



Lietteen roolin vahvistaminen kiertotaloudessa

Innovatiivinen hyötykäyttö vedenkäsittelyssä, akkumateriaaleissa ja 3D-
tulostuksessa

YMPÄRISTÖTURVALLISUUTTA JA VESITEKNOLOGIAA EDISTÄMÄSSÄ

Tutkimuswebinaari 22.11.2023

Hankkeen esittely ja jätevesilietteen sisältämät aineet

Vuokko Malk, TKI-asiantuntija, Xamk



Mistä on kyse?

- Keskitetään jätevesilietteen mahdollisuuksiin kriittisten raaka-aineiden lähteenä
- Uusi lietteenkäsittelymenetelmä
 - Erotetaan ravinteet, epäorgaaniset komponentit ja orgaaninen jae
 - Jalostetaan hiili korkean asteen jalostustuotteiksi
 - Materiaaleja akkuihin, vedenkäsittelyyn ja 3D-tulostukseen
- Lappeenrannan-Lahden teknillisen yliopiston (LUT) ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) yhteishanke
- Yhteistyötä Blue Economy Mikkeli (BEM) –klusterin kanssa
- Hankkeen kesto 1.3.2022 – 31.12.2023
- Rahoittajana Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta

Jätevesiliete on raaka-aine

- Yhdyskuntajätevesiliete koostuu vedestä ja jätevedenkäsittelyssä syntyvästä kiintoaineesta
- Yleisesti käytetyissä vedenpuhdistusprosessissa fosfori saostetaan rauta- tai alumiinikemikaaleilla
- Jätevesiliete sisältää
 - Fosforia ja typpeä
 - Orgaanista ainesta
 - Metalleja, kuten rautaa ja alumiinia
 - Haitta-aineita
- Puhdistamolietettä käsitellään yleisesti mädättämällä (lähes 80 %*)
 - Saadaan biokaasua
 - Kaikesta käsitellystä lietteestä hyödynnetään nykyisin viherrakentamisessa 40-45 %* ja maataloudessa 47 %* mutta tämä ei ole optimaalisin ratkaisu: Ongelmana mm. haitta-aineet. Lisäksi ravinteet eivät välttämättä ole kasveille helposti hyödynnettävässä muodossa.
- Tarve kehittää lietteenkäsittelyn kiertotaloutta:
 - Ravinteiden talteenotto -> turvalliset tuotteet maatalouteen
 - Metallien talteenotto -> esim. kierrätys takaisin jätevedenkäsittelyprosessiin
 - Orgaanisen aineksen / hiilijakeen hyödyntäminen

*Lähde: Suomen Vesilaitosyhdistys 2021



Hankkeen tavoite ja toimenpiteet

- Hankkeen tavoitteena on kehittää uusi kokonaisvaltainen lietteenkäsittelymenetelmä ja tuotteistamiskonsepti, jossa lietteestä otetaan talteen ravinteet, metallit sekä hiili, josta jalostetaan korkealaatuisia hiilimateriaaleja akkuihin, vedenkäsittelyyn sekä 3D-tulostukseen.
- Toimenpiteisiin kuuluu tutkimus- ja selvitystyö, joka jakautuu lietteen esikäsittelyyn epäorgaanisen ja orgaanisen jakeen erottamiseksi, ravinteiden ja metallisuolojen talteenottoon sekä hiilen jatkojalostamiseen.
- Xamkin osiossa lietenäytteiden analysointi, ravinteiden ja metallien kemiallisten talteenottomenetelmien tutkiminen sekä hiilimateriaalien 3D-tulostuksen ja adsorptio-ominaisuuksien testaaminen.



Näytteenotto ja analysointi

- Lietenäytteistä analysoitiin fysikaaliset parametrit, ravinteet ja metallit ulkopuolisessa laboratoriossa (ALS Finland Oy)
- Analyysitulosten mukaan jätevesilietteen mädäte sisältää runsaasti
 - Fosforia: kok.P 34100 mg/kg k.a.
 - Rautaa: Fe 58600 mg/kg k.a.
 - Alumiinia: Al 120 mg/l (liukoinen pitoisuus)
- Metallit ja ravinteet ovat suurelta osin sitoutuneena kiintoainekseen.
- Sekä ravinteiden että metallien pitoisuudet kasvoivat jätevesilietteen mädätyksen aikana.

Arvoaineiden talteenotto lietteen nestejakeesta ja hiilijakeen hyötykäyttö vedenkäsittelyssä

Janne Junninen, tutkimusapulainen, Xamk

Fosforin ja metallien talteenotto

- Xamkin osiossa keskitytään raudan ja alumiinin saostamiseen hydroksideina ja fosforin saostamiseen struviittina jätevesilietteen mädätteestä
- Struviitti (magnesiumammoniumfosfaatti, $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) on kiteinen valkoinen aine, jota voidaan käyttää esimerkiksi hitaasti ravinteita vapauttavana lannoitteena
- Jätevesilietteen mädäte sisältää hyvin paljon eri aineita ja yhdisteitä, joka tekee selektiivisen saostuksen haastavaksi
- Lietettä tulee esikäsitellä, jotta selektiivinen saostus on mahdollista

Jätevesilietteen mädätteen esikäsittely

1. Näytteen kuivaus
2. Homogenisointi
3. Rikkihappouutto
4. Sentrifugointi
5. Dekantointi
6. Imusuodatus (0,45 μm ja 0,2 μm)
7. Kationinvaihto

Kationinvaihdon jälkeen saatiin kaksi liuosta – kationivaihdettu liuos, joka sisälsi fosforin sekä ioninvaihtohartsista huuhdottu liuos, joka sisälsi metallit.



Metallien saostus

- Rauta ja alumiini saostuvat hydroksideina portaittain, kun pH:a nostetaan
 - Rauta saostuu pH:ssa 3,5 ja alumiini pH:ssa 6,5
 - Rauta tulee hapettaa 2+ -muodosta 3+ -muotoon ennen saostusta
- Näyteliuos hapetettiin lisäämällä vetyperoksidia ja kuplittamalla ilmalla
- pH:n nostamiseen käytettiin natriumhydroksidia
- Muodostuneet sakat imusuodatettiin 0,45 µm membraanin läpi
- Ensimmäisen suodatuksen jälkeen suodoksen rautapitoisuus oli laskenut 96,7 %
- Toisen suodatuksen jälkeen sekä raudan että alumiinin pitoisuudet suodoksessa jäivät alle määritysrajan
- Sakkojen saantoprosentit:
 - Rautahydroksidi 94,5 %
 - Alumiinihydroksidi 124,4 %
- Sakat lähetettiin alkuaine- ja XRD-analyysiin

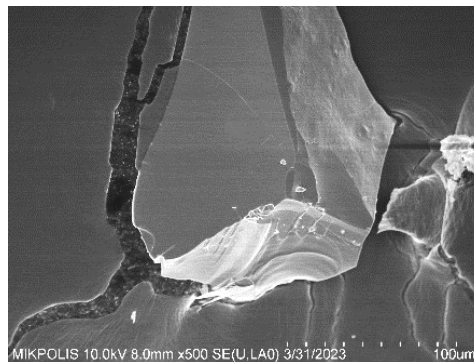


Yläriivi: raudan saostus

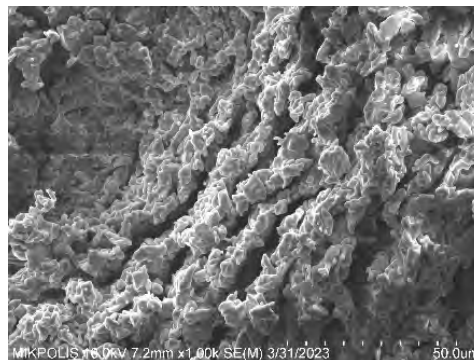
Alarivi: magnesiumin saostus

Metallien saostus

- Sakat olivat hyvin amorfisia
- XRD-analyysin mukaan molempien sakkojen kiteinen faasi koostui natriumsulfaatista (Na_2SO_4), erityisesti rauta pääosin amorfisessa faasissa
- Sakoista tehtiin kaksi alkuaineanalyysiä
 - SEM-EDS-analyysi yksittäisestä kiteestä
 - SEM-EDS-analyysi homogenoidusta ja prässätystä näytteestä
- Ensimmäinen sakka sisälsi homogenoidun ja prässätyn näytteen SEM-EDS-analyysin (Measurlabs) tulosten mukaan 27,61 % rautaa ja 0,71 % alumiinia
- Toinen sakka sisälsi homogenoidun ja prässätyn näytteen SEM-EDS-analyysin (Measurlabs) tulosten mukaan 1,87 % rautaa ja 8,71 % alumiinia
- Raudan ja alumiinin erottelu onnistui. lopputuotteiden puhtautta voitaisiin parantaa esim. uudelleenkiteytyksellä



Alkuaine	Yks.kide (m-%)	Homog. (m-%)
C	36.74	
N	02.59	
O	44.15	46.64
Na	04.65	10.33
Al	00.35	00.71
P	00.59	03.07
S	02.88	11.64
Cr	01.82	
Fe	06.23	27.61



Alkuaine	Yks.kide (m-%)	Homog. (m-%)
C	03.68	
N	01.79	
O	50.92	54.19
Na	17.98	18.38
Al	06.99	08.71
S	12.30	16.85
Cr	05.28	
Fe	01.06	01.87

