

Happamien sulfaattimaiden hallinta stabiloimalla ja neutraloimalla

Thomas Kronberg ja Jan-Erik Eriksson
Åbo Akademi



Co-funded by
the European Union



Elinvoimakeskus



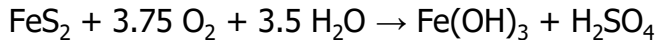
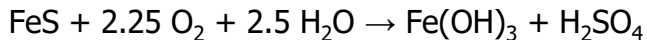
Euroopan unionin
osarahoittama

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027

- FiksuHasu-hankkeessa tutkitaan sulfaattimaamateriaalien hyödyntämistä massanvaihtojen tai läjittämisen sijaan.
- Kehitetään stabilointireseptejä käyttämällä lähialueiden teollisuuden vähähiilisiä sivuvirtoja, kuten tuhkia ja kuonia.
- Tehdään neutralointitestejä. Neutraloinnin kohteena ovat erityisesti läjitetyt massat, joilta ei vaadita stabiloinnilla saavutettavia lujuusominaisuuksia
- Laboratoriotestien lisäksi neutralointia testataan myös pilottimittakaavan kenttäkokeilla.

Happamat sulfaattimaat

Rannikkoalueilla esiintyy usein **sulfidisavia** -> kun joutuvat kosketuksiin **ilman kanssa** -> sulfidit alkavat **hapettua** ja muodostaa **rikkihappoa**



Rikkihapon aiheuttama **pH:n aleneminen** liuottaa maaperässä olevia **metalleja**, jolloin ne voivat kulkeutua ympäristöön

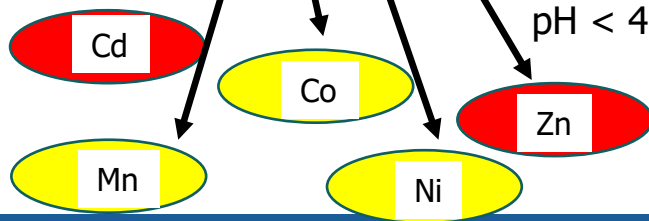
Happamoitumista voidaan **ehkäistä** stabiloinnin tai neutraloinnin avulla

Happamat sulfaattimaat aiheuttavat **haasteita** rakentamiselle, esimerkiksi:

- korkea vesipitoisuus
- suuri orgaanisen aineksen määrä



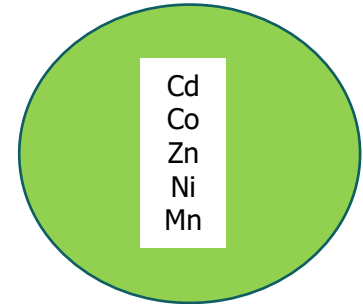
Jos kaivettu sulfidipitoinen maa-aines jätetään käsittelemättä, haitallisia alkuaineita liukenee ympäristöön



Neutralointi

Neutralointiaineet pitävät pH
neutriina (pH = 7)
Suurin osa metalleista eivät
liukene neutraalissa pH:ssa

Stabiliointi



Haitallisten aineiden
liukeneminen stabiloiduista
näytteistä on erittäin vähäistä

Neutraloinnin tavoitteena on nostaa maan pH-arvoa ja estää rikki- ja metallipitoisten mineraalien hapettuminen.

- **Kalkki** (Kalsiumkarbonaatti/-hydroksidi): perinteisin ja tehokkain tapa. Kalkki reagoi hapon kanssa ja neutraloi sen.

Teollisuuden sivuvirrat (Kiertotalous):

- **Tuhkat:** Erityisesti puu- ja biosivutuotteiden tuhkat ovat emäksisiä ja soveltuvat erinomaisesti neutralointiin.
- **Kuonat:** Terästeollisuuden kuonilla on korkea neutralointikyky.
- **Paperiteollisuuden meesat:** kalkkipitoinen sivutuote, jota käytetään yhä enemmän maiden käsittelyssä.
- **Muita sivuvirtoja myös kokeillaan** (esim. uunipöly, betonimurske)

Huom. jos jätemateriaali ei ole tuotteistettu, tarvitaan ympäristölupa

- Happamien sulfaattimaiden neutralointitarve lasketaan ensisijaisesti maan **rikkipitoisuuden** perusteella.
- **Asiditeetti** (haponmuodostuspotentiaali) on tarkempi ja suositeltavampi tapa laskea neutralointitarve, sillä se huomioi maan todellisen kyvyn tuottaa happoa, ei vain kokonaisrikkiä.
- Tarvitaan myös neutralointiaineen **Ca-ekvivalentti/neutralointikyky**
- Yleensä käytetään vielä **varmuuskerroin** (1.5-3)

