitestausta laboratoriossa  
(tekniset ominaisuudet ja  
ympäristökelpoisuus/liukoisuus)



Materiaalien/rakenteiden testaus  
kenttäolosuhteissa (Laboratoriossa  
parhaaksi todetut rakenteet)



Laajamittainen pilotointi

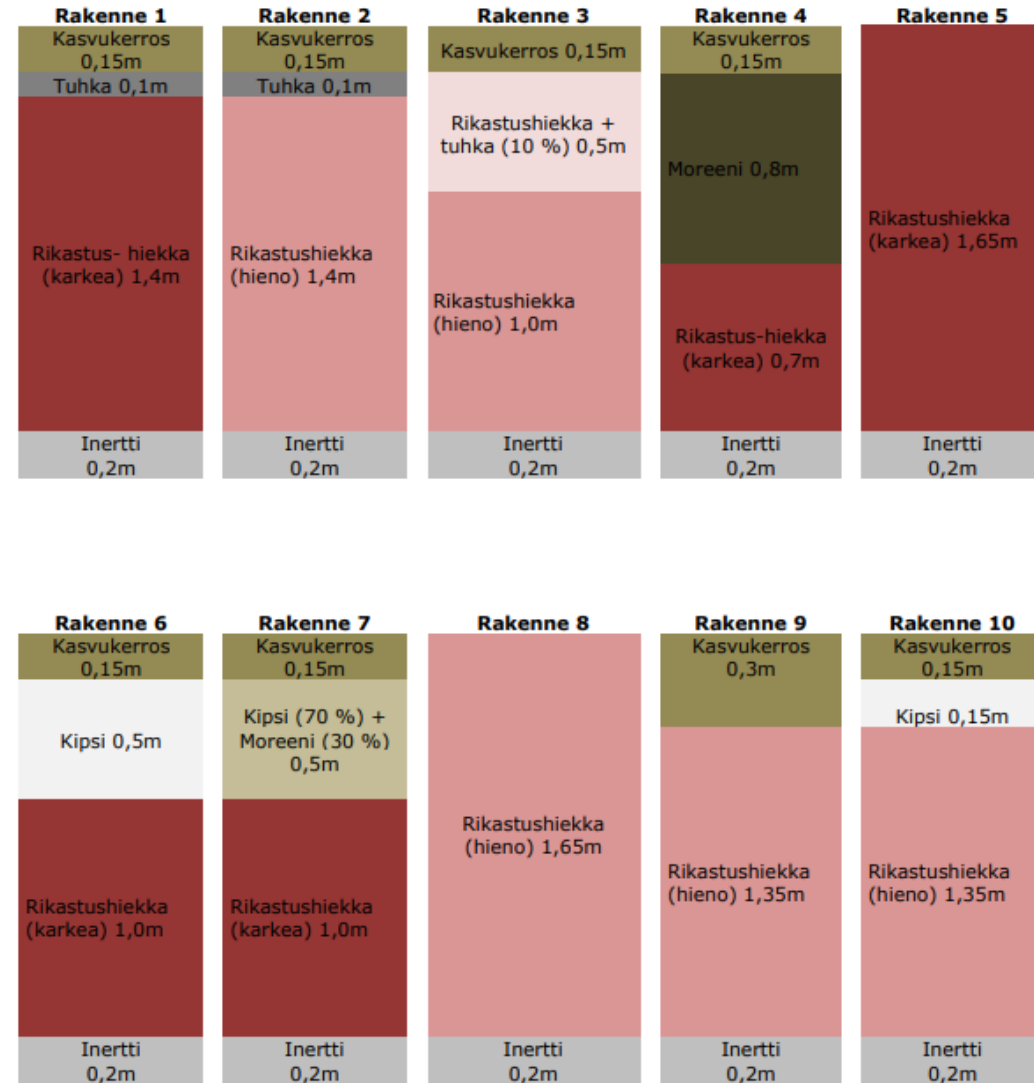
# TESTATTUJEN MATERIAALIEN SOVELTUVUUS 2013-2021

Materiaali	Testattu laboratoriossa	Testattu maastossa	Materiaalin soveltuvuus eri rakenteisiin			Materiaalien ympäristökelpoisuus eri rakenteisiin			Kommentti
			Peitto	Pohja	Reaktiivinen	Peitto	Pohja	Reaktiivinen	
Kuitusavi	X	X	++	+	-	++	++	+	Kuitusavi omaa suotuisat vedenläpäisevyysominaisuudet, jolloin oikein tiivistettynä sillä saavutetaan parempi rakenne kuin moreenilla.
Kalkkikivi (tuotannon sivuvirta)	X	X	+	+	++	+	+	+	Kalkkikivimurske soveltuu happamien suotovesien käsittelyyn passiivisesti (reaktiivinen pato). Omaa myös lujittumisominaisuuksia.
Kuiva lentotuhka	X	X	+	+	+	+	+	0	Lentotuhkat voivat saostaa reaktiivisuutensa vuoksi raskasmetalleja suotautuvasta vedestä tai parantaa moreenin vedenläpäisyominaisuuksia sekoitettaessa. Lentotuhkien ominaisuudet vaihtelevat suhteellisen paljon ja tuhkat voivat käyttäytyä eri tavoin eri materiaalien kanssa. Kohdekohtainen testaus on tärkeää (testattu tässä yhteydessä käyttöä pääosin peittorakenteissa.)
Bentoniitti-pitoinen valimohiekka	X		+	+	0	-/+	-/+	0	Sekoitettaessa moreeniin, seoksen vedenläpäisevyys pienenee, jolloin voidaan saavuttaa huonolaatuisilla moreeneilla paremmat vedenläpäisevyysominaisuudet. Valimohiekan ympäristökelpoisuus vaihtelevat syntypaikan mukaan, joten nämä on tutkittava tapauskohtaisesti.
Kipsi	X	X	+	0	0	+	+	0	Kipsi soveltuu peitterakenteisiin, mutta materiaalin vedenläpäisevyys arvo on korkea sellaisenaan, joka täytyy ottaa huomioon rakennetta suunniteltaessa. Seostettuna muuhun maa-ainekseen ominaisuudet paranevat huomattavasti.
2-kalkki (2. laatu)	X		+	+	+	+	+	+	Soveltuu kaikkiin rakenteisiin sekoitettuna muihin maa-aineksiin.

++	Soveltuu
+	Soveltuu muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta
-/+	Epäselvä
-	Ei sovellu
0	Ei testattu

# PILOTOINTI PYHÄSALMEN KAIVOKSELLA 2016-2019

- Testattiin 5 erilaista rakennevaihtoehtoa 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.





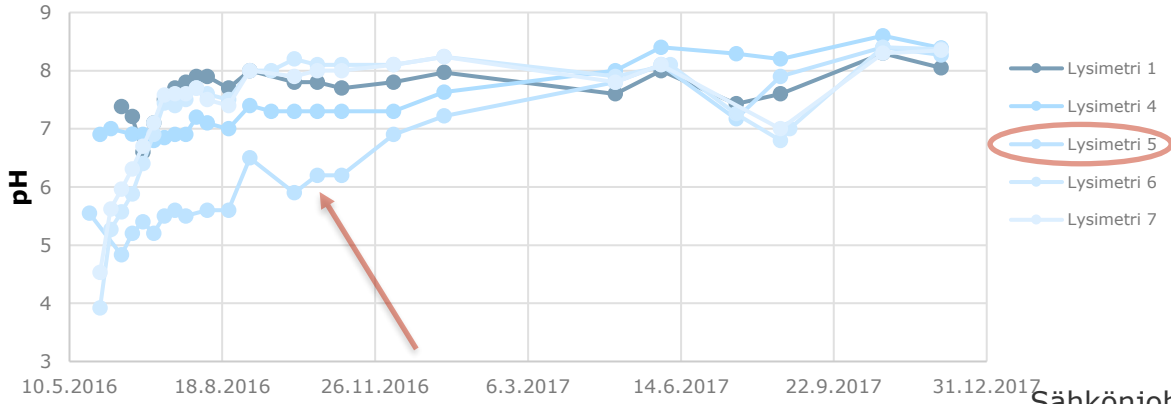
# PYHÄSALMEN KOEJÄRJESTELY

- Materiaalit kerrostettiin noin 10 m<sup>3</sup> 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.
- Suotoveden määrää, pH:ta, redoxia ja sähkönjohtavuutta seurattiin viikoittain. Lisäksi suotovedestä analysoitiin säännöllisesti useita metalleja, sulfaatti-, kloridi- ja fluoridipitoisuuksia sekä DOC.
- Lysimetrit purettiin 10/2019, jonka yhteydessä lysimetreistä otettiin vielä suotovesi- ja rakennekerrosnäytteet.

