



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

Pro gradu –tutkielma: 3D-metallisiepparit ympäristöä kuormittavien metallien talteenotossa

Jyväskylän yliopiston kemian laitos 2020
Jutta Koskinen



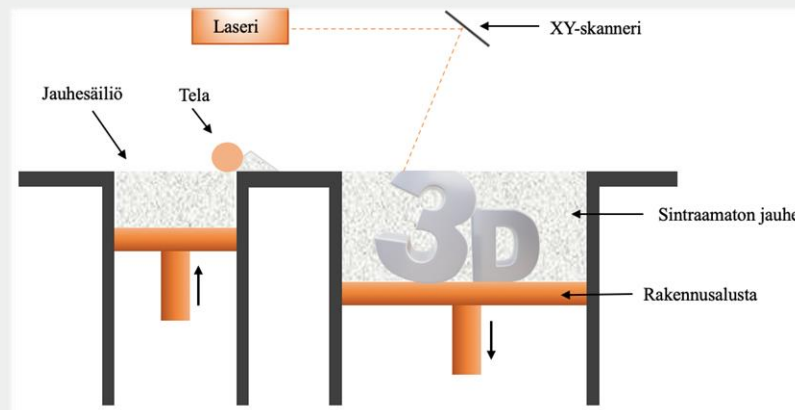
Pro gradu –tutkielman lähtökohtana ympäristönsuojelu

- Yhteistyöprojekti
 - Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen esikunta ja Puolustuskiinteistöt
- Tutkimusongelma
 - Metallipitoiset ampumaratojen hulevedet sekä raskaiden raketinheittimien pesuvedet
- Ongelmanratkaisu
 - Innovatiivinen teknologia, kustomoidut 3D-tulostetut metallisieparit



Ongelmanratkaisuna 3D-metallisiepparit

- Ongelma: Haitallisissa määrin ilmenevät metallit
 - Hulevesi (lyijy)
 - Raskaiden raketinheittimien pesuvesi (kadmium)
- Innovatiivinen 3D-tulostusteknologia SLS, selektiivinen lasersintraus
 - Kemiallisen funktionaalisuuden sisällyttäminen kiinteään (huokoiseen) suodattimeen
 - Helppokäyttöinen 3D-metallisieppari jätevesien metallien talteenottoon





3D-metalliseipparien kehittäminen

Vaihe 1: Materiaalien kartoitus

Ampumaratojen hulevesinäyte

	Al	Fe	Pb	Ti	Sr	Cu	Zn	Mn	Zr	Ni	Ba	V	Cr	Co
Amberlite TP207	Yellow	Green	Green	Green	Green			Green					Green	
Dowex 50WX8 H ⁺	Yellow	Green	Green	Green	Green		Green	Green			Green	Green		
Lewatit TP207	Yellow		Green	Green	Green			Green			Yellow			
Lewatit TP60	Yellow		Green	Green	Green			Yellow			Yellow			
SiliaMets Imidazole	Green	Green	Green	Yellow			Yellow	Green						
SiliaMets Diamine	Green	Green	Green	Green			Green	Green				Green		
Polypyrrole				Green										

Raskaiden raketinheittimien pesuvesinäyte

	Al	Fe	Cd	Zn	Sr	Ba	Ni	Cr	Mn	Cu	Co	Ti	W	Pb	Zr	V
Amberlite TP207	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Dowex 50WX8 H ⁺	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Lewatit TP207	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow
Lewatit TP60	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Green	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Green	
SiliaMets Imidazole	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Green
SiliaMets Diamine	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Polypyrrole												Green				

■ Materiaalin valinta

- Talteenottotulokset ja hinta-laatusuhde

→ Dowex 50WX8 H⁺

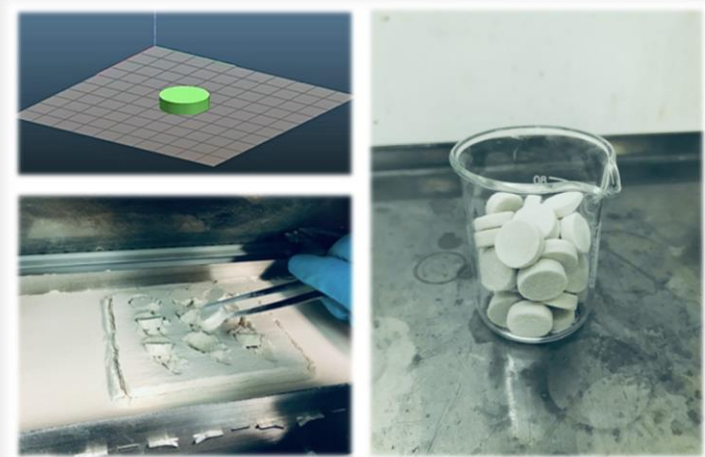
Talteenottotulokset

- 100-90 % (tum. vihreä)
- 89,9-70,0 % (vaal. vihreä)
- 69,9-50 % (keltainen)

