

Kaivannaisjätteiden pitkäaikaiskäyttämisen ja hyötykäyttömahdollisuuksien arviointi – lysimetrikokeet ja laboratoriotestien tulokset suhteessa kenttätutkimuksiin

Kaivannaisjätteiden hallintamenetelmät (KaiHaMe)

Teemu Karlsson

18.4.2018



kemira

Endomines



Centre for Economic Development,
Transport and the Environment

BOLIDEN
Kevitsa

Programme for Sustainable Growth and Jobs

Leverage from
the EU
2014–2020



European Union
European Regional
Development Fund

Esityksen sisältö

- Kaivosjätteen karakterisointi
- Haitta-aineiden liukoisuuden arviointi laboratoriotestien avulla
- Hapontuottopotentiaalin arviointi
- Kineettiset testit; lysimetritestit



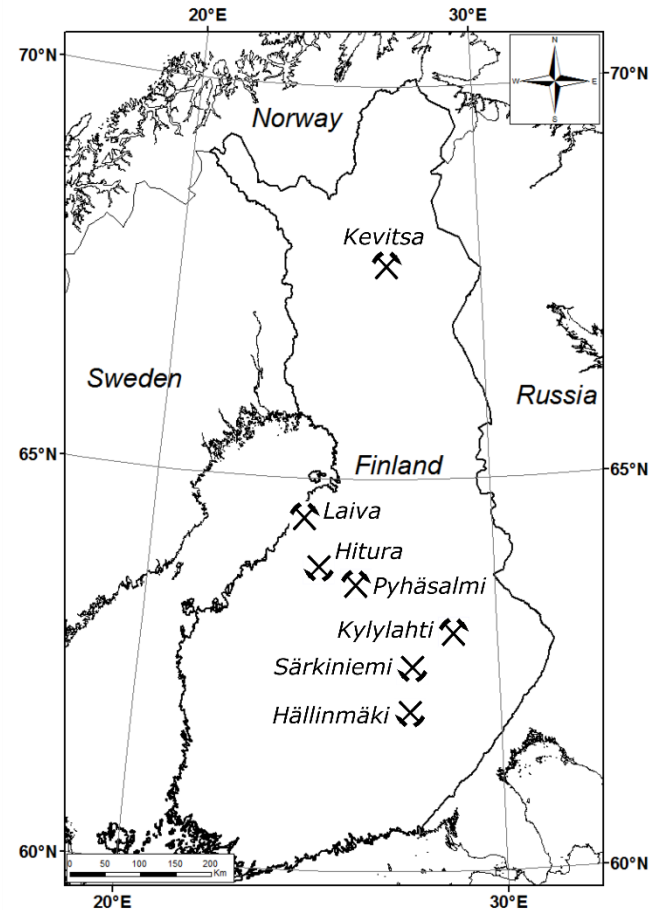
Tutkimuksen tavoitteet

- Saada lisää tietoa kaivannaisjätteiden pitkäaikaiskäyttymisestä ja sen arvioinnissa hyödynnettävistä laboratorio- ja kenttämenetelmistä
 1. Eri hapontuottopotentiaalin ja haitta-aineiden liukoisuuden arviointiin tarkoitettuja menetelmiä verrattiin toisiinsa ja kaivannaisjätealueilta kerättyjen suotovesien laatuun
 2. Pidempiaikaiset lysimetrikokeet
- Arvioida tutkittujen kaivannaisjätteiden hyötykäyttöpotentiaalia



Tutkimuskohteet

- Kaivannaisjäte- ja suotovesinäytteitä kerättiin seitsemältä kaivosalueelta
 - Hitura (SK, lysimetri)
 - Hällinmäki/Virtasalmi (SK)
 - Särkiniemi (SK)
 - Kylylahti (SK)
 - Kevitsa (SK, RHK, lysimetri)
 - Laiva (SK, RHK)
 - Pyhäsalmi (RHK)



