

Opinnäytetyö AMK

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

2023

Michael Ghali

# SANITEETTIPOSLIININ UUSIOKÄYTTÖ

KERPUR-hanke



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

2023 | 34 + 8 liitesivua

Michael Ghali

# SANITEETTIPOSLIININ UUSIOKÄYTTÖ

– KERPUR-hanke

Saniteettiposliinin järjestelmällinen keräys puuttuu tällä hetkellä Suomesta ja sen hyötykäyttö on vähäistä. Purkukohteissa saniteettiposliini menee usein sekalaiseen purkujätteeseen, jonka hinta on purku-urakoitsijalle kalliimpaa kuin erilliskerätyn jätteen. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tunnistaa uusia käyttökohteita saniteettiposliinijätteelle ja selvittää saniteettiposliinijätteen määrää sekä arvioida kustannussäästöjä, jos jäte kierrätettäisiin puhtaana saniteettiposliinijätteenä. Lisäksi selvitettiin laboratoriokokeilla, miten betonin kiviaineksen korvaaminen posliinimurskalla vaikuttaa sen puristuslujuuteen. Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi KERPUR-hanke.

Opinnäytetyön teoriaosuus koostui saniteettiposliinin valmistuksesta, historiasta, käsittelymahdollisuuksista sekä saniteettiposliinikalusteiden materiaaleista ja komponenteista. Lisäksi käsiteltiin KERPUR-hanke ja lainsäädäntöä. Lähteinä käytettiin uutisointia sekä alan verkkolähteitä.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää saniteettiposliinijätteen syntytapoja sekä uusia käyttökohteita saniteettiposliinijätteelle. Lisäksi tutkittiin laboratorioissa posliinimurskan vaikutusta betonin ominaisuuksiin. Teemoja olivat saniteettiposliinin syntyminen korjausrakentamisessa, saniteettiposliinijätteen uusiokäyttö Suomessa ja betonin lujuusominaisuudet.

Tutkimuksen perusteella voi todeta, että posliinimurskaa voidaan käyttää mm. betonin ja laastin runkoaineena. Laboratoriossa tehdyillä tutkimuksilla voidaan todeta, että betonin puristuslujuusominaisuudet paranevat, kun neitseellisestä kivimateriaalista on korvattu osa saniteettiposliinimurskalla.

Asiasanat: saniteettiposliini, kiertotalous, puristuslujuus

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Degree programme

2023 | 34 + 8 attachment pages

Michael Ghali

## REUSE OF SANITARY PORCELAIN

– KERPUR-project

The systematic collection of sanitary porcelain is currently lacking in Finland and its utilisation is limited. Sanitary porcelain often goes into mixed demolition waste at the demolition sites. The price is more expensive for the demolition contractor than separately collected waste. The purpose of this thesis was to identify new applications for sanitary porcelain waste and to sort out the amount of sanitary porcelain waste, as well as to estimate cost savings if the waste were recycled as pure sanitary porcelain waste. In addition, laboratory tests were done to find out how replacing the aggregate of concrete with porcelain crushed stone affects its compressive strength. This thesis was commissioned by the KERPUR project.

The theoretical part of the thesis consisted of the manufacture of sanitary porcelain, history, processing possibilities, as well as materials and components of sanitary porcelain furniture. In addition, the KERPUR project and legislation were investigated. News coverage and industry online sources were used as sources.

The aim of the research was to investigate the ways in which sanitary porcelain waste is generated and new uses for sanitary porcelain waste. In addition, the effect of porcelain rubble on the properties of concrete was studied in the laboratory. The themes were the emergence of sanitary porcelain in renovation construction, the reuse of sanitary porcelain waste in Finland and the strength characteristics of concrete.

Based on the research, it can be concluded that porcelain crushed stone can be used, for example, as a frame material for concrete and mortar. Studies conducted in the laboratory show that the compressive strength properties of concrete are improved when part of the virgin stone material is replaced with sanitary porcelain rubble.

Keywords: sanitary porcelain, circular economy, compressive strength

# Sisältö

<b>Sanasto</b>	<b>6</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Lait ja määräykset</b>	<b>9</b>
2.1 EU:n jätedirektiivi	9
2.2 Jätelaki	9
2.3 Ympäristösuojelulaki	10
2.4 Jätteestä hyväksytyksi raaka-aineeksi	11
<b>3 Saniteettiposliinijätteen syntyminen ja käyttökohteet</b>	<b>12</b>
3.1 Saniteettiposliinin käyttö	12
3.2 Saniteettiposliinijätteen synty	13
3.3 Saniteettiposliinin käsittelymahdollisuudet	14
3.4 Saniteettiposliinijätteiden käyttökohteet	16
3.4.1 Saniteettiposliinijätteiden käyttö betoneissa	17
3.4.2 Saniteettiposliinijätteen käyttö laasteissa	19
<b>4 Betonikokeet</b>	<b>20</b>
4.1 Tutkimuksen tausta	20
4.2 Saniteettiposliinkalusteiden murskaus	20
4.3 Posliinimurskeen seulonta	22
4.4 Betonimassojen valmistus	22
4.4.1 IC-kiertotiivistin	23
4.5 Koekappaleiden puristuslujuuksien määrittäminen	25
<b>5 BETONIKOKEIDEN TULOSTEN TARKASTELU</b>	<b>28</b>
<b>6 PÄÄTELMÄT</b>	<b>30</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>32</b>

## Liitteet

- Liite 1. Rakennuspalvelu J.Martti & Co Oy:n laskelma vuosivolyymista syntyvistä saniteettiposliinijätteistä
- Liite 2. Seulonnat
- Liite 3. Koekappaleiden mittauspaiikat
- Liite 4. Koekappaleiden mitat, tiheydet ja lujuusominaisuudet

## Kuvat

- Kuva 1. Esimerkki puristuslujuuden kehityksestä betonissa, joka sisälsi hienolaatuista keraamista purkujätettä. 18
- Kuva 2. Epäpuhdasta posliinimurskaa. 21
- Kuva 3. Leukamursakaimella murskattua posliinia. 21
- Kuva 4. IC kiertotiivistin. 24
- Kuva 5. IC-testerillä puristettuja betonimassoja. 25
- Kuva 6. ELE ADR-Auto Range hydrauliiikkapuristin. 26
- Kuva 7. Hydrauliikkapuristimella puristettuja kappaleita. 27
- Kuva 8. Betonilieriöiden puristusvoima (kN) 28 d kypsyysässä. 28
- Kuva 9. Betonilieriöiden puristuslujuus (MPa) 28 d kypsyysässä. 28

## Taulukot

- Taulukko 1. Oulun rakennusvalvonnan toimenpide- ja rakennuslupien perusteella saniteettikeramiikan laskenta ja kustannusäästö vuosien 2005–2021 aikana. 15
- Taulukko 2. Betonimassojen reseptit. 22

## Sanasto

EAKR	Euroopan aluekehitysrahasto (Euroopan komissio 2022)
REACT-EU	koheesiota ja Euroopan alueita tukeva elpymisapu, Recovery Assistance for Cohesion and the Territories of Europe (Euroopan komissio n.d)
direktiivi	säädetään tavoitteista, johon kaikkien EU-maiden on yllettävä (Euroopan unionin virallinen verkkosivu n.d)
uusiokäyttö	käytöstä poistetun esineen tai muun hyötyjätteen käyttämistä uudelleen eli kierrättämistä (Outi Les Pyy n.d)

# 1 Johdanto

Saniteettiposliinijätettä hyödynnetään Suomessa tiilien valmistuksessa. Tiilissä savi on pääraaka-aine, mutta sitovaksi aineeksi käytetään karkeampaa tavaraa eli perinteisesti hiekkaa, joka voidaan korvata posliinimurskeella. Posliinimurske on teräväsärmäistä ja siten parantaa tiilien rakennetta. Posliinimurskeen etuna on myös sen tuottama tasalaatuisempi väri vaaleisiin tiiliin. (Rakennuslehti 2020.)

Tämän työn päätarkoitus on tutkia, miten saniteettiposliinia olisi järkevintä ja tehokkainta uusiokäyttää. Saniteettiposliinijätteen järjestäytynyt keräys puuttuu Suomesta ja sen hyötykäyttö on vähäistä. Saniteettiposliini menee purkukohteissa yleensä rakennusjätteeseen. Saniteettiposliinijäte päättyy usein kiviainemurskan joukossa maanrakennukseen. (Turku AMK 2021.)