Tämän lisäksi pitää ottaa huomioon: saven/neutralointiaineen partikkelikoko, sekoitustapa, lämpötila jne

- Rikkipitoisuutta käytetty kalkkitarpeen laskemiseen
- Neutralointikyky sivuvirroille -> titraustuloksista
- Tarvittavat määrät sekoitettu saveen
 - 2 tasoa, 7 sivuvirtaa + kalkki

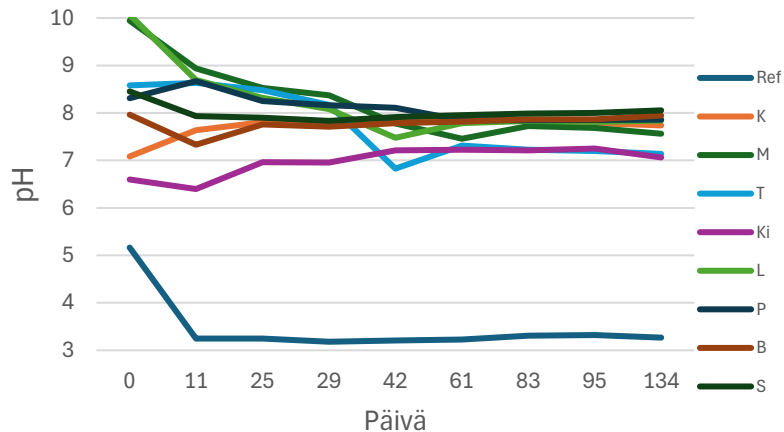
2 sarjaa:

- Laboratoriokoesarja: HaSu FH2.3 savi; 100% ja 60%
- Kenttäkoe: Nenänperä + Turpeenperä; 90% ja 70%

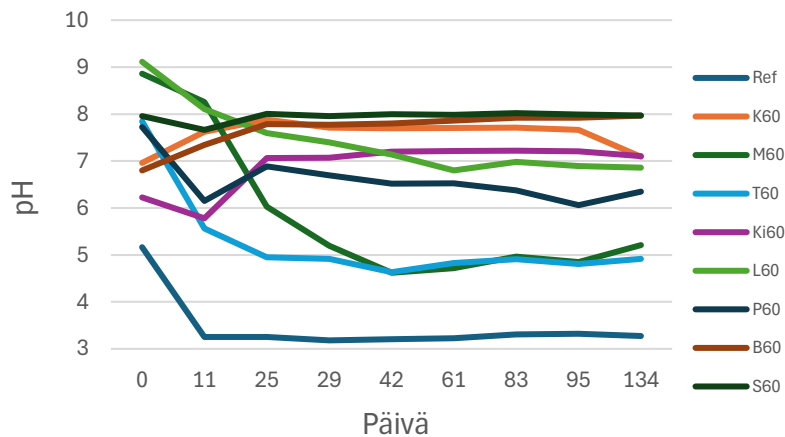


Neutralointikokeet (laboratoriosekoitus)

