

JÄMÄ-hanke loppuseminaari
Kipsi- ja eristevillajätteen hyödynnettävyys

Sari Tuomikoski

Research Unit of Sustainable Chemistry

University of Oulu - Finland

Euroopan unionin osarahoittama

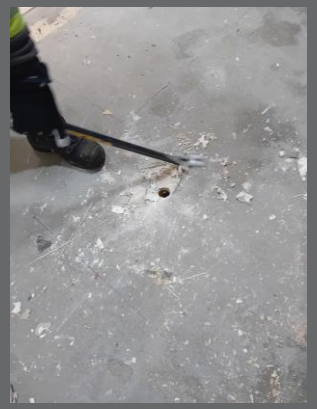
Oulun yliopiston osuun hankkeessa



- Oulun yliopiston tehtävänä oli raaka-aineiden (kipsi ja eristevilla) kemiallinen karakterisointi mm. haitta-ainepitoisuudet ja ravinnepitoisuudet
- Karakterisointien perusteella tehty selvitys raaka-aineiden hyödynnettävyydestä
- Hyödyntämisvaihtoehdot:
  - Eristevillan käyttö alkaliaktivoitujen materiaalien raaka-aineena ja käyttö vesien puhdistamiseen
  - Kipsin vaikutus fosforin liukoisuuteen pilot- ja ruutuviljelykokeissa

Kipsi- ja eristevillanäytteet

Mäntykoti, näytteet

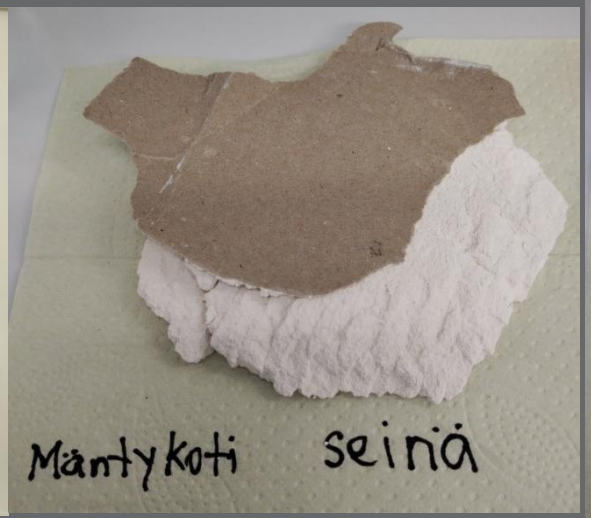




- Kerättiin Mäntykodin purkutyömaalta Oulusta kaksi kipsinäytettä ja kaksi villanäytettä
- Näytteet murskattiin/jauhettiin kevyesti
- Näytteille suoritettiin liukoisuustestit ja pääkomponentit tutkittiin XRF-analyysillä
- Vertailukohtana on rakennusteollisuudesta saadut (puhtaat) ylijäämäkappaleet









Analyysituloksia

- Kipsilevyjen pääkomponentit odotetusti S ja Ca
- Kipsien koostumukset eivät juuri eroa toisistaan → ei merkitystä hyödynnettävyyteen
- Villanäytteissä isoja eroja näytteiden välillä (lasivilla/kivivilla)
- Isover lasivilla pääkomponentit Si ja Na
- Mäntykodin villoissa pääkomponentit Si, Mg, Al, Ca
  - Mäntykodin villat oletettavasti kivivillaa

XRF-analyysin tulokset

Sample	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	Cl	K2O	CaO	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	Fe2O3	Co3O4	NiO	CuO	ZnO	SrO	ZrO2
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Lapelland Isover lasivilla	30.79	4.29	1.68	55.69	0.13	0.53	0.04	0.42	5.92	0.03		0.02	0.22	0.24		0.01		0.00		
Mäntykoti, seinävilla	3.70	20.75	18.29	42.90	0.06	0.08	0.03	0.27	11.09	0.12	0.01	0.08	0.06	2.52		0.02			0.01	
Mäntykoti, puhallusvilla	4.29	15.07	15.79	45.17	0.13	0.67	0.06	0.40	12.20	0.59		0.03	0.12	5.43	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Gyproc GTS 9		0.13	0.55	2.50	0.05	55.52	0.05	0.06	40.82	0.03			0.01	0.20					0.09	
Mäntykoti, seinä		0.14	0.64	2.25	0.04	55.84	0.05	0.08	40.63				0.01	0.21					0.10	
Mäntykoti, lattia		0.16	0.66	2.23	0.05	55.55	0.05	0.07	40.92	0.02				0.21					0.09	