Yläriivi: Rautasakka, SEM-kuva (500x), alkuaineanalyysitulokset
Alarivi: Mg-sakka, SEM-kuva (1000x), alkuaineanalyysitulokset

Fosforin saostus

- Fosfori saostuu struviittina pH:ssa 7 – 10, kun saatavilla on sopiva määrä magnesiumia, ammoniumia ja fosfaattia.
- Ionivaihdettuun liuokseen lisättiin mooliylimäärä ammoniumia ja pH nostettiin 9,5:een NaOH:lla
- Magnesiumista tehtiin liuos, jonka pH säädettiin 9,5:een NaOH:lla
 - Magnesiumlähteinä käytettiin magnesiumkloridia ja magnesiumoksidia
- Liuokset yhdistettiin hitaasti sekoittaen. Muodostuneet sakat imusuodatettiin 0,45 µm membraanin läpi.
 - Saanto-% magnesiumkloridilla 64,8 % ja magnesiumoksidilla 62,7 %
- Sakat kuivattiin eksikaattorissa ja lähetettiin alkuaine- ja XRD-analyysiin



Yläkuva: MgCl₂-sakka

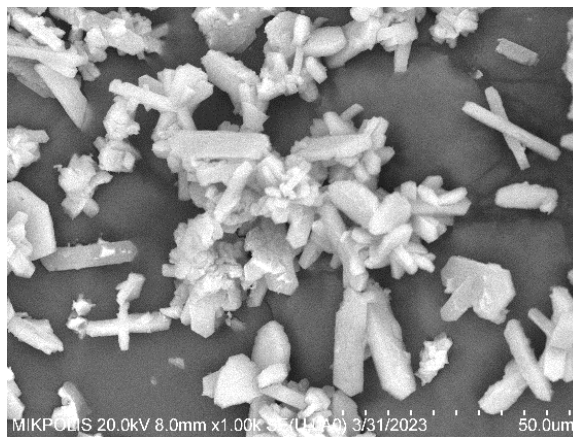
Alakuva: MgO-sakka

Fosforin saostus

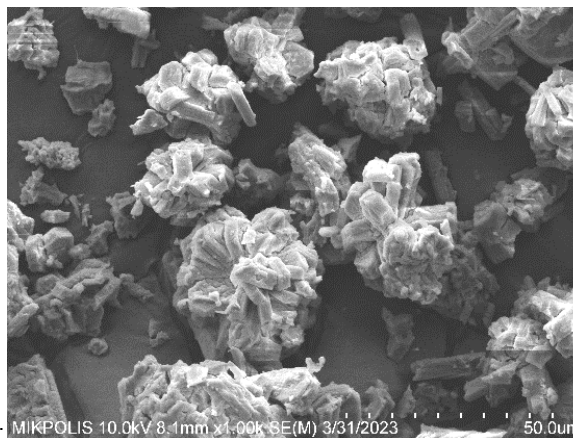
- XRD-analyysin mukaan molempien sakkojen kiteinen faasi oli struviittia
- Sakoista tehtiin kaksi alkuaineanalyyysiä
 - SEM-EDS-analyysi yksittäisestä kiteestä
 - SEM-EDS-analyysi homogoidusta ja prässätystä näytteestä
- Sakat sisälsivät amorfisia epäpuhtauksia
- Fosforin saostus struviittina onnistui

Yläkuva: SEM, struviittikiteitä MgCl-reagenssilla, 1000-kertainen suurennos. Taulukko: alkuaineanalyytit

Alakuva: SEM, struviittikiteitä MgO-reagenssilla, 1000-kertainen suurennos. Taulukko: alkuaineanalyytit



Element	Yks.kide (m-%)	Homog. (m-%)	Struviitti
C	24.10		
N	03.67		05.71
O	44.80	50.81	65.20
Na	01.08		
Mg	09.60	15.03	09.90
Al	00.29		
Si	00.28		
P	11.29	27.16	12.62
S	00.11		
Cr	02.32		
Fe	02.46	06.65	
Cl		00.35	

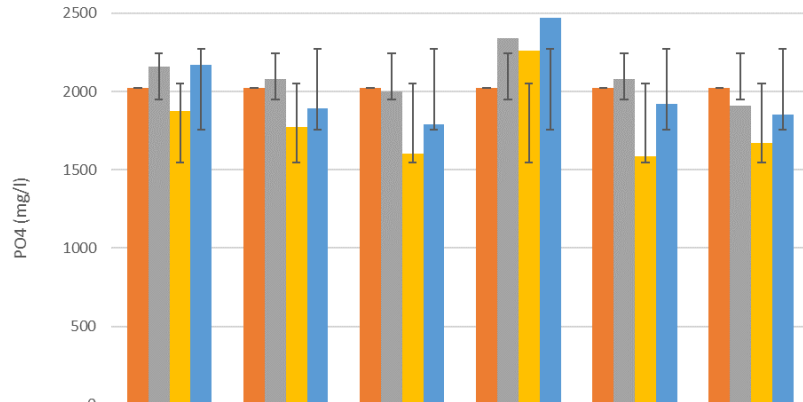


Element	Yks.kide (m-%)	Homog. (m-%)	Struviitti
C	16.88		
N	03.48		05.71
O	45.75	54.59	65.20
Na	00.98		
Mg	10.93	15.72	09.90
Al	00.19		
Si	00.28		
P	13.07	24.69	12.62
S	00.10		
Cr	06.30		
Fe	02.04	04.68	
Cl		00.32	

Optimointikokeet

- Fosfaatin saostumista struviittina optimoitiin Mg-reagenssien lisäsmäärien ja reaktioajan suhteen
- Optimointikokeissa käytettiin esikäsiteltyä lietettä
- Paras fosfaatin poisto saavutettiin puolen tunnin reaktioajalla
- Suurempi määrä Mg-reagenssia tehosti fosfaatin poistoa
 - Magnesiumoksidilla saatiin hieman tehokkaampi fosfaatin poisto 2,5-kertaisella ylimäärällä vrt. 5-kertainen ylimäärä

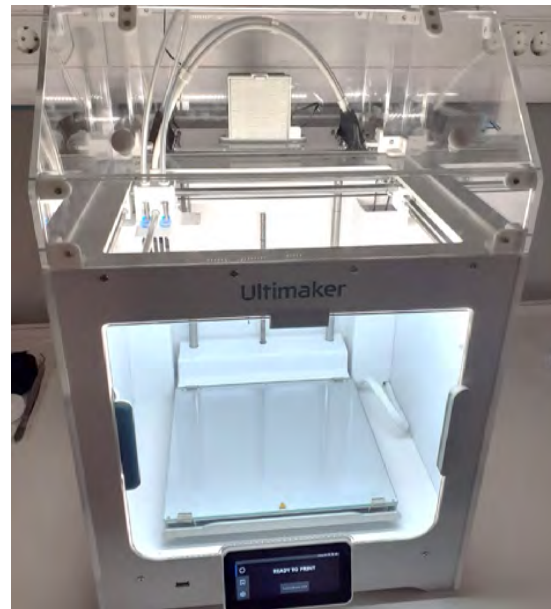
Optimointikoe tulokset



Yläkuvassa optimointikoe. Vasemmalla alhaalla 1,2-kertainen Mg-ylimäärä 2h jälkeen. Oikealla alhaalla 5,0-kertainen Mg-ylimäärä 2h jälkeen.

3D-tulostus

- Lietteestä saatavaa orgaanista ainesta halutaan jalostaa ja hyödyntää
- LUT on valmistanut grafiittilaatuista hiiltä erotetusta hiilijakeesta
- Grafiittilaatuista hiiltä käytetään korkean jalostusasteen tuotteiden valmistukseen
 - Akkumateriaaleja ja muita elektrodeja
 - Filamentteja
 - Suodatinmateriaaleja
- Xamkin osiossa tutkitaan lietteestä valmistetun hiilimateriaalin ravinteiden adsorptiokapasiteettia ja 3D-tulostussovelluksia
- Mikkelin ympäristölaboratorioon on hankittu Ultimaker S3 3D-tulostin
 - Kahden tulostuspään filamenttitulostin
 - Mahdollistaa komposiittimateriaalien tulostamisen



3D-tulostus

Tavoitteena on lisätä hiilimateriaalia kahdella eri tavalla suodatinmateriaaleihin siten, että hiilimateriaalin adsorptio-ominaisuudet saadaan käyttöön