3D-metallisepparien kehittäminen

Vaihe 2: Valmistus

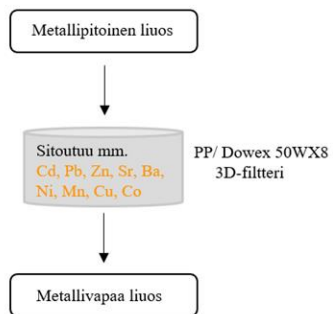
- Tietokoneavusteinen suunnittelu
 - 3D-kappaleen mallinnus (FreeCAD 0.16 piirto-ohjelma)
 - 3D-kappaleen viipalointi (Slic3r versio 1.2.9)
- 3D-tulostus
 - Kantopolymeeri polypropeeni (PP) + Dowex 50WX8 H⁺
 - Tulostusparametrien optimointi
 - Mm. laserin teho, nopeus ja lämpötila





3D-metallisiepparien kehittäminen

Vaihe 3: Talteenottokokeet

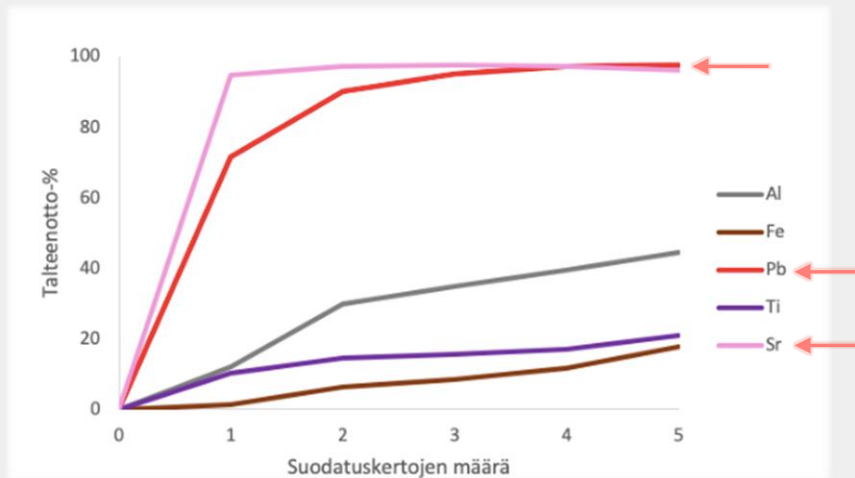




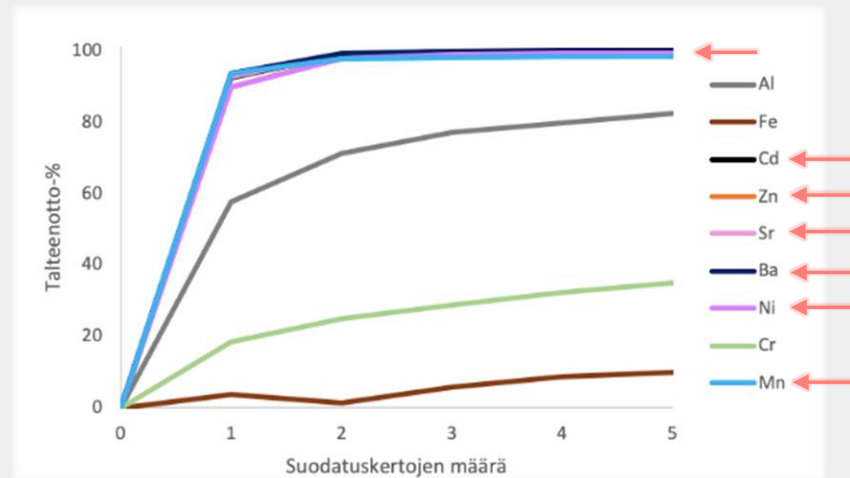
3D-metalliseppärien kehittäminen

Vaihe 3: Talteenottokokeet

Ampumaradan hulevesinäyte



Raskaiden raketinheittimien pesuvesinäyte





3D-metallisiepparien kehittäminen

Vaihe 4: Adsorptiokapasiteetti

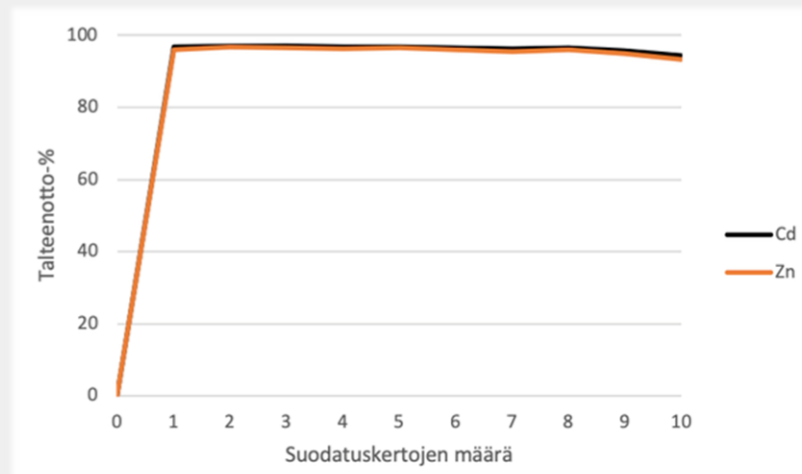
- Vaikuttaako materiaalin 3D-tulostaminen kapasiteettiin?
 - 158,72 mg g⁻¹
- Valmistajan ilmoittama arvo
 - 176,12 mg g⁻¹
 - 3D-tulostus ei merkittävästi vähennä materiaalin kapasiteettia
- Koeasetelma
 - 3D-metallisiepparin lataus eripitoisilla metalliliuoksilla (lyijy)
 - Liuospitoisuuksien kasvattaminen
 - Havaitaan kohta, jossa 3D-metallisieppari täyttyy





3D-metallisiepparien kehittäminen Vaihe 5: Uudelleenkäytettävyys

- Vesinäytteen modifiointi: lisättiin 100 mg L^{-1} kadmiumia ja sinkkiä
 - Lisäkuormitus
 - Suorituskyvyn heikkeneminen helpommin esille
- 3D-metallisiepparien 10-kertainen lataus ja regenerointisykli