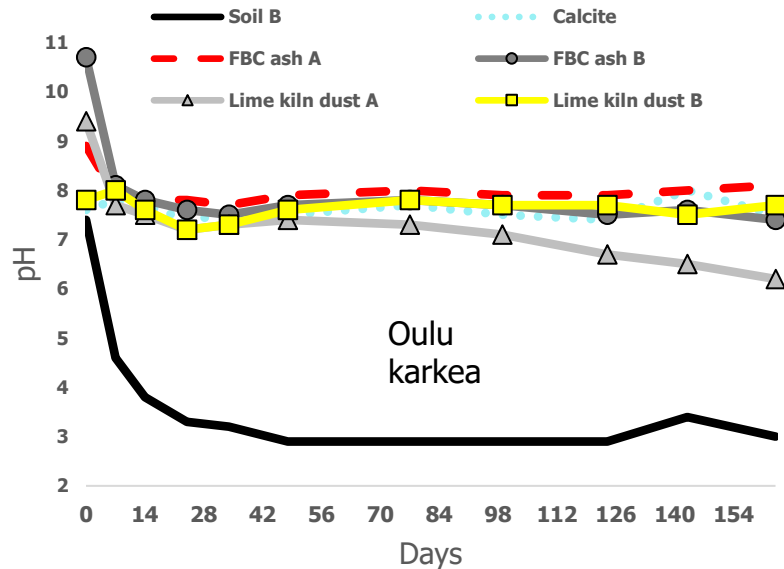
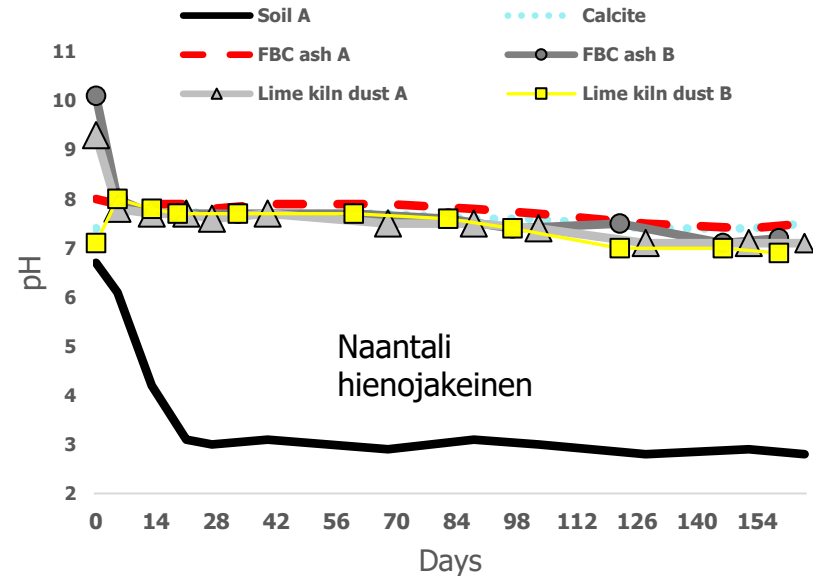
FH 2.3 100%
S= 0.7%



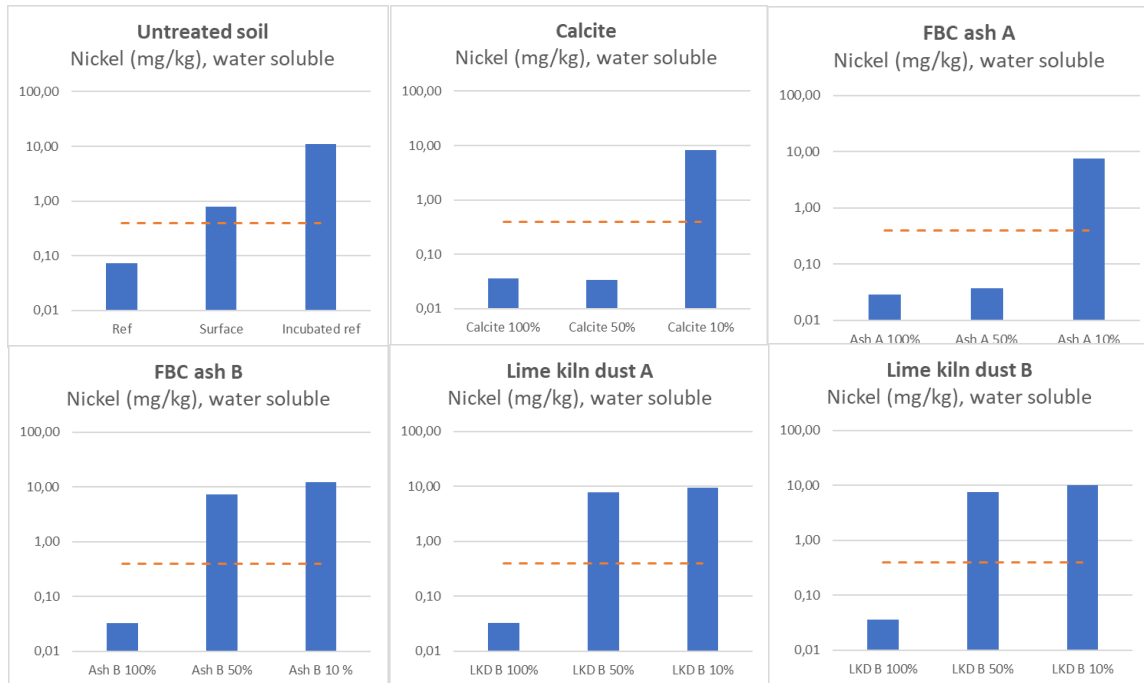
FH 2.3 60%
S=0.7%



100 % Neutralointitarve – pH muutos



Liuennut nikkeli (Ni)

