



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Rikastushiekan ja kierrätyslasin hyödyntäminen tiilien valmistuksen raaka-aineena

Anniina Merenluoto

Prosessi- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö

Maaliskuu 2022

TIIVISTELMÄ

Rikastushiekan ja kierrätyslasin hyödyntäminen tiilien valmistuksen raaka-aineena

Anniina Merenluoto

Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2022, 14 s.

Työn ohjaaja(t) yliopistolla: Pekka Tanskanen, FM & Eetu-Pekka Heikkinen, TkT

Sivuvirtojen hyödyntäminen on yksi tapa edistää kiertotaloutta. Kaivostoiminnassa syntyy runsaasti rikastushiekkaa, jolle pitäisi löytää käyttökohteita. Tässä työssä selvitettiin kokeellisesti partikkelikoon ja lämpötilan vaikutusta keraamisten kappaleiden halkaisijaan ja vedenimukykyyn. Tutkitut partikkelikoot olivat rikastushiekka sellaisenaan, 250 µm fraktio sekä keskimäärin 20 µm. Käytetyt lämpötilat olivat 1050 °C ja 1100 °C.

Käytetty rikastushiekka oli jauhettu ja sen partikkelikoko analysoitu. Kappaleet valmistettiin kierrätyslasijauheesta ja Keliber Oy:n rikastushiekasta, joista sekoitettiin yhteensä kuusi näytettä: yksi jokaista partikkelikoko molemmille tarkastelulämpötiloille. Näyteseokset siirrettiin alumiinioksidipokkaisiin, ja niiden pinta tasoitettiin pöytää vasten kopauttamalla. Näytteet poltettiin kammiouunissa. Valmiit näytteet valokuvattiin, niiden halkaisija mitattiin ja vedenimukyky mitattiin.

Tulokset taulukoitiin, ja vedenimukyvystä laadittiin myös havainnollistava kaaviokuva. Huomattiin, että lämpötilalla on selvä vaikutus sekä kappaleiden kutistumiseen että vedenimukykyyn. Korkeampaa lämpötilaa käytettäessä kappaleet kutistuivat enemmän, ja niiden vedenimukyky oli pienempi. Partikkelikoolla ei ollut yksiselitteistä vaikutusta kutistumiseen tai vedenimukykyyn. Eniten kutistui hienojakoisin näyte, vähiten 250 µm fraktiosta valmistettu näyte. 1050 °C:ssä vedenimukyky kasvoi partikkelikoon pienenytessä, mutta korkeammassa lämpötilassa näin ei tapahtunut.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	1
SISÄLLYSLUETTELO.....	2
1 JOHDANTO	3
2 PROSESSIKUVAUKSET	4
2.1 Keliberin prosessi.....	4
2.2 Tiilien valmistus.....	5
3 KOKEET	7
4 TULOKSET JA POHDINTA	9
5 YHTEENVETO	13
LÄHDELUETTELO.....	14

1 JOHDANTO

Kiertotalous on talousmalli, jonka tarkoitus on vähentää sekä hiilidioksidipäästöjä että jätettä (Euroopan parlamentti, 2020). Oleellisia keinoja ovat mm. valmistettavien tuotteiden pitkäikäisyys ja kierrätettävyys sekä tuotannon sivuvirtojen hyödyntäminen ja jätteen minimointi.

Kaivostoiminnassa halutun metallin osuus louhituista mineraaleista on usein pieni, ja se täytyy erottaa muista mineraaleista rikastamalla ennen kuin sitä voidaan materiaalina hyödyntää. Tämän seurauksena rikasteen lisäksi saadaan sivuvirtana runsaasti rikastushiekkaa, joka päättyy usein jätteeksi. Kiertotalouden edistämiseksi myös rikastushiekalle olisi tärkeää löytää käyttökohteita, jotta jätettä syntyisi vähemmän, ja luonnonvarojen käyttö olisi tehokkaampaa.