Haitta-aineiden liukoisuustestien tulokset

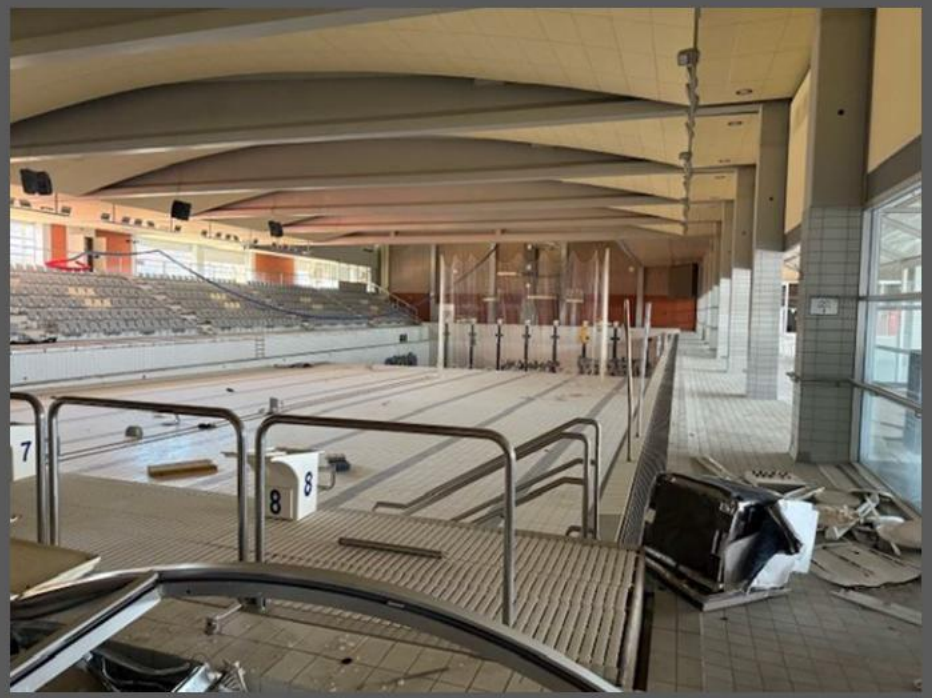
- Liukoisuudet pääasiassa määritysrajojen alapuolella
- Testit jouduttiin tekemään standardia soveltaen, pienillä massoilla, jolloin määritysraja nousee
- Arseenin, elohopean ja seleenin osalta määritysraja on korkeampi kuin pysyvän jätteen kaatopaikan raja-arvo
  - Ei voida varmuudella sanoa alittavatko pitoisuudet asetuksen raja-arvot

Liukoisuustestien tulokset

Sample	As (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Se (mg/kg)	Sb (mg/kg)	V (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Lapelland Isover lasivilla	<1.2	0.015	<0.03	0.050	<0.08	<0.24	<0.11	<0.2	<0.5	<1.0	<0.4	<0.5	0.090
Mäntykoti, seinävilla	<1.2	0.026	<0.03	<0.03	<0.08	<0.24	<0.11	<0.2	<0.5	<1.0	<0.4	0.61	0.138
Mäntykoti, puhallusvilla	<1.2	0.048	<0.03	<0.03	<0.08	<0.24	<0.11	<0.2	<0.5	<1.3	<0.4	<0.5	0.190
Gyproc GTS 9	<1.2	0.286	<0.03	<0.03	<0.08	<0.24	0.018	<0.2	<0.5	<1.0	<0.4	<0.5	0.0596
Mäntykoti, seinä	<1.2	0.317	<0.03	<0.03	<0.08	<0.24	0.012	<0.2	<0.5	<1.0	<0.4	<0.5	0.108
Mäntykoti, lattia	<1.2	0.32	<0.03	<0.03	<0.08	<0.24	0.01	<0.2	<0.5	<1.0	<0.4	<0.5	0.084