Tutkimuskohteet

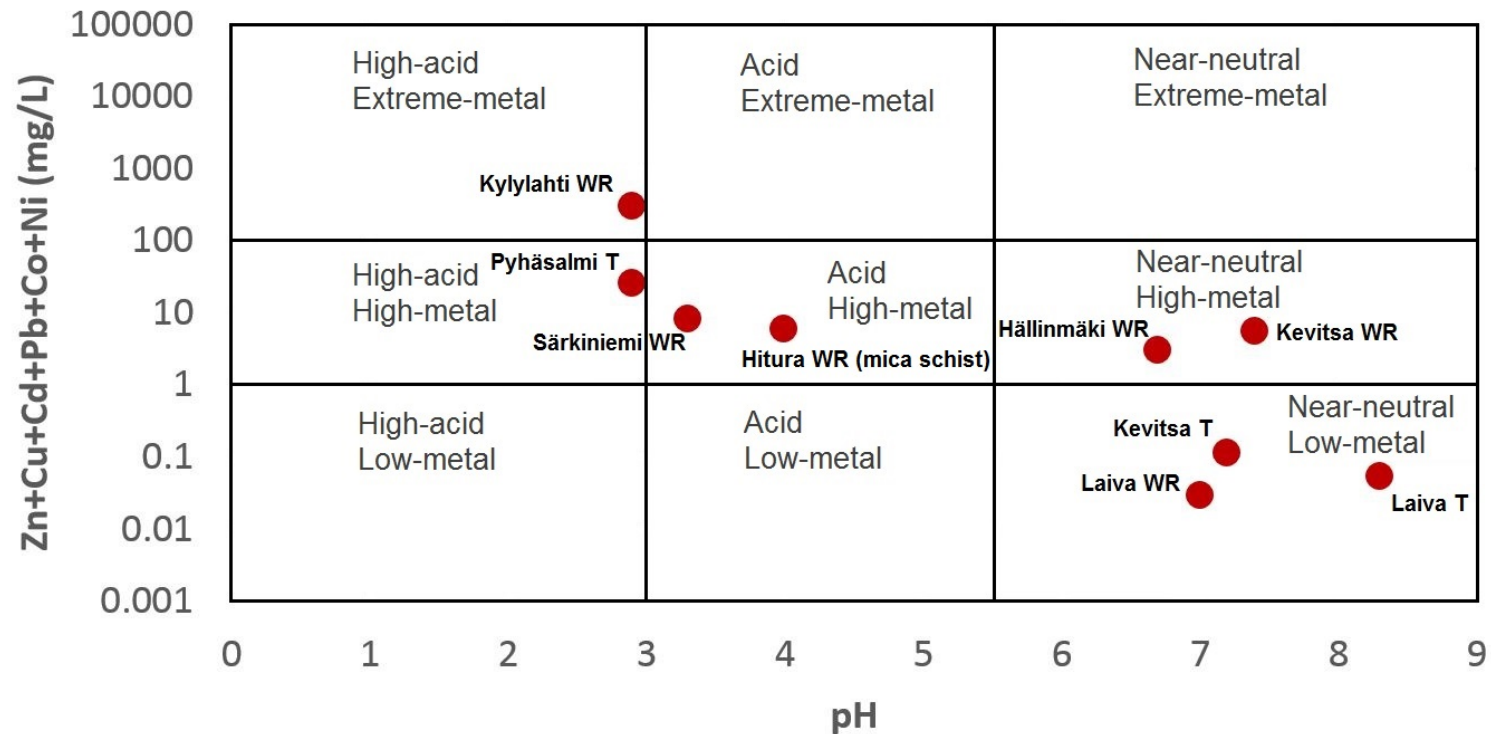
- Joitakin alueita tutkittiin tarkemmin, esim. Hitura, Särkiniemi



Tutkimusmenetelmät

- Geokemialliset laboratoriomenetelmät:
 - Haitta-aineet ja niiden liukoisuus: XRF, kuningasvesiuutto, NAG-testin liuos, H_2O_2 -amm.sitraattiuutto, sulfidiuutto (KClO_3 , 12 M HCl and 4 M HNO_3), amm.oksalaattiuutto, amm.asettaattiuutto, ravistelutesti (SFS-EN 12457-3), liuosten analyysi ICP-OES/MS
 - Hapontuoton arviointi: ABA (EN 15875), NAG-testi, hapontuoton laskeminen SEM-mineralogian perusteella
- Mineralogia FE-SEM-EDS
- Suotovesien analyysit
 - ICP-OES/MS, anionit IC-menetelmällä (ioni-kromatografisesti), kentällä pH ja EC (YSI), alkaliniteetti titraamalla

Kaivannaisjätteiden suotovedet



Tutkitut kaivannaisjätteet

Kohde	Päämineraalit, sulfidit ja karbonaatit	S (%)
Hitura kiillegneissi SK	Kvartsi, plagioklaasi, biotiitti, muskoviitti, magneettikiisu (2.5 %), rikkikiisu (0.2%), pentlandiitti (0.1%), kuparikiisu (0.1%)	1.4-5.3
Hitura serpentiniitti SK	Serpentiini, oliiviini, magneettikiisu (0.15%), pentlandiitti (0.05%), kuparikiisu (0.03%), kalsiitti (0.01%)	0.6
Hällinmäki SK	Plagioklaasi, augiitti, sarvivälke, biotiitti, kvartsi, kuparikiisu (0.2%), magneettikiisu (0.1%), rikkikiisu (0.01%), kalsiitti (0.1%)	0.3-0.5
Kevitsa SK	Diopsidi, tremoliitti, serpentiini, magneettikiisu (0.2%), pentlandiitti (0.05%), kuparikiisu (0.03%), kalsiitti (0.04%)	0.3
Kevitsa RHK	Diopsidi, tremoliitti, serpentiini, magneettikiisu (0.1%), kuparikiisu (0.1%), kalsiitti (0.6%), dolomiitti (0.1%)	0.3
Kylylahti SK	Plagioklaasi, kvartsi, biotiitti, flogobiitti, rikkikiisu (8.79%), magneettikiisu (0.61%), sinkkivälke (0.08%), pentlandiitti (0.05%), kalsiitti (1.89%), dolomiitti (0.02%)	10.1
Laiva SK	Plagioklaasi, kvartsi, k-maasälpä, biotiitti, aktinoliitti, sarvivälke, magneettikiisu (0.1%)	0.1
Laiva RHK	Plagioklaasi, kvartsi, k-maasälpä, biotiitti, aktinoliitti, sarvivälke, kuparikiisu (0.04%), rikkikiisu (0.03%), arseenikiisu (0.03%), kalsiitti (0.06%)	0.1
Pyhäsalmi RHK	Rikkikiisu (58.1%), magneettikiisu (2.5%), plagioklaasi, kvartsi, kalsiitti (0.8 %), dolomiitti (0.8%)	29.7-38.8
Särkiniemi SK	Biotiitti, plagioklaasi, kvartsi, sarvivälke, kloriitti, magneettikiisu (1.2%), rikkikiisu (0.4%), kuparikiisu (0.01%), pentlandiitti (0.01%), dolomiitti (0.03%)	1.7-1.9