 - Ei havaita merkittävää toiminnallisuuden heikkenemistä





3D-metallisiepparien kehittäminen

Yhteenveto

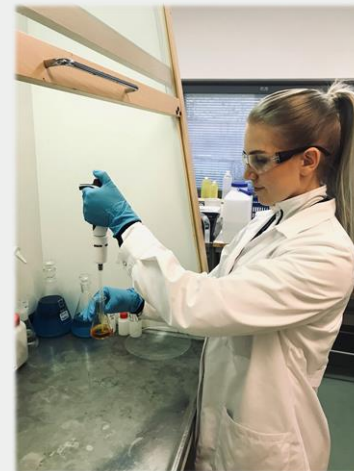
- 3D-metallisieppareista toimiva ratkaisu vesien puhdistukseen
 - Pb ja Cd talteenotto 100 %
- 3D-tulostuksella ei merkittävää vaikutusta ioninvaihtokapasiteettiin
 - Ioninvaihtomateriaalit helppokäyttöiseen muotoon
- 3D-metallisieppareiden uudelleenkäytettävyys
 - 10-kertainen lataus ja regenerointisykli
 - Ei merkittävää toiminnallisuuden heikkenemistä
- Tutkimukselle lisäarvoa
 - Selektiivinen eluointi
 - Metallien uusiokäyttö



3D-metallisiepparien kehittäminen

Tilannekatsaus

- Tutkimusta/kehitystä on jatkettu täysimittaisilla kenttäkokeilla
 - Puolustushallinnon ympäristöraportti 2019-2020
 - ”Suodattimien testausta ja kehitystyötä jatketaan kohti täysimittaisia kenttäkokeita 2021-2024.”
- Teknologian kaupallistaminen 
 - WeeeFINer, Startup-yritys Keski-Suomesta
- Väitöskirjatutkija 2020 →
 - Metallien talteenottomenetelmien kehitys jatkuu





Haluan osoittaa vilpittömät kiitokseni:

- Puolustusvoimien logistiikkalaitoksen esikunnalle ja Puolustuskiinteistöille lopputyöni mahdollistamisesta
- Vastuu ohjaajalleni Analyttisen kemian ja kiertotalouden Professorille Ari Väisäselle
- Vahvasti ohjauksessa mukana olleelle Tutkijatohtori Elmeri Lahtiselle
- Finntesting-yhdistykselle, kunniasta vastaanottaa vuoden 2020 opinnäytetyöpalkinto



Jyväskylän yliopisto