

Suomen ympäristökeskuksen raportteja 3 | 2024

Keraamisen laatta- ja saniteettiposliinipurkujätteen hyödyntäminen

Jaakko Karvonen, Jan-Erik Eriksson, Thomas Kronberg,
Maarit Järvinen, Liisa Larkela, Eevaleena Häkkinen,
Anne Holma, Mitja Hokkanen, Johanna Niemistö

Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute

Suomen ympäristökeskuksen raportteja 3 | 2024

Keraamisen laatta- ja saniteettiposliinipurkujätteen hyödyntäminen

Jaakko Karvonen, Jan-Erik Eriksson, Thomas Kronberg, Maarit Järvinen, Liisa Larkela, Eevaleena Häkkinen, Anne Holma, Mitja Hokkanen, Johanna Niemistö

Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

Varsinais-Suomen liitto

Uudenmaan liitto
Nylands förbund

Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute

Suomen ympäristökeskuksen raportteja 3 | 2024

Suomen ympäristökeskus
Kiertotalousratkaisut

Kirjoittajat: Jaakko Karvonen [1)], Jan-Erik Eriksson [2)], Thomas Kronberg [2)], Maarit Järvinen [3)], Liisa Larkela [3)], Eevaleena Häkkinen [1)], Anne Holma [1)], Mitja Hokkanen [3)], Johanna Niemistö [1)]
[1)] Suomen ympäristökeskus
[2)] Åbo Akademi
[3)] Turun ammattikorkeakoulu

Vastaava erikoistoimittaja: Petrus Kautto

Rahoittaja/toimeksiantaja: Suomen rakennerahasto-ohjelma Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020, Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR) REACT-EU-välineen määrärahoista

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (Syke)
Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Juha Saarinen

Kannen kuva: Adobe Stock

Julkaisu on saatavana veloituksetta internetistä: syke.fi/julkaisut | helda.helsinki.fi/syke

ISBN978-952-11-5643-4 (PDF)
ISSN 1796-1726 (verkkoj.)

Julkaisuvuosi: 2024

Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020 | Euroopan unioni | Varsinais-Suomen liitto | Uudenmaan liitto | Turku Science Park | Turku AMK | Åbo Akademi University

Tiivistelmä

Keraamisen laatta- ja saniteettiposliinipurkujätteen hyödyntäminen

Rakentaminen ja purkaminen tuotti vuosina 2018–2020 Suomessa vuosittain 13–16 miljoonaa tonnia jätteitä. Karkeasti 90 % siitä on maa-aineksia ja noin 1–1,5 miljoonaa tonnia luokitellaan tavanomaisiin mineraalijätteisiin. Mineraalijätteistä suurin osa on betonia, mutta niihin lukeutuvat myös esimerkiksi keraamiset laatat ja saniteettiposliini, joiden määrän arvioidaan korjausrakentamisen perusteella olleen 30 000 t ja 6 200 t vuosittain.

Tässä raportissa käsitellään keraamisten laatta- ja posliinipurkujätteiden keräystä ja esikäsittelyä, sekä kierrätysmahdollisuuksia. Tavoitteena oli osoittaa kyseisille jätteille korkeamman jalostusasteen ja –arvon käyttökohteita pilottituotteita valmistamalla ja tukea näin yrityksiä siirtymään pilottikokeiluista kohti laajamittaisempaa keraamien kierrätystä.

Selvityksessä löydettiin useita mahdollisia keraamisen purkujätteen käyttötapoja, kuten betoni- ja laastituotteet, maarakenteet, maasuodattimet sekä erilaiset tulenkestävät tuotteet. Näissä tuotteissa luonnon kiviainesta, samottia, sementtiä tai muuta varta vasten valmistettua ainesta voidaan korvata osin tai kokonaan keraamimurskeella. Keraamimurskejauheesta voidaan valmistaa myös geopolymeereja.

Pilotoitujen tuotteiden osalta arvioitiin hyödyntämisen hiilijalanjälkeä/ilmastovaikutusta, maankäyttöä ja energiankulutusta koko tuotantoketjujen osalta. Lisäksi tarkasteltiin pilottitarkasteluun valittuihin materiaaleihin liittyvää kansallista ja EU:n jätelainsäädäntöä ja koottiin lainsäädännön keskeiset vaatimukset, jotka on huomioitava kierrätettäessä jätteitä uusiksi tuotteiksi.

Keraamisten purkumateriaalien kierrättämisellä on mahdollista saavuttaa hyötyjä niin ilmastovaikutusten, energiankulutuksen kuin maankäytönkin osalta, kunhan keskitytään korvaamaan päästöintensiivisiä ensiömateriaaleja. Materiaalin saatavuus kierrätykseen kustannustehokkaasti ja riittävän puhtaana, monimutkaiseksi koettu lainsäädäntö ja jätemateriaalien käyttöä tietyissä rakennustuotteissa rajoittavat tuotestandardit ovat kierrätystä vähentäviä haasteita, joihin on löydettävä ratkaisut. Myös uusia käyttökohteita pitäisi yhä etsiä ja useammille eri keraamimateriaaleille.

Tämä raportti on kirjoitettu Keraaminen purkujäte kiertotaloudessa – KERPUR-hankkeessa. Hankkeen toteutusaika oli 01.09.2021 - 31.08.2023. Hanke rahoitettiin REACT-EU rahoitusvälineellä osana Suomen rakennerahasto-ohjelmaa Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 (EAKR). Hankepartnerit olivat: Åbo Akademi, Turun ammattikorkeakoulu, Suomen ympäristökeskus ja Turku Science Park Oy (koordinaattori).

Asiasanat: Keraami, purkujäte, kierrätys, lainsäädäntö, ympäristövaikutukset, LCA

Sammandrag

Återvinning av keramiska plattor och sanitetsporslin

Under åren 2018–2020 producerade byggnation och rivning 13–16 miljoner ton avfall årligen i Finland. Ungefär 90 % av avfallet är jord och cirka 1–1,5 miljoner ton kan klassas som normalt mineralavfall. Merparten av mineralavfallet är betong, men det omfattar även keramiska plattor och sanitetsporslin. På basen av renoveringsdata, beräknas mängden årligen vara ca 30 000 ton respektive 6 200 ton.

Denna rapport omfattar insamling, förbehandling samt olika återvinningsmöjligheter för keramiska plattor och sanitetsporslin. Målet var att hitta användningsområden med en hög förädlingsgrad och -värde genom att tillverka pilotprodukter och på så sätt stödja företag att gå från små pilotförsök till en mer omfattande återvinning av keramiskt avfall.

Undersökningen fann flera möjliga användningsområden för keramiskt avfall, såsom betong- och murbruksprodukter, markkonstruktioner, markfilter samt olika eldfasta produkter. I dessa produkter kan natursten, chamotte, cement eller annat specialtillverkat material delvis eller helt ersättas med keramiskt material. Geopolymerer kan också tillverkas av finkrossat keramiskt pulver.

För de pilotprodukterna utvärderades koldioxidavtryck/klimatpåverkan, markanvändningstryck och energiförbrukning för hela produktionskedjan. Dessutom undersöktes hur den nationella och EU:s avfallslagstiftning inverkade på de undersökta materialen. Dessutom gjordes en sammanfattning av de viktigaste lagstiftningskrav, som måste beaktas vid återvinning av avfall till nya produkter.

Genom att återvinna keramiskt rivningsmaterial är det möjligt att uppnå fördelar inom klimateffekt, energiförbrukning och markanvändningstryck, så länge som det primära material som ska ersättas är tillräckligt utsläppsintensiva. Utmaningar som begränsar användningen av avfall i byggprodukter är kostnadseffektiv tillgång till materialet, renhet, lagstiftning som upplevs som komplex och olika produktstandarder. Dessa utmaningar kan göra återvinningen svår och lösningar måste hittas. Dessutom måste också helt nya tillämpningar fortfarande hittas för de olika keramiska materialen.

Denna rapport skrevs inom projektet ”KERPUR – Keraaminen purkujäte kiertotaloudessa”. Genomförandeperioden för projektet var 01.09.2021 - 31.08.2023. Projektet finansierades med det finansiella instrumentet REACT-EU som en del av det finska strukturfondsprogrammet Hållbar tillväxt och arbete 2014–2020 (ERUF). Projektpartners: Åbo Akademi, Åbo yrkeshögskola, Finlands miljöcentral och Turku Science Park Oy (koordinator).

Nyckelord: Keramer, rivningsavfall, återvinning, lagstiftning, miljökonsekvenser, LCA

Abstract

Recycling of ceramic tile and sanitaryware demolition waste

In 2018-2020, Finland's construction and demolition sector generated 13-16 million tons of waste annually. Roughly 90 % of the mass was soil and dredging waste, leaving some 1-1,5 tons of waste categorized as general mineral waste. Of the mineral waste the majority consists of concrete, but it also includes sanitaryware and ceramic tiles. Based on renovation data, the annual quantity of waste tile and sanitaryware was assessed to be some 30 000 and 6 000 tons, respectively.

This report discusses the collection, pre-treatment, and recycling of ceramic tile and sanitaryware waste. The aim was to determine potential higher added value uses for these wastes by producing pilot products, thus, supporting companies engage in the further utilization of recycled ceramics.

The project identified several ways to utilize ceramic demolition waste, including concrete and mortar, soil structure, ground filter, and various refractory products. In these products, sand, gravel, clay, cement, and chamotte, or other dedicatedly produced substance or material can be replaced partly or fully with ceramic waste. Ceramic waste powder may also be used to produce geopolymers.

The environmental impacts of the piloted products were assessed, including their carbon footprint/climate impacts, land use and energy use, throughout their production chains. In addition, the national and EU legislation relevant to the materials selected for the pilot products was evaluated, and the key provisions that must be considered when wastes are recycled into new products, were compiled.

The recycling of ceramic wastes can result in benefits in the areas of climate impacts, energy consumption and land use pressures if the virgin materials to be replaced are sufficiently emission intensive.

The bottlenecks reducing the utilization of recycled demolition waste ceramics that need to be resolved include how the material can be obtained for recycling in a cost-effective manner and in sufficiently clean form, the complexity of the relevant legislation, and the product standards that restrict the use of waste materials in certain construction products. New uses must also be established for these recycled materials and for a growing number of ceramic materials.

This report is written as part of the Ceramic Demolition Waste in Circular Economy (KERPUR) project, funded by the European Union from REACT-EU. The project period ran from 1 September 2021 to 31 August 2023. The project partners were Åbo Akademi, the Turku University of Applied Sciences, the Finnish Environment Institute and Turku Science Park (coordinator).

Keywords: Ceramics, demolition waste, recycling, legislation, environmental impacts, LCA

Suomen ympäristökeskuksen raportteja 3 | 2024

Keraamisen laatta- ja saniteettiposliinipurkujätteen hyödyntäminen

Jaakko Karvonen, Jan-Erik Eriksson, Thomas Kronberg,
Maarit Järvinen, Liisa Larkela, Eevaleena Häkkinen,
Anne Holma, Mitja Hokkanen, Johanna Niemistö

Tämän raportin ydinviestit:

- **Purkamisessa syntyy paljon keraamista jätettä, jota kierrätetään tällä hetkellä vähän tai ei lainkaan.**
- **Keraamisen purkujätteen kierrättäminen on teknisesti mahdollista ja keraamijätteen kierrättämisellä voidaan saavuttaa tiettyjä ympäristöhyötyjä.**
- **Jätemateriaalin hyödyntämistä ja siitä valmistettuja uusiotuotteita koskevat usean eri alan säädökset ja mahdolliset tuotestandardit.**
- **Lainsäädännön ja tuotestandardien muodostama sääntely on kokonaisuus, joka voi myös hidastaa tai estää uusien kierrätysmateriaalia sisältävien tuotteiden pääsyn markkinoille.**
- **Purkujätteen kierrättämiseen liittyy teknisiä ja taloudellisia kysymyksiä, jotka tulee ratkaista aidosti tehokkaan kierrättämisen mahdollistamiseksi.**
- **Keraamisen kierrätysjätteen uusiokäyttökohteita tunnistettiin laajasti, mutta lisätutkimuksia tarvitaan vielä tuotteistamista varten.**

Esipuhe

Kiertotaloutta tulee edistää jokaisella sektorilla, jotta materiaalien hyödyntämisastetta voidaan lisätä, luonnonvarojen käyttöä vähentää ja jätteen loppusijoittamista minimoida. Yksi heikosti hyödynnetty jätejae on rakentamisessa ja purkamisessa muodostuvat saniteettiposliini- ja laattajäte, joita syntyy yhteensä arviolta joitakin kymmeniätuhansia tonneja vuodessa Suomessa.