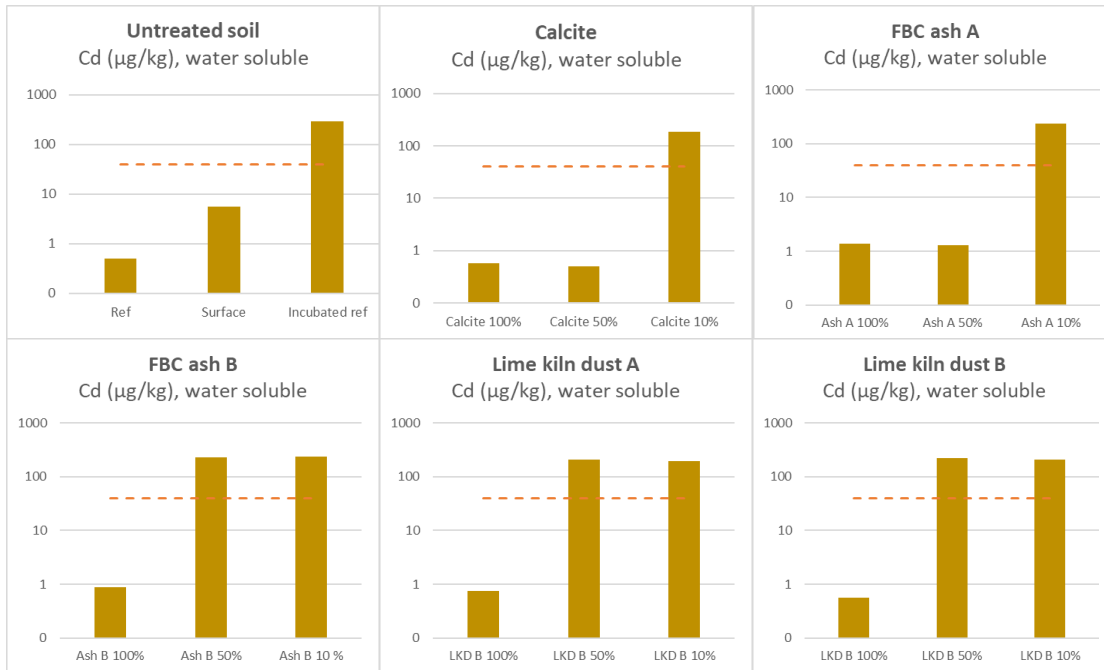


MARA asetus:

Peitetty kenttä < 0.4 mg/kg

Päällystetty kenttä < 1.2 mg/kg

Liennut kadmium (Cd) - Hasu



MARA asetus:

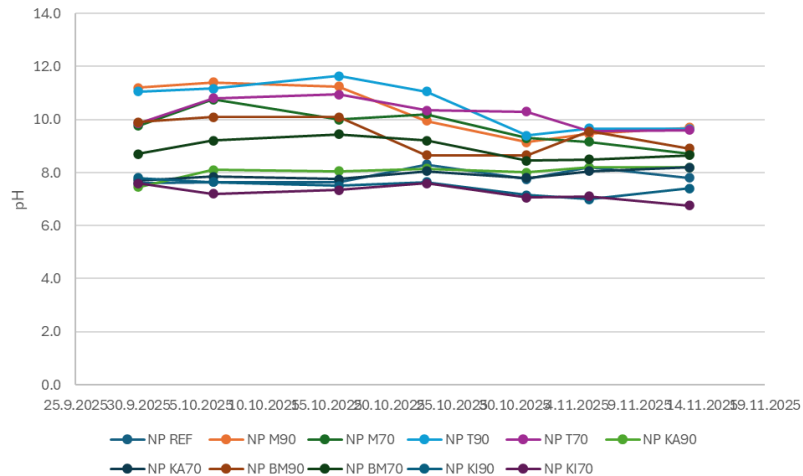
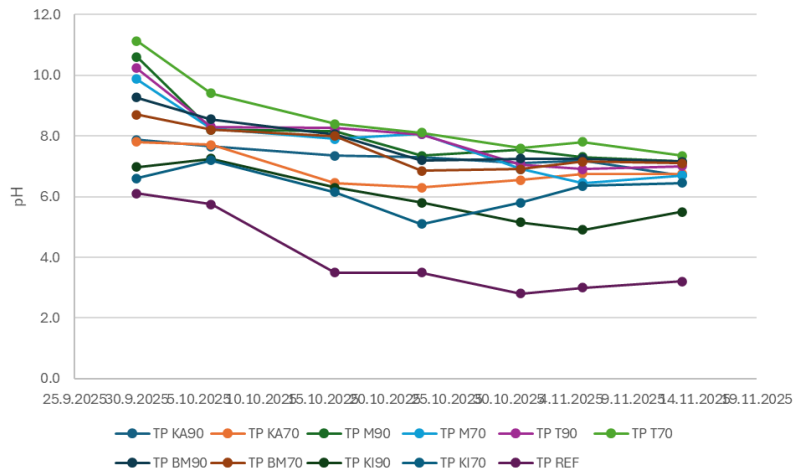
Peitetty kenttä < 40 µg/kg