KERPUR-hanke toimii tämän opinnäytetyön tilaajana. Hankkeen toteutusaika on 1.9.2021–31.8.2023. KERPUR-hankkeen eritystavoite on kierrätyksen laatukriteerien määrittely ja tunnistaa uusia käyttökohteita keraamiselle jätteelle. Keraamisten jätteiden hyödyntämistä pilotoidaan yhdessä yritysten kanssa. (Turku Business Region n.d.) Opinnäytetyö rajattiin koskemaan saniteettiposliinia.

KERPUR-hankkeen hankepartnereina toimivat Åbo Akademi, Turun ammattikorkeakoulu, Suomen ympäristökeskus SYKE ja Turku Science Park Oy. Turku Science Park Oy toimii hankkeen koordinaattorina (Turku Business Region n.d).

KERPUR-hanketta rahoittaa EAKR (Euroopan aluekehitysrahasto) / REACT-EU (Recovery Assistance for Cohesion and the Territories of Europe). Rahoitus toteutetaan osana Euroopan unionin covid-19-pandemian johdosta toteuttamia toimia. Hankkeen kokonaisbudjetti on 686 810 euroa, josta EAKR-rahoituksen osuus on 80 % eli 549 448 euroa ja Turku Science Park Oy:n osuus 207 582 euroa. (Turku Business Region n.d.)

Saniteettiposliinijätteen hyödyntämistä on tutkittu maailmalla muun muassa betonin ja laastin valmistuksessa. Tutkimukset osoittavat, että betonin ja laastin

ominaisuudet paranevat, jos betonin tai laastin runkoaine eli kiviaines korvataan saniteettiposliinijätteellä. (Geraldo ym. 2021.)

Tässä työssä tarkasteltavina ovat seuraavat kolme asiaa:

1. saniteettiposliinijätteen uusien käyttökohteiden tunnistaminen
2. saniteettiposliinijätteen kierrättämisen haasteet ja kustannukset
3. betonin kiviaineksen korvaaminen posliinimurskalla ja sen vaikutus puristuslujuuteen.

## 2 Lait ja määräykset

### 2.1 EU:n jätedirektiivi

EU:n jätedirektiivi säädettiin vuonna 2008. Direktiivin tavoitteena on edistää jätteiden synnyn ehkäisyä sekä jätteiden uusiokäyttöä. Neljäs artikla koskee jätehierarkiaa. Sitä sovelletaan ensisijaisuusjärjestyksenä jätteen syntymisen ehkäisemistä ja jätehuoltoa koskevassa lainsäädännössä ja politiikassa:

1. ehkäiseminen
2. valmistelu uudelleenkäyttöön
3. kierrätys
4. muu hyödyntäminen, esimerkiksi energiana ja
5. loppukäsittely. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta.)

### 2.2 Jätelaki

Jätelain (646/2011, 1. luku 1 §) tarkoituksena on:

1. edistää kiertotaloutta
2. edistää luonnonvarojen kestävyyttä
3. vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta
4. ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle
5. varmistaa toimiva jätehuolto sekä ehkäistä roskaantumista.

Jätelain (646/2011, 4. luku) mukaan on huolehdittava, että jätteestä ja jätehuollosta ei aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle, roskaantumista, yleisen turvallisuuden heikentymistä taikka muuta näihin rinnastettavaa yleisen tai yksityisen edun loukkausta. Erityisesti jätteen keräyksessä ja kuljetuksessa sekä jätteen käsittelylaitoksen tai -paikan sijoittamisessa, rakentamisessa, käytössä ja käytön jälkeisissä hoidossa on

huolehdittava, ettei jätehuollosta aiheudu ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheutuvia päästöjä kuten melua ja hajuja taikka viihtyisyyden vähentymistä. Sen lisäksi toiminnan, laitoksen tai paikan on sovelluttava ympäristöön ja maisemaan. Jätehuollon periaatteeseen kuuluu se, että käytetään parasta käyttökelpoista tekniikkaa ja noudatetaan ympäristön kannalta parasta käytäntöä. (Jätelaki 646/2011, 4. luku.)

Jätelaissa määrätään, että kunta on velvollinen huolehtimaan jätehuollosta, jos jäte on syntynyt vakinaisessa asunnossa, asuntolassa tai muussa asumisessa (Jätelaki 646/2011, 4. luku). Tuottajan vastuulle kuuluu huolehtia jätehuollosta ja sen kustannuksista, jos tuote on käytöstä poistettu tuote, kuten ajoneuvo, elektroniikkalaitte, akku, sanomalehti tai pakkaus (Jätelaki 646/2011, 6. luku 46 §; Jätelaki, 646/2011, 6. luku 48 §). Jos saniteettiposliinijäte on syntynyt vakinaisessa asunnossa, asuntolassa tai muussa asumisessa, siitä vastaa kunta. Jos puolestaan on kyse rakennusjätteestä, joka on peräisin yrityksen tekemästä rakennustoiminnasta, siitä ei vastaa silloin kunta. (Penttinen 2018, 21.)

### 2.3 Ympäristösuojelulaki

Ympäristösuojelulain (527/2014, 1. luku 1 §) tarkoituksena on:

1. ehkäistä ympäristön pilaantumista ja sen vaaraa, ehkäistä ja vähentää päästöjä sekä poistaa pilaantumisesta aiheutuvia haittoja ja torjua ympäristövahinkoja
2. turvata terveellinen ja viihtyisä sekä luonnontaloudellisesti kestävä ja monimuotoinen ympäristö, tukea kestävää kehitystä sekä torjua ilmastonmuutosta
3. edistää luonnonvarojen kestävää käyttöä sekä vähentää jätteiden määrää ja haitallisuutta ja ehkäistä jätteistä aiheutuvia haitallisia vaikutuksia
4. tehostaa ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutusten arviointia ja huomioon ottamista kokonaisuutena

5. parantaa kansalaisten mahdollisuuksia vaikuttaa ympäristöä koskevaan päätöksentekoon.”

#### 2.4 Jätteestä hyväksytyksi raaka-aineeksi

CE-merkintä on eurooppalainen menettely ja sillä voidaan varmentaa ja sertifioida tuotetta koskevat ominaisuudet yhdenmukaisella ja vertailukelpoisella tavalla. CE-merkintä on ensijainen tapa osoittaa rakennustuotteen täyttävän viranomaisvaatimukset. CE-merkintä kattaa rakennustuotteen oleelliset turvallisuus- ja terveysominaisuudet, kuten rakenteen kantavuuden ja pitkäaikaskestävyyden. CE-merkintä ei kuitenkaan takaa kaikkia oleellisia laatuvaatimuksia vaan sitä voidaan täydentää vapaaehtoisella tuotesertifiointilla. Kun tuotteelle on laadittu eurooppalainen harminisioitu tuotestandardi, täytyy se EU:n rakennustuoteasetuksen mukaan CE-merkitä. (Kiwa n.d.)

### 3 Saniteettiposliinijätteen syntyminen ja käyttökohteet

#### 3.1 Saniteettiposliinin käyttö

Suomessa on tehty saniteettiposliinia jo yli 140 vuotta. Ruotsalainen Rörstrandin posliinitehdas perusti Helsingin Arabiaan tehtaan valmistamaan talous- ja koriste-esineitä vuonna 1873. 1870-luvun lopulla tehdas alkoi valmistamaan saniteettiposliinia. Aluksi tuotteet eivät vaatineet vesijohto- ja viemäriverkostoa, mutta kun Helsinkiin rakennettiin kunnallinen vesilaitos vuosina 1886–1888, kaupunki antoi luvan asentaa asuntoihin vesiklosetin. (Rakennuslehti 2014.) Ensimmäinen vesiklosetti rakennettiin Helsingin silloisen kaupungin lähellä sijaitsevaan Lapinlahden keskuslaitokseen, joka avattiin vuonna 1841 (Forsius n.d.).

Saniteettiposliini on valkoista, kovaa ja läpikuultavaa polttamalla valmistettua keramiikkaa. Sen valmistukseen käytetään 44–55 % kaoliinisavea ja lisäksi siinä on sekä kvartsia että maasälpää, kumpaakin 22–28 %. Kaoliinilla saadaan posliinille notkeutta ja kvartsi lisää sen kestävyyttä. Maasälpä puolestaan vähentää seoksen rasvaisuutta ja huokoisuutta. (Kemia media 2013.)