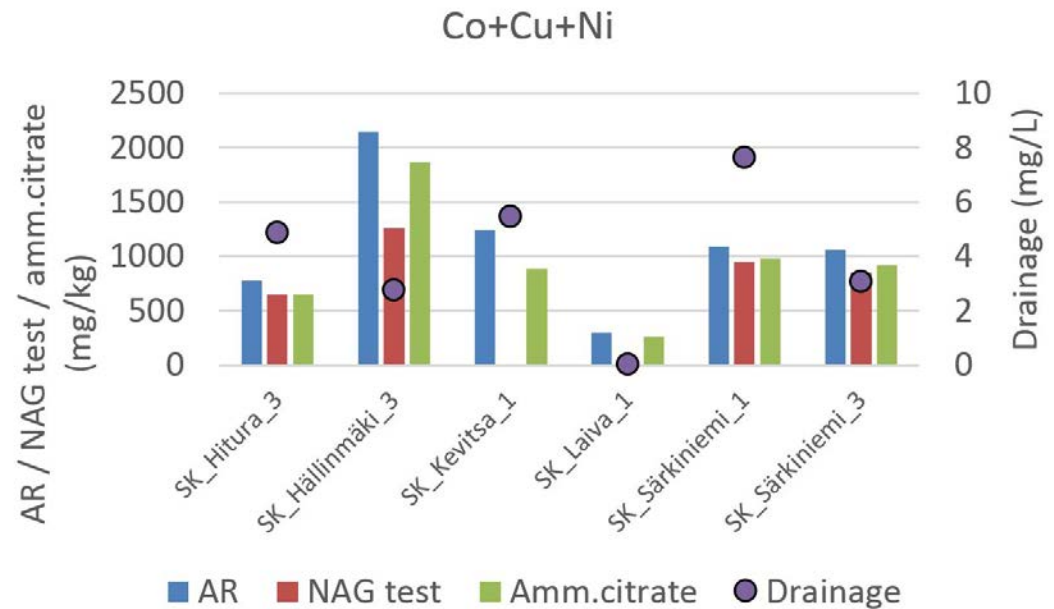
Kaivannaisjätteiden hyötykäyttöpotentiaali

Kohde	Hapontuottopotentiaali	Potentiaalisimmat haitta-aineet	Hyötökäyttömahdollisuuksista
Hitura kiillegneissi SK	Kyllä	Co, Cu, Ni, Zn	Huonot
Hitura serpentiniitti SK	Ei	Co, Cu, Ni	Mahdollisesti
Hällinmäki SK	Ei	Co, Ci, Ni	Mahdollisesti
Kevitsa SK	Ei	Co, Ni	Mahdollisesti
Kevitsa RHK	Ei	Ni	Mahdollisesti
Kylylahti SK	Kyllä	As, Co, Cu, Ni, Zn	Huonot
Laiva SK	Ei	As, Cu	Mahdollisesti
Laiva RHK	Ei	As	Huonot
Pyhäsalmi RHK	Kyllä	Co, Cu, Ni, Zn	Huonot
Särkiniemi SK	Kyllä	Co, Cu, Ni, Zn	Huonot

- Pääsääntöisesti soveltuvat heikosti yleiseen maarakentamiseen, joitakin voidaan käyttää vähemmän herkillä alueilla

Geokemialliset laboratoriotestit pitkäaikaiskäyttämisen arvioinnissa

- AR ja amm.sitraatti tulokset kuvastuu suhteellisen hyvin haitta-aineita jotka luultavasti tulevat olemaan koholla suotovedessä
- NAG testin liuoksen analyysi toimii myös hyvin, mutta vain jos liuoksen pH on matala (< 4)



Geokemialliset laboratoriotestit pitkäaikaiskäyttämisen arvioinnissa

- Kuningasvesiuuton ohella myös ns. “sulfidiuutto” (KClO_3 , 12 M HCl and 4 M HNO_3) on tarkoitettu sulfidispesifiseksi menetelmäksi
 - AR-tulokset yleensä hieman korkeammat, luultavasti koska AR liuottaa myös joitakin silikaatteja, SU ei ilmeisesti pysty täydellisesti esim. kuparikiisuun
- Ravistelutesti (SFS-EN 12457-3) toimii vesiliukoisten haitta-aineiden selvittämiseen, ei niinkään pitkäaikaiskäyttämisen arviointiin
 - Vesi liian heikko liuotin tuoreelle kiviainekselle
 - Toimii voimakkaasti hapettuneelle näyteainekselle



Hapontuottotestit pitkäaikaiskäyttämisen arvioinnissa

Sample	NPR	minNPR	NAGpH (pH)	Drainage (pH)
WR_Hitura_1	9.4	76.4	8.2	
WR_Hitura_2	0.02	0.2	2.8	7.0
WR_Hitura_3	0.1	0.5	2.6	4.0
WR_Hitura_4	0.1	0.8	2.7	
WR_Hällinmäki_1	0.5	14.5	3.9	
WR_Hällinmäki_2	2.6	33.6	5.4	
WR_Hällinmäki_3	0.8	12.0	4.1	6.7
WR_Kevitsa_1	6.0	133.3	9.1	7.4
T_Kevitsa_1	4.0	83.4	9.2	7.2
WR_Kylylahti	0.02		2.6	2.9
WR_Laiva_1	3.1	14.8	7.5	7.0
T_Laiva_1	5.5	8.3	7.5	8.3
T_Pyhäsalmi_1	0.1	0.04	2.1	2.9
T_Pyhäsalmi_2	0.01	0.01	1.9	2.9
WR_Särkiniemi_1	0.2	1.2	2.7	3.3
WR_Särkiniemi_2	0.3	1.1	2.9	
WR_Särkiniemi_3	0.4	1.3	2.9	3.6