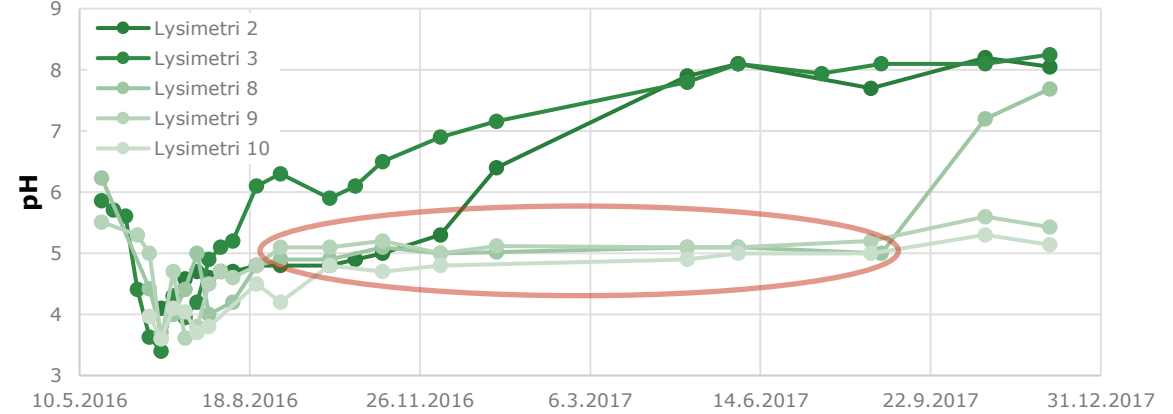


# PYHÄSALMEN SÄILIÖKOKKEET

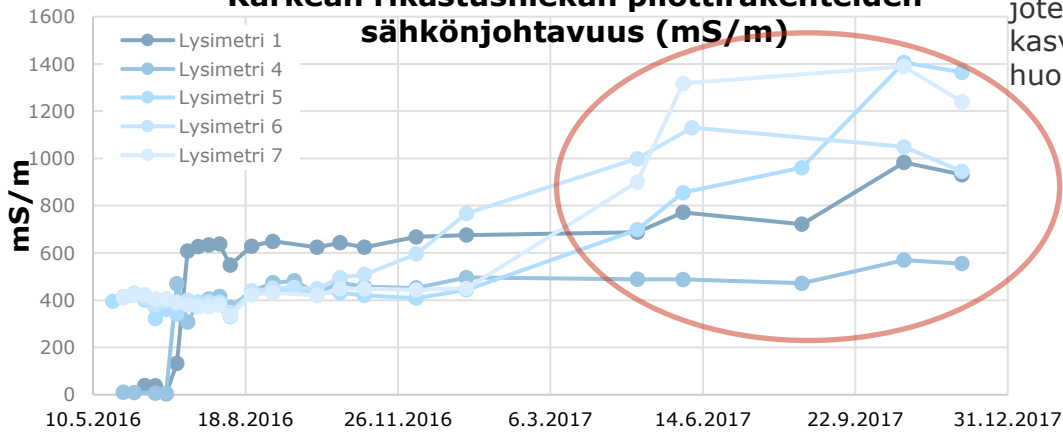
## Karkean rikastushiekan pilottirakenteiden pH - tulokset



## Hienon rikastushiekan pilottirakenteiden pH - tulokset

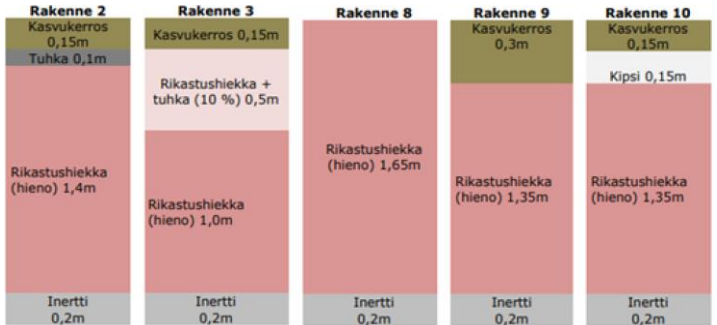
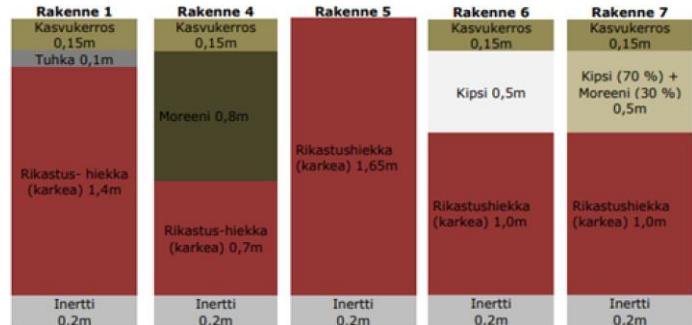
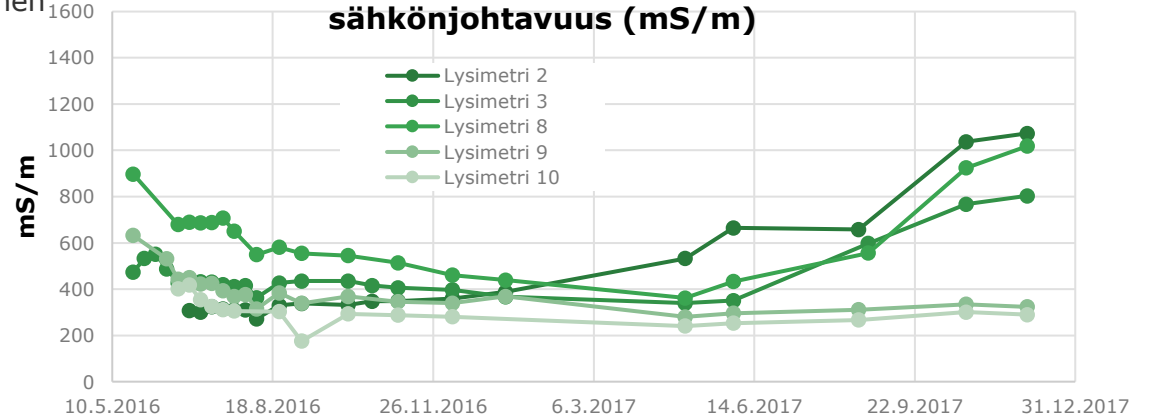