Valmiista posliinimassasta tehdään esineitä joko valamalla, dreijaamalla tai muovailemalla. Kuivunut esine raakapoltetaan 750–1150°C:een lämmössä. Esineen lasitus tehdään peittämällä se kauttaaltaan lasitusnesteellä, jonka jälkeen se poltetaan korkeassa, 1400–1450°C:een lämpötilassa. Jos posliinia halutaan koristella, se tehdään joko raakaposliinin pintaan tai lasituksen pinnalle. Jos koristelu tehdään lasituksen pinnalle niin se vaatii ns. väripolton, jonka lämpötila vaihtelee värimateriaalin mukaan. (Kemia media 2013.)

WC-istuin painaa n. 30 kg, josta posliinia on maksimissaan 91 %. Muoviosat koostuvat huuhteluliitännän muoviosista sekä istuinosasta ja niitä voi olla maksimissaan 18 % istuimen kokonaispainosta. Metalliosia voi puolestaan olla 5,2 %. Kaikki nämä osuudet ovat maksimiarvoja eli todellisuudessa osuudet WC-istuimessa eivät ole näin suuret. (Penttinen 2018, 13.)

### 3.2 Saniteettiposliinijätteen synty

Posliinijätettä syntyy korjausrakentamisessa ja purkukohteissa vanhoista wc-istuimista ja altaista. Posliinijätteen kierrättämisellä on kuitenkin omat haasteensa, sillä mikäli posliinijäte kierrätetään puhtaana posliinijätteenä, on siitä eroteltava muut komponentit mm. muovi- ja metalliosat.

Opinnäytetyötä tehtäessä todettiin, että korjausrakentamisessa syntyviä saniteettiposliinijättemääriä on haastava saada selville, sillä yritykset eivät seuraa tarkkaan jätemääriään varsinkaan saniteettiposliinin osalta. Tähän saattaa vaikuttaa se, että saniteettiposliinijätettä syntyy sen verran vähän verrattuna muuhun jätteeseen.

Rakennuspalvelu J. Martti & Co Oy:ltä saatiin laskelma linjasaneeraustyömailla syntyvistä saniteettiposliinijättemääristä vuodessa (liite 1). Yritys on erikoistunut vaativiin rakennuspalveluihin, toimitilarakentamiseen, korjausrakentamiseen, KVR-urakointiin, projektiurakointiin sekä uudisrakentamiseen (Rakennuspalvelu J. Martti & Co Oy 2023).

Saadun laskelman mukaan kylpyhuoneita purettiin 550 kpl ja erillisiä wc-tiloja 275 kpl eli yhteensä 825 kpl. Pesuallas painaa 15 kg ja wc-istuin 31 kg eli yhteensä 46 kg. Saniteettiposliinijätettä kertyisi siis yhteensä 37 950 kg eli 37,95 tonnia. Epäpuhtaan betonijätteen yksikköhinta on 115 €/t ja puhtaan < 150 mm posliinijätteen yksikköhinta 40 €/t. Kun saniteettiposliinijäte kierrätetään epäpuhtaana betonijätteenä, hinnaksi tulee 4 364 € ja, kun se lajitellaan puhtaana posliinijätteenä hinta on 1 518 €. Kustannussäästöä kertyisi 2 846 € vuodessa, mutta siinä ei ole huomioitu posliinia varten erillisiä jätelavavuokria eikä hajottamiseen tai puhdistamiseen liittyviä työkustannuksia. Lisäksi myös hajottaminen/puhdistus kasvattaa työtapaturmariskiä. (Rakennuspalvelu J. Martti & Co Oy 2023.)

Täten loppupäätelmänä todettiin, että vaikka jätteet saataisiin erilliskerättyä, se ei kustannuksien puolesta toisi merkittävää taloudellista hyötyä, ainakaan tällä

hetkellä. Painopisteen ollessa vastuullisuudessa, asiaa lähestyttäisiin kuitenkin eri näkökulmasta, jolloin erilliskeräys olisi järkevää.

Posliinin erilliskeräyksen suurimmaksi haasteeksi muodostuu työmaalogistiikka keskustakohteissa, joissa ei ole tilaa järjestää erilliskeräysastioita. Työmaat, joissa on tilaa erillislavoille niin posliinijätteet erilliskerätään. Tämä mahdollisuus kasvaa tulevaisuudessa, kun sanerattavien kohteiden painopiste siirtyy keskusta-alueilta lähiöihin, joissa on tilavat piha-alueet. (Rakennuspalvelu J. Martti & Co Oy 2023.)

### 3.3 Saniteettiposliinin käsittelymahdollisuudet

Saniteettiposliinia voidaan käsitellä joko murskaamalla tai erottelulla. Murskaimien toiminta perustuu puristavaan murskaukseen. Murskaimet voidaan jakaa kahteen eri luokkaan: puristumurskaimet ja iskumurskaimet. Erilaisia puristumurskaimia ovat muun muassa leukamurskain, kartiomurskain ja karamurskain. Iskumurskaimiin kuuluvat muun muassa iskupalkkimurskain ja vasaramylly. (Penttinen 2018, 22.)

Erottelun menetelmä perustuu siihen, että syötteen materiaalit pyritään erottelemaan toisistaan niiden eri ominaisuuksien perusteella. Näitä ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi tiheys, koko, kosteus tai magneettisuus.

Viime vuosikymmenten aikana on testattu ja jalostettu monia eri erottelulaitteistoja jätehuollon tarpeisiin. Näitä erottelumenetelmiä (Penttinen 2018, 27–28) ovat muun muassa

- seulat
- tuuliseulat
- magneettierottimet
- pyörrevirtaerottimet
- optiset erottimet
- upotus/kellutusmenetelmään perustuvat erottimet
- käsin erottelu.

Taulukko 1 on laadittu Oulun rakennusvalvonnasta saatujen tietojen perusteella. Järjestelmässä on esitetty 2005–2021 välisenä aikana kaikki linjasaneerauskohteet. Oulun rakennusvalvonnalta on kerrottu, ettei WC-kalusteiden vaihto ole luvanvaraista, joten tämä tarkoittaa, että myös muiden toimenpide- sekä rakennuslupan yhteydessä on voitu vaihtaa kalusteet. Lisäksi yksityishenkilöt ovat voineet vaihtaa kalusteita omatoimisesti. (Turku AMK 2021.)

Taulukko 1. Oulun rakennusvalvonnan toimenpide- ja rakennuslupien perusteella saniteettikeramiikan laskenta ja kustannusäästö vuosien 2005–2021 aikana (Turku AMK 2021).

	kpl	Wc-istuinten arvioitu määrä per rakennus (kpl)	Wc-istuimen paino (kaikkine materiaaleineen)	Altaiden määrä per rakennus (kpl)	Altaan paino (kaikkine materiaaleineen)	Yhteensä (kg)
0112-Rivitalot (T1-Toimenpidelupa, 58-Talotekniikan muutos tai korjaus)	7	10	30	10	15	3150
0112-Rivitalot (T1-Toimenpidelupa, 4-Muu muutostyö)	17	10	30	10	15	7650
0112-Rivitalot (R1-Rakennuslupa, 4-Muu muutostyö)	2	10	30	10	15	900
0121-Asuinkerrostalot (T1-toimenpidelupa, 58-Talotekniikan muutos tai korjaus)	4	10	30	10	15	1800
0121-Asuinkerrostalot (R1-Rakennuslupa, 4-Muu muutostyö)	15	10	30	10	15	6750
0121-Asuinkerrostalot (R1-Rakennuslupa, 58-Talotekniikan muutos tai korjaus)	1	10	30	10	15	450
0121-Asuinkerrostalot (T1-toimenpidelupa, 59-Lämmitysjärjestelmän muutos)	1	10	30	10	15	450
0121-Asuinkerrostalot (R1-Rakennuslupa, 56-Perusparannus)	2	10	30	10	15	900
0121-Asuinkerrostalot (T1-Toimenpidelupa, 4-Muu muutostyö)	21	10	30	10	15	9450
0120-Pienkerrostalot (R1-Rakennuslupa, 4-Muu muutostyö)	2	10	30	10	15	900
0120-Pienkerrostalot (T1-Toimenpidelupa, 58-Talotekniikan muutos tai korjaus)	2	10	30	10	15	900
0120-Pienkerrostalot (T1-Toimenpidelupa, 4-Muu muutostyö)	1	10	30	10	15	450
0110-Omakotitalot (T1-Toimenpidelupa, 110-Maalämpö)	1	2	30	2	15	90
0110-Omakotitalot (T1-Toimenpidelupa, 4-Muu muutostyö)	1	2	30	2	15	90
1911-Talousrakennukset (T1-Toimenpidelupa, 4-Muu muutostyö)	1	2	30	2	15	90
1911-Talousrakennukset (R1-Rakennuslupa, 1-Uusi rakennus)	1	2	30	2	15	90