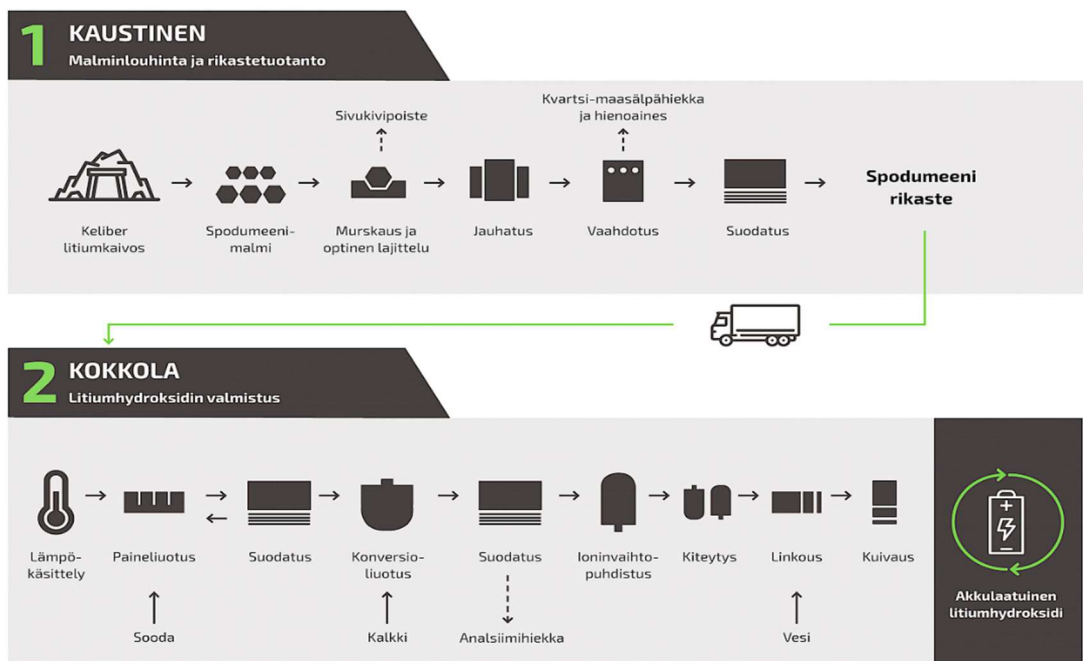
Tämän työn tarkoituksena on tutkia rikastushiekasta ja kierrätyslasista valmistettuja keraamisia materiaaleja. Työssä selvitetään kokeellisesti, miten rikastushiekan raekoko ja materiaalin polttolämpötila vaikuttavat kappaleen halkaisijan muutokseen ja vedenimukykyyn.

2 PROSESSIKUVAUKSET

2.1 Keliberin prosessi

Keliber Oy:n on tarkoitus tuottaa litiumhydroksidimonohydraattia akkuteollisuuden tarpeisiin omista litiummalmivaroistaan. Malmin tyyppi on spodumeenipegmatiitti. Tuotantoprosessi voidaan jakaa neljään osaan: louhinta, rikastus, lämpökäsittely ja hydrometallurginen prosessi. Tuotantovaiheet on esitelty kuvassa 1. Louhinta toteutetaan pääosin avolouhintana, mutta osittain myös maanalaisena louhintana. Louhittu malmi murskataan, jauhetaan ja vaahdotetaan. Vaahdotuksesta saatava spodumeenirikaste jatkojalostetaan litiumkemiantehtaalla. (Keliber Oy, 2022)

Omiin malmivarantoihin perustuva litiumhydroksidin tuotanto kustannustehokkaalla teknologialla



Kuva 1: Prosessikaavio Keliberin litiumhydroksidin tuotannosta (Keliber Oy, 2022).

Vaahdotuksessa syntyy spodumeenirikasteen lisäksi rikastusjätettä eli rikastushiekkaa. Lisäksi liejunpoistossa syntyy hienorakeista liejua. Lieju ja rikastushiekka sakeutetaan yhdessä, jonka jälkeen ne johdetaan rikastushiekka-altaaseen. Rikastushiekan ja liejun seoksesta rikastushiekkaa on noin 88,5 %, ja liejua on noin 11,5 %. (Keliber Oy, 2020). Rikastushiekka koostuu pääosin kvartsista ja maasälvistä, joita tyypillisesti käytetään keraamisten materiaalien, kuten tiilien, raaka-aineina. Taulukossa 1 on esitetty tarkemmin

rikastushiekan koostumus sekä kemiallisten komponenttien että mineraalien osalta. (Koutila A., 2017)

Taulukko 1: Rikastushiekan kemiallinen ja mineraalikoostumus (Koutila A., 2017).