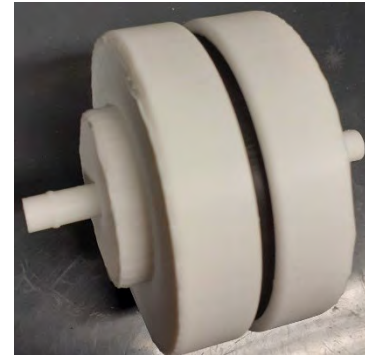
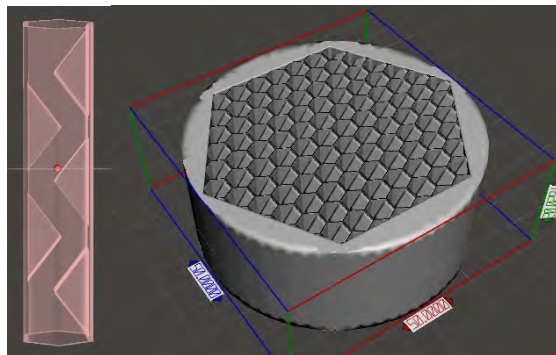
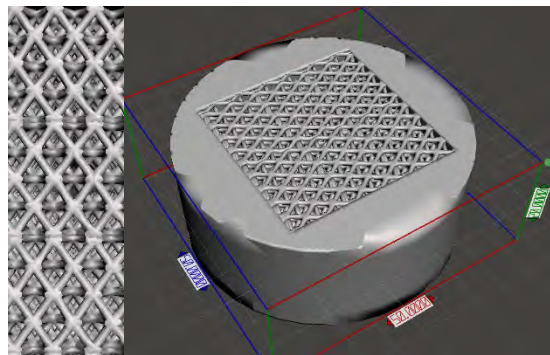
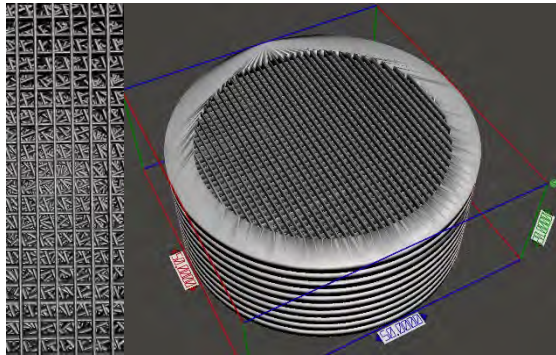
- Tulostetun suodattimen pinnoitus
- Hiiltä sisältävän filamentin tulostus suodattimeksi

Tehtiin alustavia pinnoituskokeita

- Muoveina PLA ja ABS
- Eri liuottimia: asetoni, DMAc, DMAc + PTFE
- Eri esikäsittelymenetelmiä ja -aikoja ennen pinnoitusta
- Kuiva- ja märkäpinnoitus
- Eri hiililaatuja, koivupohjainen biohiili ja kaupallinen aktiivihili
- Paras yhdistelmä asetoni-vesiseos (95/5 m-%) ja ABS-muovi, 60 s liuotinaltistus ja kuivapinnoitus

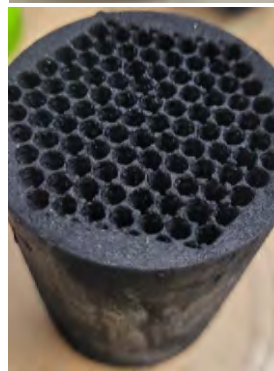


Osien suunnittelua ja ensimmäiset kapselitestit



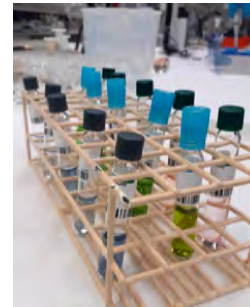
3D-tulostus, jatkokokeet

- Alustavien kapselikokeiden perusteella valmistettiin suuremmat suodattimet, joilla testattiin ravinteiden poistotehokkuutta
- Suodatinpaloja pinnoitettiin kaupallisella aktiivihiilellä ja LUTilta saadulla grafiittilaatuisella hiilellä
- Kokeita tehtiin synteettisellä vedellä ja hulevesinäytteillä
- Vesinäytteet analysoitiin ulkoisessa laboratoriossa (ALS Finland Oy) ja omassa laboratoriossa
- Kokeissa ei havaittu selkeää ravinteiden poistoa synteettisissä tai luonnonvesinäytteissä
 - Metallien poistoa havaittiin: sekä synteettisissä että hulevesissä saavutettiin tehokas liukoisen raudan poisto
 - Osa analyyseistä kesken
- Kokeet LUTin valmistamalla hiilifilamentilla tulossa



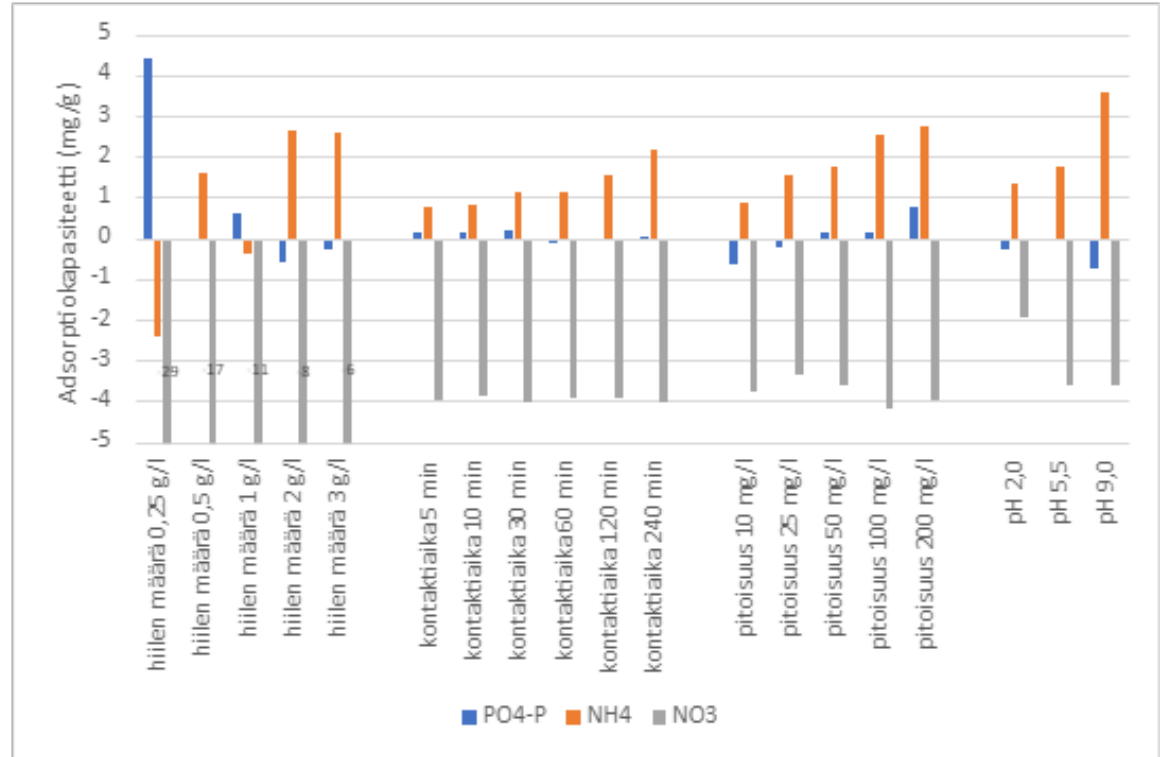
Adsorptiokapasiteettikokeet

- LUTin valmistamalle grafiittilaatuiselle hiellelle suoritettiin ravinteiden adsorptiokapasiteettikokeet
- Kokeessa optimoitiin lisätyn hiilen määrä, kontaktiaika, pitoisuus ja pH fosforin, ammoniumin ja nitraatin suhteen
- Lisäksi selvitettiin kilpailevien ionien vaikutusta ravinteiden poistoon



Adsorptiokapasiteettikokeet

- Vain ammoniumin pitoisuudessa huomattiin laskua kokeen aikana
- Tehokkain ammoniumin poisto saavutettiin yli neljän tunnin altistusajalla ja yli 2 g/l hiilipitoisuudella, kun liuoksen ammoniumpitoisuus oli korkea
- pH:ssa 9 saavutettiin paras ammoniumin poistotehokkuus
 - Emäksisissä olosuhteissa saatetaan menettää ammoniumia ammoniakkina
- Fosforin suhteen ei havaittu suuria muutoksia
- Nitraatin suhteen havaittiin muutoksia





**Tunne huomisen.
All for the future.**

Lisätietoja hankkeesta:

www.xamk.fi/liete

vuokko.malk@xamk.fi

janne.junninen@xamk.fi

Hankkeen tuloksista tulossa
loppujulkaisu

XAMK



Tunne huominen - All for the future.



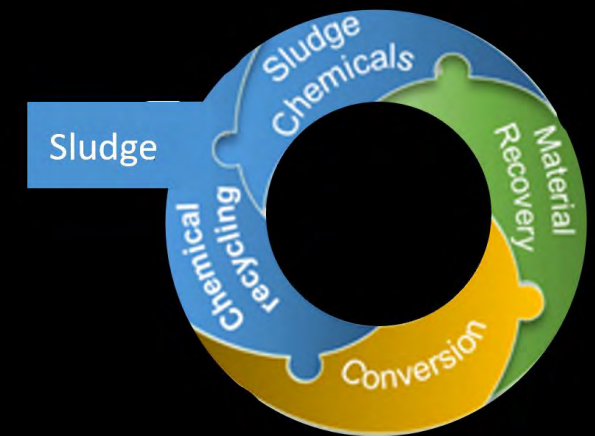
LAND OF THE CURIOUS



22 November 2023

Empowering the role of sludge in circular economy via applications in water treatment, energy storage, and additive manufacturing

Olga Pastushok
Project Researcher
LUT, Department of Separation Science



Context

- Unsustainable sewage sludge utilization
- Demand for recycled phosphorus in fertilizers
- Meeting the needs of the growing battery market with graphite-like materials

Experts Warn of Impending Phosphorus Crisis

SPIEGEL International

The element phosphorus is essential to human life and the most important ingredient in fertilizer. But experts warn that the world's reserves of phosphate rock are becoming depleted. Is recycling sewage the answer?