Päällystetty kenttä < 60 µg/kg

- Pilottikokeet perustettiin syys-lokakuun vaihteessa 2025 Kiertokaari Oy:n Ruskon jätekeskuksen alueelle
- Kaksi erilaista sulfaattimaamateriaalia:
 - Hienorakeinen Nenänperältä Limingasta
 - Karkearakeinen Turpeenperältä Siikajoelta
- 5 erilaista neutralointimateriaalia:
 - Tuhka, kuona, kipsi, betonimurske ja kalsiitti
- Kaksi erilaista annostusta:
 - 70 ja 90 %



Neutralointipilotti – pH seuranta



Mittaukset jatkuvat keväällä 2026

- **Pilaristabilointi (n. 70–80 %):** Savikerrokseen porataan sideainetta (yleensä kalkki-sementtiseos), joka muodostaa maahan kantavia pilareita. Tämä on selkeästi yleisempi menetelmä. Syynä on Suomen maaperän syvyys rannikkoalueilla (usein 10–25 metriä savea), jolloin pilarointi on ainoa taloudellinen tapa saavuttaa kantava pohja. Standardiratkaisu teiden ja rautateiden pohjanvahvistuksessa.
- **Massastabilointi (n. 20–30 %):** Pehmeä pintakerros sekoitetaan sideaineen kanssa yhtenäiseksi levyksi. Soveltuu erityisesti hyvin pehmeille maille ja pihajänteille. Käytetään vähemmän, koska se rajoittuu yleensä vain 5 metrin syvyyteen. Menetelmä on kuitenkin yleistynyt erityisesti kiertotaloushankkeissa ja satamarakentamisessa, joissa ruoppausmassoja tai erittäin pehmeitä pintakerroksia jäykistetään laajoiksi kentiksi.

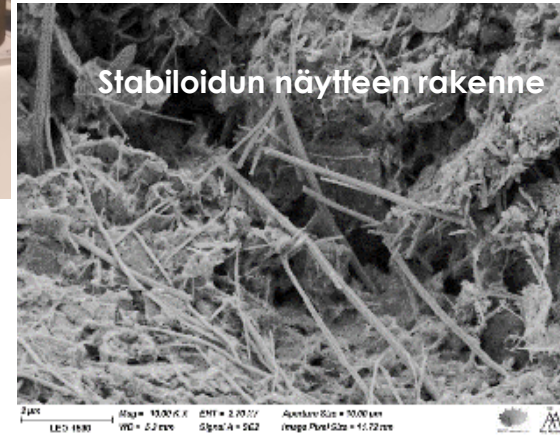
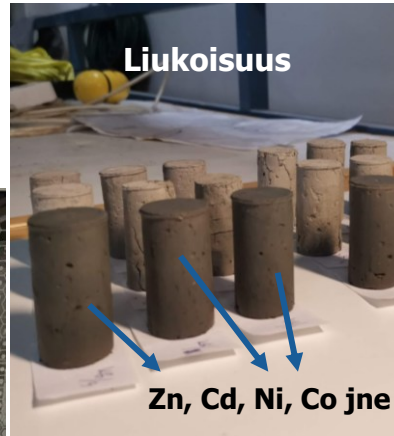


Perinteisesti ollaan käytetty sementti-/kalkkiseoksia stabiloinnissa. Tänäpä löytyy myös kaupallisia valmiita seoksia missä osa sementistä on korvattu sivuvirroilla (Nordkalk Oy) sekä myös kokonaan sementtivapaita seoksia (EcoIntellect Oy)