Keraaminen purkujäte kiertotaloudessa (KERPUR) -hankkeessa etsittiin tapoja kierrättää keraamista laatta- ja saniteettiposliinijätettä, ja muutamia potentiaalisia pilottituotteita saatiin tuotettua. Tämä raportti osoittaa näiden jätejakeiden olevan kierrätettävissä oleva resurssi, kunhan vain tiettyjä haasteita ja esteitä pystytään ratkomaan ja purkamaan. Työ keraamisten materiaalien kiertotalouden parissa vaatii vielä koko kierrätysketjun kehittämistä aina purkutyöstä alkaen uusien tuotteiden kehittämiseen ja kulutukseen asti. Lisää tutkimusta tarvitaan, jotta parhaat mahdolliset vaihtoehdot löydetään, mutta tämän raportin pohjalta työtä on helppo jatkaa eteenpäin.

Turku Science Park koordinoi KERPUR-hanketta ja hankekumppaneina toimivat Suomen ympäristökeskus Syke, Turun ammattikorkeakoulu ja Åbo Akademi. Hanke toteutettiin 1.9.2021-31.8.2023 välillä. Hanketta rahoitti Uudenmaan liitto EU:n REACT-EU rahoitusinstrumentista.

Haluamme kiittää Uudenmaan liittoa hankkeen rahoittamisesta. Ilman tätä rahoitusta hanketta ei olisi voitu toteuttaa. Lisäksi kiitämme hankkeen ohjausryhmää ohjauksesta ja tuesta hankkeen aikana. Lopuksi kiitämme vielä kaikkia hankkeen työhön ja tilaisuuksiin osallistuneita ja kirjoittajia tukeneita toimijoita, joilta saimme arvokasta tietoa ensikäden tietoa ja apua hankkeen toteutuksessa.

Joensuussa, Helsingissä ja Turussa, 18.3.2024
Raportin kirjoittajat

Sisällys

Tiivistelmä ... 3
Sammandrag ... 4
Abstract ... 5
Esipuhe ... 7

1 Johdanto ... 10

1.1 Kiertotalous ja sen tavoitteet Suomessa ja EU:ssa ... 10
1.2 Materiaalin kulutus on Suomessa korkealla tasolla ... 11
1.3 Kiertotalous osana vähähiilisyyden toteutumista rakennusalalla ... 12

2 Keraamien valmistus, ominaisuudet ja kierrättäminen ... 14

2.1 Keramiikan valmistus ja ominaisuudet ... 14
2.2 Keraamisten laattojen ja saniteettiposliinin tuotantomäärät ... 16
2.3 Keraamien ympäristövaikutukset ... 16
2.4 Keraamisten materiaalien raaka-ainehankinta aiheuttaa luontohaittoja ... 17
2.5 Keramiikkajätteen aiemmin tutkitut hyötykohteet ... 18
2.6 Keraamien purku ja kierrättäminen ... 18

3 Keraamien kierrätystä sääntelevä jätelainsäädäntö ... 21

3.1 Jätedirektiivin yleiset jätehuoltoa koskevat periaatteet ... 21
3.2 Keraamisia rakennus- ja purkujätteitä koskevat hyödyntämistavoitteet ja erilliskeräysvelvoitteet ... 22
3.3 Keraamisen jätteen käsittelyn luvanvaraisuus ja siitä poikkeaminen ... 23
3.4 Jäteperäisten materiaalien tuotteistaminen ... 24

3.4.1 Jätedirektiivin tuotteistamismenettelyt ... 24
3.4.2 Jätteeksi luokittelun päättyminen ... 24
3.4.3 EEJ-materiaaleja koskeva sääntely ... 27

3.5 Kemikaalilainsäädännön velvoitteita ... 28
3.6 Rakennustuotesäännökset ... 30

4 Tutkimustulokset (laboratorio/pilotointi) ... 32

4.1 Keräys ja lajittelu ... 34
4.2 Murskaus, jauhatus ja erottelu ... 36

4.2.1 Erottelu ... 37
4.2.2 Murskauspilotit– Recikla Oy ja Purkupiha ... 38

5 Tutkitut käyttökohteet ... 42

5.1 Rakennusmateriaalit ... 42

5.1.1 Betoni ja betonituotteet ... 42
5.1.2 Laasti ... 44

5.1.3 Tulenkestävät laatat ja laastit 48
5.1.4 Palonsuojalevyt 50
5.2 Mineraalivillan valmistus 52
5.2.1 Geopolymeerit 53
5.3 Keraamiset purkujätteet infrarakentamisessa 56
5.3.1 Keraamisten purkulaattojen haitta-aineiden liukoisuusanalyysit 56
5.3.2 Hulevesien hallinta 58
5.3.3 Laattojen käyttö pohjarakenteena 62
6 Pilottituotteiden ympäristövaikutusten arviointi ja indikaattorit 64
6.1 Valitut indikaattorit 65
6.1.1 Kasvihuonekaasupäästöt 65
6.1.2 Maankäyttö 66
6.1.3 Energiankäyttö 67
6.2 Laskenta ja epävarmuudet 67
7 Pilottien ympäristövaikutusten tarkastelu 69
7.1 Betoni ja betonituotteet 69
7.1.1 Laastit 69
7.1.2 Tulenkestävät laatat ja laastit 71
7.2 Palonsuojalevyt 73
7.3 Geopolymeerit 76
7.4 Ympäristövaikutuslaskentojen yhteenveto 78
8 Yhteenveto ja johtopäätökset 80
Lähteet 84

1 Johdanto

Kiertotalouden edistäminen on nostettu sekä Suomessa että EU:ssa keskeiseksi teemaksi. Kiertotaloustavoitteiden saavuttamiseksi on laadittu ohjelmia ja säädetty lakeja ja asetuksia. Rakennussektori on yksi suurista materiaalin kuluttajista, ja materiaalien osuus rakentamisen elinkaaripäästöistä kasvaa energiasektorin jo vähentäessä päästöjään. Materiaalien ympäristövaikutusten minimoinnilla on siis entistä suurempi merkitys. Keraamiset laatat ja posliinit ovat päästöintensiivisiä materiaaleja, joiden kierrättämisessä on paljon parantamisen varaa.

1.1 Kiertotalous ja sen tavoitteet Suomessa ja EU:ssa

Kiertotalous on talousmalli, jossa olemassa olevat materiaalit ja tuotteet pysyvät käytössä mahdollisimman pitkään ja tehokkaasti. Siinä keskiössä ovat muun muassa vuokrapalvelut, korjaaminen, jakaminen, uudelleenkäyttö sekä kierrättäminen. Kiertotaloudella voidaan hillitä ilmastonmuutosta, luontokatoa ja luonnonvarojen ylikulutusta sekä vahvistaa taloutta ja työllisyyttä (Valtioneuvosto 2021; Kisu 2023).

Suomessa kiertotaloutta pyritään edistämään niin kansallisen kuin EU-tason ohjelmin. Valtioneuvosto teki periaatepäätöksen kiertotalouden strategisesta ohjelmasta 30.3.2021 (Valtioneuvosto 2021). Sillä tavoitellaan muutosta, jolla kiertotaloudesta luodaan talouden perusta vuoteen 2035 mennessä. Periaatepäätöksessä linjattiin keskeiset toimet, joita ministeriöt sitoutuivat toteuttamaan vastuualueillaan vuosina 2021–2024.

Kiertotalousohjelman visiona on, että Suomessa vuonna 2035 hiilineutraali kiertotalousyhteiskunta on menestyvän taloutemme perusta. Vision toteutuminen edellyttää luonnonvarojen kestävää ja tehokasta käyttöä. Ohjelman seuraavia askelia ja tavoitteita ovat:

- Uusiutumattomien luonnonvarojen kulutus vähenee, ja uusiutuvien luonnonvarojen kestävä käyttö voi kasvaa siten, että kotimaan primääriraaka-aineiden kokonaiskulutus ei 2035 ylitä vuoden 2015 tasoa.
- Resurssien tuottavuus kaksinkertaistuu vuoden 2015 tilanteesta vuoteen 2035 mennessä.
- Materiaalien kiertotalousaste kaksinkertaistuu vuoteen 2035 mennessä.

EU:n tasolla kiertotaloutta on alettu erityisesti edistää vuonna 2019 hyväksytyllä Euroopan vihreän kehityksen ohjelmalla (European Green Deal) (Euroopan komissio 2019a), jossa määritellään EU:n sitoutuminen ja toimet nykyisten ilmasto- ja ympäristöhaasteiden ratkaisemiseen. Vihreän kehityksen ohjelma on kasvustrategia, jonka tavoitteena on tehdä EU:sta oikeudenmukainen ja vauras yhteisö, jonka talous on moderni, resurssitehokas ja kilpailukykyinen. Kasvihuonekaasujen nettopäästöistä pyritään eroon vuoteen 2050 mennessä, ja kasvuun pyritään lisäämättä resurssien käyttöä.

Yksi keskeisistä elementeistä EU:n vihreän kehityksen ohjelman toimeenpanossa on kiertotalouden toimenpideohjelma (Circular economy action plan eli CEAP), jonka Euroopan komissio hyväksyi maaliskuussa 2020 (Euroopan komissio 2020). Toimenpideohjelman mukaan EU:n siirtymä kiertotalouteen tulee vähentämään luonnonvarojen käyttöön kohdistuvaa painetta sekä luomaan kestävää kasvua ja työpaikkoja. Kiertotalouteen siirtyminen on myös keskeinen edellytys sille, että

EU kykenee saavuttamaan tavoitteensa olla ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä ja pysäyttää biodiversiteetin heikkeneminen.

Kiertotalouden toimenpideohjelma sisältää toimia, jotka kohdistuvat tuotteiden koko elinkaareen. Se sisältää aloitteita muun muassa tuotteiden suunnitteluun, kiertotalouden prosessien edistämiseen, kestävään kulutukseen kannustamiseen ja sen varmistamiseen, että jätteen syntyä vähennetään ja että käytetyt raaka-aineet pidetään talouden kierrossa mahdollisimman pitkään. Ohjelma sisältää myös toimia, jolla voidaan vähentää haitallisten aineiden esiintymistä kierrätysmateriaaleissa, sekä luoda hyvin toimivat markkinat uusioraaka-aineille.

CEAP:ia täydentäen, vuonna 2022 julkaistussa EU:n kiertotalouspaketissa on useita lainsäädäntöehdotuksia ja aloitteita kiertotalouden edistämiseksi (Euroopan komissio 2022a). Yksi näistä on Kestävien tuotteiden aloite, joka pyrkii kestäviin ja kiertotalouden mukaisiin tuotteisiin EU-markkinoilla. Tätä tullaan ohjaamaan ekosuunnitteluasetuksen myötä annettavilla tuoteryhmäkohtaisilla ekosuunnittelukriteereillä, joilla määritellään kullekin tuoteryhmälle kiertotalousvaatimukset ja niiden taso (kestävyys, korjattavuus, uudelleenkäytettävyys, kierrätettävyys ja kierrätysmateriaalien osuus).