## Karkean rikastushiekan pilottirakenteiden sähköjohtavuus (mS/m)



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

## Hienon rikastushiekan rakenteiden sähköjohtavuus (mS/m)



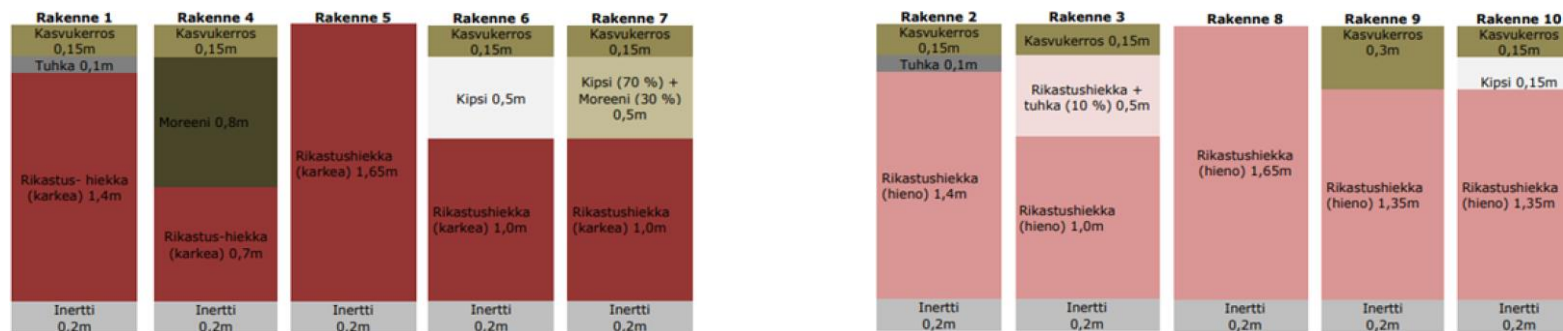


# PYHÄSALMEN SÄILIÖKOKKEET

5.11.2019

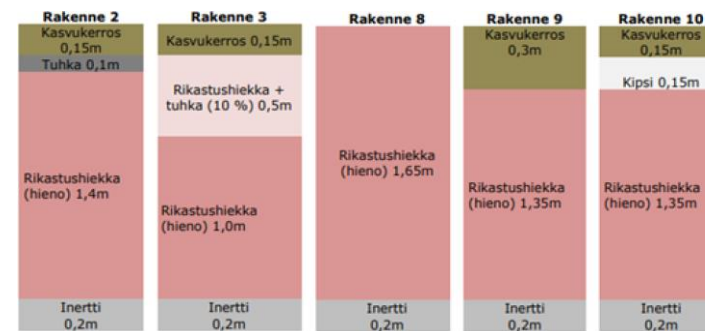
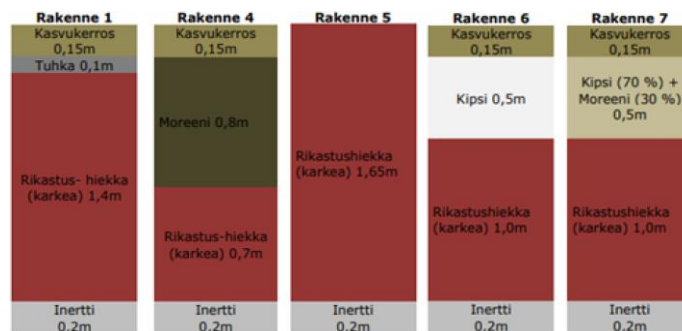
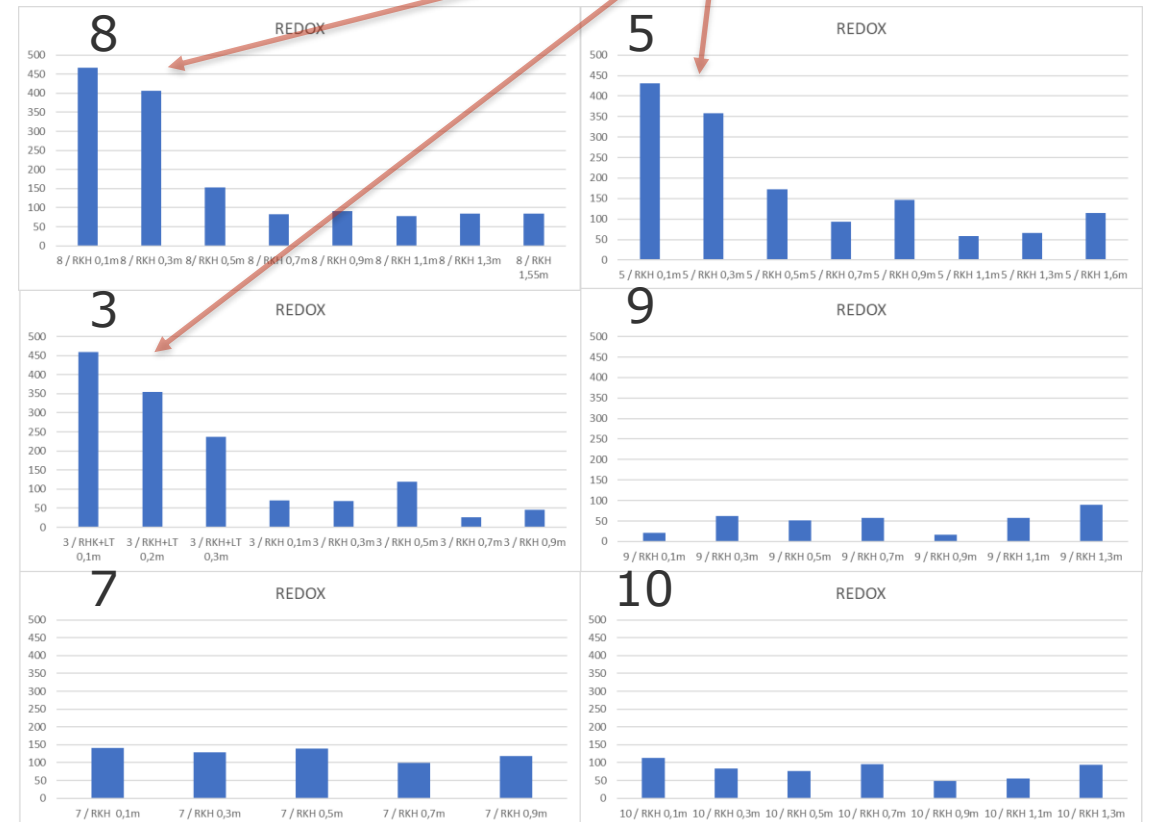
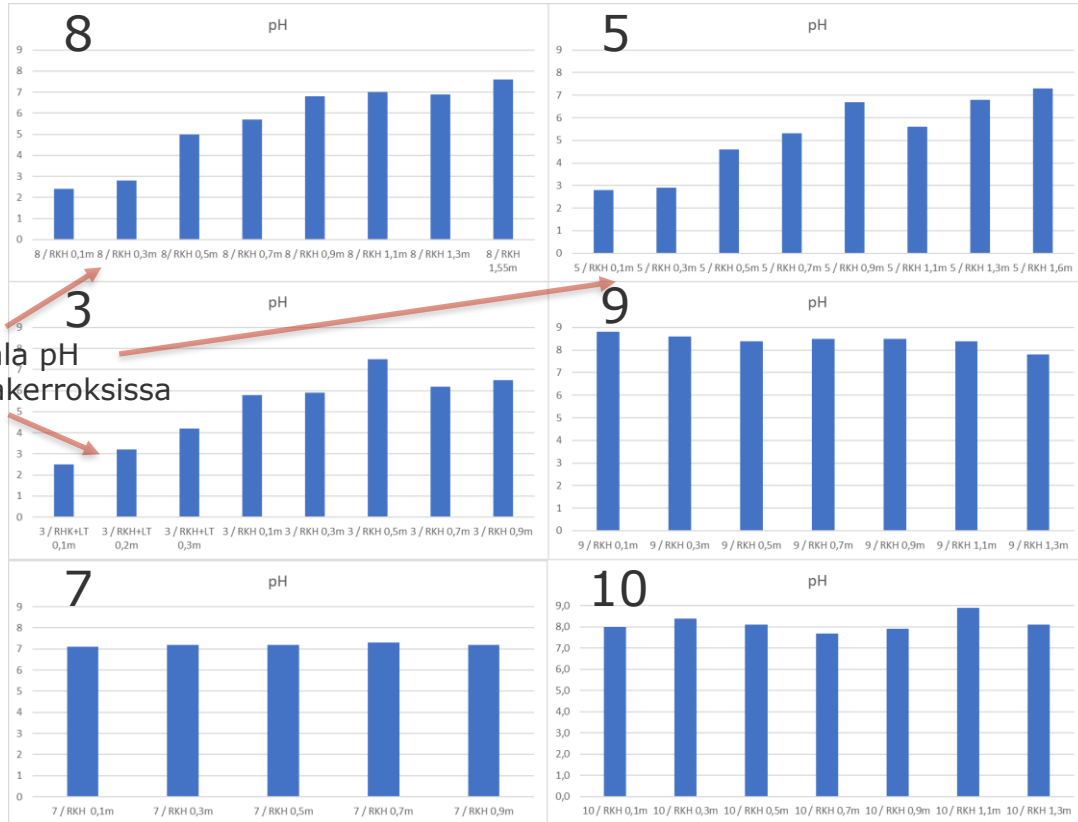