(jatkuu)

Taulukko 1. Oulun rakennusvalvonnan toimenpide- ja rakennuslupien perusteella saniteettikeramiikan laskenta ja kustannusäästö vuosien 2005–2021 aikana (Turku AMK 2021) (jatkuu)

0320-Hotellit (T1-Toimenpidelupa, 4-Muu muutostyö)	1	20	30	20	15	900
0400-Toimistorakennukset (T1-Toimenpidelupa, 4-Muu muutostyö)	1	10	30	10	15	450
0330-Ravintolarakennukset ja vastaavat liikerakennukset (T1-Toimenpidelupa, 4-Muu muutostyö)	1	10	30	10	15	450
<tuntematon> (T1-Toimenpidelupa, 4-Muu muutostyö)	7	10	30	10	15	3150
<tuntematon> (R1-Rakennuslupa, 4-Muu muutostyö)	35	15	30	15	15	23625
<b>Rakennuksia yhteensä</b>	<b>124</b>					<b>62685</b>

määrä vuosien 2005-2021 aikana kg

Epäpuhtaan betonijätteen kierrätys hinta on 115 €/t ja posliinijätteen 40 €/t. Laskelmien perusteella säästöä 17 vuodessa tehtäisiin 4 701 €. Tämä edellyttää, että posliinista erotellaan muut materiaalit ja hajotetaan enintään 150 mm:n kokoisiksi palasiksi, jotta jätelaitos pystyisi vastaanottamaan jätteen posliinijätteenä. (Turku AMK 2021.)

Kustannussäästö ei ole kovinkaan suuri aikaan nähden. Posliinin osuus WC-istuimesta on vähemmän kuin 91 % (Penttinen 2018, 13). Arvioidaan, että altaissa olisi saman verran posliinia kuin WC-istuimessa, jolloin saadaan posliinimääräksi 17 vuodelle 57 043 kg. Se tarkoittaa vuotta kohden keskimäärin noin 3 355 kg posliinijätettä. Määrä ei ole valtavan suuri, mutta varmasti pystyttäisiin hyödyntämään tällainen määrä posliinijätettä. Valtakunnan tasolla systemaattista tietoa ei ole siitä, miten paljon saniteettiposliinijätettä syntyy, joten tämä on suuntaa antava tieto.

### 3.4 Saniteettiposliinijätteiden käyttökohteet

Saniteettiposliinijäte menee usein rakennustyömailla rakennusjätteeseen, joka on huomattavasti kalliimpaa kuin erilliskerätty jäte. Saniteettiposliinijäte päättyy

usein kiviainesten joukossa maanrakennukseen. Maailmalla on tutkittu keramiikkajätteen hyödyntämistä asfaltissa ja tutkimus osoitti, että keraamisilla purkujäteillä on potentiaalia sen valmistuksessa. Tutkimuksen mukaan asfaltin kimmomoduuli, stabiliteetti ja tiiveys ovat normaaliin asfalttiin verrattuna huomattavasti paremmat. Lisäksi keraamista purkujätettä sisältävät näytteet olivat lämmönjohtavuudeltaan huomattavasti alhaisempia ja sen ansiosta asfaltti ei kuumene helteellä liikaa. Pelkästään saniteettiposliinijätteen hyötykäyttöä asfaltissa ei ole kuitenkaan tutkittu, mutta voidaan olettaa, että se olisi varteenotettava vaihtoehto. (Silvestrea ym. 2013.)

Suomessa esimerkiksi Tiileri hyödyntää keraamisia jätevirtoja tiilien valmistuksessa. Posliinimateriaali jauhetaan murskeeksi tiilen sekaan. Murskeilla korvataan hiekkaa ja murskeen teräväsärmäinen muoto parantaa tiilen rakennetta. Täten säästetään myös tehtaan lähellä olevaa omaa hiekkaharjua. (Rakennuslehti 2020.)

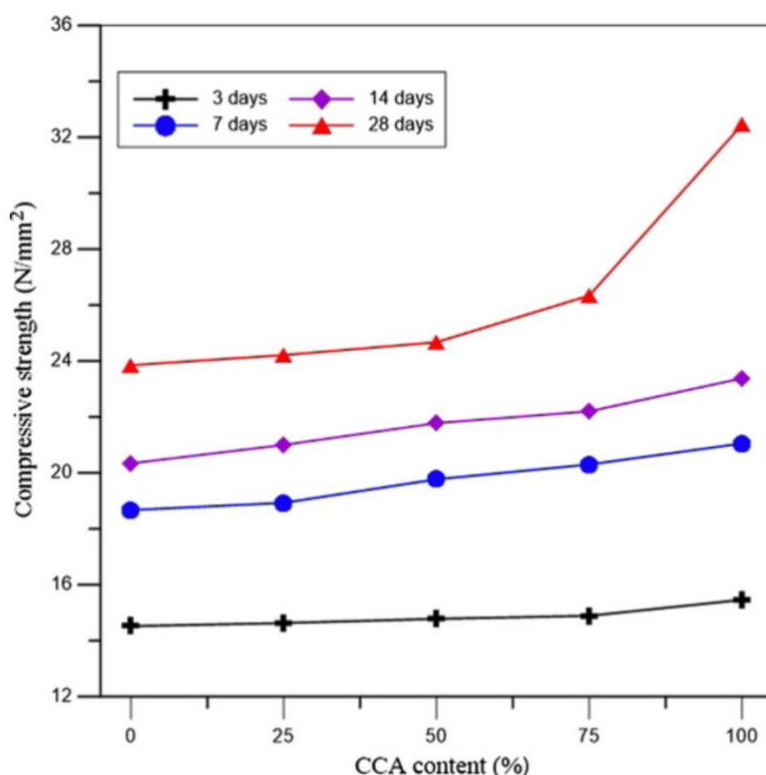
Tiileri on investoinut omaan murskauskalustoon ja se on ollut käytössä jo kymmeniä vuosia. Tiileri pyrkii hyödyntämään myös kuntien ja kaupunkien eri puolilta maata jätehuoltoyhtiöltä tulevaa kierrätysposliinia. Jäteyhtiöiden haasteena on erotella metalliosat sekä tiivisteet yhdyskuntajätteen mukana tulevista jätevirroista. Jos tässä onnistuttaisiin, pienentäisi se huomattavasti jätevirtaa. (Rakennuslehti 2020.)

#### 3.4.1 Saniteettiposliinijätteiden käyttö betoneissa

Saniteettiposliinijätettä voidaan hyödyntää sen emäksisyyden vuoksi esim. tulenkestävien muurauslaastien ja valumassojen valmistuksessa. Suomessa kiviainesta on kuitenkin sen verran paljon sekä sen hinta on edullista, joten posliinijätteen käyttö esim. betonin runkoaineena ei taloudellisesti ole kovinkaan järkevää, varsinkin kun huomioidaan materiaalin lajittelu, murkaus ja seulonta. (Topinpuisto 22.)

Tutkimusten mukaan posliinimurskalla voidaan hyvin korvata kiviainesta betonissa ilman, että pintaan jää teräviä partikkeleita. Lopputuloksena saadaan

väriykseltään vaaleampi betoni. Väriin lisäksi posliinimurskeen käyttö betonin runkoaineena vaikuttaa myös sen ominaisuuksiin vähentäen sen lämmönjohtavuutta, tiheyttä ja siten myös painoa, mutta täyttää kuitenkin halutun lujuusvaatimuksen. Puristuslujuus kehittyi jopa suuremmaksi kuin kiviaineisessa betonissa kymmenten päivien kypsyysikäällä, kuten kuvassa 1. Lisäksi vedenimukyky ja liuskeisuus on suurempi kuin tavalliseen kiviainekseen verrattuna. (Medina ym.; Topinpuisto 2022.)