Komission tavoitteena on, että tulevaisuudessa tuotteiden kestävyysperiaatteet ohjaavat voimakkaammin tuotteita koskevaa poliittista ja lainsäädännöllistä kehitystä. Tuotteiden suunnittelua koskevat toimenpideohjelman toimet tulevat sisältämään lakialoitteita, joilla lisätään kierrätysmateriaalien osuutta tuotteissa ja varmistetaan samalla tuotteiden suorituskyky ja turvallisuus, mahdollistetaan uudelleenvalmistus ja laadukas kierrätys, sekä pienennetään hiili- ja ympäristöjalanjälkiä.

Kiertotaloudelle asetetut odotukset ja tavoitteet ovat korkealla, mutta käytännön ratkaisut monien materiaalien hyödyntämiseen puuttuvat osin tai kokonaan. Etenkin hankalasti kierrätettävien materiaalien, kuten tietynlaisten keraamien tai muovilaatujen, kierrättäminen ei joko ole taloudellisesti kannattavaa tai niiden kierrättämiseen tarvittavaa suuren mittakaavan teknologiaa ei ole edes saatavilla. Lisäksi erilliskeräyksen ja syntypaikkalajittelun puute sekä taloudellinen kannattamattomuus ovat pullonkaulana esimerkiksi keraamisen jätemateriaalin saatavuuden kannalta. Tämä taas hidastaa uusien käyttötapojen yleistymistä.

Mahdolliset lisä- ja haitta-aineet tai muut epäpuhtaudet purkumateriaaleissa voivat olla ongelmina sekä teknisten ominaisuuksiensa vuoksi että lainsäädännön näkökulmasta. Laattojen ja saniteettiposliinikappaleiden mukana voi tulla sekä kiellettyjä tai rajoitettuja että muutoin kierrättämistä haittaavia aineita, kuten esimerkiksi asbesti, maalit ja muut pinnoitteet tai muovimateriaalit. Lainsäädännön kierrätysmateriaalin hyödyntämiselle asettamasta sääntelystä ja myös sen aiheuttamista hankaluuksista on kirjoitettu tarkemmin kappaleessa 3. Lisätietoa lainsäädännöstä löytyy myös KERPUR-hankkeessa valmistellusta julkaisusta Jätelainsäädäntö – opas keraamien kierrättäjille (Häkkinen 2023).

Yleiset asenteet ja ennakkoluulot kierrätystuotteita kohtaan eivät nekään ole poikkeuksetta positiivisia ja kiertotaloutta edistäviä, vaikka tuotteet itsessään olisivat hyviä ja täysin toimivia (ks. esim. Shooshtarian ym. 2020; Wagner & Heinzel 2020). Kierrättämiseen liittyvä ongelma on siis osin myös psykologinen.

1.2 Materiaalin kulutus on Suomessa korkealla tasolla

Suomen kotimainen materiaalinkulutus asukasta kohti oli 35 tonnia vuonna 2021 - selvästi EU-maiden korkein (Eurostat 2022). Tämä selittyy suurelta osin teollisuuden materiaali-intensiivisyydellä ja alhaisella väkiluvulla, joka suurentaa henkeä kohti saatavaa osamäärää. Esimerkiksi metsäteollisuudessa tarvitaan paljon biomassaa, metallimalmien louhinnassa syntyy paljon sivukiveä ja rakentamisessa (infrarakentaminen mukaan luettuna) kuluu harvaan asutussa maassa paljon ei-metallisia mineraaleja. Materiaalien kokonaiskulutuksesta suurin osa oli hiekkaa ja soraa, joita yksinään kulutettiin 137 769

tuhatta tonnia vuonna 2021 (Tilastokeskus 2023a). Suomen materiaalitilinpidossa maa-ainekset aiheuttavat siis merkittävän tilastopiikin.

Kulutusluvut eivät suoraan kerro ympäristövaikutuksista, vaan ympäristövaikutukset ovat riippuvaisia toimintatavoista ja -alueista. Kaikenlainen maa-ainesten ottaminen lisää silti luonnonvarojen ehtymisen ja elinympäristöjen sekä pohjavesien heikkenemisen riskiä. Maankäytön ympäristövaikutuksia on Suomessa arvioitu verrattain vähän, vaikka vuonna 2018 lähes puolet koko maan luontotyypeistä arvioitiin uhanalaisiksi (Suomen ympäristökeskus 2022).

Vaikka eri maa-ainesten ja -mineraalien ottamista säädellään lainsäädännöllä ja toimintaan on luotu ympäristöä säästävää ohjeistusta (Ympäristöministeriö 2023a), tulisi ensisijaisesti kokonaiskulutusta vähentää ja toisekseen hillitä neitseellisen materiaalin kulutusta kiertotalouden keinoin. Nämä olisivat varmimpia keinoja haitallisten ympäristövaikutusten hillitsemiseksi.

1.3 Kiertotalous osana vähähiilisyyden toteutumista rakennusalalla

Rakennusala on merkittävä materiaalien kuluttajana ja jätteiden tuottajana. Rakennustuotteita onkin käsitelty kiertotalouden toimenpideohjelmassa yhtenä keskeisenä tuoteryhmänä. Rakennusala kuluttaa toimenpideohjelman mukaan noin 50 prosenttia kaikesta käyttöönotetusta materiaalista ja tuottaa yli 35 % EU:n kaikesta jätteestä. Materiaalien käyttöönotosta, rakennusalan tuotteiden valmistuksesta sekä rakennusten rakentamisesta ja korjaamisesta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen arvioidaan olevan 5–12 % EU:n kaikista kasvihuonekaasupäästöistä. Materiaalitehokkuutta parantamalla näitä päästöjä voitaisiin vähentää 80 % (Euroopan komissio 2020). Osana kiertotalouden toimenpideohjelman toimeenpanoa komissio aikoo käynnistää uuden kestävää rakennettua ympäristöä koskevan strategian, jonka tarkoituksena on edistää kiertotalouden periaatteita rakennusten koko elinkaaren ajan. Strategiassa tullaan muun muassa käsittelemään rakennusalan tuotteiden kestävyyttä (yhtenä vaihtoehtona mm. kierrätysmateriaalien käyttöä koskevat vaatimukset tietyille rakennustuotteille) sekä EU:n lainsäädännössä asetettujen rakennus- ja purkujätteen hyödyntämistavoitteiden uudistamista ja mahdollisten erillisten hyödyntämistavoitteiden asettamista yksittäisille materiaalijakeille. (Euroopan komissio 2020).

Suomessa rakentamisessa ja purkamisessa syntyi vaaratonta mineraalijätettä 1 122 103 tonnia vuonna 2019, mistä noin 60 % toimitettiin materiaalihyödyntämiseen mutta kaatopaikoillekin yhä noin 15 % (Tilastokeskus 2021; Ymparisto.fi 2023). EU:n jätedirektiivin (2008/98/EY[1]) vuodelle 2020 asettaman 70 %:n tavoitetason. Merkittävä osa tästä hyödyntämisestä on betonimurskeen käyttöä maarakentamisessa, mikä on jätehierarkian ja lisäarvon kannalta varsin matalatasoista hyödyntämistä. Hyödyntämisastetta ja hyödyntämisen laatua on siis syytä nostaa (Lehtonen 2019).

Keraamien osuutta rakentamisen jätteistä ei tiedetä, sillä keraamista jätettä (erityisesti laattoja, kaakeleita, posliinia) ei vielä järjestelmällisesti kerätä erikseen. Uudessa jäteasetuksessa (valtioneuvoston asetus jätteistä 978/2021, 26 §) kuitenkin vaaditaan keramiikan erilliskeräyksen järjestämistä – vähintäänkin yhdessä betonin, tiilen ja kivennäislaattojen kanssa ja mahdollisuuksien mukaan omana jakeenaan. Tulevaisuudessa saadaan siis luultavasti tarkempaa tietoa myös keraamijätteen haasteiden suuruusluokasta. Tosin sanamuoto “mahdollisuuksien mukaan” jättää toiminnanharjoittajalle liikkumavaraa, joten ei voida tietää, kuinka paljon kyseisiä jätelajeja tosiasiassa tullaan erittelemään ja kuinka paljon niitä käsitellään yhtenä jäte-eränä. Jos erilliskeräys toteutuisi hyvin, saataisiin oikeaa tietoa

[1] Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta.

siitä, kuinka paljon näitäkin jätelajeja Suomessa vuosittain syntyy. Erilliskeräyksen avulla keraamin kierrätysmahdollisuudet voivat parantua, mikä osaltaan vähentää neitseellisen raaka-aineen käyttötarvetta.

Tyypillisesti materiaaleja suuremman osan rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä aiheuttavat lämmitys ja sähkön käyttö. Rakennusmateriaalit aiheuttavat kuitenkin yhä suuremman osan elinkaaren aikaisista ilmastovaikutuksista, koska energian tuotanto muuttuu jatkuvasti puhtaammaksi (Bionova Oy 2017). Uusia ideoita tarvitaan etenkin rakennusmateriaalien valmistukseen sekä rakennusjätteen synnyn ehkäisyyn ja kierrätykseen, jotta rakentamisen ilmastopäästöjä ja ympäristöhaittoja voidaan vähentää (Bionova Oy 2017).

Vähähiilisyys ja kiertotalous olivat mukana maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksen päätavoitteissa. Uusi rakentamislaki (751/2023) astuu voimaan 1.1.2025. Se ohjaa huomioimaan ilmastovaikutukset koko rakennuksen elinkaaren osalta, valitsemaan vähäpäästöisiä ja kiertotalouden mukaisia rakennusmateriaaleja, ja kannustaa materiaalien uusiokäyttöön (Lehtinen 2022). Haasteena tulee kuitenkin olemaan materiaalien päästöjen todentaminen, sillä vastaavaa rakentamisen vähähiilisyyttä koskevaa lainsäädäntöä ei ole aiemmin ollut voimassa. Suomessa ympäristöministeriö on valmistellut Level(s)-menetelmään (Euroopan komissio 2023) ja EN-standardeihin perustuvaa rakennusten hiilijalanjäljen arviointimenetelmää rakennuksen koko elinkaaren aikaisten ilmastovaikutusten laskemiseksi sisältäen rakennustuotteiden valmistuksen, kuljetukset, työmaatoiminnot, käytön ja korjaukset sekä purkamisen ja kierrätyksen (Ympäristöministeriö 2019a).

Rakennussektorilla (ml. purku) syntyvät suuret pistemäiset jätemäärät luovat alalle mahdollisuuksia toteuttaa tehokasta, suurivolyymista jätteiden lajittelua ja logistiikkaa, minkä myös uusi rakentamislaki huomioi tärkeänä kiertotalouden potentiaalina. Rakennusteollisuudessa onkin jo alettu panostaa kierrättämiseen entistä enemmän, samoin materiaalitehokkuuteen ylipäätään. Rakentamislaki saattaakin tuoda alalle kannusteen panostaa kierrätystoimiin entistä enemmän.