Pohto ja Raksilan uimahalli, näytteet

- Kerättiin Pohton purkutyömaalta ja Raksilan uimahallin purkutyömaalta Oulusta kipsi- ja villanäyttteitä
- Näytteet murskattiin/jauhettiin kevyesti
- Näytteille suoritettiin liukoisuustestit





Analyysituloksia

- Liukoisuudet pääasiassa pieniä ja alittavat kirkkaasti vaarattoman jätteen raja-arvot
- Kipsin osalta ainoastaan seleeni saattaa ylittää pysyvän jätteen raja-arvon (0.1 mg/kg)
- Eri villojen välillä isompia eroja







Liukoisuustestien tulokset, Raksila

	V	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Cd	Sb	Ba	Pb
Aula, seinäkipsi (maasta)	0.023	<0.02	0.059	0.040	<0.100	<0.025	<0.100	0.058	<0.005	<0.005	0.161	<0.002
Valvomo, kattokipsi	0.007	<0.023	<0.023	0.026	<0.113	<0.028	<0.113	0.055	<0.006	<0.006	0.423	<0.008
Kahvio, seinäkipsi	0.010	<0.023	<0.023	0.015	<0.113	<0.028	<0.113	0.052	<0.006	<0.006	0.265	<0.002
Aula, seinävilla	0.465	0.669	0.508	0.912	2.097	0.282	<0.100	0.178	<0.005	0.155	0.832	0.136
Ilmastointiputki, villa	0.029	0.031	0.470	0.102	8.920	<0.025	<0.100	<0.020	<0.005	0.010	0.033	<0.002
Kahvio, seinävilla	0.062	0.246	0.029	0.051	<0.100	<0.025	<0.100	<0.020	<0.005	0.097	0.703	<0.002
Pysyvä jäte, raja-arvo	-	0.5	0.4	2	4	0.5	0.1	0.5	0.04	0.06	20	0.5

Pysyvän jätteen ylittävät raja-arvot keltaisella

Tiivistelmä



Esimerkkinäytteet kivivillasta (vasen) ja lasivillasta (oikea)

- Yleisesti lasivillat sisältävät selvästi enemmän natriumia ja piitä kuin kivivillat ja kivivilloissa on puolestaan enemmän alumiinia ja magnesiumia kuin lasivilloissa
- Villanäytteiden koostumuseroilla voi olla merkittäviä vaikutuksia villan hyödynnettävyyden suhteen erityisesti rakennusmateriaalina (betoni, geopolymeerit), sillä eri alkuaineiden (erityisesti Ca, Si, Al, Na ja Mg) pitoisuudet ja suhteet vaikuttavat materiaalin lujittumisominaisuuksiin.
- Tämän vuoksi eri villalaadut tulisi erotella toisistaan mahdollisimman tarkkaan jo keräysvaiheessa.
- Lasivillan erottaa kivivillasta tyypillisesti suoraan värin perusteella (kuva). Lasivillat ovat väritykseltään yleensä kellertäviä ja kivivillat tummempia, hieman vihertäviä

Alkaliaktivoitujen materiaalien valmistus ja hyödyntäminen

Alkaliaktivoidut materiaalit (AAM)



- **Lähtöaineena käytetään alumiinia ja piitä sisältäviä aineita**
  - Esim. masuunikuona, lentotuhka
- **Aktivointi tehdään emäksellä (NaOH, KOH), joka liuottaa alumiinisilikaatteja, jotka edelleen reagoivat ja muodostavat betonimaisen materiaalin**
- **Mineraalivillasta on aiemmin valmistettu alkaliaktivoituja materiaaleja rakennusmateriaaleiksi Oulun yliopiston Kuitu- ja partikkelitekniikalla**
- **Toinen käyttösovellus on veden puhdistus, jota tässä hankkeessa selvitettiin**