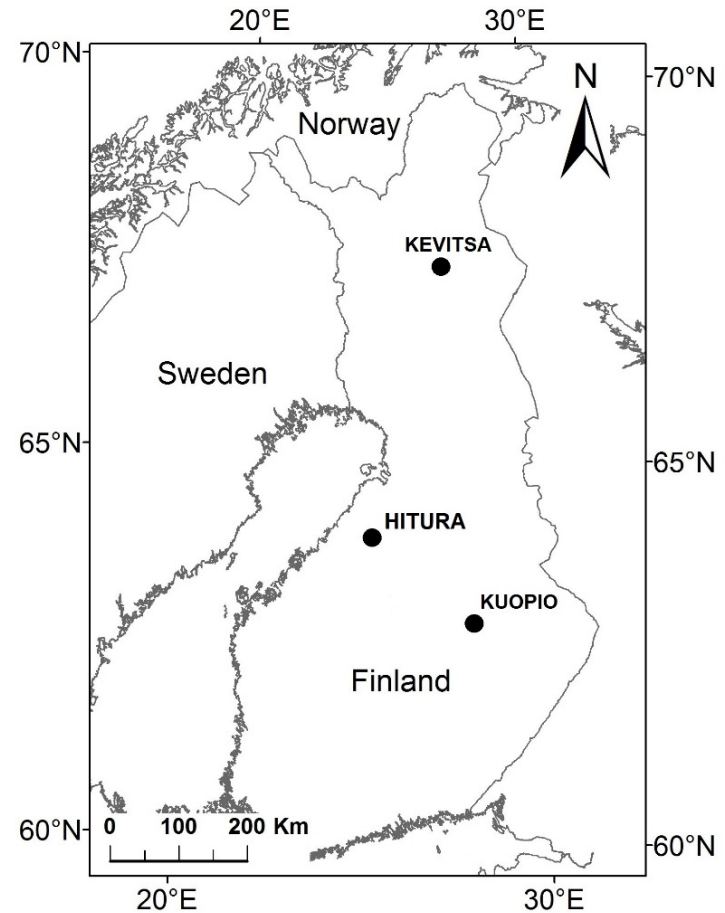
NPR = NP/AP

Hapontuottotestit pitkäaikaikäyttyymisen arvioinnissa

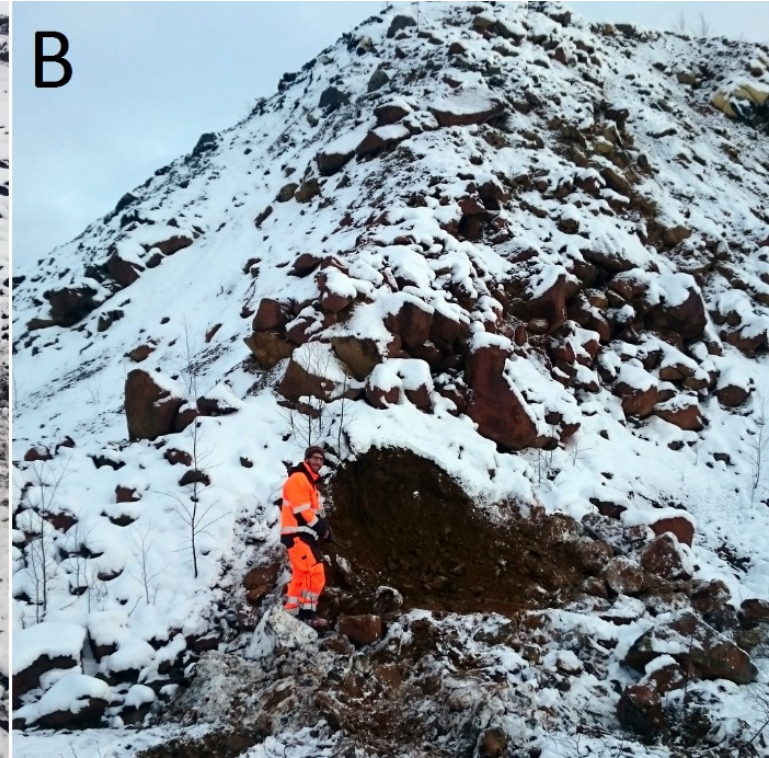
- Eri menetelmät antavat pääsääntöisesti samankaltaisia tuloksia verrattuna toisiinsa ja suotovesiin
- Yleensä ABA testin hapontuottopotentiaali (AP) oli korkeampi kuin mineralgian perusteella laskettu minAP
 - AP:ta määriteltäessä kaikki S oletetaan olevan rikkikiisua, mineralogian perusteella suurin osa sulfideista magneettikiisua, jonka hapettuminen tuottaa vähemmän happoa kuin rikkikiisun hapettuminen
- Mineralogian perusteella laskettu neutraloimispotentiaali minNP oli yleensä korkeampi kuin ABA-testin NP
 - Joitakin poikkeuksia, esim. ABA NP suuri jos näytteessä runsaasti oliviinia
- Suomessa kaivannaisjätteissä suhteellisen vähän karbonaatteja ja silikaatit tärkeämpi neutraloinnin kannalta
 - Biotiitti, sarvivälke, oliviini, diopsidi, augiitti, kloriitti, serpentiini
- Mineralogisen laskemisen etuina AP ja NP tuottavat mineraalit voidaan eritellä ja arvioida reaktionopeuksia
- Tarkemmin laskentametodista: <http://wiki.gtk.fi/web/mine-closure/wiki/-/wiki/Wiki/Mineralogical+calculation+of+AP+and+NP>