Jätteiden materiaalina hyödyntämistä on pyritty edistämään lainsäädännöllisesti muun muassa niin kutsutulla MARA-asetuksella eli asetuksella eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (VNA 843/2017). Siinä lueteltuja jätteitä saa tietyin edellytyksin käyttää maarakentamisessa ympäristöluvan sijasta ilmoitusmenettelyllä. Asetukseen sisällytettyjen jätteiden lista laajeni viimeksi vuonna 2018. Vaikka asetus edistää siinä lueteltujen jätteiden hyödyntämistä, mikä korvaa luonnonkiviaineksia ja vähentää jätteiden päätymistä kaatopaikalle, olisi mietittävä, voisiko näitä jätemateriaaleja käyttää arvokkaammissa käyttötarkoituksissa kuin maarakentamisessa. Jos maarakentaminen tarjoaa helpon keinon hyödyntää jätettä, ei se kannusta uusien, ympäristön kannalta parempien käyttötapojen innovointiin. Toisaalta ilman MARA-asetusta paljon isompi osa näistä jätteistä menisi todennäköisesti kaatopaikoille, missä niitä tosin käytetään usein pohjarakenteen täytöissä. MARA-asetuksesta on kirjoitettu tarkemmin myöhemmin raportissa.

Tämä raportti jatkuu kappaleessa kaksi keraamien valmistamisen ja niiden ominaisuuksien sekä keraamien kierrättämisen kuvauksilla. Kappaleessa kolme käydään läpi keraamien kierrätystä koskeva jätelainsäädäntö, erityisesti koskien erityisesti saniteettiposliini- ja laattajätettä. Kappaleessa neljä kerrotaan hankkeessa toteutetusta laatta- ja saniteettipurkujätteen ketjua rakennuksilta murskaksi, josta kappale viisi jatkaa kuvaten käyttökohteita ja tuotteita, joissa purkukeraamijätettä voitiin hyödyntää. Kappaleessa kuusi kuvataan lyhyesti, miten ympäristövaikutuksia voidaan arvioida ja kuinka niitä tämän raportin osalta kuvattiin, ja kappale seitsemän esittelee näiden laskelmien tulokset muutamien pilottituotteiden osalta. Kappale kahdeksan käsittää raportin yhteenvedon ja johtopäätökset.

2 Keraamien valmistus, ominaisuudet ja kierrättäminen

Keraamisia materiaaleja ovat yleisesti jaotellen mm. perinteinen keramiikka (saniteettiposliini, keraamiset laatat, talouskeramiikka), lasi, poltetut tiilet ja sementti. Keraameille tyypillisiä ominaisuuksia ovat muun muassa hyvä lämmönkestävyys, hyvä mekaaninen kestävyys, kovuus, alhainen tiheys sekä hyvä kulutuksen- ja korroosionkestävyys, jotka saavutetaan, kun keraamit valmistetaan korkeissa lämpötiloissa (900–1400 °C). Näiden suurella energiankulutuksella saavutettujen ominaisuuksien hyödyntäminen kannattaa huomioida myös keraameja kierrätettäessä. Onkin tärkeää miettiä, missä kohteessa kierrätysraaka-aineesta voidaan saada paras hyöty irti.

2.1 Keramiikan valmistus ja ominaisuudet

Keraamiset materiaalit ja tuotteet ovat erittäin heterogeeninen ryhmä, sisältäen muun muassa saniteettikeramiikan (WC-istuimet, pesualtaat), keraamiset laatat, talouskeramiikan, tulenkestävät materiaalit, lasin, poltetun tiilen ja sementin. Nämä keraamit valmistetaan eri savi- ja maamineraaleista ja sisältävät siten useita erilaisia aineita eri suhteissa. Sen sijaan teknisissä keraameissa kuten esimerkiksi kulutuskestävissä keraameissa käytetään puhtaita oksideja, nitridejä ja karbideja. Keraamien valmistuksesta on kerrottu tiiviisti alla. Laajemmin tietoa voi hakea muun muassa lähteistä Fortuna (2000) ja Fortuna ym. (2017).

Perinteisen keramiikan (saniteettiposliini, keraamiset laatat ja talouskeramiikka) valmistus koostuu seuraavista tuotantoaskeleista: keraamisen massan ja lasitteen valmistus, jota seuraavat esineen valu tai puristus, kuivaus, lasitus, poltto, ja viimeisenä vaiheena esineen laaduntarkastus (kuva 1).



Kuva 1. Perinteisen keramiikan valmistusprosessivuokaavio.

Massan raaka-aineista noin puolet on erityyppisiä savia (lihavat savet, kaoliinit) ja toinen puolikas on kivimateriaalia (maasälpä, kvartsi). Saniteettikeramiikkaa valmistetaan aina valumassasta, johon vettä lisätään niin, että valumassan vesipitoisuus on noin 70 %. Keraamiset laatat valmistetaan kuivasta massasta, joka spray-kuivataan ennen käyttöä. Talouskeramiikka valmistetaan valumassoista, kuivista massoista sekä plastisista savimassoista.

Lasitteilla tehdään keraamin pintaan ohut lasimainen kerros. Niissä käytetään samoja raaka-aineita kuin massassa, mutta saven osuus on niissä paljon pienempi (< 10 %). Näiden lisäksi tarvitaan sulamisaineita kuten kalsiumoksidi, CaO (kalkki, wollastoniitti, dolomiitti) ja magnesiumoksidi, MgO (dolomiitti, talkki). Tämän lisäksi voidaan vielä lisätä muutama prosentti esimerkiksi sinkki- tai

strontiumoksidia tai booria. Näistä raaka-aineista valmistetaan lasitetta (raaka lasite) saniteetti- ja astiakeramiikan tuotantoon. Keraamisten laattojen tuotannossa käytetään usein esisulatettuja lasitteita eli niin sanottuja frittilasitteita, joihin lisätään vain vettä ennen käyttöä.

Valumassat on perinteisesti valettu kipsimuoteissa. Kipsimuotilla voidaan valaa 2–3 valua päivässä, jonka jälkeen niitä kuivataan. Yhdellä muotilla voidaan valaa yhteensä noin 100 kertaa. Nykyään valuprosessia on modernisointu ja valu tapahtuu painevalukoneilla. Painevalussa käytetään huokoisia muovimuotteja. Valussa muotti täytetään valumassalla, jonka jälkeen vesi työnnetään 10–15 baarin paineella muotin huokoisiin, kunnes valupaksuus on saavutettu. Tämän jälkeen tyhjennetään ylimääräinen massa pois ja esine poistetaan kovetuksen jälkeen muotista. Valun jälkeen muotit pestään puhtaaksi ja uusi valu alkaa. Valuaika on noin 15 minuuttia ja muoteilla voidaan valaa ympäri vuorokauden. Muotin käyttöikä on noin 20 000–30 000 valua.

Puristettaessa keraamisia laattoja, kuiva, kostutettu massa asetetaan muottiin. Massa puristetaan kovalla, 250–400 baarin paineella muottiin. Paine voi olla korkeampikin riippuen laatan koosta ja tyypistä. Laattoja voidaan puristaa keskimäärin noin 20 kpl/min.

Valetut tuotteet ja varsinkin isommat saniteettiesineet viedään erilliseen kuivaamoon valun jälkeen. Esineen kosteusprosentti on noin 20 % valun jälkeen ja se pitää saada lähelle nollaa ennen lasitusta ja polttoa. Massa kutistuu noin 3 % kuivauksen aikana, joten kuivausolosuhteiden täytyy olla tarkat halkeamien välttämiseksi. Kuivaus aloitetaan korkeasta kosteuspitoisuudesta (80 %) ja huoneenlämpötilasta (20 °C) ja noin 15 tunnin aikana kosteusprosentti lasketaan alas muutamaan prosenttiin ja lämpötila nostetaan ylös (n. 80 °C). Lämmityksessä voidaan usein käyttää hyödyksi polttouunien hukkalämpöä. Laattojen kosteusprosentti on puristuksen jälkeen tarpeeksi matala lähetettäväksi suoraan eteenpäin lasitukseen.

Saniteettikeramiikka lasitetaan pääosin ruiskuttamalla. Lasitus on nykyään automatisoitu ja lasitus tapahtuu lasitusroboteilla. Astiakeramiikkaa lasitetaan myös upottamalla esineet lasitteeseen. Keraamisten laattojen lasitus on muuttunut eniten viime vuosikymmenien aikana. Lasituslinjat, joissa laatat on lasitettu kerroksittain eri menetelmin, on korvattu tulostustekniikalla. Pintakuviot voidaan valmistaa myös digitaalisella mustesuihkutulostustekniikalla.

Lasituksen jälkeen esineet menevät polttoon. Polttokäyrä vaihtelee esineiden koon, vaaditun huokoisuuden sekä lasitteen sulamiskäyttäytymisen mukaan. Saniteetti- ja astiakeramiikka poltetaan tunneli- ja kamariuuneissa 1200–1300 °C maksimilämpötiloissa ja polttoaika on 12–20 tuntia. Keraamisten laattojen polttokäyrä on puolestaan lyhyt, alle tunnin mittainen. Nopeimmillaan laatat poltetaan 30 minuutissa ja maksimilämpötila on 1150–1250 °C. Savimassat kutistuvat noin 10 % polton aikana ja poltettavat esineet ovat siten herkkiä halkeilemaan, varsinkin monimutkaisimmat tuotteet kuten WC-altaat. Tämän takia polttokäyrä on loivempi ja polttoaika pidempi näille tuotteille.

Polton jälkeen esineet tarkistetaan lajitteluohjeiden mukaan. Saniteettikeramiikassa olevat pienet virheet voidaan korjata ja sen jälkeen polttaa uudelleen, mutta esineet, joita ei voida korjata, hylätään ja romutetaan.

Keraamisten tuotteiden ominaisuudet riippuvat käytetyistä raaka-aineista sekä tuotantoprosessista. Saniteettiposliini on oksidikoostumukselta varsin samanlainen ympäri maailman, joskin paikallisia raaka-aineita käytetään niin paljon kuin mahdollista, mikä aiheuttaa koostumukseen jonkin verran eroavaisuuksia. Tärkein vaatimus saniteettiposliinille on, että esineen huokoisuus ei saa ylittää 0,5 %. Korkeampi huokoisuus voi aiheuttaa veden tunkemista huokoisiin ja esine voi ajan myötä hajota ja pahimmillaan aiheuttaa vesivahinkoja. Tämä vaatimus tekee myös sen, että saniteettiposliinin tuotantotavat on samanlaisia ympäri maailman ja posliinin ominaisuudet ovat hyvin samantapaisia. Valkoinen lasite on myös selvästi yleisin käytetty väri. Vaikka poltetun posliinin oksidikoostumus on aika

samanlainen, voi mineraalikoostumus vaihdella polton jälkeen. Faasien (lasi, mulliitti, kvartsi) pitoisuudet riippuvat paljon käytetystä huippulämpötilasta ja polttoajasta.

Keraamisia laattoja on monenlaisia. Perinteisesti on tehty huokoisempia (huokoisuus > 15 %) seinälaattoja ja tiiviimmäksi sintrattuja (huokoisuus > 1 %) lattialaattoja. Nykyinen trendi on käyttää samaa laattaa sekä seinä- että lattialaattana. Isokokoiset laatat ovat yleensä erittäin tiiviitä (huokoisuus 0,1 %). Nämä laatat toimivat myös lasittamattomana, koska laatan pinta on osittain lasittunut sintrauksen aikana. Keraamisten laattojen monimuotoisuus johtaa myös siihen, että niiden oksidikoostumus voi vaihdella paljon riippuen laattatyypistä. Poltonjälkeinen mineraalikoostumus riippuu käytetyistä raaka-aineista sekä poltto-olosuhteista. Nopean polton takia mulliittia ei juurikaan ehdi syntyä, vaan laatat koostuvat lasifaasista, kvartsista sekä muista käytetyistä raaka-aineista syntyneistä yhdisteistä.