Vestia – AAM materiaalien valmistaminen



Likaisesta villasta valmistettu materiaali

- **Vestia toimitti Ylivieskan jätekeskuksesta villanäytteitä 4 kpl , joista valmistettiin alkali-aktivoituja materiaaleja: lasivilla, kivivilla**
- **Kivivilla on koostumukseltaan lasivillaa parempi AAM-lähteeksi**
  - Kivivilla likainen
  - Kivivilla puhdas
- **Resepti Yliniemi et al. (2021) julkaisusta**
  - Näytteet jauhettiin kiekkojauhimella
  - AAM valmistettiin sekoittamalla 6.25 M NaOH-liuoksen joukkoon pienissä erissä jauhettua villaa (massasuhteet 67.4 % villaa, 32.6 % NaOH) lapasekoittajalla (1200 rpm, 7 min.)
  - Näytteet saivat kuivua 12 päivää ennen murskausta
  - Murskatut näytteet pestiin 0.1 M etikkahapolla

Yliniemi J, Walkley B, Provis JL, Kinnunen P, Illikainen M. Influence of activator type on reaction kinetics, setting time, and compressive strength of alkali-activated mineral wools. J Therm Anal Calorim. 2021 May 1;144(4):1129–38.

Korhonen M, Dahl P, Runtti H, Kangas T, Heponiemi A, Hu T, Lassi U, Tuomikoski S. Alkali-Activated Material from Steel Industry Slags: Optimization of Prewashing and its Effect on Zinc Adsorption and Regeneration, Journal of Materials Chemistry A. 2025,13

Vestia – suotoveden adsorptiokokeet Vesinäyte 1

- Valmistetuilla materiaaleilla suoritettiin vedenpuhdistuskoe Vestian toimittamalle suotovesinäytteelle (kaivo 3)
- Vesi oli sameaa ja pahanhajuista
- pH 7, metallipitoisuudet pieniä
- Kobolttia poistui
- Negatiivinen poistoprosentti tarkoittaa, että pitoisuus lisääntyi kokeen aikana

	Al (mg/l)	Cd (mg/l)	Co (mg/l)	Co poisto-%	Ni (mg/l)	Ni poisto-%	Zn (mg/l)	Zn poisto-%
0-koe	<0.1	<0.003	0.012	4.2	0.043	-1.2	0.005	-25.0
Likainen kivivilla AAM	<0.1	<0.003	0.006	50.0	0.06	-42.9	0.002	50.0
Puhdas kivivilla AAM	<0.1	<0.003	0.007	45.8	0.031	27.4	0.011	-175.0
Likainen kivivilla (jauhettu)	<0.1	<0.003	0.01	16.7	0.061	-45.2	0.007	-75.0
Puhdas kivivilla (jauhettu)	<0.1	<0.003	0.008	33.3	0.034	20.2	0.006	-50.0

Vestia – suotoveden adsorptiokokeet Vesinäyte 2

- Vesi oli hapanta (pH 3,29) ja metallipitoisuudet isoja
- Alumiinia poistui merkittävästi (pH:n vaikutus)
- Muiden metallien poistot alhaisia
- Kokeissa ei ollut pH-säätöä

	pH	Al		Cd		Co		Ni		Zn	
		mg/l	poisto-%	mg/l	poisto-%	mg/l	poisto-%	mg/l	poisto-%	mg/l	poisto-%
0-koe	3.41	56.6	-1.25	0.63	-0.10	52.4	5.41	9.265	1.23	68.7	-0.88
Likainen kivivilla AAM	4.99	2.9	94.87	0.59	6.02	49.2	10.96	8.995	4.10	56	17.77
Puhdas kivivilla AAM	4.06	43.5	22.18	0.65	0.57	52.0	1.73	9.295	0.91	69.05	-1.40
Likainen kivivilla (jauhettu)	4.28	44.4	20.57	0.65	0.57	52.0	1.80	9.35	0.32	68.6	-0.73
Puhdas kivivilla (jauhettu)	4.44	31.4	43.92	0.70	-2.87	53.8	-4.35	9.75	-3.94	70.75	-3.89