Lysimetritutkimukset

- Laboratoriotestien skaalaus kenttäolosuhteisiin voi olla haastavaa
- Pitkäkestoisilla lysimetrikokeilla pyritään simuloimaan kaivannaisjätteiden käyttäytymistä luonnollisissa olosuhteissa
- Kiviainesta Hiturasta (serpentiiniitti ja kiillegneissikasan aines) ja Kevitsasta (<0,3% rikkiä sisältävä sivukivi), asennuspaikkana Kuopio loppuvuosi 2015



Hituran kiviaines



Lysimetrien asennus

1. Hitura serpentiniitti
2. Hitura kiillegneissi + srp peitto
3. 3. Hitura kiillegneissi
4. Tyhjä / tausta
5. Kevitsa 2 cm lajittunut
6. Kevitsa 5 cm lajittelematon





Srj-peitto
kiillegneissin päälle

Programme for Sustainable Growth and Jobs

Leverage from
the EU
2014–2020



European Union
European Regional
Development Fund

Näytteenotto ja analyysit

- Kiviaineksen kokoomanäytteet, joista samat analyysit kuin aiemmin mainittu, lisäksi raekoko
- Lysimetrien läpi virtaava sadevesi kerättiin muovikanistereihin ja analysoitiin noin kerran kuukaudessa (15 kertaa välillä 16.11.2015 – 14.11.2017)
- Liuenneiden alkuaineiden analysointi ICP-OES/MS, anionit IC-menetelmällä, kentällä pH ja EC (YSI), sekä alkaliniteetti (titraus hapolla pH 4,5:een)



Kiviaines; haitta-aineet ja hapontuotto

	S (%)	Sb	As	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V
PIMA kynnysarvo		2	5	1	20	100	100	60	50	200	100
PIMA alempi ohjearvo		10	50	10	100	200	150	200	100	250	150
PIMA ylempi ohjearvo		50	100	20	250	300	200	750	150	400	250
SRP	0.14	<0.2	3.0	0.2	109	255	166	1.0	869	49	9.4
KG	2.28	0.3	23	0.3	90	257	777	16	2260	135	82
KE1	0.29	<0.2	0.7	0.1	69	476	375	1.7	791	16	36
KE2	0.21	<0.2	0.4	0.0	55	511	142	1.4	585	14	39

- Runsaasti Ni, Cu, Cr, Co
- KG happoa tuottavaa

Kiviaines; mineralogia

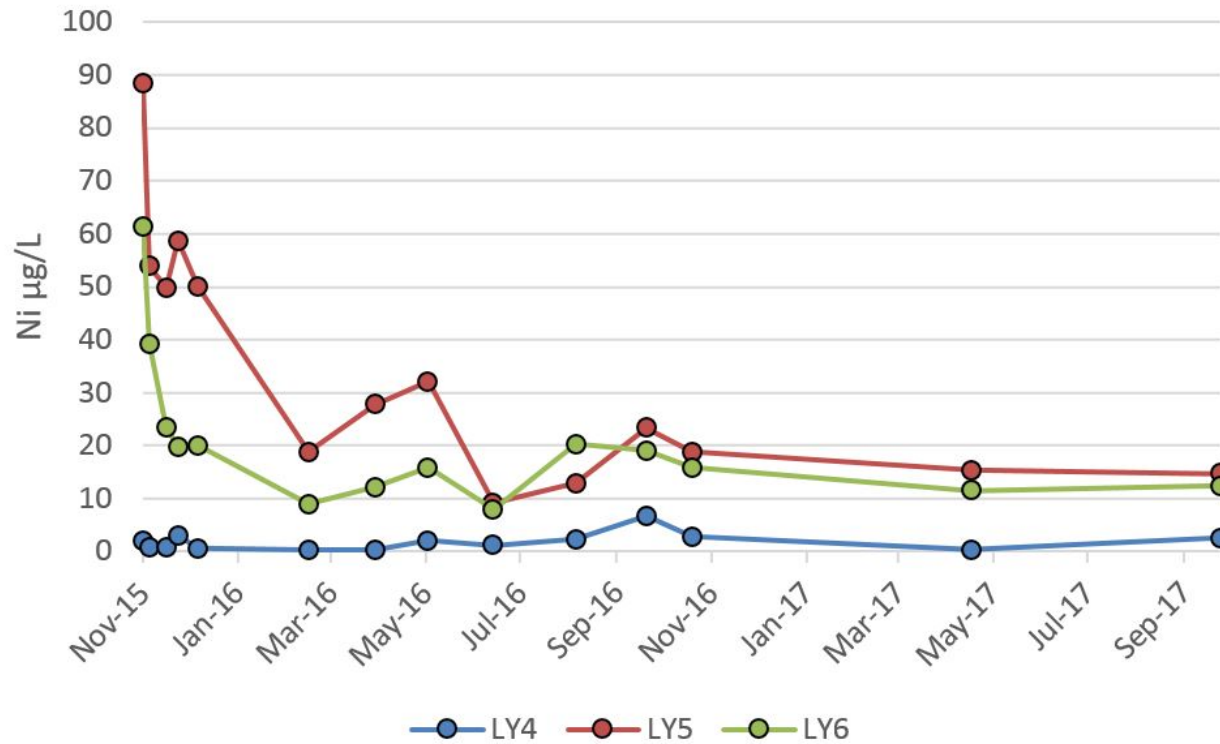
Mineraali	SRP	KG	KG (<1 mm)	KE1	KE2
Kvartsi		25.4	16.4		
Pyrokseeni				59.7	53.6
Biotiitti		12.8	17.5		
Plagioklaasi		22.6	12.2	1.9	1.4
Amfiboli				10.7	13.8
Oliviini/Serpentiini	74.6	3.3	7.5	13.3	15.5
K-maasälpä		2.1	3.7		
Talkki	13.1	2.3	1.9	1.2	1.8
Muskoviitti		5.1	4.5		
Kloriitti	2.0	4.8	11.1	1.7	2.3
Mg-cummingtoniitti		4.0	3.8		
Rautaoksidi (magnetiitti/hematiitti)	1.9		2.9		
Tremoliitti		1.1	2.7		
Mg-Antofylliitti	1.0		1.5		
Kalsiitti	0.94		0.06	0.23	0.30
Dolomiitti				1.01	0.18
Magnesiitti	0.25			0.05	0.03
Rikkikiisu		0.50	0.71	0.03	
Magneetikiisu	0.01	0.86	0.39	0.09	0.16
Pentlandiitti	0.01	0.10	0.20	0.02	0.04
Kuparikiisu		0.10	0.11	0.01	0.01
Muut	0.8	6.7	5.7	2.2	3.5
Tunnistamaton	5.5	8.3	7.1	7.9	7.4
Yht.	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Programme for Sustainable Growth and Jobs