Kuva 1. Esimerkki puristuslujuuden kehityksestä betonissa, joka sisälsi hienolaatuista keraamista purkujätettä (Awoyera ym. 2016).

Myös laboratoriossa tehdyt kokeet osoittivat, että betonin puristuslujuus kasvaa, kun osa sen kiviaineksestä on korvattu posliinimurskeella.

### 3.4.2 Saniteettiposliinijätteen käyttö laasteissa

Espanjassa ja Portugalissa tehtyjen tutkimusten perusteella saniteettiposliinijätteen hyödyntäminen laasteissa voisi olla toteuttamiskelpoinen vaihtoehto. Kovettuneelle laastille saatiin pienempi tiheys, mitä enemmän kiviainesta korvattiin keraamisella purkujätteellä. Täysin sama reaktio oli myös betonin valmistuksessa, jossa käytettiin saniteettiposliinimurskaa runkoaineena. Lisäksi työstettävyys laastille parani ja vedenimukyky oli suurempi. (Jiménez ym. 2013; Geraldo ym. 2021.)

## 4 Betonikokeet

### 4.1 Tutkimuksen tausta

Opinnäytetyön tutkimusosa toteutettiin Turun ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa. Tavoitteena oli tutkia betonin puristuslujuusominaisuuksia, kun osa runkomateriaalista on korvattu posliinimurskajätteellä. Betonilieriöitä valmistettiin tiivistämällä betonimassa IC kiertotiivistimellä tiettyyn tiheyteen. Puristuslujuuskokeet toteuttiin 28 vuorokauden kypsyyssiässä.

### 4.2 Saniteettiposliinkalusteiden murskaus

Posliinimateriaalia hankittiin Ekopartnerit Oy:ltä ja se sisälsi pesualtaita ja wc-istuimen vesisäiliön. Saniteettiposliinkalusteet murskattiin ja niistä irroitettiin muu materiaali. Tämän jälkeen eroteltiin puhdas ja likainen erikseen. Tämän jälkeen posliinimurska toimitettiin Nordkalkin laboratorioon murskattavaksi. Posliinimurska murskattiin kahdella leukamurskaimella haluttuun partikkelikokoon. Kuvassa 2 epäpuhdasta posliinimurskaa ja kuvassa 3 leukamurskaimella murskattua posliinia.



Kuva 2. Epäpuhdasta posliinimurskaa.



Kuva 3. Leukamursakaimella murskattua posliinia.

#### 4.3 Posliinimurskeen seulonta

Murskauksen jälkeen posliinimurska seulottiin 0–32 mm seulasarjalla ja seulontatulosten pohjalta määritettiin posliinimurksan rakeisuusjakauma (liite 2).

#### 4.4 Betonimassojen valmistus

Rakeisuuskäyrien perusteella laskettiin betonimassojen reseptit. Betonimassat valmistettiin Beckel 10 litran laboratoriosekoittimella. Taulukossa 2 on esitetty betonimassojen reseptit.

Taulukko 2. Betonimassojen reseptit.

##### 1. resepti

	kg/m <sup>3</sup>
Oivasementti	350
posliini	1053
hiekkä 8-16	702
vesi	245

##### 2. resepti

100% hiekkää korvattu posliinilla

	kg/m <sup>3</sup>
Oivasementti	350
posliini	1053
hiekkä 8-16	702
vesi	175
tavoitetiheys	2280

##### 3. resepti

50% hiekkää korvattu posliinilla

	kg/m <sup>3</sup>
Oivasementti	350
hiekkä 0-8	526
posliini	527
hiekkä 8-16	702
vesi	175
tavoitetiheys	2280

(jatkuu)

## Taulukko 3. Betonimassojen reseptit (jatkuu)

## 4. resepti

25% hiekkaa korvattu posliinilla

kg/m<sup>3</sup>

Oivasementti	350
hiekkä 0-8	789
posliini	264
hiekkä 8-16	702
vesi	175
tavoitetiheys	2280

## 5. resepti

50% hiekkaa korvattu posliinilla

kg/m<sup>3</sup>

Oivasementti	350
hiekkä 0-8	526
posliini	527
hiekkä 8-16	702
vesi	175
tavoitetiheys	2280

Ensimmäisestä betonimassasta valmistettiin neljä puristuslujuuskuutiota. Reseptien 2–5 massoista valmistettiin betonilieriöitä IC-kiertotiivistimellä, joka tiivistää maakostean betonimassan haluttuun tiheyteen. Resepteissä korvattiin raekooltaan 0–8 cm:n kokoista hiekkaa tietyllä määrällä posliinimurskalla. Reseptissä 2 massasta korvattiin hiekka kokonaan posliinimurskalla. Kolmannessa reseptissä korvattiin puolet hiekasta posliinimurskalla. Neljännessä reseptissä korvattiin 25% hiekasta posliinimurskalla ja viidennessä reseptissä korvattiin 50% hiekasta posliinimurskalla, joka oli epäpuhdasta posliinia.

## 4.4.1 IC-kiertotiivistin

Betonimassojen (2-5) valmistuksessa käytettiin IC-kiertotiivistintä (kuvat 4 ja 5). Laitteen tarkoitus on puristaa betonimassa sylinterin muotoiseksi ja tavoiteltuun tiheyteen. Muottina käytetään 100 mm halkaisijaltaan olevaa pyöreää sylinteriä. Rakeisille maa-aineksille sopii massan karkeuden ja käyttötarkoituksen mukaan

joko 100 mm tai 150 mm halkaisijaltaan olevat sylinterit. Kosteammille massoille voidaan käyttää rei'itettyä sylinteriä. (Invelop n.d.)



Kuva 4. IC kiertotiivistin.



Kuva 5. IC-testerillä puristettuja betonimassoja.

#### 4.5 Koekappaleiden puristuslujuuksien määrittäminen

Ensimmäisen reseptin kuutiot purettiin muotista yhden vuorokauden kovettumisen jälkeen ja laitettiin vesialtaaseen koestusikään asti (28 vuorokautta). Muut massat laitettiin suoraan IC-testerin puristuksen jälkeen muovilaatikoihin, joihin asetettiin kosteudenlähde. Muovilaatikot suljettiin tiivisti kannen avulla ja massojen annettiin olla siellä myös 28 vuorokautta.

28 vuorokauden lujittumisen jälkeen kappaleet hiottiin ja määritettiin niiden tiheys. Koekappaleiden mittauspaikat liitteessä 3, liitteessä 4 koekappaleiden mitat ja tiheys. Puristuslujuus määritettiin SFS-EN 12390-3 standardin mukaan ja sen määrittämiseen käytettiin ELE ADR-Auto Range -hydrauliikkapuristinta (kuva 6). Hydrauliikkapuristin antaa betonin maksimimurtokuorman (kN) ja puristuslujuuden (MPa). Puristuksien jälkeen kirjattiin tulokset ylös ja valokuvattiin kappaleet (kuva 7). (Liite 4.)



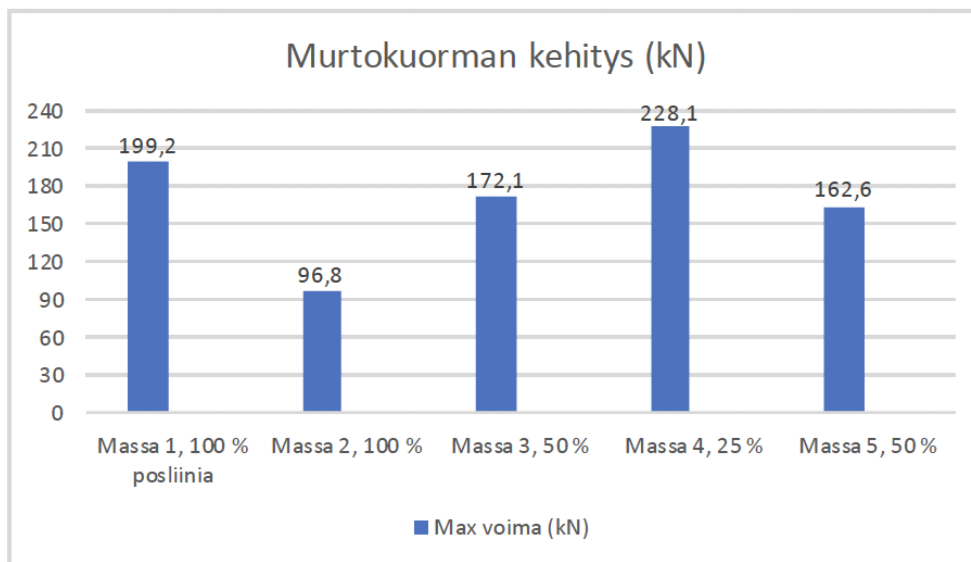
Kuva 6. ELE ADR-Auto Range hydrauliiikkapuristin.