2.2 Keraamisten laattojen ja saniteettiposliinin tuotantomäärät

Keraamisten laattojen tuotantomäärän maailmassa vuonna 2021 arvioitiin olleen 18.4 miljardia neliömetriä (CWR 2022), mikä on enemmän kuin Satakunnan kokonaispinta-ala (MML 2021). Edellisestä vuodesta tuotantovolyymit nousivat 7,2 %. Keskiarvona 10 millimetrin paksuisena laattana laskettuna tilavuutta kertyy 184 miljoonaa kuutiometriä (Konsultoitu oletuspaksuudesta Luca Baraldia, Associazione Costruttori Italiani Macchine Attrezzature per Ceramica ACIMA), ja massaa noin 370 miljoonaa tonnia. Suomessa keraamisten laattojen tehdasvalmistus loppui vuonna 2015 Pukkila Oy:n lopetettua tuotannon. Pukkilan oma kapasiteetti oli noin miljoona neliömetriä vuodessa, josta suurin osa myytiin kotimaan markkinoilla. Tämän jälkeen kaikki Suomessa myytävät keraamiset laatat on tuotu ulkomailta.

Saniteettiposliinin tuotantomäärän maailmassa on arvoitu olevan noin 215 miljoonaa esinettä vuodessa (Statista 2022). Yhteensä tuotetaan siten noin 3,2 miljardia kiloa posliinia, kun yhden esineen keskimääräinen paino on noin 15 kiloa. Vuoteen 2030 mennessä tuotantomäärän arvioidaan nousevan noin 290 miljoonaan esineeseen. Suomessa on yksi saniteettiposliinitehdas, Geberit Production Oy, joka sijaitsee Tammisaaressa. Suomessa myydään noin 500 000 esinettä vuodessa, joista Suomessa valmistettujen osuus on noin puolet.

2.3 Keraamien ympäristövaikutukset

Keraamisten tuotteiden valmistuksen suurimmat ympäristövaikutukset syntyvät maa-ainesten kaivuusta ja keraamin valmistuksessa kulutetun energian tuotannosta. Maa-ainesten kaivuuseen liittyvä maankäyttö ja maankäytön muutos on näkyvä vaikutus, ja voi kohteesta riippuen aiheuttaa laaja-alaisia, myös varsinaisen kaivannon ulkopuolelle ulottuvia vaikutuksia esimerkiksi pohja- ja pintavesiin. Koneiden käyttö aiheuttaa melua ja pölyä kaivannon välittömässä läheisyydessä.

Keraamien valmistuksessa kuluu paljon energiaa, ja energiankulutuksen ympäristövaikutukset riippuvat pitkälti käytetyn energian alkuperästä, tekniikan hyötysuhteesta ja mahdollisten savukaasujen puhdistuksesta. Koska näissä on eroja maantieteellisesti ja tehdaskohtaisesti, on myös samanlaisten tuotteiden ominaispäästöissä eroja.

Keraamisen purkujätteen materiaalihyödyntämisen ympäristöhyödyt riippuvat käyttökohteesta eli siitä, mitä säästetään (esim. neitseelliset luonnonvarat). Toisaalta on huomioitava, mitä tuotantopanoksia materiaalihyödyntäminen tarvitsee (mm. energia, muut lisättävät komponentit). Lisäksi

vertailussa voidaan huomioida keraamijätteen kaatopaikkasijoituksesta aiheutuvat haitat, joita jätteen hyödyntämisellä vältetään. Kierrättämisen vaikutusten arviointiin liittyy myös oletuksia, joista tärkeimpänä kenties se, oletetaanko kierrätyksellä korvattavan markkinoilla joitain tuotteita tai raaka-aineita, vai lisääkö kierrätys kokonaistuotantoa. Sikäli kun kierrättäminen vähentää jotain muuta toimintaa tai tuotteita markkinoilta, tulisi näiden erotus huomioida ympäristövaikutuksia arvioitaessa. Usein, kuten tässäkin raportissa, vertailu tehdään kuitenkin siten, että kierrätysmateriaaleilla korvataan joitain toisia raaka-aineita, ja vertaillaan näiden tuotteiden ympäristövaikutuksia. Todellisuudessa voi kuitenkin käydä niin, että globaali kokonaistuotantomäärä kasvaa kierrättämisestä huolimatta – tai juuri sen ansiosta.

Päästölähteitä voidaan jaotella esimerkiksi raaka-aineiden hankintaan, tuotteen valmistamiseen, kuljetuksiin ja tuotteen hävitykseen. Jaottelu auttaa hahmottamaan tarkemmin ne kohdat tuotantoketjua, joissa päästöjä syntyy eniten. Tällöin päästövähennystoimet saadaan ohjattua kaikkein kriittisimpiin toimintoihin.

2.4 Keraamisten materiaalien raaka-ainehankinta aiheuttaa luontohaittoja

Luontokato, tai luonnon monimuotoisuuden väheneminen, on ilmastonmuutoksen ohella yksi suurimmista maailmanlaajuisista ympäristöuhista. Sen taustalla vaikuttaa ihmistoiminta eri muodoissaan: maan- ja luonnonvarojen käyttö, ympäristölle haitalliset aineet ja ilmastonmuutos (Hyvärinen ym. 2019). Luontokato tarkoittaa konkreettisimmin lajien ja niiden elinympäristöjen taantumista tai häviämistä. Luonnon monimuotoisuuden lasku vaikuttaa heikentävästi myös luonnon tarjoamiin ekosysteemipalveluihin, kuten ruoan tuotantoon sekä veden, hiilen ja ravinteiden kiertoon, joista myös ihminen on riippuvainen (MA 2005). Kansainvälisen luontopaneelin IPBES:n (2019) arvion mukaan kolmannes maapallon luonnosta uhkaa tuhoutua vuoteen 2050 mennessä. Suomen talouden sektoreista rakennus-, maatalous- ja metsäsektori ovat voimakkaimmin maankäyttöä ja luontokatoa aiheuttavat talouden sektorit (Ruokamo ym. 2023). Luontokadon ehkäisemisen kannalta on olennaista, että lajien elinympäristöjä saadaan pidettyä mahdollisimman lähellä luonnontilaa.

Keraamisen purkujätteen hyödyntäminen vähentää etenkin maa-ainesten ottoa säästäen muun muassa kallio-, savi- ja harjualueita. Suomessa rakentamisessa käytettävät maa-ainekset eivät ole vaarassa vielä loppua, mutta niiden saatavuudessa on alueellisia eroja (Ympäristöministeriö 2023a). Lisäksi esimerkiksi noin viidennes Suomen kallio- ja kivikkoluontotyypeistä arvioidaan uhanalaisiksi (Hyvärinen ym. 2019). Niihin kajoaminen olisi nopeasti haitaksi myös luonnon monimuotoisuudelle. Kun maanpäällisiä aineksia siirretään, muokataan samalla myös maanmuotoja, veden virtauksia ja ravinteiden pidättäytymiskykyä kasvustoon ja maaperään. Myös jokien ja merien pohjia ja rantoja ruopataan hiekan vuoksi joissakin maissa, mikä muuttaa veden virtaamia. Seurauksena on rajuja ekologisia muutoksia koko joen alajuoksun matkalla tai laajoilla merialueilla (UNEP 2014; Pitchaiah 2017). Ruoppaamisessa saatetaan nostaa maanpinnalla hapettuvia sedimenttejä, joista alkaa valumaan haitallisia aineita ja happoja (Auri ym. 2022). Maa-ainesten otolla saattaa siis olla laajat ja pitkäikäiset vaikutukset, vaikka toiminnan suorat vaikutukset olisivatkin luonteeltaan pistemäisiä.

Raaka-aineiden hankinnan ympäristövaikutuksiin voidaan jossain määrin vaikuttaa lainsäädännöllä. Esimerkiksi Suomessa maa-ainesten ottamista sääntelevät maa-aineslaki (555/1981) ja -asetus (926/2005) sekä kaivoslaki (621/2011). Osa maa-ainesten ottohankkeista voi vaatia ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaisen ympäristöluvan. Yleisesti Euroopan maita ja muutamaa muuta maata lukuun ottamatta sääntely kaivannaisteollisuudelle (sisältäen hiekan ruoppauksen) on kuitenkin

puutteellista. Erityisesti kehittyvissä maissa kaivos- ja ruoppaustoimintaa ei säännellä tieteeseen perustuen, minkä vuoksi siitä voi aiheutua merkittäviä haittoja luonnon monimuotoisuudelle ja ekosysteemipalveluille (UNEP 2014).

2.5 Keramiikkajätteen aiemmin tutkitut hyötykohteet

Tänä päivänä suurin osa keraamien tuotannossa syntyvistä jätteistä otetaan talteen ja hyötykäyttöön, usein hyödynnettäväksi valmistajan omassa tuotannossa. Tuotantohylky, joka syntyy ennen polttoa, on mahdollista käyttää uudelleen raaka-aineena eli ottaa mukaan suoraan massan valmistukseen. Hylky, joka syntyy polton jälkeen, voidaan ottaa vain osin raaka-aineeksi omaan tuotantoon, mutta silloin se pitää murskata ja jauhaa sopivaan partikkelikokoon. Valumassaan jauhettua polttohylkyä voidaan käyttää 5–10 % massan koostumuksesta ilman, että reologiset (viskositeetti ja tiksotropia) ominaisuudet muuttuvat liikaa. Puristusmassaan polttohylkyä voi tarpeen mukaan lisätä enemmän. Jos polttohylkyä ei voida käyttää omassa tuotannossa, se johtuu yleensä puuttuvasta jauhatuslaitteistosta. Hylky on silloin usein viety hyödynnettäväksi tiilien tai tulenkestävien materiaalien valmistuksessa.

Kirjallisuudesta löytyy paljon tutkittua tietoa keramiikkajätteen hyötykäytöstä. Melkein kaikki tutkimus käsittelee kuitenkin puhdasta tuotannon keramiikkajätettä. Käytettyä purkukeramiikkaa ei ole juurikaan tutkittu. Julkaisujen perusteella keramiikkaa on mahdollista käyttää uusioraaka-aineena laajasti erilaisissa käyttökohteissa. Näitä ovat muun muassa sementin korvaaminen, kiviaineksen korvaaminen, käyttö fillerinä, aurinkopaneelit, koriste-esineet, laastit, vesieristeet, keraamiset laatat, vuorivilla, asfaltti ja tulenkestävät materiaalit. Näiden aiheiden tutkimus on lisääntynyt paljon viime aikoina. Google Scholar antaa hakusanoille “ceramic waste recycling” yli 8000 julkaisua, jotka on julkaistu vuoden 2023 aikana syyskuuhun mennessä. Siis lähes tuhat per kuukausi. Näistä suurin osa käsittelee sementin ja/tai kiviaineksen korvaamista keraameilla betonissa sekä geopolymeeritutkimusta. Pääosin tulokset ovat positiivisia ja osoittavat, että keraameille on olemassa monia hyötykäyttömahdollisuuksia myös kierrätettynä. Tosin melkein kaikki tutkimukset ovat laboratoriokokeita, joissa on käytetty puhdasta keraamia, eikä niissä ole mietitty käytetyn keraamin keräämistä ja siihen liittyviä haasteita. Muutamia artikkeleja, joissa keraamijätteen käyttöä eri sovelluksissa on tutkittu, ovat muun muassa Pacheco-Torgal & Jalali (2010), Raval ym. (2013), Samadi ym. (2020), Alsaif (2021), Luhar ym. (2021), Pitarch ym. (2021), Zanelli ym. (2021), Chen ym. (2022), Magbool (2022), ja Reig ym. (2022).