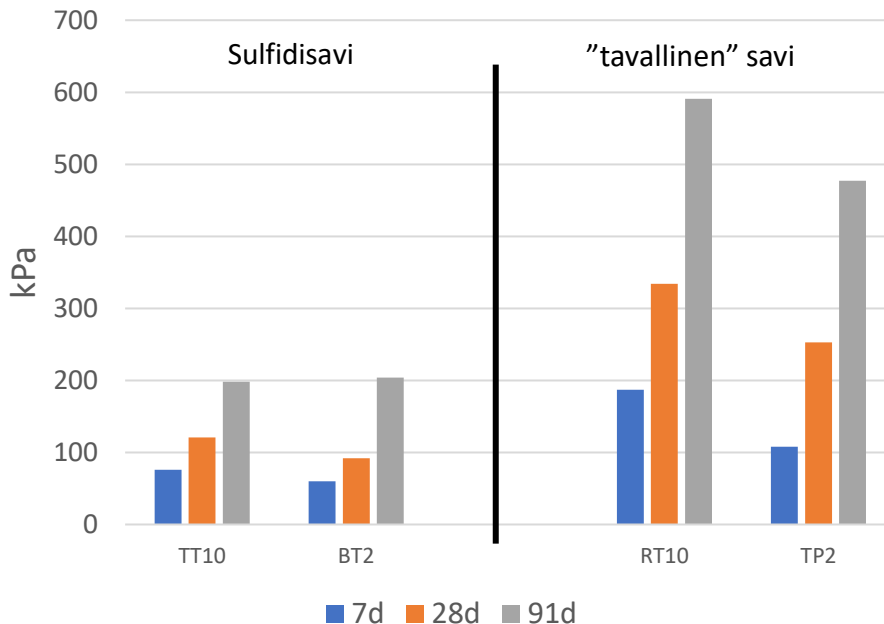
- **Lentotuhka:** yleisin uusiosideaine, joka syntyy voimalaitosten polttoprosesseissa. Se on erityisen tehokas massastabiloinnissa, kun käsitellään erittäin märkiä ruoppausmassoja tai liejua. Myös biopolton tuhkia voidaan käyttää
- **Pohjatuhka:** Käytetään usein täyttömateriaaleissa tai karkeampana osana stabilointiseoksia parantamaan maarakenteen kantavuutta.
- **Masuunikuona:** Kuona on erittäin tehokas sideaine, joka reagoi veden ja muiden aktivaattoreiden (kuten kalkin) kanssa muodostaen kestäväp rakenteen.
- **Kalkkipitoiset sivuvirrat:** uunipöly, kipsi jne.

Ympäristökelpoisuus määrittelee MARA asetus – haitallisten aineiden liukoisuus

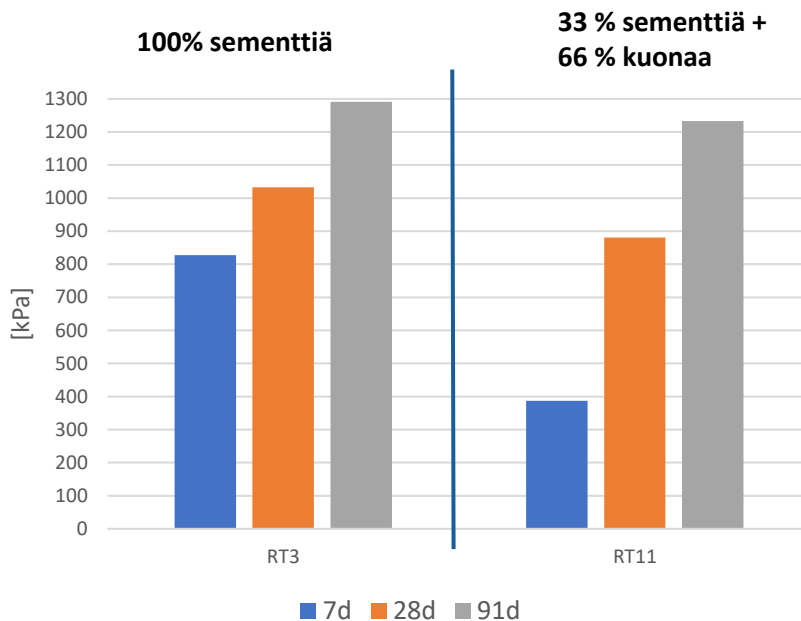
Stabilointikokeet laboratoriossa



Sulfidisavi lujittuu huonommin ja tarvitsee usein enemmän sideaineita kuin tavalliset savimaat



Teolliset sivuvirrat voivat korvata osan sementistä stabiloinnissa, mikä edistää kiertotaloutta ja pienentää hiilijalanjälkeä



Alkulujuus on kuonan kanssa **huonompi** mutta **91pv** kohdalla jo **samalla tasolla** kuin sementillä.