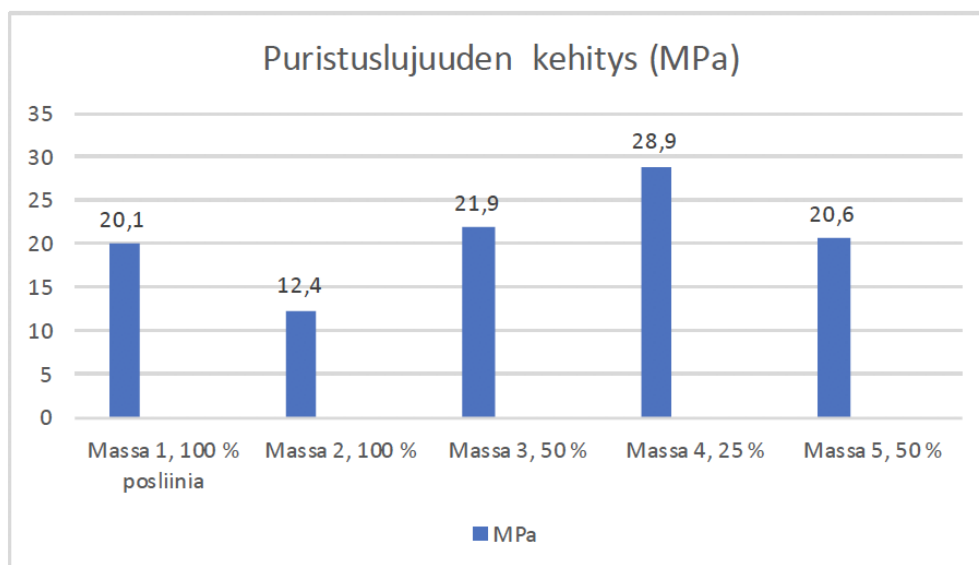
Kuva 7. Hydrauliiikkapuristimella puristettuja kappaleita.

## 5 BETONIKOKEIDEN TULOSTEN TARKASTELU

Kuvissa 8 ja 9 on esitetty betonimassojen puristuslujuustulokset 28 päivän kypsyysässä.



Kuva 8. Betonilieriöiden puristusvoima (kN) 28 d kypsyysässä.



Kuva 9. Betonilieriöiden puristuslujuus (MPa) 28 d kypsyysässä.

Tehtyjen kokeiden perusteella voidaan todeta, että neljäs massa, jossa betonin 0-8 millimetrin kiviaines korvattiin 25-prosenttisesti posliinimurskeella, murtokuorma (kN) ja puristuslujuus (MPa) oli paras. Heikoiten suoriutui toinen (2) massa jossa oli korvattu 0-8 millimetrin kokoinen hiekka kokonaan posliinimurskeella. Viidennes massa, jossa kiviaines korvattiin epäpuhtaalla posliinimurskeella suoriutui hiukan heikommin kuin kolmas massa, jossa oli korvattu sama määrä kiviainesta puhtaalla posliinimurskeella.

## 6 PÄÄTELMÄT

Rakennuspalvelu J. Martti & Co Oy:ltä saadun laskelman mukaan yrityksessä syntyy saniteettiposliinijätettä 37 950 kg vuodessa (Rakennuspalvelu J. Martti & Co Oy 2023). Kustannusäästöä kertyisi 2 846 €, mikäli jäte kierrätettäisiin puhtaana posliinijätteenä. Huomioitavaa tässä on myös se, että työtunteja kertyisi posliinikalusteiden putsamiseen ja se lisäisi myös tapaturmariskiä. Lisäksi työmaille tarvittaisiin lisää jätelavoja, jotka vievät arvokasta rajallista tilaa erityisesti ahtailla työmaille. Jätelavojen kuljetuksista ja tyhjennyksistä saattaisi myös koitua logistisia ongelmia.

Oulun rakennusvalvonnasta saatiin 2005–2021 väliseltä ajalta tieto, jossa kävi ilmi linjasaneerauskohteissa syntyneet saniteettiposliinijättemäärät. Laskelman perusteella 17 vuodessa saniteettiposliinijätettä syntyy 57 043 kg, mikä tarkoittaa 3 355 kg vuodessa. (Turku AMK 2021.) 17 vuodessa säästöä tehtäisiin 4 701 €, mikäli jäte toimitettaisiin puhtaana posliinijätteenä epäpuhtaan jätteen sijasta. Syntyneen jätteen määrä ei ole kovin suuri, mutta varmasti tällainen määrä pystyttäisiin hyödyntämään. Tämä on suuntaa antava tieto, koska valtakunnallisesti ei ole systemaattista tietoa syntyvistä saniteettiposliinijättemääristä.

Edelliset esimerkit havainnolistavat, että kustannusäästöt ovat pienet, minkä takia saniteettiposliinijätteet saatetaan kierrättää muun rakennusjätteen seassa. Painopisteen ollessa vastuullisuudessa asiaa lähestyttäisiin toisesta näkökulmasta, jolloin olisi suotavaa kierrättää saniteettiposliini posliinijätteenä.

Suomessa posliinijätettä on hyödynnetty tiilien valmistuksessa. Saniteettiposliinimurskeella korvataan hiekkaa ja murskeen muoto parantaa tiilen rakennetta. (Rakennuslehti 2020). Suomessa kiviainesta on kuitenkin sen verran paljon, että posliinijätteen käyttö esim. betonin runkoaineena ei taloudellisesti ole kovinkaan järkevää, kun otetaan huomioon materiaalin lajittelu, murskaus ja seulonta (Topinpuisto 22). Kun osa betonin kiviaineksesta on korvattu posliinimurskeella saadaan parannettua betonin ominaisuuksia, kuten

lämmönjohtavuutta, tiheyttä, painoa, lujuutta, vedenimikykyä ja liuskeisuutta (Medina ym. 2012).

Rakennuslaboratoriossa tehty tutkimus osoitti, että saniteettiposliinimurskeella voidaan korvata betonin 0–8 mm:n kiviaines ja saavuttaa paremmat lujuusominaisuudet 28 vuorokauden kypsyysikäällä. Kun betonissa käytettyä kiviainesta korvattiin enemmän kuin 25 %, betonin lujuusominaisuudet heikkenivät.

## LÄHTEET

Awoyera P. O.; Ndambuki J. M.; Akinmusuru, J. O. & Omole, D. O. 2016. Characterization of ceramic waste aggregate concrete. Viitattu 7.12.2022. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1016/j.hbrcj.2016.11.003>

Christensen, T. H. 2011. Solid Waste Technology & Management. John Willey & Sons. Viitattu 17.4.2023. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/turkuamk-ebooks/reader.action?docID=624741&query=,%20EBook%20Central>.

10.04.2018. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/turkuamk-ebooks/reader.action?docID=624741&query=,%20EBook%20Central>, EBook Central.

Dirketiivit. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta. Viitattu 17.4.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=IT>

Jätelaki 17.6.2011/646. Saatavissa. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646#L6P46>

Invelop. Tuotteet ja palvelut. Betonimassat ja rakeiset maa-ainkeset. Viitattu 25.3.2023. <https://www.invelop.fi/tuotteet-ja-palvelut/>

Jiménez, J.R.; Ayuso, J.; López, M.; Fernández, J.M. & de Brito, J. 2013. Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. Construction and building materials. Viitattu 7.12.2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006181200863X>

Kemia media. Posliinin resepti. Viitattu 17.4.2023. [https://www.kemiamedia.fi/wp-content/uploads/2013/09/Venalainen\\_posliini\\_on\\_aikansa\\_peili\\_Kemia-lehti\\_02.09.13.pdf](https://www.kemiamedia.fi/wp-content/uploads/2013/09/Venalainen_posliini_on_aikansa_peili_Kemia-lehti_02.09.13.pdf)

Kiwa. CE-merkintä rakennustuotteille. Viitattu 29.3.2023. [https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelumme2/sertifiointi-arviointi-ja-todentaminen/ce-merkinta-rakennustuotteille/?gclid=EAlaIQobChMI25WI3lyB\\_gIVMwWiAx2rHgVtEAAYASAAEgKqTvD\\_BwE](https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelumme2/sertifiointi-arviointi-ja-todentaminen/ce-merkinta-rakennustuotteille/?gclid=EAlaIQobChMI25WI3lyB_gIVMwWiAx2rHgVtEAAYASAAEgKqTvD_BwE)

Medina, C.; Sánchez de Rojas, M. & Frías, M. 2012. Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes. Cement Concrete Composites. Viitattu 7.12.2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946511001569>

Outi Les Pyy. Kierrätystä vai uudelleenkäyttöä? Viitattu 17.4.2023. <https://outilespyy.com/kierratys-uudelleenkaytto-uusiokaytto-termi/>

Peltonen, R. 2022. KERPUR-työpaja. PowerPoint esitys. Viitattu 7.12.2022.