Komponentti	paino-%	Mineraali	Paino-%
Li ₂ O	0,15	Kvartsi	36,7
SiO ₂	77,5	Plagioklaasi	39,3
Al ₂ O ₃	1,6	Mikrokliini	15,9
CaO	0,26	Muskoviitti	6,4
Na ₂ O	4,70	Spodumeeni	1,2
K ₂ O	3,35	Biotitti	0,1
FeO	0,20		
MgO	0,05		
TiO ₂	0,01		
P ₂ O ₅	0,14		

2.2 Tiilien valmistus

Eri käyttökohteille on olemassa lukuisia eri menetelmillä ja vaihtelevista raaka-aineista valmistettuja tiiliä. Tässä yhteydessä keskitetään tarkastelu poltettujen tiilien valmistukseen. Pääraaka-aineena poltettujen tiilien valmistuksessa käytetään savea. Mikäli savi on todella hienojakoista, lisätään joukkoon hiekkaa. Sahanpurua käytetään tiilenvalmistuksessa kasvattamaan tiilen huokoisuutta, jolloin pakkasenkestävyys paranee. Suomalaisesta savesta valmistetut tiilet ovat tyypillisesti punertavia, mutta väriin voidaan vaikuttaa lisäaineilla. Esimerkiksi mangaanidioksidia lisäämällä saadaan aikaan ruskeita tiiliä, ja kalkkifillieriä käyttämällä voidaan tuottaa keltaisia tiiliä. (Hasa A. et al. 1983)

Poltettujen tiilien valmistusprosessi kankipuristusmenetelmällä alkaa raaka-aineiden käsittelyllä. Tähän lukeutuu saven puhdistus esimerkiksi kivistä. Raaka-aineet sekoitetaan massaksi, jota voidaan muokata erilaisten sekoittimien, valssien ja seulakoneiden avulla. Massaa varastoidaan tässä vaiheessa kosteuden tasoittamiseksi sekä muokattavuuden parantamiseksi. (Hasa A. et al, 1983)

Varastoinnin jälkeen massaa lämmitetään. Ylimääräistä ilmaa voidaan myös poistaa tyhjiössä. Lämmityksen ja tyhjiökäsittelyn jälkeen puristin muotoilee massan, joka leikkurilla katkotaan tiiliksi. Muovatut tiilet kuivataan muun keramiikan tavoin, jonka

jälkeen ne voidaan polttaa. Myös poltto-olosuhteilla ja -lämpötilalla on vaikutusta valmiin tiilen väriin. Korkeissa lämpötiloissa poltetuista tiilistä tulee lujia ja tummia, matalat lämpötilat puolestaan tuottavat vaaleampia ja huokoisempia tiiliä. Hapettavissa olosuhteissa poltetut tiilet saavat punaisen sävyjä, pelkistävässä olosuhteissa poltettujen tiilien väri puolestaan vaihtelee tummanruskean ja sinimustan välillä. (Hasa A. et al, 1983)

Edellä esitellyn kankipuristusmenetelmän lisäksi tiiliä voidaan tuottaa myös kuivapuristusmenetelmällä. Tällöin savimassaa ei muotoilla märkänä, vaan se kuivataan, hienonnetaan ja rakeistetaan. Tiilet puristetaan rakeistetusta massasta 150 baarin paineessa. (Hasa A. et al, 1983)

3 KOKEET

Tutkittavina materiaaleina käytettiin kierrätyslasijauhetta sekä Keliber Oy:n rikastushiekkaa kolmessa eri partikkelikoossa. Rikastushiekka jauhettiin ja sen partikkelikokojakauma analysoitiin. Käytetyt partikkelikoot olivat rikastushiekka sellaisenaan, jauhettuna 125–250 µm fraktioon sekä jauhettuna keskimäärin 20 µm raekokoon.

Kuvassa 2 on esitelty kokeissa käytetty kammiouuni. Varsinainen uunikammio on teräksisen kannen takana. Uunin sisäosan seinät ja pohja ovat tulenkestävää eristettä, ja lämmitysvastukset sijaitsevat sivuseinillä. Lämpötilaa mitataan keskellä olevalla termoparianturilla.



Kuva 2: Lämpökäsittelyyn käytetty Entechin kammiouuni ulkopuolelta kuvattuna.

Näytteitä valmistettaessa punnittiin muovipurkkiin 5,00 grammaa kierrätyslasijauhetta ja 45,00 grammaa rikastushiekkaa (QFS). Jokaisesta raekoosta rikastushiekkaa tehtiin kaksi

seosta, jolloin saatiin yhteensä kuusi 50,00 gramman näytteseosta, joista 10 paino-% oli kierrätyslasijauhetta ja 90 paino-% rikastushiekkaa. Näytteet sekoitettiin hyvin sekä spaattelilla että kääntelemällä ja siirrettiin sen jälkeen alumiinioksidiupokkaisiin. Pienintä partikkelikokoa sisältävät seokset olivat vaikeasti käsiteltäviä, joten siirtovaiheessa pieni osa seoksesta menetettiin. Upokkaita kopautettiin pöytään 5 kertaa materiaalin tiivistämiseksi ja pinnan tasoittamiseksi.