Rakenne 10



# PYHÄSALMEN SÄILIÖKOKKEET

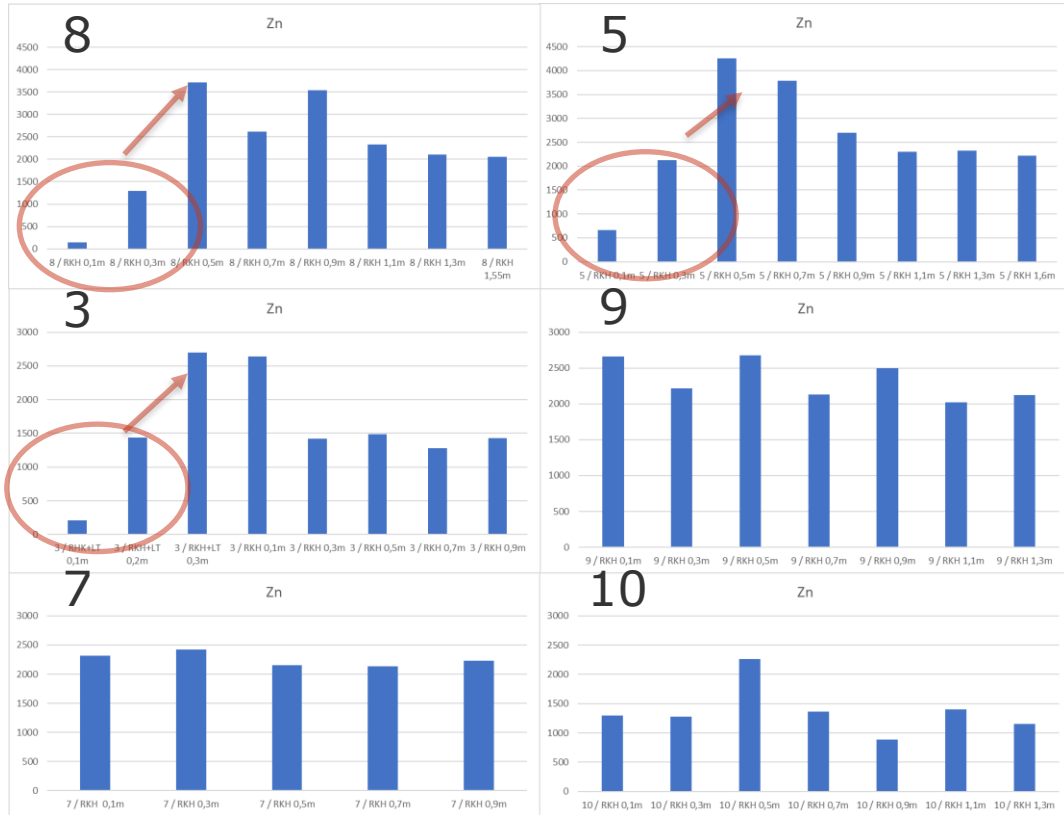
Kohonnut redox-potentiaali kertoo pintakerroksien hapettumisesta.



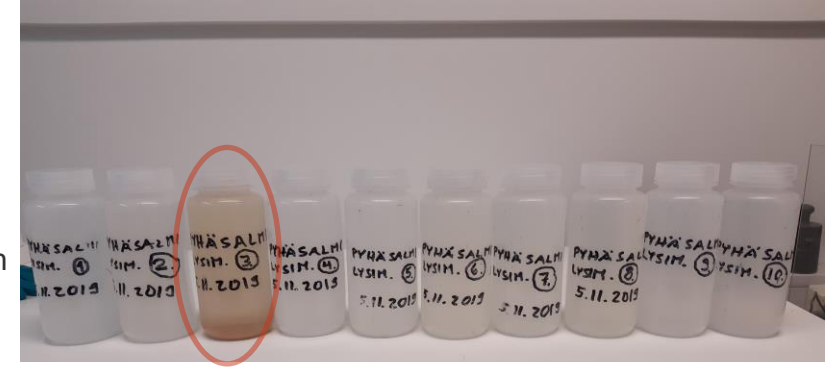


# PYHÄSALMEN SÄILIÖKOKKEET

Sinkki siirtynyt pinnasta syvemmälle rakenteeseen?



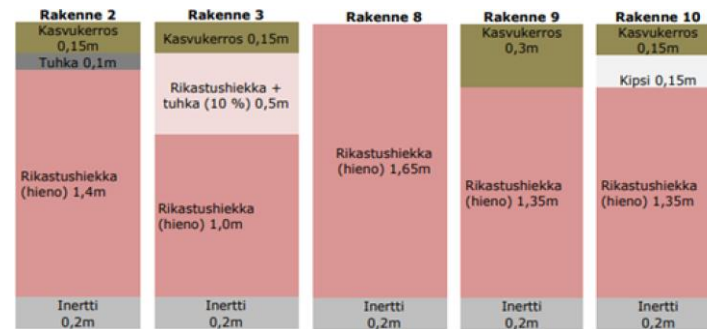
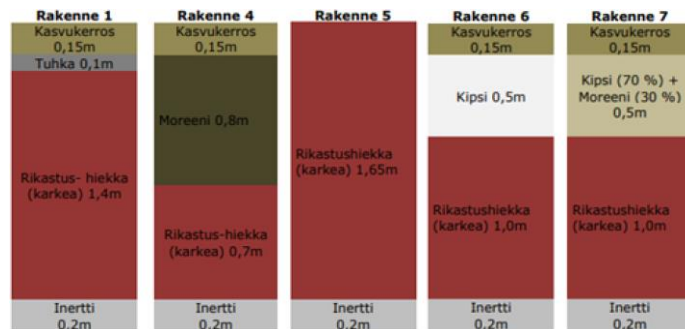
3. rakenteesta liuennut paljon rautaa muihin verrattuna