2.6 Keraamien purku ja kierrättäminen

Kun kokonainen betonirunkoinen kerrostalo puretaan, on keraamien osuus syntyvästä jätteestä vain pari prosenttia. Purkukeramiikka lajitellaan mineraalijakeeseen yhdessä betonin ja tiilen kanssa, jolloin se helposti häviää betonijätteen sekaan. Näin keraaminen purkujäte päätyy osin maanrakennukseen, osin läjitettäväksi kaatopaikoille. Kaatopaikalla jäte on lähtökohtaisesti taakka ja maanrakentamisessa lisäarvo on vain se, että se vähentää kalliomurskeen tarvetta. Keraameilla on kuitenkin sellaisia polttamalla saavutettuja ominaisuuksia, joita luonnonkiviaineksella ei ole. Olisikin tärkeää löytää niille korkeamman jalostusasteen käyttökohteita. Esimerkiksi posliinijätettä voidaan lisäksi lisätä ainakin jonkin verran myös betonin ja laastin sekaan jopa parantamaan niiden lujuus- ja lämmönkesto-ominaisuuksia. Myös tiilitehtaat voivat käyttää tuotannossaan syntynyttä jätettä ja ulkopuolelta tuotua puhdasta posliinia rajallisen määrän uusien tiilien valmistamisessa.

Keraamisia rakennusmateriaaleja voidaan uudelleenkäyttää sellaisenaan, mutta purkukeraamien uudelleenkäyttöä haittaavat muun muassa epäpuhtaudet, ei-toivotut värit ja laattojen osalta myös ehjien laattojen riittävyys. Purkamisessa työmääräkin kasvaa, kun kappaleita irrotetaan erillisinä ja ehjinä, eikä niille välttämättä löydy ottajia.

Materiaalina keraamia voidaan kierrättää mekaanisesti käsiteltynä, kuten murskattuna ja/tai jauhettuna. Kierrätykseen soveltuva keraaminen jätemateriaali tulee lajittelun lisäksi murskata pienemmiksi kappaleiksi kuljetusta ja jatkokäyttöä varten. Mitä pienemmäksi materiaalia hienonnetaan, sitä enemmän prosessi kuluttaa aikaa, energiaa ja rahaa. Toisaalta hienompi jauhe voi mahdollistaa korkeamman jalostusasteen tuotteiden korvaamisen. Toistaiseksi sellaisia toimijoita ei ole, jotka ottaisivat suuremmissa määrissä kierrätyskeraamia hyödynnettäväkseen.

Uudelleenkäytön tai kierrätyksen vaikeus onkin todennäköisesti syy siihen, että suuri osa keraamisista jätteistä maailmalla päätyy kaatopaikoille. Mainittakoon, että lasi on keraameista kuitenkin yksi poikkeus, sillä sen kierrättäminen onnistuu hyvin. Siitä voidaan tehdä uusia lasiesineitä tai kierrättää eri prosessien kautta muun muassa lasivillaksi, vaahtolasiksi tai uudeksi tasolasiksi.

Saniteettiposliini- ja laattajätettä syntyy usein esimerkiksi linjasaneerauskohteissa, kun putket ja saniteettitilat uusitaan (kuva 2). Korjaustyömaat ovat jo lähtökohtaisesti usein hyvin ahtaita, joten erilliskeräys omine jätelavoineen asettaa usein haasteita tilan suhteen ja tuo lisäkustannuksia hankkeeseen niin lavojen, kuljetusten kuin työvoiman osalta. Lisäksi erityisesti laattojen osalta ison ongelman lajitteluun ja uudelleenkäyttö- tai kierrättämismahdollisuuksiin muodostavat laattoihin purkuvaiheessa eli piikkauksessa kiinni jäävät muut materiaalit. Näitä voivat olla esimerkiksi vedeneristeet, sauma- ja kiinnityslaastit tai liimat sekä taustamateriaaleina toimivat kipsilevyt, siporexharkot tai betoni, eikä purkaminen onnistu ilman, että näistä jää jämiä laattoihin.

Laattojen ja kaakeleiden laatu itsessään vaihtelee sen mukaan, ovatko ne lattia- vai seinälaattoja, samoin niissä käytettyjä erilaisia raaka-aineita ja lasituksia on valtava määrä. Tämä saattaa olla ongelma kierrättämisen kannalta. Jaottelu on myös vaikeaa, koska samassa kohteessakin purettavien laattojen sekaan tulevia taustamateriaaleja voi olla monia erilaisia. Mukana tuleva laasti ja betoni eivät välttämättä ole haitaksi kierrätykselle, mutta esimerkiksi kipsilevy on. On myös muistettava, että asbestia käytettiin Suomessa vuoteen 1993 asti, joten ennen vuotta 1994 valmistuneissa rakennuksissa ja materiaaleissa, myös laasteissa ja liimoissa, voi olla asbestia. Asbesti on erittäin haitallista terveydelle, ja purkutyö on tällaisissa kohteissa suoritettava alipaineistettuna asbestipurkuna. Asbestikartoitus onkin tehtävä aina vuotta 1994 vanhemmissa kohteissa ennen purkutöiden aloittamista. Asbestipitoista purkujätettä ei saa kierrättää, vaan se on hävitettävä asbestijätteenä. Erityisesti 1960- ja 1970-luvun taloista löytyy paljon asbestipitoisia materiaaleja.



Kuva 2. Seinälaatan irrottamista kylpyhuoneesta.

Piikattu laattajäte tai irrotetut saniteettiposliinit eivät ole sellaisenaan yleensä käyttökelpoisia mihinkään jatkokäyttöön, vaan niistä on ensin poistettava epäpuhtaudet, kuten esimerkiksi saniteettiposliinin metalli- ja muoviosat, ja materiaalit on murskattava sopivaan raekokoon. Saniteettiposliinista on paljon helpompi erottaa muut materiaalit kuin laatoista. Muovi ja metalliosat voidaan haluttaessa irrottaa saniteettiposliinista käsin purun aikana. Korjausrakentamisessa voisi olla paremmat mahdollisuudet uudelleenkäyttää keraameja kuin purkukohteissa, koska korjausrakentamisessa joudutaan joka tapauksessa irrottamaan varovasti ainakin saniteettikalusteet, jolloin ne voisi pyrkiä pitämään samalla ehjinä uudelleenkäyttöä varten. Korjauskohteita on myös paljon enemmän kuin purkukohteita.

Saniteettiposliini- ja laattajätteen määrän korjausrakentamisessa Suomessa arvioitiin olevan noin 6200 ja 30 000 tonnia vuodessa. Tämän lisäksi keraamijätettä syntyy purkukohteissa, mutta purkamisessa syntyvä määrä on alle puolet korjausrakentamisessa syntyvästä määrästä. Näiden jätteiden kohtalo on pitkälti päätyä kaatopaikoille. Vaikka niiden määrät eivät ole kaikesta kaatopaikkasijoitetusta noin 100 000 000 tonnin jätemäärästä (Tilastokeskus 2023b) kuin promilleluokkaa, ne ovat silti osa jäteongelmaa.

3 Keraamien kierrätystä sääntelevä jätelainsäädäntö

Keraamisten purkumateriaalien kierrättämistä ja materiaalihyödyntämistä koskevat useat säädökset, jotka asettavat rajoitteita ja ehtoja jätteiden hyödyntämiselle. Rakennustuotteita koskee lisäksi tuotestandardointi, joka voi olla este jäteperäisiä raaka-aineita sisältävän tuotteen pääsylle markkinoille.

3.1 Jätedirektiivin yleiset jätehuoltoa koskevat periaatteet

EU:n jätedirektiivi (98/2008/EU) on keskeisin jätteitä ja jätehuoltoa koskeva EU-säädös. Siinä säädetään toimenpiteistä, joilla suojellaan ympäristöä ja ihmisten terveyttä ehkäisemällä tai vähentämällä jätteen syntymistä sekä jätteen syntymisen ja jätehuollon aiheuttamia haittavaikutuksia, vähentämällä resurssien käytöstä aiheutuvia kokonaisvaikutuksia, ja parantamalla resurssien käytön tehokkuutta. Direktiivissä esitetyt toimenpiteet ovat keskeisiä siirtymisessä kiertotalouteen ja unionin pitkän aikavälin kilpailukyvyn takaamisessa. Jätedirektiiviin tehtiin kiertotalouden tehostamiseksi merkittäviä muutoksia vuonna 2018 direktiivillä (EU) 2018/851[2].

Jätedirektiivissä määritellään jätteisiin ja niiden käsittelyyn liittyvät peruskäsitteet, säädetään jätehuollon periaatteista sekä määritellään millä edellytyksillä jäte lakkaa olemasta jätettä. Direktiivin mukaan jätteet on käsiteltävä vaarantamatta ihmisten terveyttä ja vahingoittamatta ympäristöä. Vaarallisten jätteiden käsittelylle on säädetty lisävelvoitteita.

Jätedirektiivissä säädetään myös muun muassa jätehuoltoketjun eri toimijoiden vastuista jätehuollossa, jätteen käsittelijöiden lupavelvollisuudesta sekä jätteitä koskevista kirjanpito- ja raportointivelvoitteista. Tietyille jätelajeille asetetaan määrällisiä kierrätys- ja hyödyntämistavoitteita.

Suomessa jätedirektiivin määräykset on pantu täytäntöön jätelailla (646/2011) ja sen nojalla annetuilla asetuksilla. Jätteiden käsittelytoimintoja säännellään myös ympäristönsuojelulailla (527/2014) ja -asetuksella (713/2014).

Jätedirektiivin 4 artiklan mukaan jätehuollon keskeisenä periaatteena on niin sanottu jätehierarkia (eli jätehuollon etusijajärjestys), joka on Suomessa pantu täytäntöön jätelain 8 §:ssä. Sen mukaan ensisijaisesti on vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Jos jätettä syntyy, se on valmisteltava uudelleenkäyttöä varten. Ellei uudelleenkäyttö ole mahdollista, jäte on ensisijaisesti kierrätettävä materiaalina ja toissijaisesti hyödynnettävä energiana. Jäte voidaan loppukäsitellä (kuten sijoittaa kaatopaikalle) vain, jos sen hyödyntäminen ei ole teknisesti tai taloudellisesti mahdollista. Toiminnanharjoittajan on noudatettava etusijajärjestystä sitovana velvoitteena siten, että saavutetaan kokonaisuutena arvioiden lain tarkoituksen kannalta paras tulos. Arvioinnissa voidaan ottaa huomioon tuotteen ja jätteen elinkaaren aikaiset vaikutukset, ympäristönsuojelun varovaisuus- ja huolellisuusperiaate[3] sekä toiminnanharjoittajan tekniset ja taloudelliset edellytykset noudattaa etusijajärjestystä.

[2] Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/851jätteistä annetun direktiivin 2008/98/EY muuttamisesta.

[3] Varovaisuus- ja huolellisuusperiaate on määritelty ympäristönsuojelulain (527/2014) 20 §:ssä: "Ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavassa toiminnassa on periaatteena, että menetellään toiminnan laadun edellyttämällä huolellisuudella ja varovaisuudella ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi sekä otetaan huomioon toiminnan aiheuttaman pilaantumisen vaaran todennäköisyys, onnettomuusriski sekä mahdollisuudet onnettomuuksien estämiseen ja niiden vaikutusten rajoittamiseen."

3.2 Keraamisia rakennus- ja purkujätteitä koskevat hyödyntämistavoitteet ja erilliskeräysvelvoitteet

Rakennus- ja purkujätteille on asetettu jätedirektiivin 11 artiklassa vähimmäislajitteluvelvoitteet sekä määrällinen hyödyntämistavoite. Ne on Suomessa pantu täytäntöön jätelaissa ja jäteasetuksessa.