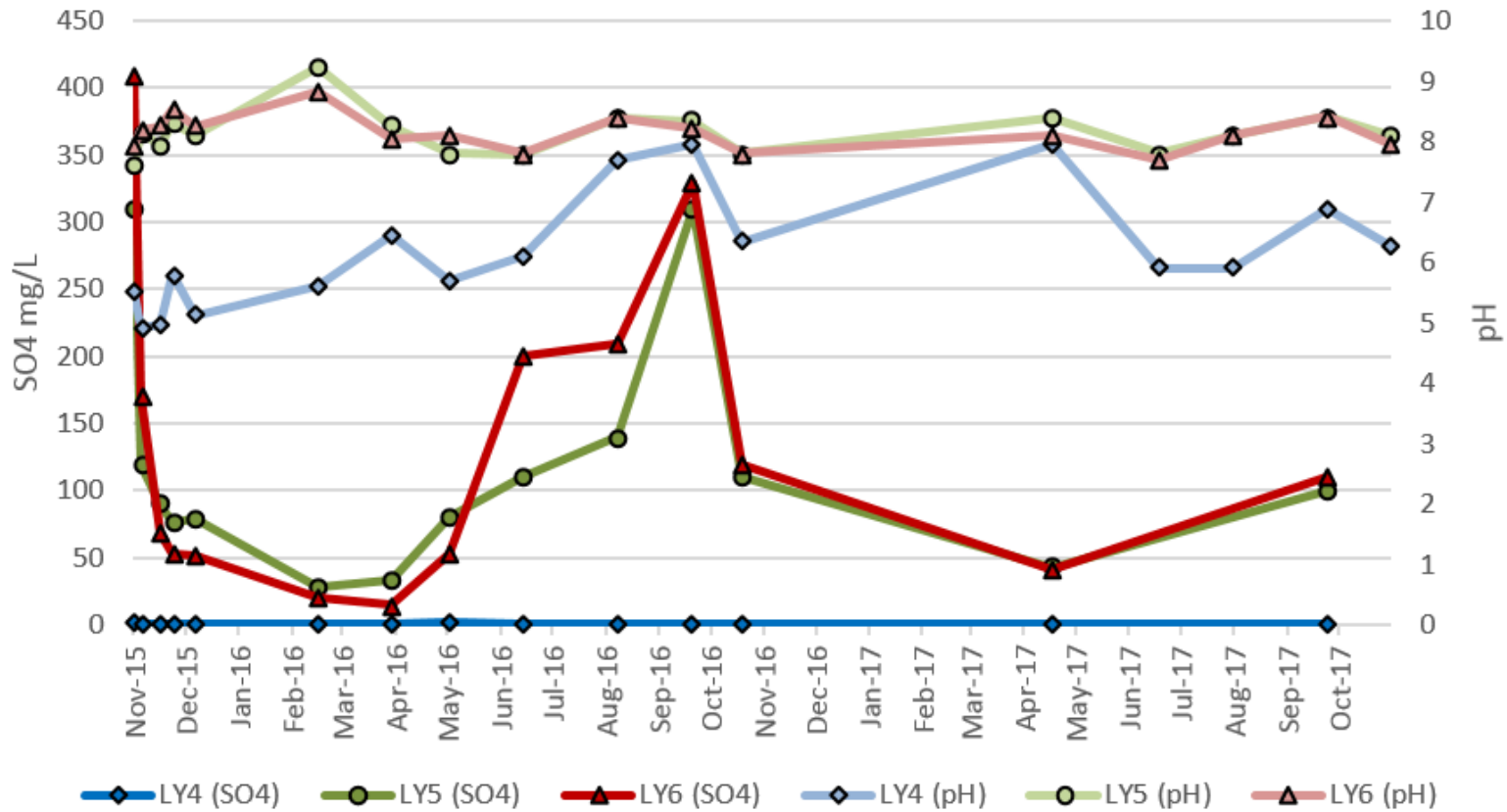
Leverage from
the EU
2014–2020



Lysimetrien suotovedet; Kevitsa / Ni



Lysimetrien suotovedet; Kevitsa / SO4 & pH



Programme for Sustainable Growth and Jobs

Leverage from
the EU
2014-2020

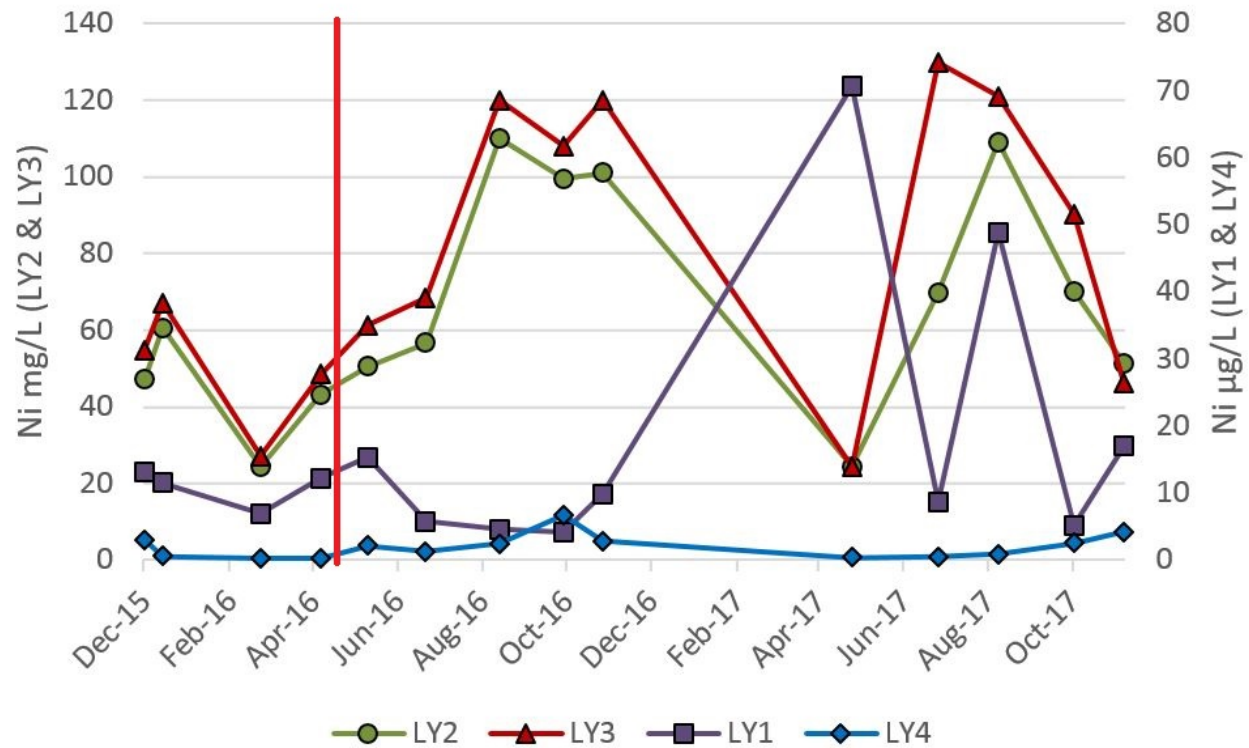


Kevitsan tulokset

			Co	Cr	Cu	Ni
LY4	Tausta	g	0.00006	0.00006	0.0077	0.00088
Sadevesi						
LY5	Kiviaineksessa	g	104	3855	555	1455
KE1 / 2 cm	Liuenut tot.	g	0.00031	0.00009	0.0046	0.0091
Lajittunut	Liuenut - tausta	g	0.00025	0.00003	<0	0.0082
	Liuenut	%	0.000002	0.0000008	<0	0.0006
LY6	Kiviaineksessa	g	64	3136	176	866
KE2 / 5 cm	Liuenut tot.	g	0.00058	0.00019	0.004	0.0084
Lajittelematon	Liuenut - tausta	g	0.00052	0.00013	<0	0.0075
	Liuenut	%	0.0008	0.000004	<0	0.0009