	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

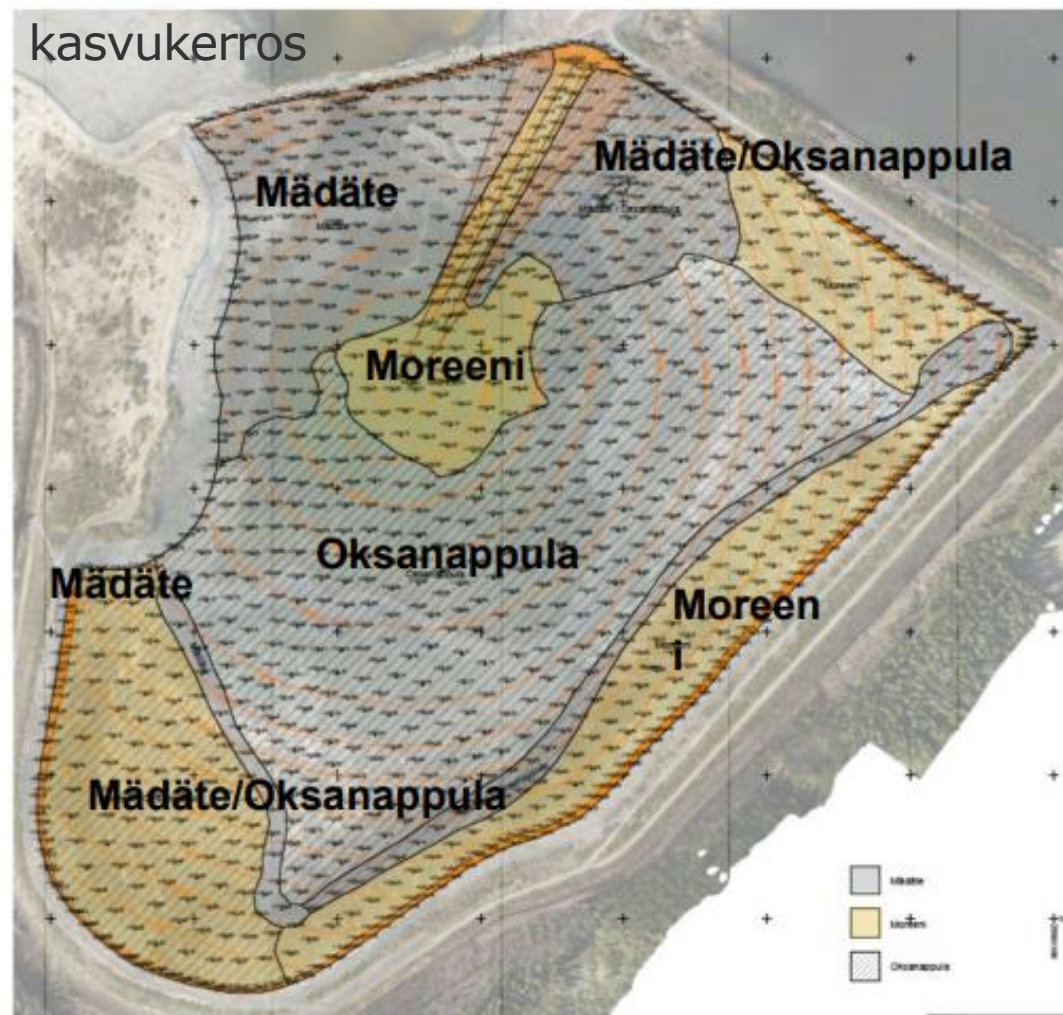
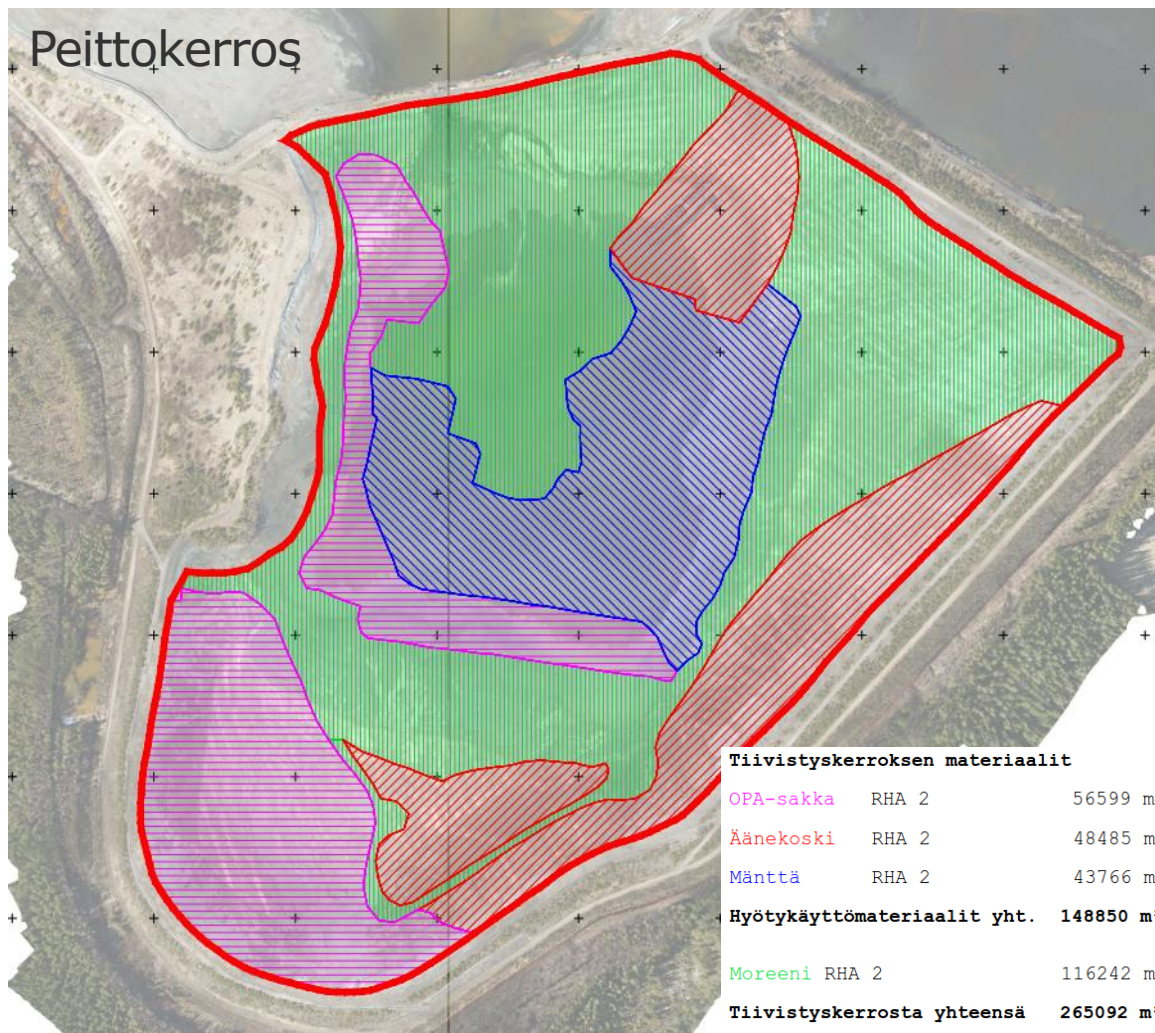
  

	Zn	Ni	Cu	Fe	Al	Ba	Mn	V	Cd
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Lysimeter 1	1720	40,70	2,80	<4,0	<4,00	18,40	9290	0,28	5,48
Lysimeter 2	116	<2,00	6,90	<10,0	<10,0	26,40	5180	1,98	0,25
Lysimeter 3	2050	42,20	<5,0	11600	<10,0	23,20	17200	<0,250	0,69
Lysimeter 4	64,40	<2,00	1,90	2,10	<2,00	8,80	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





# KUITUSAVIPEITTOKERROKSEN PILOTOINTI HITURASSA 2017-2018





# KUITUSAVIPEITTOKERROKSEN PILOTOINTI HITURASSA 2017-2018

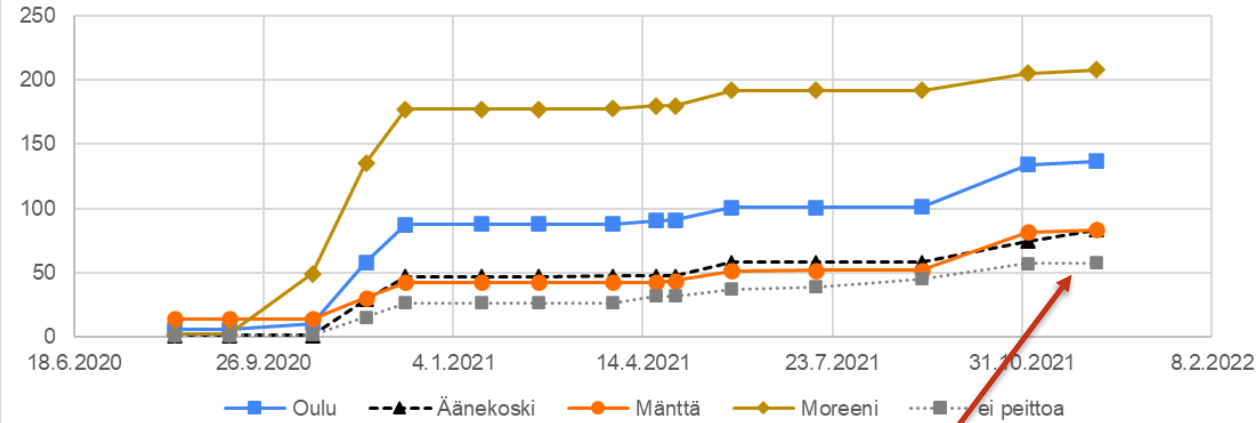


- Hituran toisen rikastushiekka-altaan peittorakenteet toteutettiin Fortumin toimesta kuitusavella ja moreenilla.
- Kuitusavi on paperiteollisuuden sivutuotteena muodostuvaa uusiomassaa -> Kun kierrätyspaperimassasta poistetaan roskat ja painomuste, jäljelle jää savi ja liete.
- Peittokerrokselta vaadittiin: vedenläpäisevyysarvo  $k < 1 \times 10^{-8}$  m/s, tiivistyskerroksen paksuus  $\geq 250$  mm + 100 mm kasvukerros.