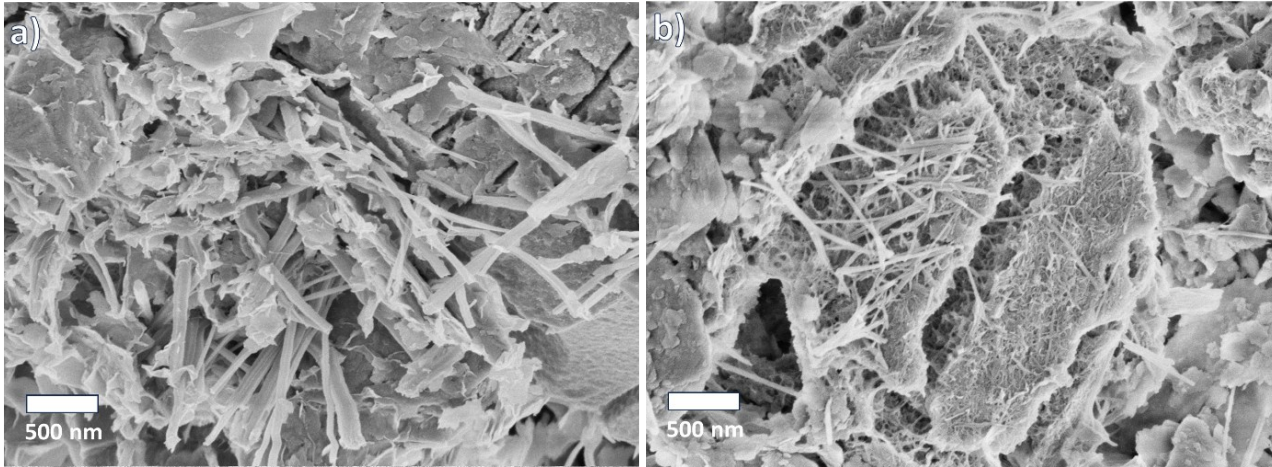


Fig 5. SEM images (magnification x25k, in-lens detector) of needle-shaped ettringite crystals in sample a) AS1 stabilised with 120 kg/m³ cement after 7 days and b) AS1 stabilised with 40 kg/m³ cement and 80 kg/m³ CaO after 28 days. AS = Acid sulfate soil.

Kronberg, T., J.-E.Eriksson, M.Nystrand, P.Österholm, and L.Hupa. 2026. "Stabilisation of Sulfide-Bearing Clays as a New Building Ground." *European Journal of Soil Science* 77, no. 1: e70279.

Haitallisten aineiden liukoisuus

Metallien ja muiden haitallisten aineiden liukeneminen stabiloiduista näytteistä on erittäin vähäistä ja alle MARA-asetuksen raja-arvojen

S-savi = tutkittujen sulfidisavien keskiarvo

Norm = tutkittujen tavallisten savien keskiarvo

		Päivä 0		19 viikkoa (hapetettu)		91 d, stabiloitu	
		mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%
Ni	S-savi	0.97	3.8	3.0	11.9	0.37	1.5
	Norm	0.11	0.1	0.32	0.4	0.06	0.2
Zn	S-savi	0.44	0.5	10.83	11.6	0.04	0.04
	Norm	0.37	1.1	0.34	0.1	0.07	0.07
Cd	S-savi	0.008	7.2	0.037	33.6	0.0	0.0
	Norm	0.000	0.0	0.008	5.3	0.005	0.0
Co	S-savi	0.057	0.4	2.37	16.1	0.064	0.4
	Norm	0.061	0.3	0.137	0.9	0.008	0.05
Mn	S-savi	1.56	0.4	77.1	21.7	0.010	0.00
	Norm	1.2	0.2	0.9	0.1	0.005	0.00
S	S-savi	10	0.1	2680	28.2	330	3.5
	Norm	30	3.9	120	15.8	197	23.9

MARA raja-arvot

Alkuaine	Peitetty kenttä raja-arvo	Päällystetty kenttä raja-arvo
	mg/kg	mg/kg
Antimony (Sb)	0.3	0.7
Arsenic (As)	0.5	1.5
Barium (Ba)	20	60
Cadmium (Cd)	0.04	0.06
Chromium (Cr)	0.5	5
Copper (Cu)	2	10
Lead (Pb)	0.5	2
Molybdenum (Mo)	0.5	6
Nickel (Ni)	0.4	1.2
Selenium (Se)	0.4	1
Zinc (Zn)	4	12
Vanadium (V)	2	3
Aluminium (Al)	Ei raja-arvoa	Ei raja-arvoa
Cobalt (Co)	Ei raja-arvoa	Ei raja-arvoa
Iron (Fe)	Ei raja-arvoa	Ei raja-arvoa
Sulfur (S)	Ei raja-arvoa	Ei raja-arvoa

% - liuenneen alkuaineen osuus kokonaismäärästä

Euroopan unionin
osarahoittama

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027



Geologian tutkimuskeskus

2022

Maalle läjitetyn happoa tuottavan maamassan seuranta- ja neutralointitutkimukset

Jaakko Auri, Antti Kaseva, Timo Tarvainen, Thomas Kronberg, Jan-Erik Eriksson, Stefan Mattbäck, Ritva Nilivaara, Anton Boman, Hanna Hänninen ja Emilia Suvanto