Seokset lämpökäsiteltiin kammiouunissa (Entech). Uunin lämpötilaa nostettiin 5 °C/min tavoitelämpötilaan, jossa uunia pidettiin 100 minuuttia. Kokeiden jälkeen näytteiden annettiin jäähtyä uunin jäähtymisen mukaan. Tavoitelämpötiloiksi valittiin 1050 °C ja 1100 °C, ja molemmissa lämpötiloissa käsiteltiin yksi näyte kaikkia raekokoja. Taulukkoon 2 on koottu näytekoodit sekä niiden selitykset.

Taulukko 2: Valmistetut näytteet.

Näytekoodi	Rikastushiekan raekoko	Polttolämpötila, °C
QFSG10-1050	sellaisenaan	1050
QFSG10-1100	sellaisenaan	1100
QFS250G10-1050	125–250 µm fraktio	1050
QFS250G10-1100	125–250 µm fraktio	1100
QFS20G10-1050	keskiraekoko 20 µm	1050
QFS20G10-1100	keskiraekoko 20 µm	1100

Lämpökäsittelyn jälkeen näytteet poistettiin upokkaista. Valmiiden näytteiden halkaisija mitattiin sekä pohjasta että pinnalta millimetrin tarkkuudella. Näytteet valokuvattiin, ja niiden vedenimukyky selvitettiin. Näytteet punnittiin, jonka jälkeen ne upotettiin veteen 16 tunniksi. Upotuksen jälkeen näytteet punnittiin uudelleen.

4 TULOKSET JA POHDINTA

Kuvissa 3 ja 4 on esitetty näytteiden muoto kokeiden jälkeen sivusta ja ylhäältä kuvattuna. Kuvasta 3 voidaan todeta, että poltetut kappaleet eivät olleet tasaisia, vaan niiden muoto muistutti alaspäin levenevää sylinteriä. Kuvissa 3 ja 4 näytteiden järjestys on seuraava: ylärivissä on 1050 °C:ssa poltetut näytteet ja alarivissä 1100 °C:ssa poltetut näytteet. Näytteiden raekoko vasemmalta oikealle: QFS sellaisenaan, 250 µm fraktio ja viimeisenä keskiraekoko 20 µm. Erityisesti 1050 °C:ssa lämpökäsitellyissä näytteissä pinnalla näkyy viivoittimen aiheuttama painauma. QFS20-näytteiden pinta on erittäin epätasainen, ja QFS20G10-1100:n pinnalla ja sivussa näkyy halkeamia. Väriykseltään QFSG10- ja QFS250G10- näytteet ovat hyvin samanlaisia, vaaleanharmaita punertavilla pilkuilla. 1100 °C:ssa lämpökäsitellyissä näytteissä punaisuutta on vähemmän. QFS20G10-1050 on lähes luonnonvalkoinen, QFS20G10-1100 on paljon tummempi.



Kuva 3: Näytteet kuvattuna sivusta, mittakaavana viivoittimen asteikko.



Kuva 4: Näytteet päältä valokuvattuna.

Näytteiden lämpökäsittelyyn käytetyt upokkaat eivät olleet tasaisen pyöreitä, vaan niiden sisähalkaisija vaihteli 45–47 mm välillä. Käytetään näytteiden alkuperäisenä halkaisijana upokkaan sisähalkaisijan keskiarvoa 46 mm sekä pohjan että pinnan osalta. Näytteiden poltosta aiheutuneet halkaisijan muutokset on koottu taulukkoon 3. Huomataan, että kaikkien näytteiden halkaisija pieneni poltossa. Kuten myös valokuvista nähdään, lähes kaikkien näytteiden pintahalkaisija kutistui pienemmäksi kuin pohjahalkaisija. Ainoastaan QFS250G10-1050 on tasaisen muotoinen. Kutistuminen oli voimakkaampaa korkeammassa lämpötilassa. Vähiten kutistumista havaittiin 250 μm fraktion näytteillä, eniten puolestaan hienoimmalla raekoolla 20 μm , joka kutistui erittäin voimakkaasti.

Taulukko 3: Näytteiden halkaisijat polton jälkeen.