Scientists warn of 'phosphogeddon' as critical fertiliser shortages loom

The Guardian



Excessive use of phosphorus is creating algal blooms such as the one in the Baltic Sea near Stockholm in Sweden. Photograph: TT News Agency/Reuters
Excessive use of phosphorus is depleting reserves vital to global food production, while also adding to the climate crisis

Fury over 'forever chemicals' as US states spread toxic sewage sludge

Regulators allow states to continue spreading sludge even as PFAS-tainted substance has ruined livelihoods and poisoned water



Regulators in Maine identified PFAS contamination in samples taken from sewage sludge. Photograph: Robert F. Bukaty/AP



Phosphorus: Flushing away our future?

Global EV battery supply chain puzzles over China graphite curbs

Reuters

October 27, 2023 2:02 PM GMT+3 · Updated 21 days ago



REUTERS



Graphite powder, used for battery paste, is pictured in a Volkswagen pilot line for battery cell production in Salzgitter, Germany, May 18, 2022. REUTERS/Fabian Bimmer/File Photo Acquire Licensing Rights

ON BUSINESS

China restricts exports of graphite as it escalates a global tech war

"Deficit conditions will worsen in 2024 with demand for graphite from the battery sector forecast to rise by a further 29%, while delays to new natural graphite projects persist, propelling prices higher through 2024"

— Amy Bennett, Metals and Mining Principal Consultant



Global overview on phosphorus management - www.ospf.global

Our Phosphorus Future
Towards global phosphorus sustainability

With support from the Natural Environment Research Council, The Leibniz National Environmental Programme, The Global Environment Facility, through the International Nitrogen Management System project and the European Sustainable Phosphorus Platform

Sewage sludge

Sewage sludge is the residual, semi-solid material that is produced during industrial or municipal wastewater treatment.

Sewage sludge annual production – 1 million m³.



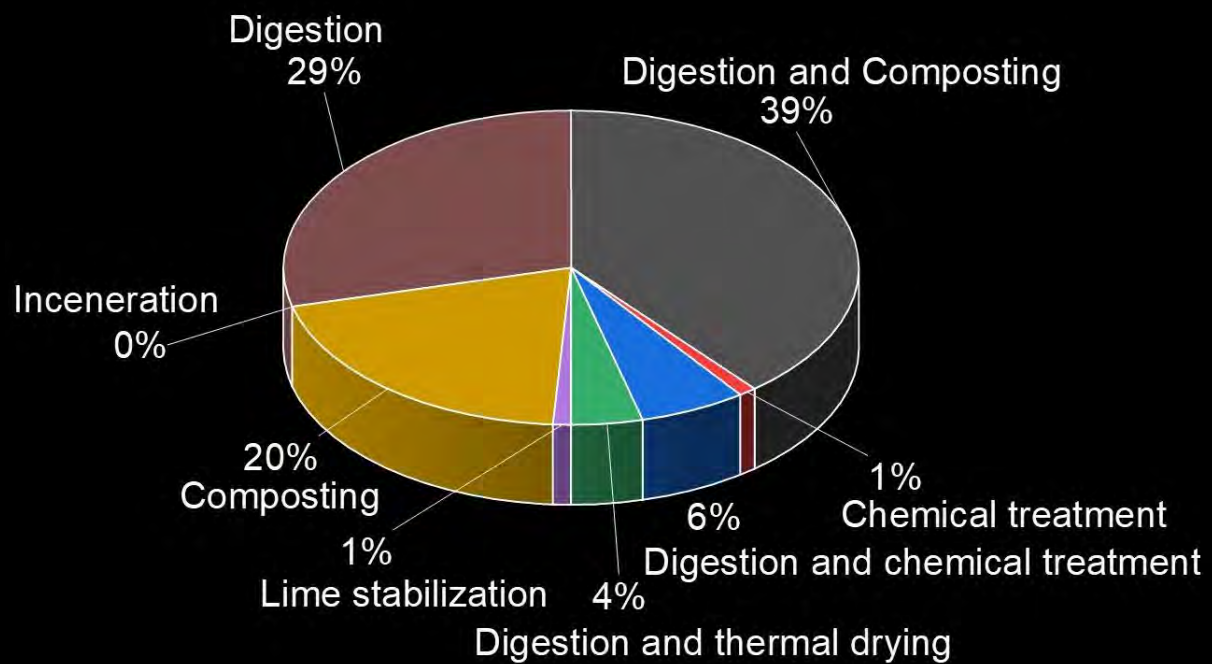
Wastewater treatment facilities



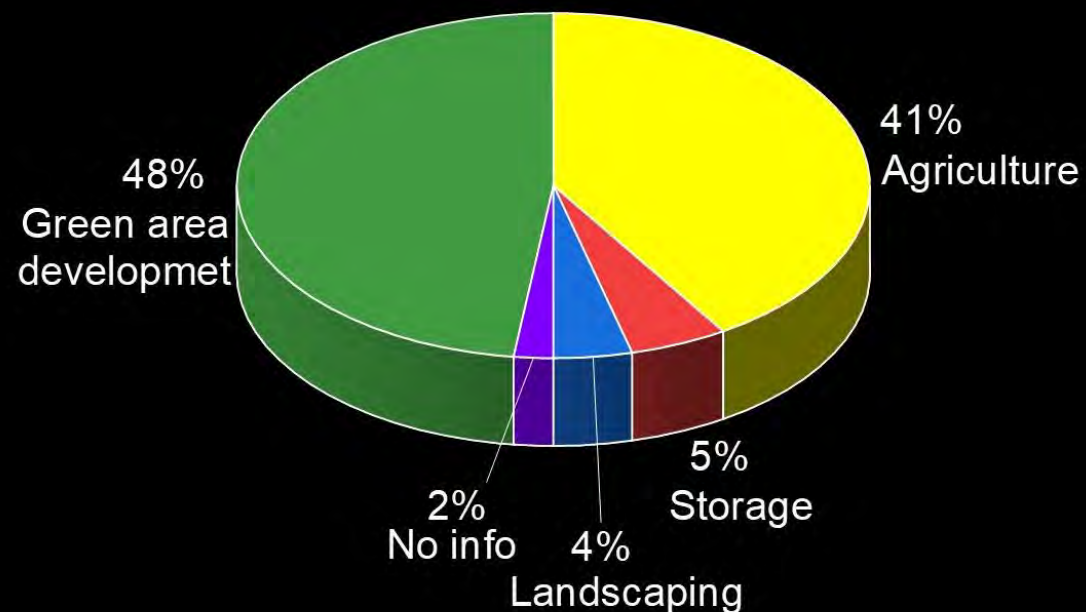
Dewatered sewage sludge

Current situation with sewage sludge

Sewage sludge treatment

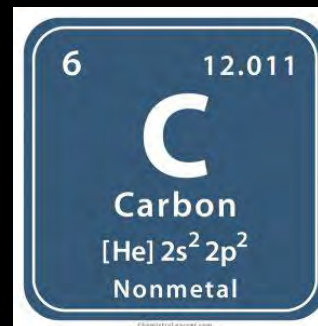
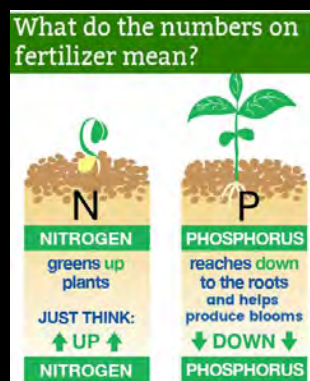


Sewage sludge utilisation



Valuable compounds in sludge

Sewage sludge



~ 40 %

Nutrient content in sewage sludge

- Phosphorus ~ 4 % (40 000 m³)
- Nitrogen ~ 2.5 % (25 000 m³)