GTK:n tutkimustyöraportti 29/2022



Journal of Geochemical Exploration 257 (2024) 107384



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Geochemical Exploration

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jgep



Applying industrial side streams in the neutralization of acid generating sulfide-rich sediments – The impact on pH and leaching of harmful elements

Thomas Kronberg^{a,*}, Timo Tarvainen^b, Jaakko Auri^b, Jan-Erik Eriksson^a, Stefan Mattbäck^c, Anton Boman^c

^a Åbo Akademi University, High-Temperature Processes and Materials, Henriksgatan 2, 20500 Åbo, Finland

^b Geological Survey of Finland, P.O. Box 96, 02151 Espoo, Finland

^c Geological Survey of Finland, P.O. Box 97, 07101 Kuopio, Finland

ARTICLE INFO

Keywords:

Acid sulfate soils
Industrial side streams
Neutralization
Acidity
Leaching

ABSTRACT

Acid sulfate soils can cause severe environmental harm due to a low pH and mobilization of harmful elements. Acid sulfate soil material is formed when oxidation of sulfide minerals causes a drop in pH to <4.0 for mineral oil materials and <3.0 for organic soil materials or when the soil materials contain enough sulfide to potentially do so.

Two dredged, acid sulfate soil materials from Finland were used in this laboratory study. Chemical analyses were performed to determine the pre-incubation characteristics of both fresh dredged sediment samples and oxidized samples after 23 weeks of incubation. Total element concentrations were determined after digestion in aqua regia by ICP-MS or ICP-OES. The leachable concentration of elements was determined by using the two-stage shaking test (method SFS-EN 12457-3). The leaching of harmful elements (Cd, Co, Ni, Mn, and Zn) was high in the acidified dredged spoil samples. Also, the leaching of S was high. The soluble concentration was dependent on total concentration, pH, and the mobility of the elements.

During a 23-week oxidation period, the impact of various amounts of industrial side streams (alkaline ashes, industrial line residues) as neutralizing agents on the acid-generating dredged sediments was investigated in the laboratory. Calcite was used as a reference material. pH measurements were carried out during the incubation period. The leaching of elements was determined with a modified method based on the SFS-EN 12457-2 standard before and after oxidation.

The untreated dredged spoils and the samples treated with two low amounts of neutralizing agents, acidified to pH < 4 during the oxidation period. Thus, harmful elements were leached out. However, the 100 % theoretical calculated neutralization need was suitable to prevent acidification and thus the leaching of harmful substances from the neutralized acid-generating dredged spoils. However, the leaching of Mo increased at neutral pH values. The results showed that industrial side streams can be applicable for the neutralization of acid sulfate soil materials. However, the legislation must also be considered.



Euroopan unionin
osaraioittama

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027



REVIEW ARTICLE | [Open Access](#) | [CC BY](#)

Stabilisation of Sulfide-Bearing Clays as a New Building Ground

[Thomas Kronberg](#) [✉ Jan-Erik Eriksson](#) [Miriam Nystrand](#) [Peter Österholm](#) [Leena Hupa](#)

First published: 15 January 2026 | <https://doi.org/10.1111/ejss.70279> | [VIEW METRICS](#)

SECTIONS

[PDF](#) [CITE](#) [TOOLS](#) [SHARE](#)

SGF Rapport 1:2025

Nordic Geotechnical Meeting 2024

STABILIZATION OF SULFIDE-RICH SEDIMENTS WITH INDUSTRIAL SIDE STREAMS

Thomas Kronberg¹, Jan-Erik Eriksson¹, and Leena Hupa¹

KEYWORDS

Acid sulfate soils, Stabilization, Industrial side streams, Leaching.

Geologian tutkimuskeskus

2021

CircVol-projekti Ruoppausmassojen stabiloinnin kenttäkoe Naantalissa Matalahdella

Jouko Järvi (toim.), Jan-Erik Eriksson (toim.), Liisa Larkela, Jaakko Auri, Thomas Kronberg, Timo Torvalinen, Jukka Kuva, Maarit Järvinen, Hanna Hänninen, Marja Lehtonen, Mari Ketola ja Reeta Huhtinen

GTK:n tutkimustyöraportti 19/2021



[Aika](#) [EUROPEAN UNION](#) [EUROPEAN COMMISSION](#) [EUROPEAN UNION](#)

[GTK](#)



Kiitos!



Väylävirasto
Trafikledsverket



Co-funded by
the European Union



Elinvoimakeskus



Euroopan unionin
osarahoittama

Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027