Kipsin vaikutus fosforin liukoisuuteen pilot/ruutuviljelykokeissa

Fosforin liukoisuudet kipsipilottikokeessa

Liukoisuustestien tulokset

Näyte	P-liukoisuus mg/kg	Liukoisuuden vähenemä (%)
Ei kipsiä (A1)	6.849	
Yara (A2)	4.848	29.2
Leikkuuhukkakipsi (A3)	2.538	63.0
Purkukipsi (A4)	1.868	72.7
Ei kipsiä (B1)	8.057	
Yara (B2)	5.911	26.6
Leikkuuhukkakipsi (B3)	2.766	65.7
Purkukipsi (B4)	2.598	67.8

- Liukoisuudet tehtiin soveltaen Hartikainen (1982) artikkelia
- L/S-suhde 1g/60 ml, 24 h ravisteluaika

- Testin perusteella kipsikäsittely vähensi fosforin liukoisuutta selvästi
- Purku- ja leikkuuhukkakipseillä saatiin n. 50 % pienempiä liukoisuuksia verrattuna Yaran kipsiin
- Todennäinen syy on Yaran kipsin sisältämä fosfori

Hartikainen, H., Water soluble phosphorus in Finnish mineral soils and its dependence on soil properties, Maataloustieteellinen Aikakausikirja, 54, 1982, 89-98.

Fosforin liukoisuudet ruutuviljelykokeessa

Liukoisuustestien tulokset

Näyte	P-liukoisuus mg/kg	Liukoisuuden vähenemä (%)
Vernentienvarsi kipsi (1A)	4,89	41,3
Vernentienvarsi 0-ruutu (1B)	8,34	
Mökintienvarsi kipsi (2A)	3,93	15,1
Mökintienvarsi 0-ruutu (2B)	4,63	
Vernentienvarsi kipsi (1AR)	4,89	37,1
Vernentienvarsi 0-ruutu (1BR)	7,78	
Mökintienvarsi kipsi (2AR)	3,52	19,6
Mökintienvarsi 0-ruutu (2BR)	4,38	

- Liukoisuudet tehtiin soveltaen Hartikainen (1982) artikkelia
- L/S-suhde 1g/60 ml, 24 h ravisteluaika

- Testin perusteella kipsikäsittely vähensi fosforin liukoisuutta selvästi
- Vernentienvarren näytteillä liukoisuus väheni n. 39 % ja Mökintienvarren näytteellä n. 17,4 %
- Rinnakkaisissa näytteissä ruutujen välillä hieman eroa

Hartikainen, H., Water soluble phosphorus in Finnish mineral soils and its dependence on soil properties, Maataloustieteellinen Aikakausikirja, 54, 1982, 89-98.

Yhteenveto



- Kipsilevyjen koostumukset eivät juuri eroa toisistaan ja ei vaikutusta hyödynnettävyyteen
- Villanäytteiden koostumukset eroavat ja näillä voi olla merkittäviä vaikutuksia villan hyödynnettävyyteen erityisesti rakennusmateriaalina (lujittumisominaisuudet)
- Eri villalaadut tulisi erotella toisistaan mahdollisimman tarkkaan jo keräysvaiheessa
- Kivivillasta voidaan valmistaa alkaliaktivoituja materiaaleja, joita voidaan käyttää vesien käsittelyyn
- Puhdistettavasta vedestä riippuen saadaan poistettua ainakin kobolttia ja alumiinia
- Alkaliaktivointi nostaa metallien poistoprosentteja verrattuna alkaliaktivoimattomiin näytteisiin
- Fosforin liukoisuus vähenee kipsikäsittelyllä → maaperällä ja kipsin laadulla vaikutusta



Kiitos mielenkiinnostanne!

Sari Tuomikoski
Oulun yliopisto
Kestävän kemian tutkimusyksikkö
sari.tuomikoski@oulu.fi