Project concept



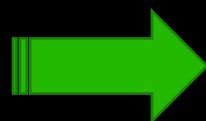
Adequate Sanitation



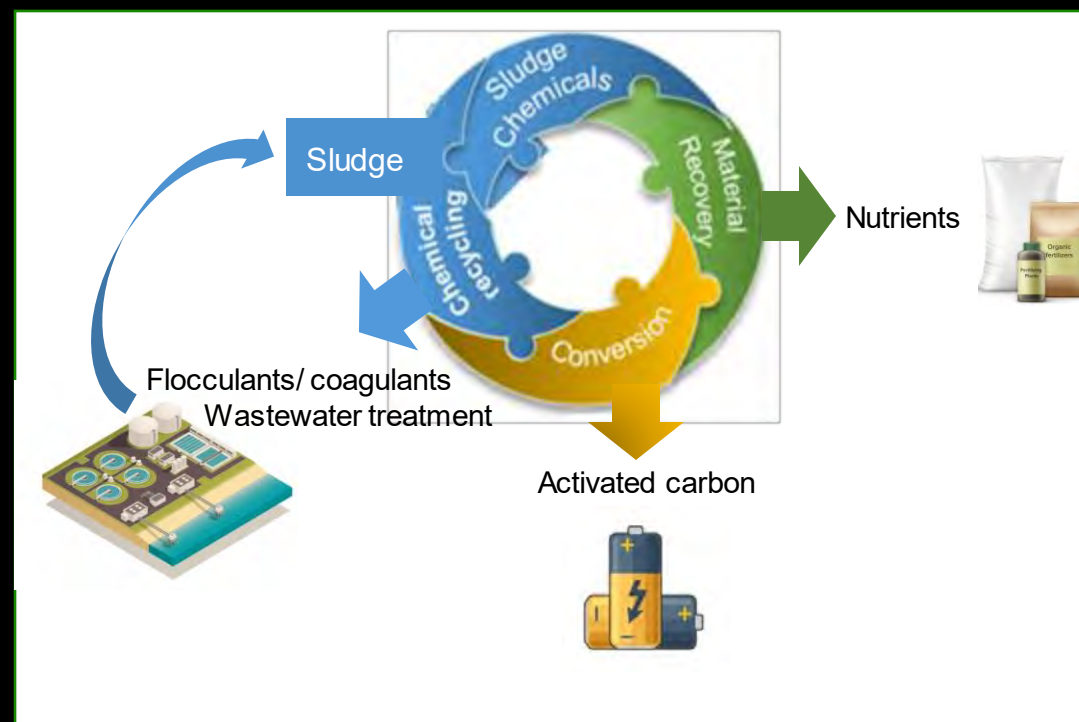
Protection of water resources from (nutrient) pollution



Prevention of GHG emissions and decrease of energy use

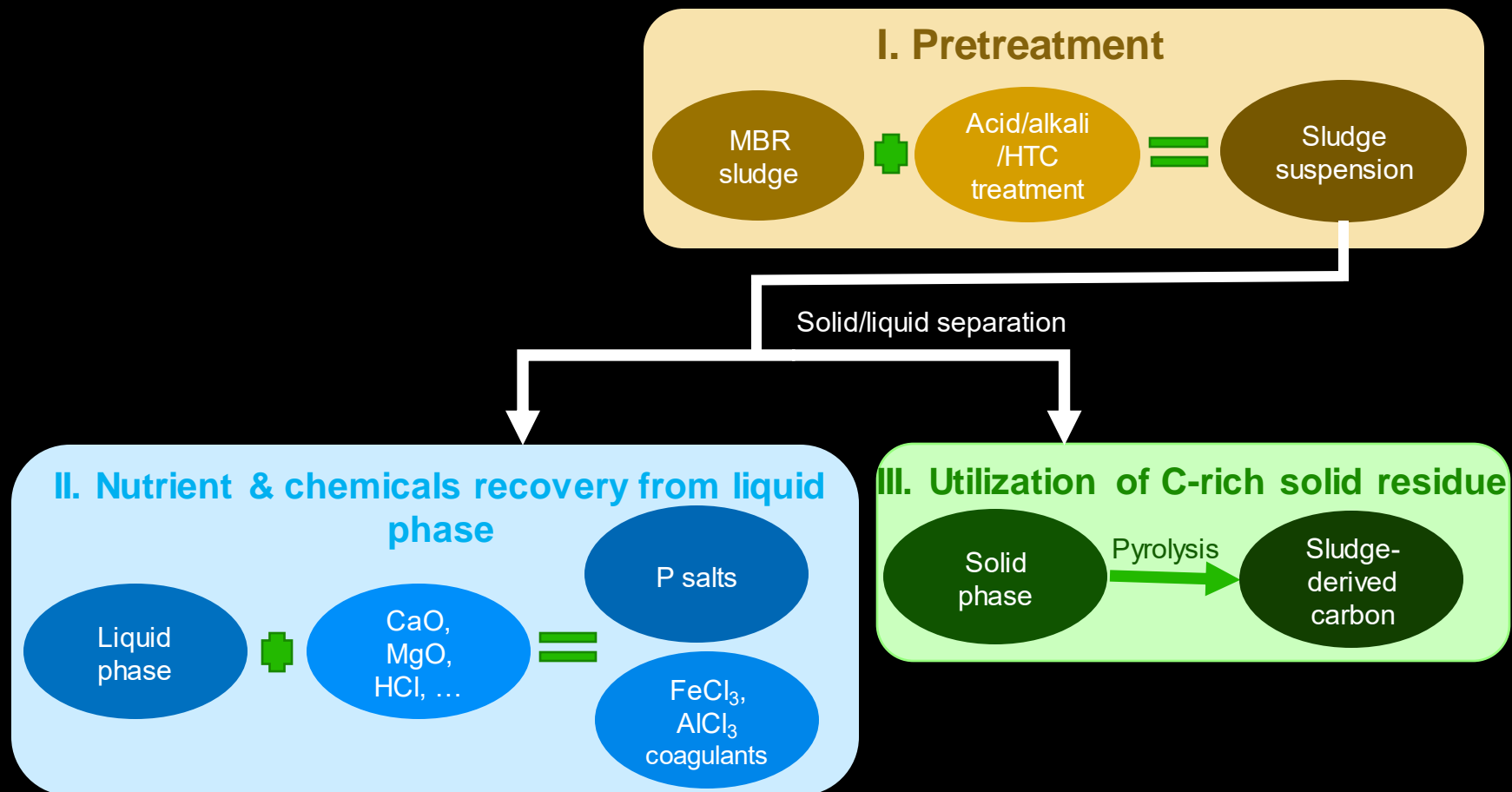


Sludge valorization in circular economy



Recovery of chemicals and nutrients and conversion of sludge into useful materials moves towards a circular economy.

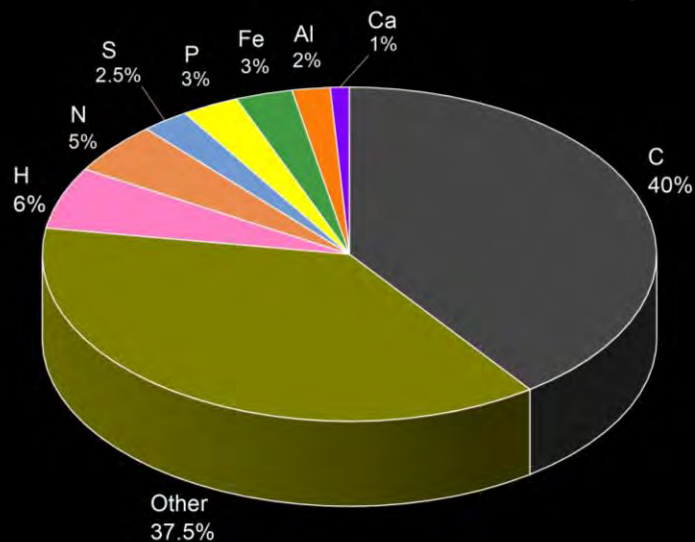
Concept implementation



WP 1: Sludge characterization

pH – 6
 Electrical conductivity – $850 \mu\text{S cm}^{-1}$
 Dry matter content – 20%
 Loss on ignition - 80%

Elemental composition of raw sludge



Freeze-dried sludge.

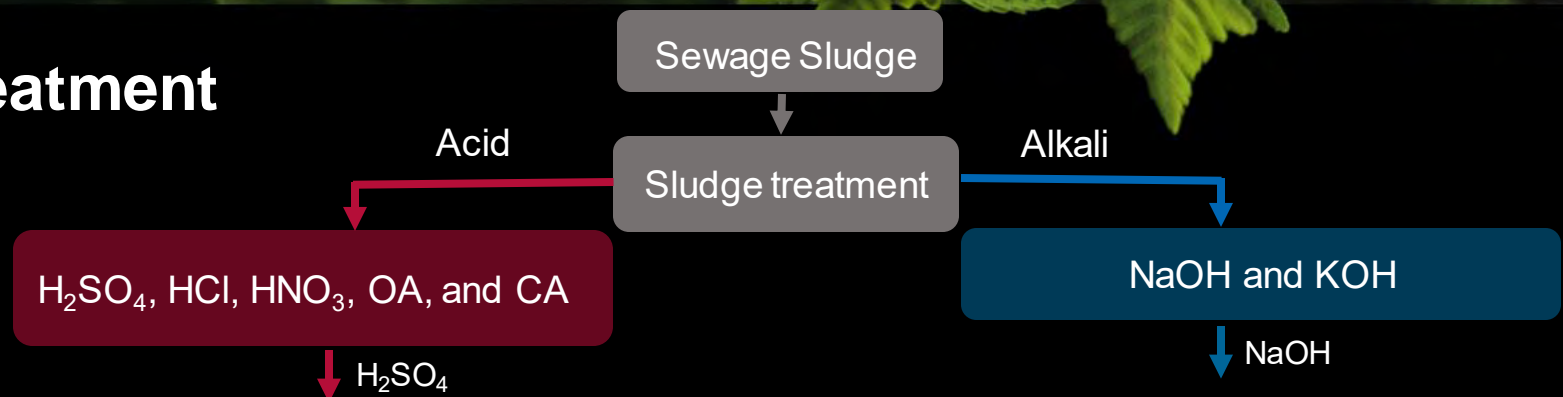


Freeze-dried sludge after milling.