Jäteasetuksen (978/2021) 27 §:n mukaan syntyvästä rakennus- ja purkujätteestä on hyödynnettävä (muutoin kuin energiana tai polttoaineeksi valmistamisessa) vuosittain vähintään 70 paino-%. Tavoitteen laskennassa ei huomioida kallio- tai maaperästä irrotettuja maa- ja kiviaineksia eikä vaarallisia jätteitä.

Rakennus- ja purkujätteen hyödyntämistavoitteita ollaan todennäköisesti kiristämässä EU:ssa lähivuosina. Jätedirektiivin 11(6) artikla edellyttää, että EU:n komission on vuoden 2024 loppuun mennessä arvioitava uudelleenkäyttöön valmistelua ja kierrätystä koskevien tavoitteiden asettamista sekä koko rakennus- ja purkujätevirralle että sen materiaalikohtaisille jakeille, ja tarvittaessa annettava sitä koskeva lainsäädäntöehdotus. Kiristyvien velvoitteiden täyttämiseksi Suomessakin olisi tulevaisuudessa edistettävä ja lisättävä uusien, tähän saakka ehkä marginaalisinakin pidettyjen, rakennusjätevirtojen kierrätystä.

Jäteasetuksessa on pantu täytäntöön myös rakennus- ja purkujätteitä koskevat lajitteluvelvoitteet, joista säädettiin jätedirektiivin muutoksella (EU) 2018/851. Asetuksen 26 §:ssä on määritelty ne rakennus- ja purkujätteet, joiden erilliskeräys jätteen haltijan on vähintään järjestettävä. Yksi erilliskerättävä jae on betoni, tiili, kivennäislaatat ja keramiikka. Lisäksi säädetään, että betoni, tiili, kivennäislaatat ja keramiikka on lajiteltava erikseen jätelajeittain, jos se on mahdollista. Erilliskerätty rakennus- ja purkujäte on toimitettava sellaiseen käsittelyyn, jossa mahdollisimman suuri osa jätteestä voidaan valmistella uudelleenkäyttöön, kierrättää tai hyödyntää materiaalina mahdollisimman korkealaatuisesti.

Rakennusjätteiden erilliskeräystä ohjaa jäteasetuksen lisäksi myös jätelain 15 §, jonka mukaan jätteiden erilliskeräys on lähtökohtainen velvollisuus: lajiltaan ja laadultaan erilaiset jätteet on etusijajärjestyksen toteuttamiseksi kerättävä toisistaan erillään, eikä niitä saa sekoittaa muihin jätteisiin tai materiaaleihin. Tästä velvollisuudesta voidaan poiketa vain jätelain 15 §:ssä säädetyin edellytyksin. Näitä ovat tietyt ympäristönsuojelulliset, tekniset ja taloudelliset edellytykset. (Ympäristöministeriö 2022a).

Ympäristöministeriössä on parhaillaan valmisteilla purkumateriaali- ja rakennusjäteselvitystä koskeva ympäristöministeriön asetus, joka on tarkoitus antaa vuoden 2025 alusta voimaan tulevan rakentamislain (751/2023) nojalla. Ympäristöministeriön sidosryhmätilaisuudessa 24.5.2023 esiteltyjen tietojen (Ympäristöministeriö 2023b) mukaan asetusluonnoksessa ehdotettaisiin mineraalisille jätteille yksityiskohtaisempaa jaottelua kuin erilliskeräykselle on säädetty jäteasetuksen 26 §:ssä. Rakentamislain 16 §:ssä edellytettyyn purkumateriaali- ja rakennusjäteselvitykseen olisi asetusluonnoksen mukaan sisällytettävä erikseen tiedot rakennus- ja purkuhankkeessa syntyvistä laatoista ja keramiikasta. Kun rakennus- tai purkuhanke on valmistunut, olisi tiedot toteutuneista laatta- ja keramiikkajätteiden määristä, toimituspaikoista ja käsittelytavoista ilmoitettava Suomen ympäristökeskukseen perustettavaan tietokantaan. Asetusluonnoksesta ei ollut vielä järjestetty lausuntokierrosta tätä raporttia viimeisteltäessä marraskuussa 2023. Mikäli laatta- ja keramiikkajätteitä koskeva selvitys- ja ilmoitusvelvollisuus toteutuu, voisi se osaltaan edistää niiden erilliskeräyksen ja hyödyntämisen lisäämistä.

Siinä vaiheessa, kun keraamisen rakennus- ja purkujätteelle soveltuvia kierrätyskohteita on kehitetty laajemmin, voitaisiin keraamimateriaalien kierrätystä tehostaa muuttamalla jätelain 26 §:n betonin, tiilien, kivennäislaattojen ja keramiikan jätelajeittainen erilliskeräys pakolliseksi. Se ohjaisi parempilaatuisten ja siten paremmin kierrätykseen soveltuvien keraamisten jätefraktioiden talteenottoon.

3.3 Keraamisen jätteen käsittelyn luvanvaraisuus ja siitä poikkeaminen

Keraamisen jätteen ammattimainen tai laitosmainen kierrätys ja muu hyödyntäminen edellyttää pääsääntöisesti ympäristönsuojelulain mukaista ympäristölupaa. Jätteen käsittelyn ympäristölupavelvollisuuden taustalla on EU:n jätedirektiivi, jonka 23 artikla edellyttää, että kaikilla laitoksilla tai yrityksillä, jotka aikovat käsitellä jätettä, on oltava toimivaltaisen viranomaisen myöntämä lupa. Lisäksi suurimmat jätteenkäsittelylaitokset ovat ns. direktiivilaitoksia, eli ne kuuluvat EU:n teollisuuspäästödirektiivin (2010/75/EU[4]) luvanvaraisiin laitoksiin. Direktiivilaitosten lupien sisällölle on säädetty ympäristönsuojelulaissa tarkemmat vaatimukset kuin muille jätteenkäsittelylaitoksille, direktiivilaitoksen lupa on muun muassa tietyn määräajan kuluessa tarkistettava vastaamaan kyseiselle toimialalle EU-tasolla asettuja parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) vaatimuksia.

Toiminnanharjoittajat ovat kokeneet jätteen käsittelyn ympäristölupavelvollisuuden raskaana menettelynä, joka voi käytännössä muodostaa esteen jätteen kierrätykselle ja hyödyntämiselle. Lupamenettelyn keventämisestä esitetäänkin usein toiveita.

Jätedirektiivin 24–25 artiklan mukaan EU:n jäsenvaltiot voivat myöntää jätteen hyödyntämislaitoksille ja -yrityksille poikkeuksen lupavelvollisuudesta vain, jos jäsenvaltio on vahvistanut kyseisen hyödyntämistoimen osalta yleiset säännöt, joissa määritellään poikkeuksen soveltamisalaan kuuluvan jätteen lajit ja määrät sekä käytettävä käsittelymenetelmä. Sääntöjen on oltava sellaiset, että niillä varmistetaan jätteiden käsittely ihmisten terveyden ja ympäristönsuojelun kannalta hyväksyttävällä tavalla. Jäsenmaan on pidettävä rekisteriä laitoksista, joille poikkeus lupavelvollisuudesta on myönnetty. Suomessa em. jätedirektiivin poikkeusmenettely on pantu täytäntöön ympäristönsuojelulain 32 §:n 2 momentilla. Jätteenkäsittelyä harjoittaville direktiivilaitoksille poikkeusta lupavelvollisuudesta ei voida myöntää.

Suomessa on annettu joitakin asetuksia kriteereistä, joiden täyttyessä tiettyjen jätevirtojen hyödyntäminen voidaan tehdä ympäristöluvan sijasta ilmoitusmenettelyllä. Näistä keraamisia jätteitä koskee ainoastaan eräiden jätteiden käyttöä maarakentamisessa koskeva valtioneuvoston asetus 843/2017 (ns. MARA-asetus), jonka soveltamisalaan kuuluvat keraamisista materiaaleista tiilimurske ja kevytsora. Lisäksi asetuksen soveltamisalaan kuuluva betonijäte saa sisältää epäpuhtautena enintään 30 p-% tiili- ja kaakelijätettä. Asetuksessa on määritelty ne käyttökohteet, joissa asetuksessa nimettyjen jätemateriaalien käyttö on sallittua ilmoitusmenettelyllä. Kevytsorajätteiden ja tiili- ja kaakelijätettä sisältävän betonimurskeen käyttö on sallittua väylä- ja kenttärakenteissa sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa. Tiilimurskeen käyttö on sallittua edellä mainittujen kohteiden lisäksi myös vallirakenteissa.

MARA-asetukseen on lisätty uusia materiaaleja varsin harvoin. Vuonna 2006 säädetty ensimmäinen MARA-asetus (591/2006) kattoi betonimurskeen sekä kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lentotuhkat ja pohjatuhkat. Vuonna 2009 asetukseen lisättiin leijupetihiekka (asetusmuutos 403/2009). Kun MARA-asetus uudistettiin kokonaisuudessaan vuonna 2017, siihen lisättiin samalla tiilimurske, asfalttimurske ja -rouhe, käsitelty jätteenpolton kuona, valimohiekat, kalkit, kokonaiset renkaat ja rengasrouhe.

[4] Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU teollisuuden päästöistä (yhtenäistetty ympäristön pilaantumisen ehkäiseminen ja vähentäminen) (uudelleenlaadittu toisinto).

Uuden materiaalin lisäämistä asetukseen edeltää laaja selvitys sen ympäristökelpoisuudesta ja teknisestä soveltuvuudesta maarakennuskäyttöön. Selvityksessä kiinnitetään erityisesti huomiota materiaalin käytöstä mahdollisesti aiheutuviin haitallisiin vaikutuksiin ympäristölle. Jätteiden ympäristökelpoisuus on hyödyntämistä keskeisimmin rajoittava tekijä. Ilmoitusmenettelyn soveltamisen perusedellytys on, että tapauskohtainen harkinta kussakin rakennuskohteessa ei ole tarpeen. MARA-asetuksen ympäristökelpoisuuden raja-arvot on määritelty siten, että ne takaavat riittävän ympäristönsuojelun tason käyttöpaikasta riippumatta. Arvioinnissa on käytetty lähtökohtana ensisijaisesti pohjaveden suojelua. Asetuksen rakennetyyppikohtaiset raja-arvot eri haitta-aineille on muodostettu laskennallisen tarkastelun pohjalta. Laskennallisessa tarkastelussa on huomioitu haitta-aineen liukeneminen jätemateriaalista rakenteen läpi suotautuvaan sade- ja sulamisveteen sekä haitta-aineiden kulkeutuminen vajoveden mukana pohjaveden pintaan ja edelleen pohjaveden mukana (Ympäristöministeriö 2017).

Keraamisen rakennus- ja purkujätteen nykyistä laajempaa hyödyntämistä maarakentamisessa edistäisi uusien keraamisten jätemateriaalien lisääminen MARA-asetuksen materiaaleihin. Toisaalta jätteen hyödyntämisessä tulisi pyrkiä jätehierarkiassa mahdollisimman korkealla olevaan toimintaan. Uusien keraamisten rakennus- ja purkumateriaalien sisällyttäminen MARA-asetukseen voisi ohjata ne kierrätyksen sijasta jätehierarkiassa alemmalla tasolla olevaan maarakentamiseen.

3.4 Jäteperäisten materiaalien tuotteistaminen

3.4.1 Jätedirektiivin tuotteistamismenettelyt

Jätedirektiivin artikloissa 5 ja 6 on säädetty edellytyksistä, jotka materiaalin on täytettävä, jotta se voitaisiin katsoa jätteen sijasta tuotteeksi. Kriteerit on säädetty kahdella eri menettelyllä syntyville tuotteille, eli sivutuotteille ja jätteeksi luokittelun päättymiselle. Kriteerit on Suomessa pantu täytäntöön jätelain 5 a (sivutuotteet) ja 5 b (jätteeksi luokittelun päättyminen) §:ssä.