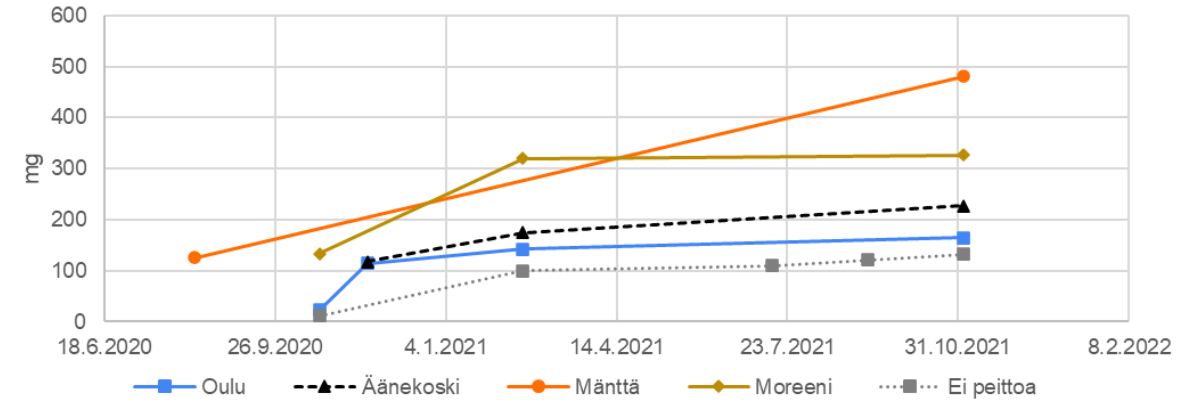
# KUITUSAVIPEITTOKERROKSIEN SEURANTA

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

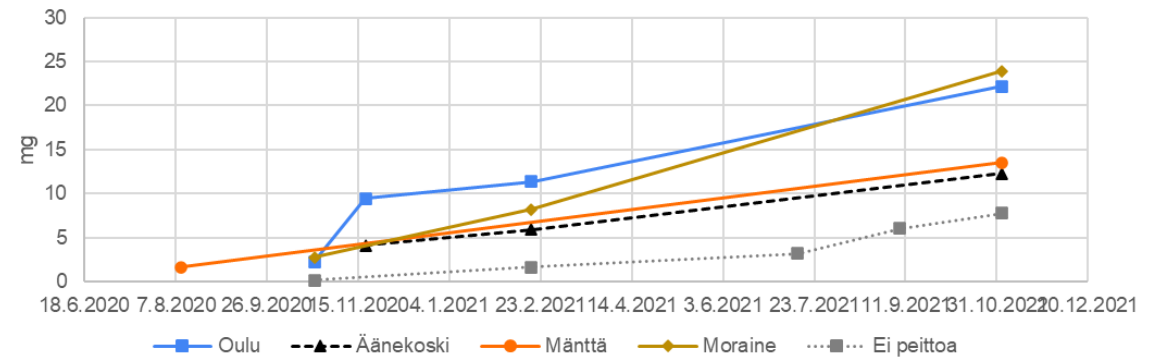
Läpimennyt vesimäärä kumulatiivisesti, L



Kumulatiivinen nikkelin määrä suotautuneessa vedessä



Kumulatiivinen sinkin määrä suotautuneessa vedessä





# KUOPION PYSTYERISTERAKENNE

- Rakentaminen aloitettiin Fortumin toimesta 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.





# HITURAN PEITERAKENTEET 2021



- Hituran esimurska-alue peitettiin maisemointitarkoituksessa ylijäämäsavella Skartan toimesta kesän 2021 aikana.
- Alueen pinta-ala oli 33 941 m<sup>2</sup>





HITACHI

← Geopolymeerikaivo

Tasausallas

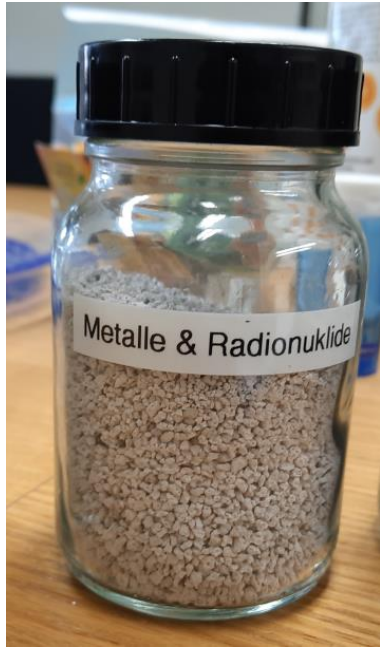
Kalkkikivipato

Laskeutusallas

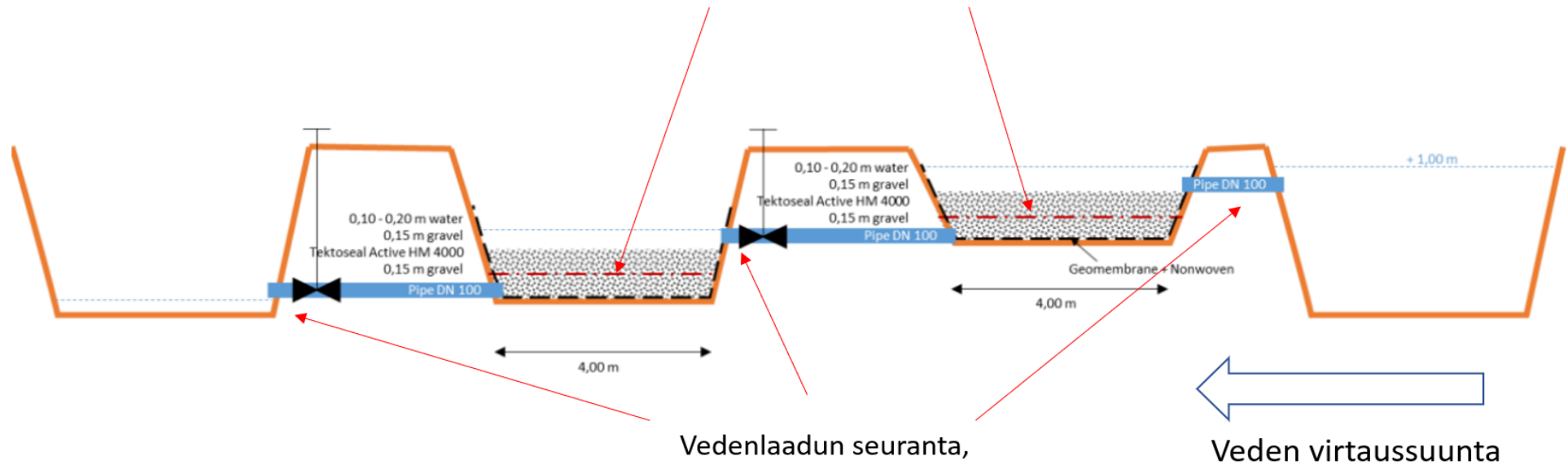
RAMBOLL



# MATTORAKENTEIDEN PILOTOINTI



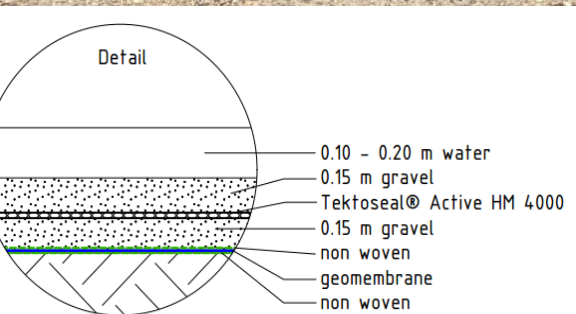
Metalleja sitova reaktiivinen matto, joka on asennettu 15cm sorakerrosten väliin



- 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.