Methods of elements detection

1. Elemental analyzer (Flash 2000 organic elemental analyzer)
2. ICP-OES (Agilent)
3. Sludge digestion according to EPA 3052 method

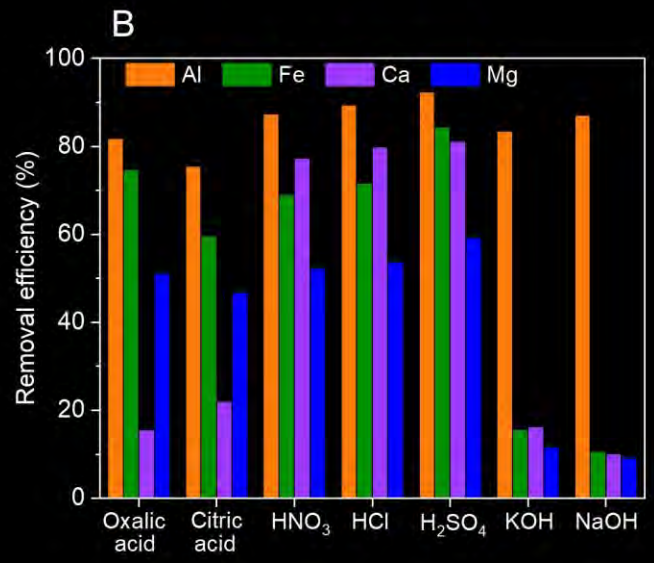
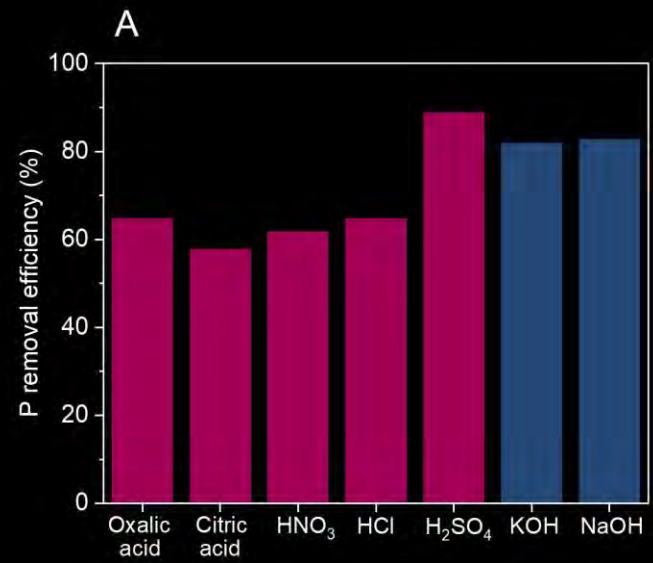
WP 1: Pretreatment



Optimal experimental conditions

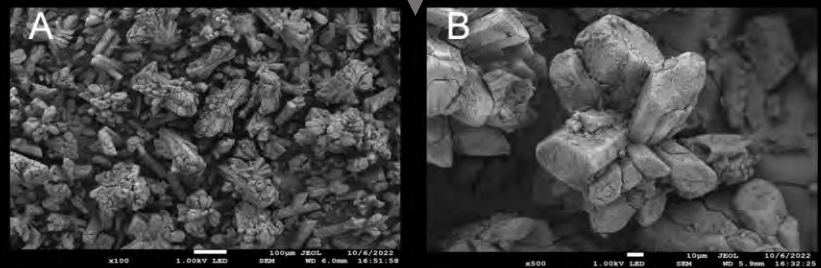
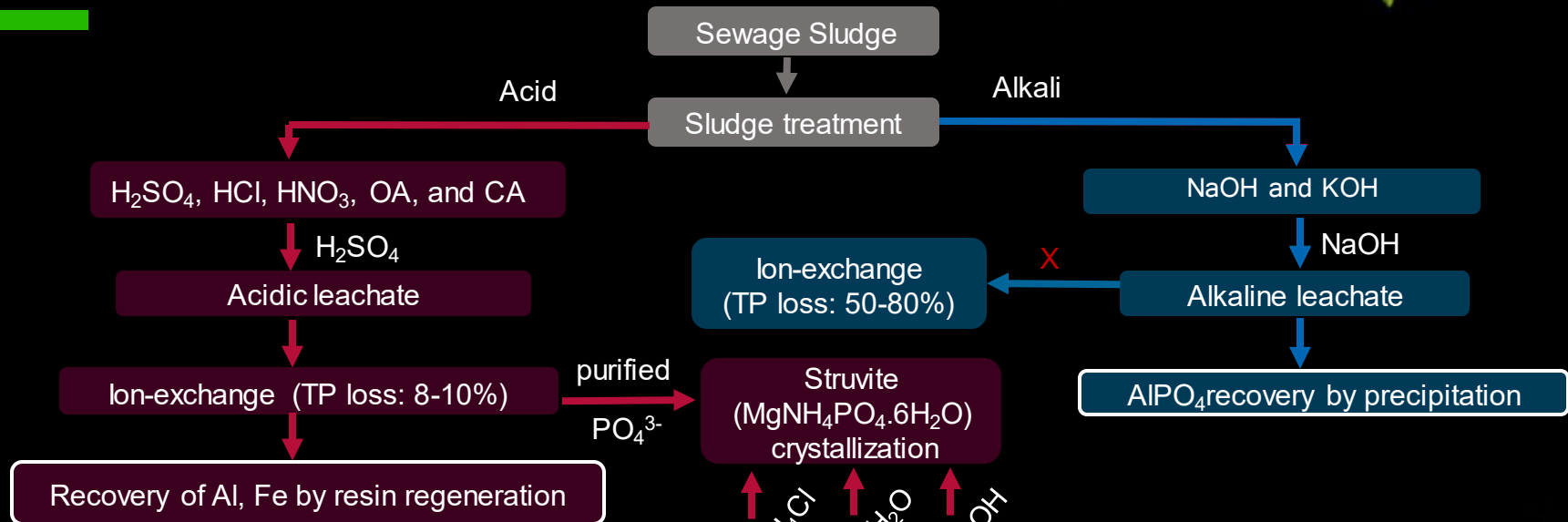
Leaching duration – 2 h Concentration – 0.5 M Solid:liquid ratio – 1:20

Objectives: getting the highest possible removal efficiency of phosphorus from the sewage sludge by the proposed chemical reagents.

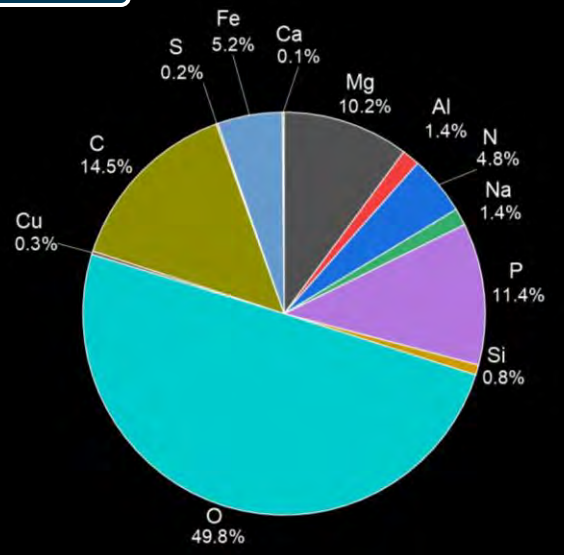


(A) Phosphorus and (B) metal ions removal by acids and alkaline under the optimal conditions.