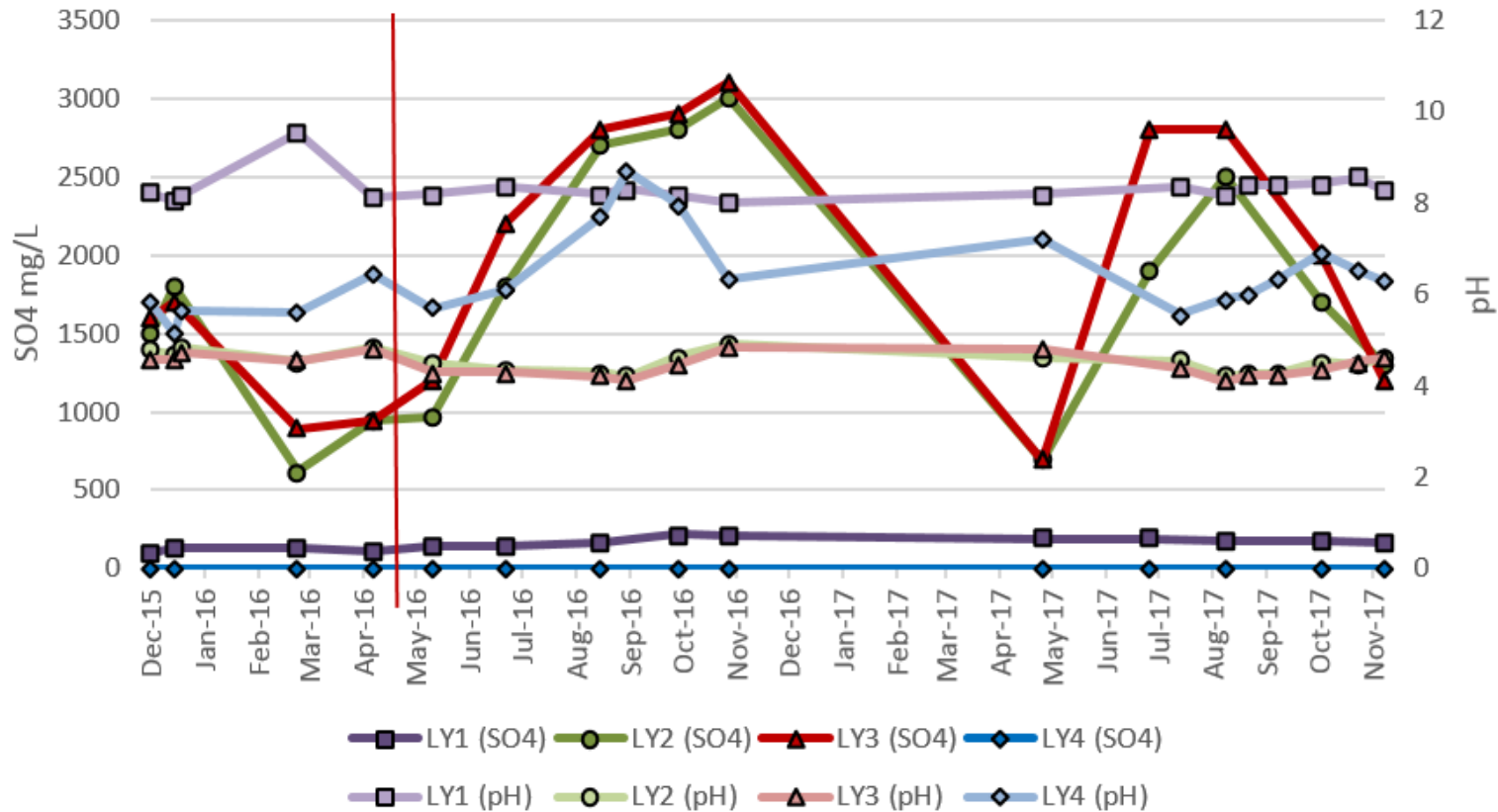
- Enemmän hienoaainesta sisältäneen lysimetrin haitta-aineista liukeni suurempi osuus
- Melko pieniä pitoisuuksia

Lysimetrien suotovedet; Hitura / Ni



Punainen viiva = SRP asennus LY2:n päälle

Lysimetrien suotovedet; Hitura / SO4 & pH



Hituran tulokset

- Kiillegneissiaineksessa haitta-aineet liukoisessa muodossa; hapan metallipitoinen suotovesi
- Serpentiinissä haitta-aineiden liukoisuus pientä, emäksinen suotovesi
- Serpentiiniittipeitolla ei havaittavaa vaikutusta suotoveden laatuun



Yhteenveto

- Tutkitut kaivannaisjätteet soveltuvat huonosti yleiseen maanrakennuskäyttöön, jotkin mahdollisesti käytettävissä vähemmän herkkillä alueilla
 - Hyötykäyttömahdollisuuksia parantaa isorakeisuus ja hienoaineksen määrän minimointi, sekä sulfidipitoisten lohcareiden poisto
- Geokemiallisilla laboratoriotesteillä voidaan arvioida tulevassa suotovedessä kohonneina pitoisuuksina esiintyvät haitta-aineet
 - AR, amm.sitr., NAG-testin liuos (jos pH <4)
- Hapontuottopotentiaalia voidaan arvioida myös mineralogian perusteella laskemalla
- Suomessa silikaateilla suuri rooli neutraloimispotentiaalin tuottamisessa



Yhteenveto

- Hituran kiillegneissi soveltuu huonosti maanrakennukseen; runsaasti liukoisia haitta-aineita (erityisesti Ni, Co, Cu) ja hapan suotovesi
- Serpentiiniitti voisi sopia paremmin, mutta geotekniset ominaisuudet huonot. Haitta-aineet saattavat lähteä liikkeelle, jos ainesta sijoitetaan esimerkiksi happaman KG suotoveden vaikutusalueelle
- Serpentiiniitillä voisi esimerkiksi muotoilla KG kasaa
- Kevitsan kiviaineksessa haitta-aineet sitoutuneina sulfideihin, joten mobilisoituminen liittyy sulfidien hapettumiseen. Tarkkailujakson aikana haitta-aineiden liukeneminen oli vähäistä
- Raekoolla on vaikutus haitta-aineiden liukenemiseen; hyötykäytettäessä sivukiven tulisi olla mahdollisimman vähän hienoainesta sisältävää



Kiitos!

teemu.karlsson@gtk.fi

<http://projects.gtk.fi/KaiHaMe>



Lisätietoja kaivannaisjätteen karakterisoinnista GTK:n wikisivustolla:
mineclosure.gtk.fi