Penttinen, J. 2018. Saniteettiposliinin käsittelymahdollisuudet. Opinnäytetyö. Kestävän kehityksen koulutusohjelma. Viitattu 5.12.2022. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/151426/Opinnaytetyo\\_JannePenttinen.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/151426/Opinnaytetyo_JannePenttinen.pdf?sequence=1).

Rakennuslehti 2014. Näin syntyy wc-istuin. Viitattu 3.2.2022. <https://www.rakennuslehti.fi/avainsanat/saniteettiposliini/>

Rakennuslehti 2020. Kiertotalous vauhdittamaan tuotekehitystä. Viitattu 22.11.2022. <https://www.rakennuslehti.fi/2020/11/kiertotalous-vauhdittamaan-tuotekehitysta/>.

Rakennuspalvelu J. Martti & Co Oy 2023. Vaativien kohteiden rakennusliike Turusta. Viitattu 24.3.2023. <https://www.jmartti.fi/>

Rodrigo, H.; Geraldo, L.; Frenandes, F.R. & Camarini, G. 2021. Mechanical properties of porcelain waste alkali-activated mortar. Open Ceramics. Viitattu 8.12.2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666539521001309>

Silvestrea, R.; Medela, E.; García, A. & Navasb, J. 2013. Using ceramic wastes from tile industry as a partial substitute of natural aggregates in hot mix asphalt binder courses. Construction and building materials. Viitattu 8.12.2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061813002687>

Suomen ensimmäiset vesikäymälät eli vesiklosetit. Forsius, A. n.d. Viitattu 3.12.2022 <http://www.saunalahti.fi/arnoldus/suomenwc.htm>.

Tiitinen, O. & Rantalainen, M. 2022. Saniteettiposliinimäärän laskenta. Excel-tiedosto. Viitattu 7.12.2022.

Topinpuisto 2022. Keraamit kiertoon. Viitattu 7.12.2022. <https://www.topinpuisto.fi/puheenvuoro/keraamit-kiertoon/>

Turku AMK 2021. KERPUR – Keraaminen purkujäte kiertotaloudessa. Viitattu 22.11.2022. <https://www.turkuamk.fi/fi/tutkimus-kehitys-ja-innovaatiot/hae-projekteja/kerpur-keraaminen-purkujate-kiertotaloudessa/>.

Turku Business Region n.d. Hankkeet. KERPUR – Keraaminen purkujäte kiertotaloudessa (React EAKR). Viitattu 1.12.2022.

<https://turkubusinessregion.com/hankkeet/kerpur-keraminen-purkujatekieroutaloudessa-react-eakr/>.

## Rakennuspalvelu J.Martti & Co Oy:n laskelma vuosivolyymista syntyvistä saniteettiposliinijätteistä

### Rakennuspalvelu J.Martti & Co Oy

Saniteettipurkujätteet / linjasaneeraustyömaat

kylpyhuoneita vuodessa		550 kpl
erillis wc-tiloja vuodessa		275 kpl
	yht.	825 kpl
posliiniallas, paino		15 kg
wc-istuin, paino		31 kg
	yht.	46 kg
painoa yhteensä		37 950 kg
	yht.	37,95 t

### Kustannukset jätelajeittain:

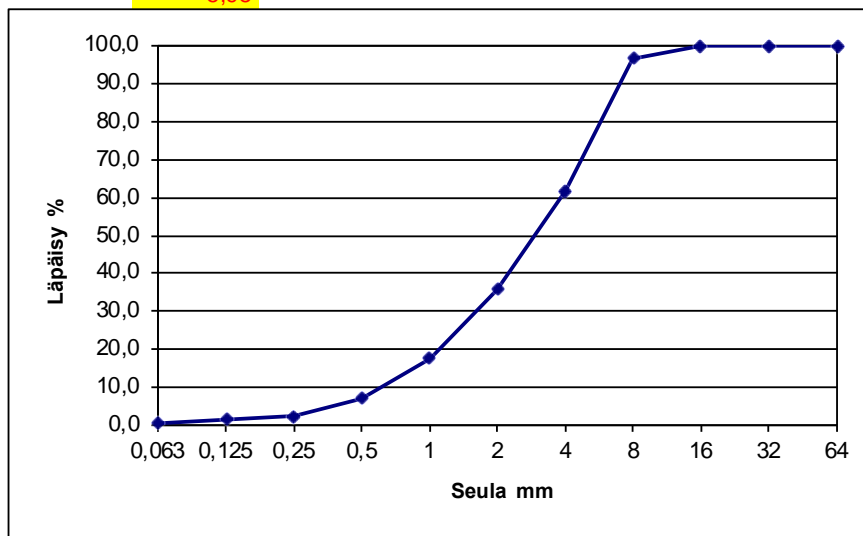
betonijäte, epäpuhdas	4364 €	hinnastohinta 115€/t
posliini, puhdas, <150 mm	1518 €	40€/t
kustannussäästö vuodessa	2846 €	

## Seulonnat

### Seulonta

Tunnus: Näyte 1  
Pvm: 26.1.2023  
Näyte g 1000

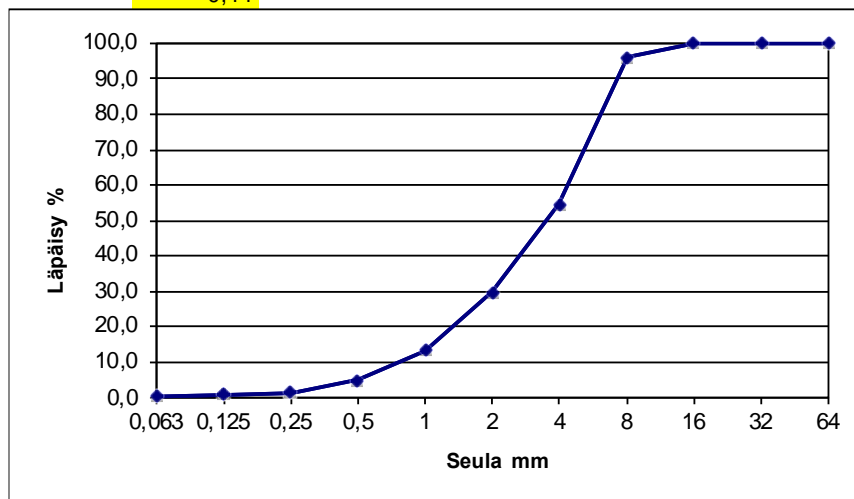
Seula mm#	Jäänyt g	Jäänyt %	Läpäisyarvo %
pohja	4,6	0,5	
0,063	9,9	1,1	0,5
0,125	7,8	0,8	1,5
0,25	43,8	4,7	2,4
0,5	99,4	10,6	7,0
1	171,2	18,2	17,6
2	243,7	25,9	35,8
4	328,9	35,0	61,7
8	30,9	3,3	96,7
16	0	0,0	100
32	0	0,0	100
64	0	0,0	100
yht.	940,2	100	523
	5,98		