WP 2: Nutrient & chemicals recovery from liquid phase

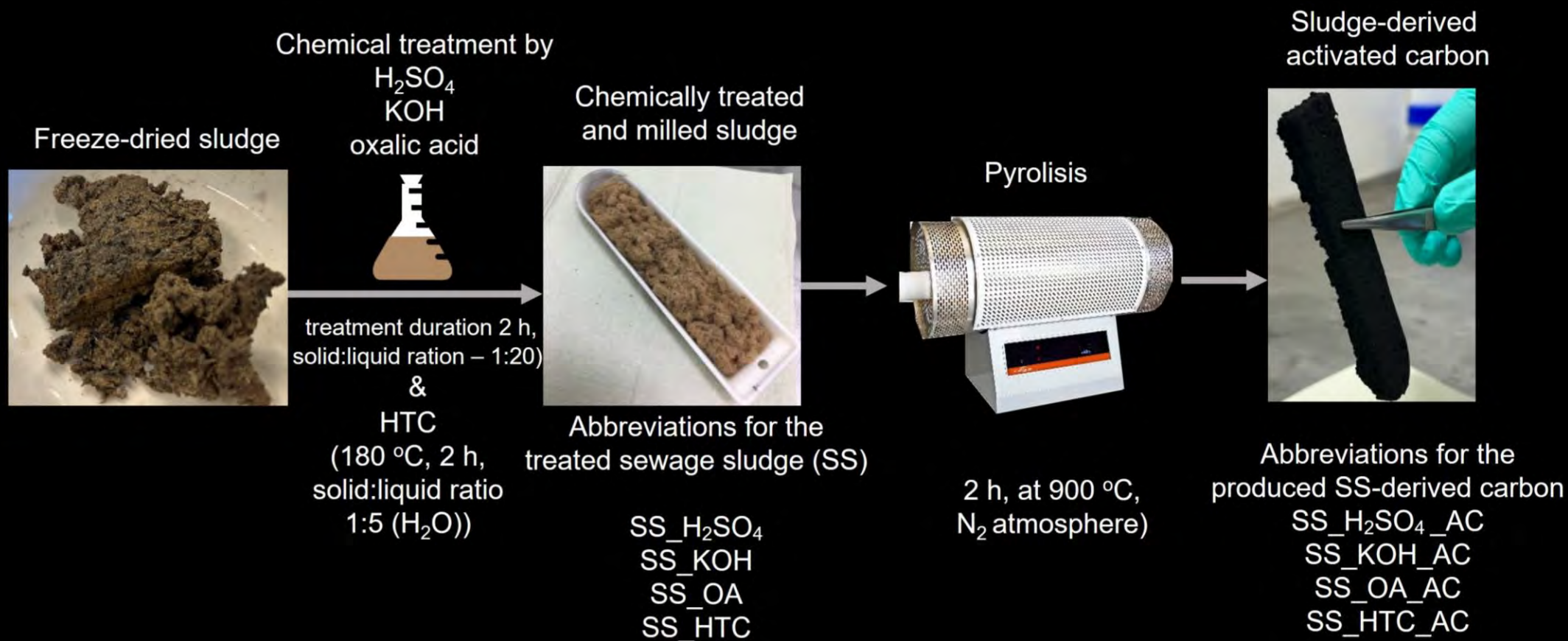


SEM image of the precipitated struvite crystals



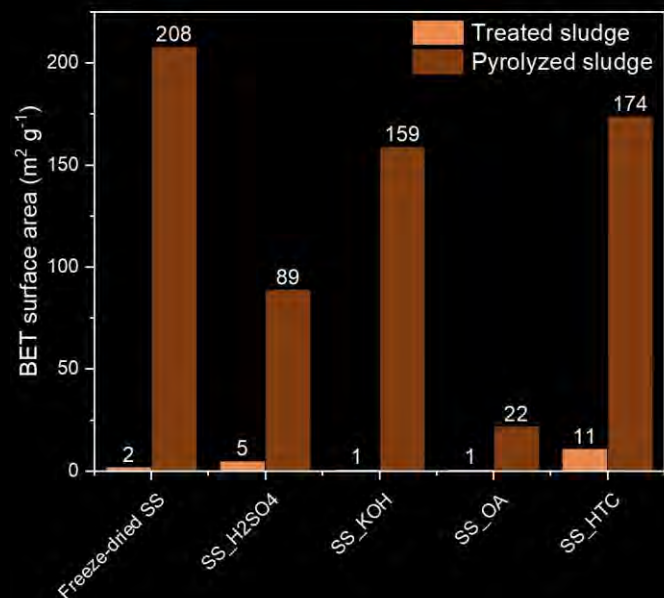
Elemental composition of the precipitated struvite

WP 3: Utilization of C-rich solid residue: sludge-derived carbon production

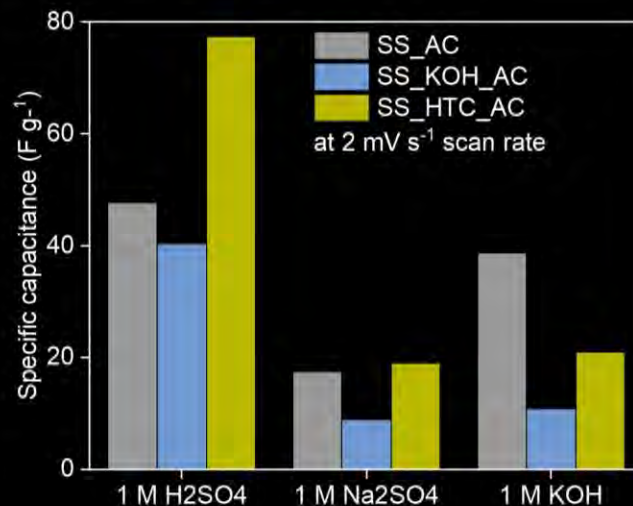


The process scheme of the SS-derived carbon production.

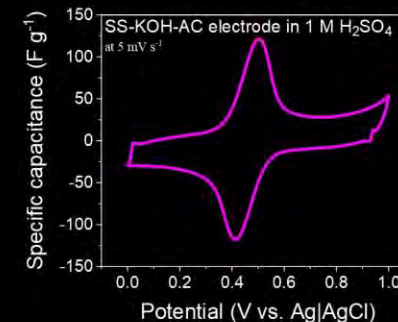
WP 3: Utilization of C-rich solid residue: sludge-derived carbon electrochemical study



BET surface area of sludge and sludge-derived carbon.

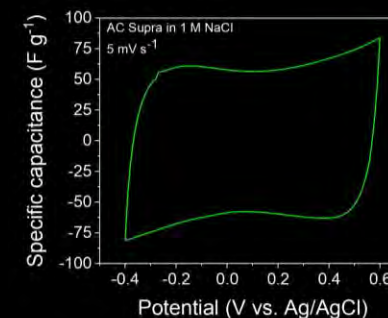


The specific capacitance of the sludge-derived carbon.



Cyclic voltammetry curves of the sewage sludge-derived carbon.

Desired result



Cyclic voltammetry curves of the commercial activated carbon.

WP 3: Utilization of C-rich solid residue: sludge-derived activated carbon production

Freeze-dried and milled sludge mixed with an activator

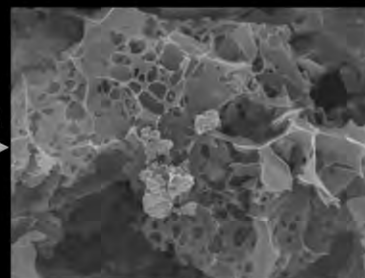


Activators: H_3PO_4 , KOH, $ZnCl_2$,
 KOH + KCl, Na_2CO_3 , K_2CO_3 ,
 $K_2C_2O_4$, KHC_2O_4

Pyrolysis

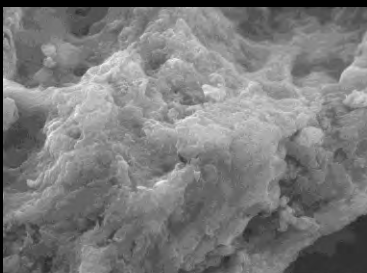


Washing with
 HNO_3

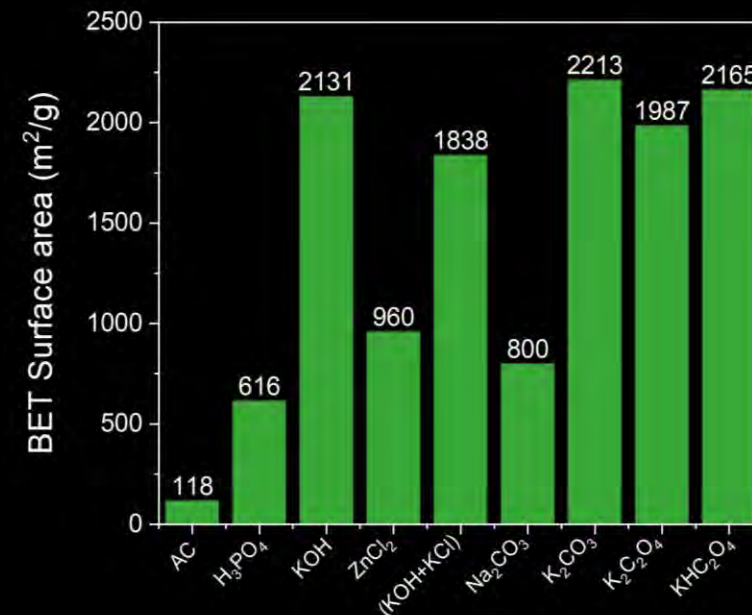


Sludge-derived activated carbon with a high porosity (SEM image)

One step activation process for sewage sludge.