Näyte	Halkaisija, pohja mm	Halkaisija, pinta mm	Kutistuminen, pohja %	Kutistuminen, pinta %
QFSG10-1050	45	43	2,17	6,52
QFSG10-1100	43	40	6,52	13,04
QFSG250-1050	44	44	4,35	4,35
QFS250G10-1100	44	42	4,35	8,70
QFS20G10-1050	40	34	13,04	26,09
QFS20G10-1100	32	30	30,43	34,78

Materiaalin vedenimukyky kuvastaa sen huokoisuutta. Taulukkoon 4 listattujen tulosten perusteella polttolämpötilalla on merkittävä vaikutus kappaleiden vedenimukykyyn. Alemmassa lämpötilassa käsiteltyjen kappaleiden vedenimukyky on huomattavasti suurempi kuin korkeammassa lämpötilassa käsiteltyjen kappaleiden. Matalammassa lämpötilassa vedenimukyky kasvaa raekoon pienentyessä. Korkeammassa lämpötilassa samanlaista yhteyttä ei ole, sillä hienoimmasta raekoosta valmistettu kappale ei ime vettä juuri lainkaan. Kuvasta 5 huomataan, että lämpötilan kasvaessa vedenimukyky pienenee, mutta vedenimukyvyn ja partikkelikoon välillä ei ole yksiselitteistä yhteyttä. Poltetun tiilen vedenimukyky on tavallisesti kuuden ja kahdenkymmenen painoprosentin välillä (Tiili-info, 2022). Tällä välillä ovat vain näytteet QFSG10-1050 ja QFS250G10-1100.

Taulukko 4: Näytekappaleiden vedenimukyky prosentteina.

Näyte	Vedenimukyky, %
QFSG10-1050	18,41
QFSG10-1100	2,54
QFS250G10-1050	24,28
QFS250G10-1100	6,61
QFS20G10-1050	25,49
QFS20G10-1100	0,60



Kuva 5: Kaavio näytteiden vedenimukyvyistä prosentteina.

5 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää kokeellisesti raekoon ja polttolämpötilan vaikutus keraamisen kappaleen halkaisijan muutokseen ja vedenimukykyyn. Valmistettiin kuuden näytteen koesarja, yksi näyte jokaista tarkasteltavaa raekokoja kahdessa eri lämpötilassa. Näytteet lämpökäsiteltiin upokkaissa. Valmiit näytteet valokuvattiin, niiden halkaisija mitattiin sekä vedenimukyky mitattiin.

Kaikki kappaleet kutistuivat lämpökäsittelyn aikana. Suurin osa valmiista kappaleista muistutti muodoltaan alaspäin levenevää sylinteriä, eli pintahalkaisija pieneni enemmän kuin pohjahalkaisija. Korkeammassa lämpötilassa kappaleet kutistuivat enemmän. Raekoon yhteys halkaisijan pienentymiseen ei ole selkeä, mutta hienojakoisin näyte kutistui huomattavasti muita raekokoja enemmän.

Lämpötilalla oli suuri vaikutus kappaleiden vedenimukykyyn, korkeammassa lämpötilassa poltettujen kappaleiden vedenimukyky on huomattavasti pienempi. Tuloksista ei suoraan näe yhteyttä raekoon ja vedenimukyvyn välillä, alhaisemmassa lämpötilassa vedenimukyky kasvaa raekoon pienentyessä, mutta korkeammassa lämpötilassa näin ei ole.

LÄHDELUETTELO

Euroopan parlamentti, 2020. Mitä kiertotalous on ja miksi sillä on merkitystä? [verkkodokumentti]. Saatavissa:

<https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/economy/20151201STO05603/mita-kiertotalous-on-ja-miksi-silla-on-merkitysta> [viitattu 7.2.2022].

Hase A., Haapaniemi A., Komppa V., Lokio A. & Riistama K., 1983. Suomen kemian teollisuus. Mikkeli: Kemian Keskusliitto r.y., 287 s. ISBN 951-99468-3-7

Keliber Oy, Geologia ja tuotanto [verkkoaineisto]. [viitattu 18.1.2022]. Saatavissa: <https://www.keliber.fi/geologia/>

Keliber Oy 2020, Keliber Oy:n rikastamoalueen ja Rapasaaren kaivosalueen YVA-vaiheen sulkemissuunnitelma (AFRY)

Koutila A., 2017. Spodumeenivaahdotuksen rikastushiekan soveltuvuus vaahtolasin raaka-aineeksi, Diplomityö. Oulun yliopisto, TTK, Prosessitekniikan koulutusohjelma. Oulu. 116 s

Tiiliteollisuusliitto ry, 2022. Tiili-info, Poltetun tiilen ominaisuudet [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.tiili-info.fi/tiili-materiaalina/poltetun-tiilen-ominaisuudet/> [viitattu 7.2.2022]