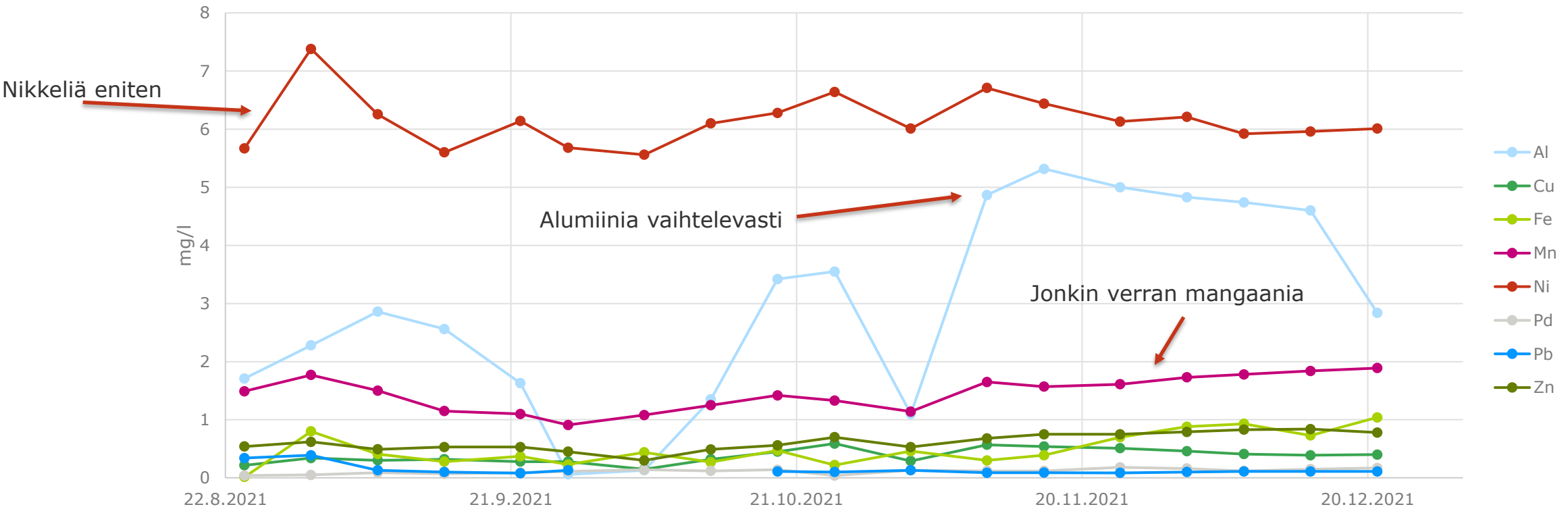
## 2. mattoallas



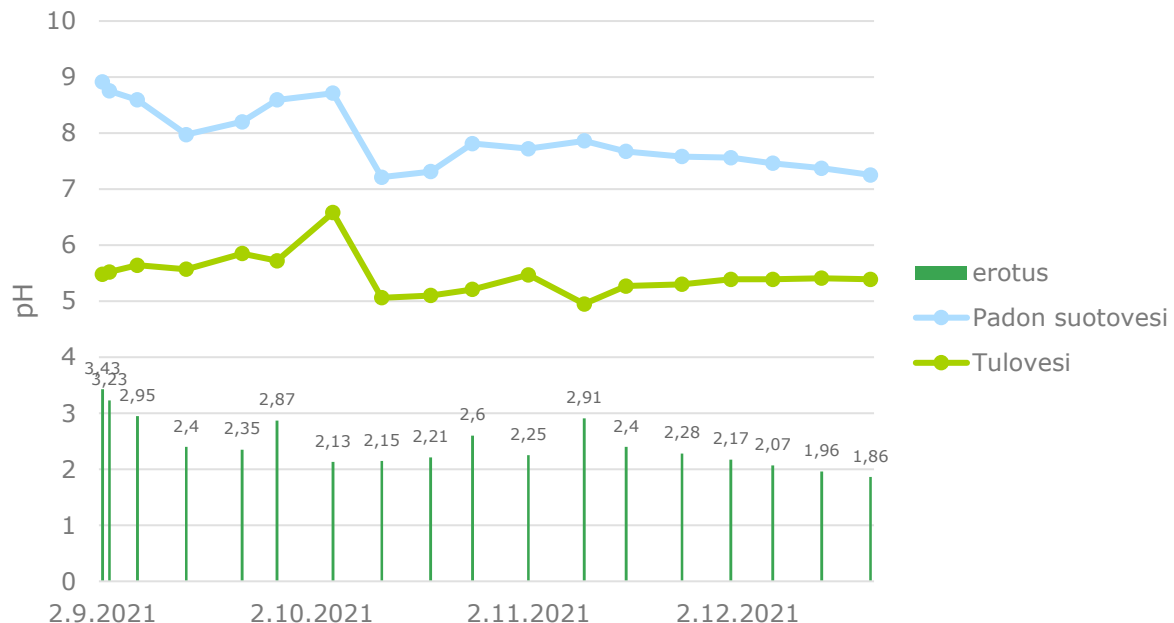


# REAKTIIVISTEN RAKENTEIDEN SEURATA

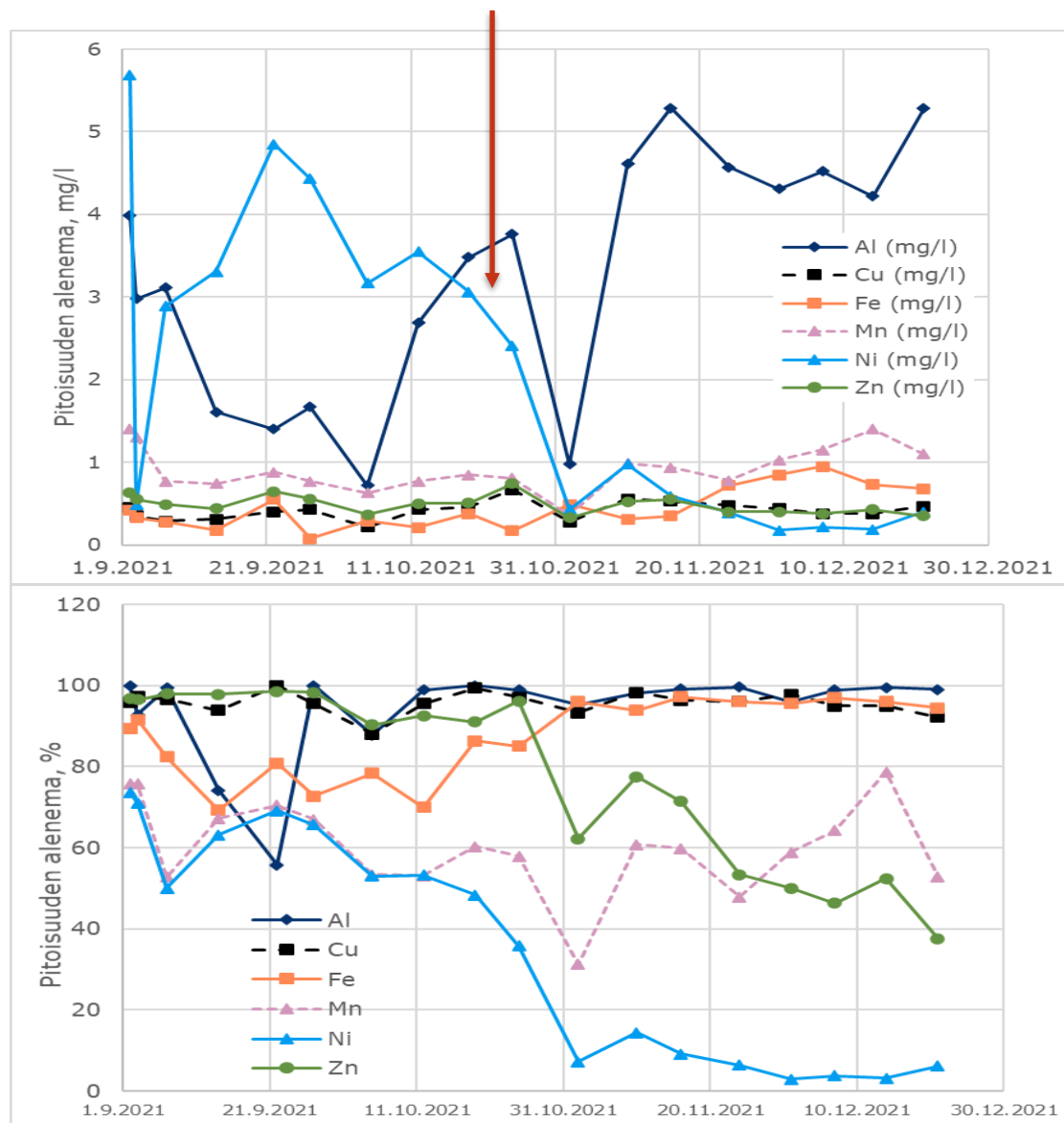
## Tulevan veden pitoisuudet



# KALKKIKIVIPADON SEURANTA



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



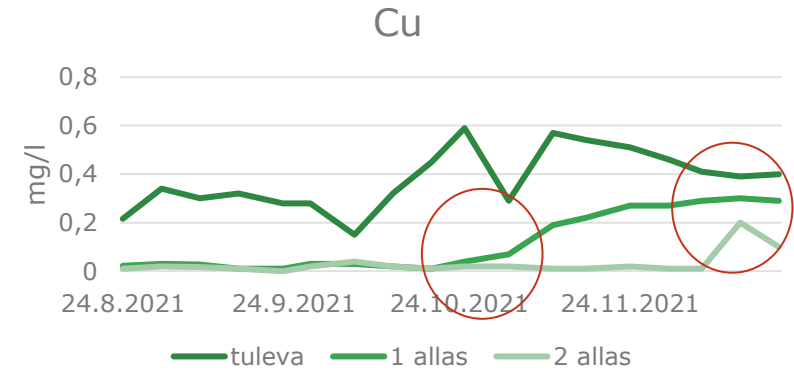
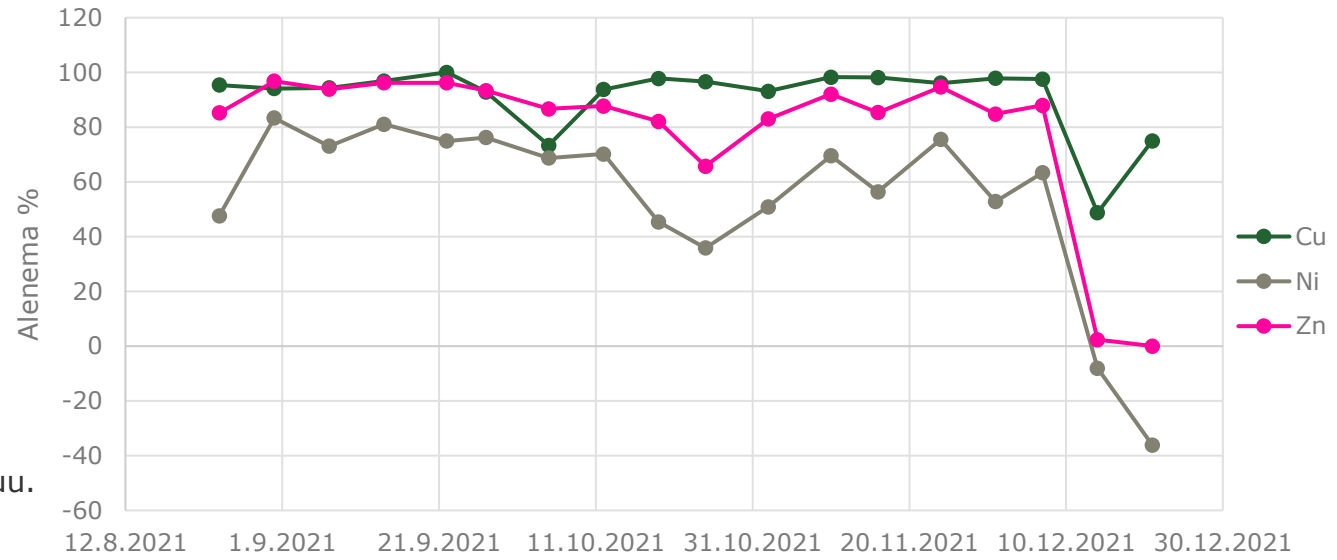
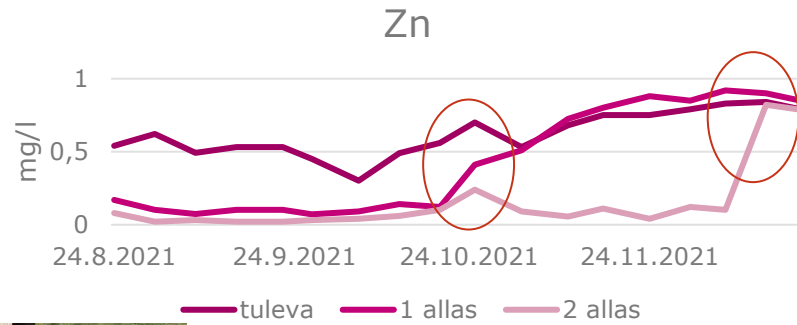
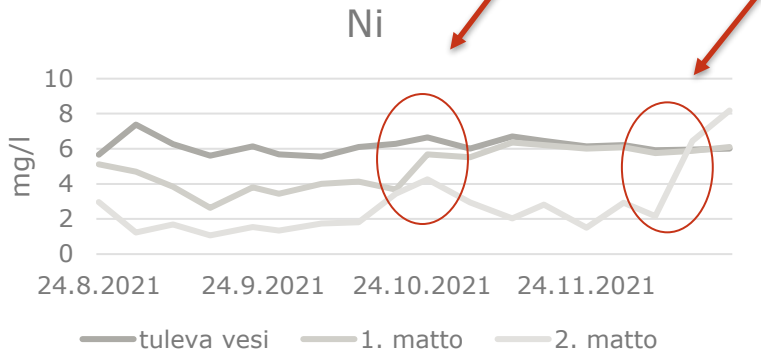


# REAKTIIVISET MATOT

Matto kestää noin 2 kk testiympäristössä.

1. maton adsorptiokapasiteetti loppuu.

2. maton adsorptiokapasiteetti loppuu.



# SÄÄSTETYT LUONNONVARAT

PYSTYERISTESEINÄ	Kerros	Määrä (m <sup>3</sup> )
Mäkelän alueen savi	Tiivis	<b>300</b>
Hamulan alueen savi	Tiivis	<b>1 700</b>
Riikinvoima Oy:n tuhka	Kuivatus	<b>1 950</b>
Hituran vesienkäsittelysakka	Tuki	<b>2 000</b>
Mondi Powerflute Oy:n tuhka	Tuki	<b>2 000</b>