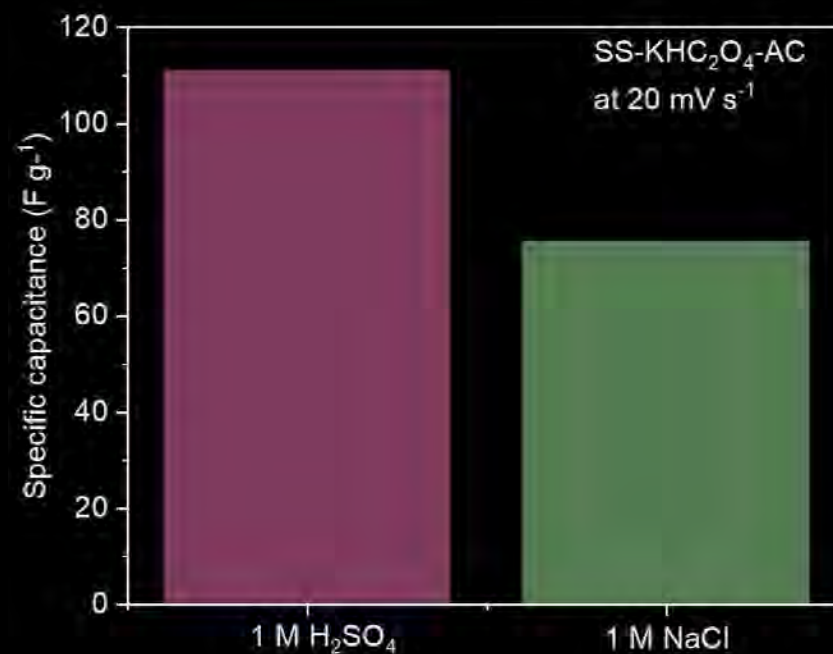
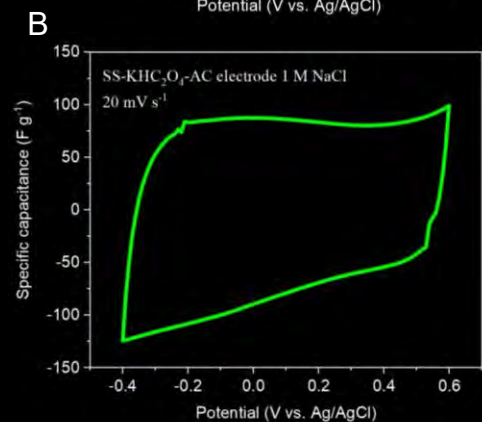
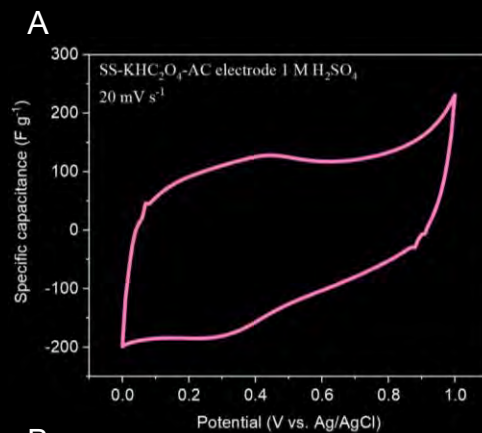


SEM image of sludge.



BET surface area of sludge and sludge-derived activated carbon.

WP 3: Utilization of C-rich solid residue: sludge-derived activated carbon electrochemical study



The specific capacitance increased 2 times in 1 M H₂SO₄ and almost 4 times in 1 M NaCl for SS-KHC₂O₄-AC in comparison to just pyrolyzed SS.

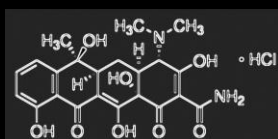
The specific capacitance of the sludge-derived activated carbon (SS-KHC₂O₄).

Cyclic voltammetry curves of the SS-KHC₂O₄ in (A) 1 M H₂SO₄ and (B) 1 M NaCl.

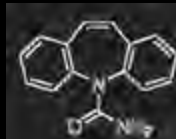
WP 3: Utilization of C-rich solid residue: adsorption study

Pharmaceuticals

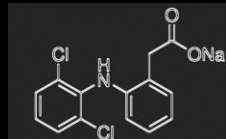
Tetracycline (TC) Carbamazepine (CBZ) Diclofenac (DCF)



Antibiotic



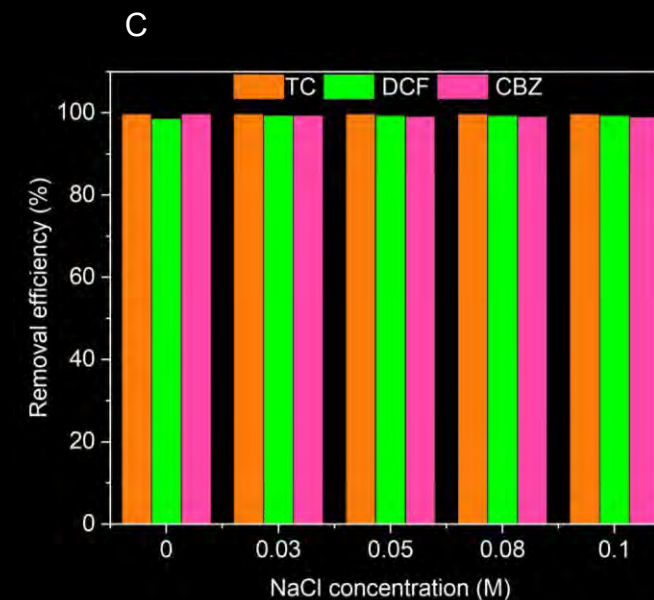
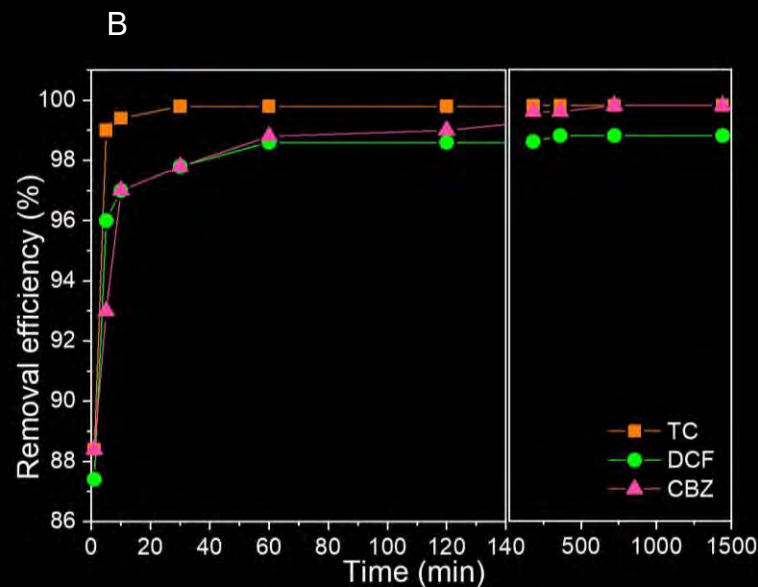
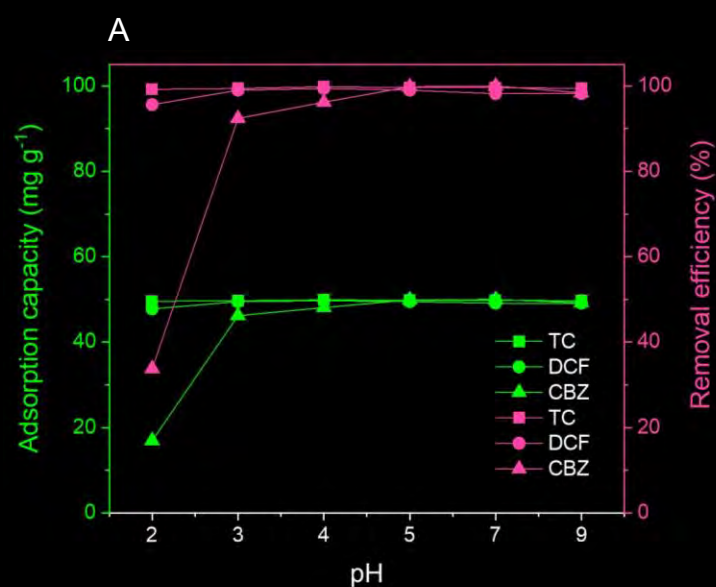
Anticonvulsant drug



Anti-inflammatory drugs

Test conditions:

- Adsorbent dose (SS-KHC₂O₄): 0.5 g L⁻¹
- Ambient temperature



Effect of (A) pH, (B) time, and (C) competing ions on the adsorption capacity and removal efficiency of SS-KHC₂O₄ towards pharmaceuticals.

Conclusion

Context

- Unsustainable sewage sludge utilization
- Demand for recycled phosphorus in fertilizers
- Meeting the needs of the growing battery market with graphite-like materials



WP 2

84% of phosphorus from sludge was recovered as struvite.

WP 1

Sulfuric acid is the most effective leaching agent, achieving phosphorus removal efficiency of 89%.

WP 3

The specific capacitance of sludge-derived activated carbon might reach 110 F g⁻¹.

Sludge-derived activated carbon demonstrate almost 100% removal efficiency towards pharmaceuticals.

For more details:

Project page_LUT: <https://www.lut.fi/en/projects/empowering-role-sludge-circular-economy>

Project page_Xamk: www.xamk.fi/liete

Kaupparehti: Vesi ja vastuullisuus (30.03.2023):

<https://www.kehittyvatkaupungit.fi/vesitekniikka/jatevesiliete-on-arvokkaiden-raaka-aineiden-cocktail/>

Xamkin Metsä, ympäristö ja energia vuosijulkaisussa 2022:

<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-502-4>

Phosphorus recovery from sewage sludge: a waste to resource approach:

<https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022120970330>

Electrochemical properties of graphite/nylon electrodes additively manufactured by laser powder bed fusion:

<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2022.141732>

Acknowledgements to the project staff: Jannatul Rumky, Hemanta Timilsina, Sayedjalal Razavizadeh.

Project

EMPOWERING THE ROLE OF SLUDGE IN CIRCULAR ECONOMY

via brand-new applications in water treatment, electrochemistry and additive manufacturing

Contact info



Eveliina Repo

Full professor (tenured)
Separation Science

✉ eveliina.repo@lut.fi

☎ [+358403553707](tel:+358403553707)



Olga Pastushok

Project Researcher
Separation Science

✉ olga.pastushok@lut.fi