**Seulonta**

Tunnus: Näyte 2  
Pvm: 26.1.2023  
Näyte g 1000

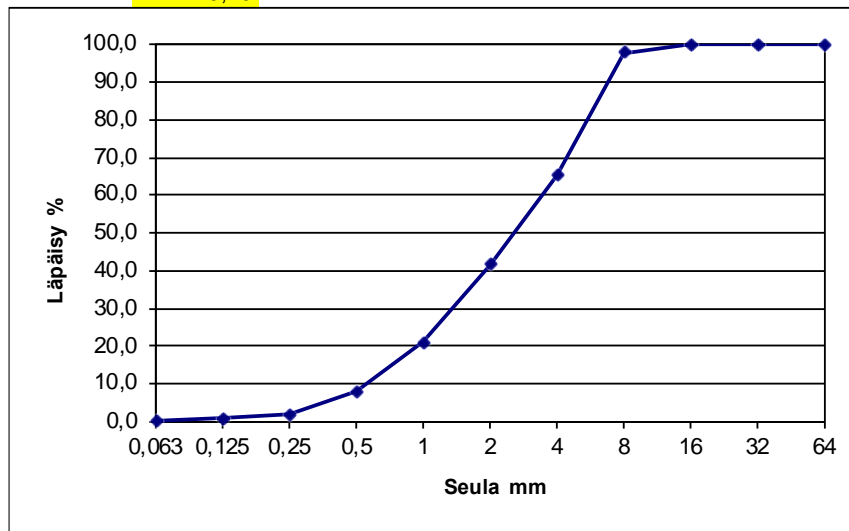
Seula mm#	Jäänyt g	Jäänyt %	Läpäisyarvo %
pohja	3,3	0,3	
0,063	7	0,7	0,3
0,125	5,4	0,5	1,0
0,25	33,2	3,3	1,6
0,5	84,5	8,5	4,9
1	164	16,5	13,4
2	246	24,7	29,9
4	412,8	41,5	54,6
8	39,4	4,0	96,0
16	0	0,0	100
32	0	0,0	100
64	0	0,0	100
yht.	995,6	100	501
	0,44		



**Seulonta**

Tunnus: Näyte 3  
Pvm: 26.1.2023  
Näyte g 1000

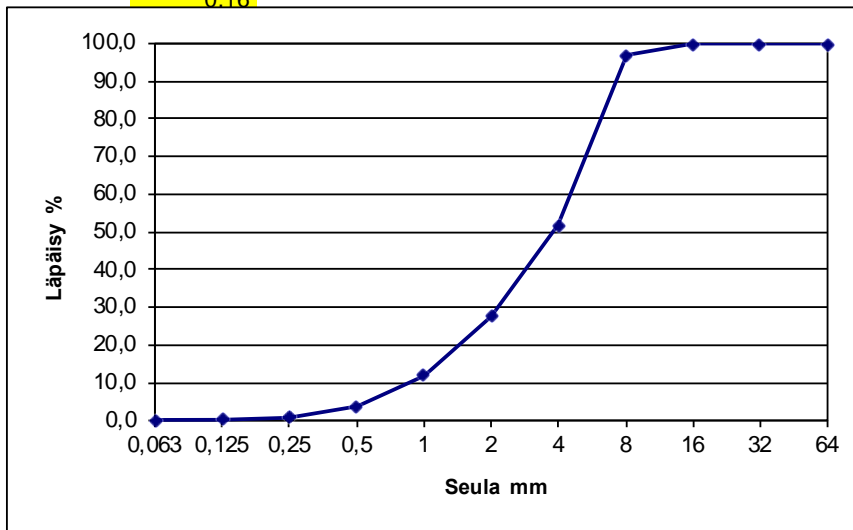
Seula mm#	Jäänyt g	Jäänyt %	Läpäisyarvo %
pohja	2,8	0,3	
0,063	5,8	0,6	0,3
0,125	11,6	1,2	0,9
0,25	59,8	6,0	2,0
0,5	129,7	13,0	8,0
1	205,4	20,6	21,1
2	236,7	23,8	41,7
4	322,2	32,3	65,4
8	22	2,2	97,8
16	0	0,0	100
32	0	0,0	100
64	0	0,0	100
yht.	996	100	537
	0,40		



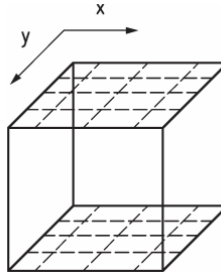
## Seulonta

Tunnus: Näyte 4  
Pvm: 26.1.2023  
Näyte g 1000

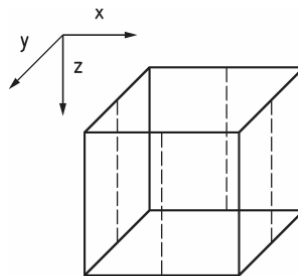
Seula mm#	Jäänyt g	Jäänyt %	Läpäisyarvo %
pohja	1,7	0,2	
0,063	2,3	0,2	0,2
0,125	4,3	0,4	0,4
0,25	29,1	2,9	0,8
0,5	81,4	8,2	3,7
1	158,9	15,9	11,9
2	238	23,8	27,8
4	450,7	45,1	51,7
8	32	3,2	96,8
16	0	0,0	100
32	0	0,0	100
64	0	0,0	100
yht.	998,4	100	493
	0,16		



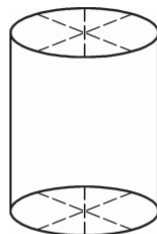
## Koekappaleiden mittauspaikat



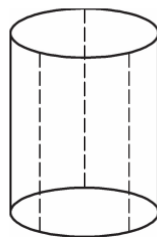
**Figure B.1 Dotted lines showing measuring positions for the loading faces of cubes**



**Figure B.2 Dotted lines showing measuring positions for the non-loaded faces of cubes**



**Figure B.3 Dotted lines showing the measuring positions for the ends of a cylinder**



**Figure B.4 Dotted lines showing the measuring positions for the height of a cylinder**

## Koekappaleiden mitat, tiheydet ja lujuusominaisuudet

Massa 1

Koekappaleen tunnus	Korkeus, mm	Leveys, mm	Pituus, mm	Tiheys kg/m <sup>3</sup>	Murtokuorma, kN	Puristuslujuus, MPa
1	100	99,6	99,6	2150,0	182,5	18,4
2	100,2	99,6	99,6	2192,6	216,5	21,8
3	98,7	99,6	99,5	2147,0	186,9	18,9
4	99,3	99,6	99,5	2183,8	210,9	21,3
keskiarvo					199,2	20,1
keskihajonta					17,0	1,7

Massa 2

Koekappaleen tunnus	Halkaisija, mm	Korkeus, mm	Tiheys kg/m <sup>3</sup>	Murtokuorma, kN	Puristuslujuus, MPa
1	99,8	104,4	2194,2	97,4	12,5
2	100,1	104,5	2182,0	92,6	11,8
3	100	105,2	2164,6	99,9	12,7
4	100,2	106,6	2157,7	93,5	11,9
5	99,2	104,3	2223,5	96,1	12,4
6	99,9	104,1	2193,7	101,0	12,9
keskiarvo				96,8	12,4
keskihajonta				3,4	0,4

Massa 3

Koekappaleen tunnus	Halkaisija, mm	Korkeus, mm	Tiheys kg/m <sup>3</sup>	Murtokuorma, kN	Puristuslujuus, MPa
1	99,5	94,4	2427,2	175,9	22,6
2	100,0	94,5	2398,8	161,4	20,6
3	100,3	94,8	2390,5	177,9	22,5
4	100,1	95,0	2383,6	186,0	23,6
5	100,0	95,6	2372,8	159,5	20,3
keskiarvo				172,1	21,9
keskihajonta				11,3	1,4

## Massa 4

Koekappaleen tunnus	Halkaisija, mm	Korkeus, mm	Tiheys kg/m <sup>3</sup>	Murtokuorma, kN	Puristuslujuus, MPa
1	100,1	93,1	2401,1	208,8	26,6
2	100,0	92,8	2420,0	233,3	29,7
3	100,3	98,1	2490,5	248,1	31,4
4	100,3	92,7	2395,4	222,0	28,1
keskiarvo				228,1	28,9
keskihajonta				16,7	2,1

## Massa 5

Koekappaleen tunnus	Halkaisija, mm	Korkeus, mm	Tiheys kg/m <sup>3</sup>	Murtokuorma, kN	Puristuslujuus, MPa
1	100,7	94,0	2349,3	147,4	18,5
2	100,2	94,2	2372,5	183,0	23,2
3	100,6	94,5	2354,0	155,2	19,5
4	100,0	95,9	2397,9	164,9	21,0
keskiarvo				162,6	20,6
keskihajonta				15,4	2,0