Jäte-/ylijäämämaat	Tuki	Tukikerrokset (sis. tuhka ja sakka) <b>19 500</b>

KUITUSAVIRAKENNE	Kerros	Määrä (m <sup>3</sup> )
Tiivistyskerros (kuitusavi)	Tiivis	148 850m <sup>2</sup> x 200 mm = <b>29 770</b>
Kasvukerros	Kasvu	Moreeni 5 000 m <sup>3</sup> + Oksanappula 11 000 m <sup>3</sup> + Mädäte 10 000 m <sup>3</sup> = <b>26 000</b>
PEITERAKENNE YLIJÄÄMÄSAVESTA	Kerros	Määrä (m <sup>3</sup> )
Tiivistyskerros (kuitusavi)	Tiivis	<b>16 970</b>
Kasvukerros	Kasvu	<b>3 400</b>

**VAIHTOEHTOISILLA MATERIAALEILLA SÄÄSTETTIIN LUONNONVAROJA**

**n. 100 000 m<sup>3</sup>**



# TULEVAISUUDEN TAVOITE

*“Yhden toimijan tuottama jäte voi olla toiselle arvokasta raaka-ainetta”*





**KIITOS!**

**KYSYMYKSIÄ?**

**QR-KOODILLA / LINKILLÄ  
VASTAAMAAN HANKKEESEEN  
LIITTYVÄÄN KYSELYYN!**



**RAMBOLL**

Hankkeen kotisivut:

<https://projektit.ramboll.fi/life/upacmic/>