Jätedirektiivin ja jätelain mukaan sivutuotteet ovat materiaaleja, jotka eivät ole missään vaiheessa elinkaartaan olleet jätettä. Sivutuotteita voivat olla ainoastaan teollisuusprosesseissa päätuotteen ohella syntyvät muut tuotteet. Jo markkinoilla olleista kuluttajatuotteista jalostetut uusiotuotteet eivät voi koskaan olla sivutuotteita. Siten luokittelua sivutuotteeksi koskevaa menettelyä ei voida käyttää keraamisen purkujätteen tuotteistamiseen, eikä aihetta käsitellä tarkemmin tässä julkaisussa.

Jätteeksi luokittelun päättymisellä puolestaan tarkoitetaan sitä, että jäte on kierrätyksen tai muun hyödyntämistoimen seurauksena lakannut olemasta jätettä eikä siihen näin ollen enää sovelleta jätelain säännöksiä (Ympäristöministeriö 2019b). Jätteeksi luokittelun päättymistä koskevaa menettelyä voitaisiin soveltaa myös keraamisista purkujätteistä jalostettujen uusiotuotteiden tuotteistamiseen, mikäli ne täyttävät lainsäädännössä säädetyt ehdot. Menettelyä voidaan EU:n tuomioistuinkäytännön mukaan soveltaa sekä vaarattomiin että vaarallisiin jätteisiin (Alaranta 2016).

3.4.2 Jätteeksi luokittelun päättyminen

Jätteeksi luokittelun päättymisen (ei enää jätettä, EEJ[5]) arviointiperusteista on säädetty jätedirektiivin 6 artiklassa. Näitä kriteerejä muutettiin aiemmasta vuonna 2018 jätedirektiivin muutosdirektiivillä (EU) 2018/851. Uudistetut kriteerit on pantu Suomessa jätelain 5 b §:ssä täytäntöön jätelain muutoksella 714/2021.

[5] Jätteeksi luokittelun päättymisestä käytetään myös englanninkielistä termiä "End-of-Waste, EoW".

Jätteeksi luokittelun päättymistä koskevia päätöksiä voidaan tehdä jätedirektiivin 6 artiklan mukaan kolmella eri tasolla, eli EU-säädöksellä, kansallisella säädöksellä tai tapauskohtaisella päätöksellä. EU-tason säädökset ovat voimassa koko EU:n alueella, kun taas kansalliset säädökset ovat voimassa vain siinä maassa, jossa ne on tehty. EU- ja kansalliset EEJ-säädökset koskevat tiettyä jätevirtaa. Tapauskohtaiset päätökset koskevat sen sijaan vain tietyn toiminnanharjoittajan tietyssä toiminnassa syntyvää jätettä, jota on tarkoitus hyödyntää ei-jätteenä tietyssä käyttötarkoituksessa (Kauppila ym. 2018).

EEJ-säädösten valmistelu on edennyt varsin hitaasti sekä EU:ssa että kansallisella tasolla. EU:ssa on toistaiseksi säädetty keraamisille materiaaleille yksi EEJ-säädös, joka koskee lasimurskaa (komission asetus (EU) N:o 1179/2012[6]). Sen lisäksi on säädetty muutamia metalleja koskevat EEJ-asetukset[7] [8], ja EU:n lannoitevalmisteasetuksessa (2019/1009/EU[9]) säädetään tiettyjen jätemateriaalien jätteeksi luokittelun päättymisestä silloin, kun ne sisältyvät vaatimustenmukaiseen EU-lannoitevalmisteeseen.

EU-tason EEJ-säädösten valmistelu oli pysähdyksissä lähes 10 vuotta, mutta komissio on parhaillaan käynnistämässä valmistelua uudelleen. EEJ-kriteerejä on jo ryhdytty valmistelemaan muovijätteille (Pierri ym. 2023).

Suomessa on tähän mennessä annettu jätteeksi luokittelun päättymisestä yksi kansallinen säädös, joka koskee betonimursketta (valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista 466/2022). Valmistelussa on myös mekaanisesti kierrätetyn uusiomuoviraaka-aineen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteita koskeva valtioneuvoston asetus, joka oli lausuntokierroksella toukokuussa 2023 (Lausuntopalvelu.fi 2023).

EU:n ja kansallisten EEJ-säädösten valmistelu on keskittynyt toistaiseksi jätevirtoihin, joita syntyy suuria määriä, joiden hyödyntämiselle on arvioitu olevan suurin potentiaali, ja joille on jo muodostunut vakiintuneet hyödyntämisreitit. EU:ssa tehtiin vuonna 2022 selvitys (Orveillon ym. 2022), jossa arvioitiin, mille jätevirroille EU-tason EEJ-kriteerejä tulisi jatkossa valmistella. Jätevirtojen valinnassa painotettiin erityisesti materiaalin kysyntää, toiminnan taloudellista arvoa EU-alueella, sidosryhmien laajaa tukea EEJ-kriteerien laatimiselle sekä odotettavissa olevia terveys- ja ympäristöhyötyjä tai -riskejä. Selvityksessä merkittävimmäksi jätevirraksi arvioitiin muovijäte, jolle EEJ-asetuksen valmistelu on siis jo aloitettu. Kriteerien valmistelu aloitetaan vuonna 2023 mahdollisesti myös tekstiilijätteelle, joka sijoittui arvioinnissa toiselle sijalle (JRC 2023). Keraamisia laatta- ja posliinijätteitä ei selvityksessä mainita erillisenä jakeena, jolle EEJ-kriteerien valmistelua harkittaisiin. Tarkasteltavissa jätevirroissa olivat mukana mineraalisista rakennus- ja purkujätteistä aggregaatit, kipsi ja mineraalivilla. Näistä aggregaatit ja mineraalivilla sijoittuivat neljännelle sijalle potentiaalisten EEJ-kriteerien valmistelussa. (Orveillon ym. 2022). Joka tapauksessa niillekin EU-tason EEJ-kriteerien valmistelu alkaisi todennäköisesti vasta sen jälkeen, kun muovi- ja tekstiilijätteiden EEJ-asetukset ovat valmistuneet. Siihen kulunee vielä useita vuosia.

Ei ole siis kovin todennäköistä, että keraamiselle rakennus- ja purkujätteelle valmisteltaisiin kansallisia tai EU-tason EEJ-säädöksiä lähivuosina. Toistaiseksi tapauskohtainen EEJ-päätösprosessi on ainoa kysymykseen tuleva menettely keraamisesta rakennus- ja purkujätteestä peräisin olevan uusiomateriaalin tuotteistamiseen.

Tapauskohtaisesta jätteeksi luokittelun päättymisestä päätetään pääsäännön mukaan ympäristönsuojelulain mukaisessa ympäristölupamenettelyssä. Se voidaan tehdä joko osana laitoksen

[6] Komission asetus (EU) N:o 1179/2012 arviointiperusteista sen määrittämiseksi, milloin lasimurska lakkaa olemasta jätettä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2008/98/EY nojalla
[7] Neuvoston asetus (EU) N:o 333/2011 arviointiperusteista sen määrittämiseksi, milloin tietyntyyppiset romumetallit lakkaavat olemasta jätettä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2008/98/EY nojalla
[8] Komission asetus (EU) N:o 715/2013 arviointiperusteista sen määrittämiseksi, milloin kupariromu lakkaa olemasta jätettä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2008/98/EY nojalla
[9] Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/1009 EU-lannoitevalmisteiden asettamista saataville markkinoilla koskevien sääntöjen vahvistamisesta ja asetusten (EY) N:o 1069/2009 ja (EY) N:o 1107/2009 muuttamisesta sekä asetuksen (EY) N:o 2003/2003 kumoamisesta

lupahakemusta tai erillisenä asiana, joka voidaan toiminnanharjoittajan hakemuksesta käsitellä ympäristönsuojelulain 89 §:n mukaisena luvan muutoksena käyttäen ympäristönsuojelulain 96 §:ssä säädettyä kevennettyä menettelyä (Ympäristöministeriö 2022b).

Jätelain muutoksen 714/2021 perustelujen (HE 40/2021vp) mukaan jätteen, joka on kierrätetty tai muuten hyödynnetty, katsotaan lakanneen olemasta jätettä, jos se täyttää samanaikaisesti kaikki jätelain 5 b §:n 1 momentin eri kohdissa säädetyt edellytykset. Lisäksi hyödyntämistoimen läpikäyneen materiaalin on täytettävä kyseiseen tuotteeseen sovellettavan tuotelainsäädännön vaatimukset. Lupaviranomaisen on päätöksessään tarvittaessa noudatettava 5 b §:n 2 momentissa valtioneuvoston asetuksella säädettyjä sisältövaatimuksia (arviointiperusteita) (tietolaatikko 1).

Tietolaatikko 1. Jätelain 5 b §:n jätteeksi luokittelun päättymisen kriteerit ja arviointiperusteet

Jätelain 5 b §:n 1 momentissa säädetyt yleiset arviointikriteerit jätteeksi luokittelun päättymiselle
Jäte, joka on kierrätetty tai muuten hyödynnetty, ei ole enää jätettä, jos: 1) sitä on määrä käyttää erityisiin tarkoituksiin; 2) sillä on markkinat tai kysyntää; 3) se täyttää käyttötarkoituksensa mukaiset tekniset vaatimukset ja on vastaaviin tuotteisiin sovellettavien säännösten ja standardien mukainen; ja 4) sen käyttö ei kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.
Jätelain 5 b §:n 2 momentissa säädetyt arviointiperusteiden vähimmäisvaatimukset, jotka tulisi tarvittaessa sisällyttää tapauskohtaiseen EEJ-päätökseen
1) jätemateriaalit, jotka on sallittua toimittaa hyödyntämistoimeen; 2) sallitut käsittelyprosessit ja -tekniikat; 3) tuotteisiin sovellettavien säännösten ja standardien mukaiset laatuvaatimukset materiaaleille, joita ei hyödyntämisen seurauksena enää luokitella jätteeksi, mukaan lukien tarvittaessa epäpuhtauksien raja-arvot; 4) hallintajärjestelmille asetettavat vaatimukset, joilla osoitetaan jätteeksi luokittelun päättymistä koskevien arviointiperusteiden noudattaminen, mukaan lukien vaatimukset laadunvalvonnasta ja omavalvonnasta sekä tarvittaessa akkreditoinnista; ja 5) vaatimustenmukaisuudesta ilmoittaminen.

Jätelain muutoksen 714/2021 perustelujen mukaan myös valvontaviranomainen voi todentaa toiminnanharjoittajan pyynnöstä ja tämän esittämillä perusteilla, että kyse ei ole jätteestä. Valituskelpoisen ja lopulta lainvoimaisen päätöksen saadakseen toiminnanharjoittajan olisi kuitenkin tehtävä ympäristönsuojelulain mukainen lupahakemus tai hakemus luvan muuttamisesta.

Jos toiminta ei ympäristönsuojelulain mukaan vaadi ympäristölupaa, jätteeksi luokittelun päättymistä koskevan asian ratkaisee valvontaviranomainen osana laitoksen valvontaa. Tämä tulee kuitenkin kyseeseen vain poikkeustapauksessa, koska keraamisen jätteen laitos- tai ammattimainen käsittely vaatii yleensä ympäristöluvan.

Toiminnanharjoittajat ja viranomaiset ovat pitäneet nykyistä tapauskohtaista EEJ-päätösmenettelyä osin ongelmallisena. Ympäristölupamenettely on varsin raskas ja aikaa vievä prosessi pelkkään jätteeksi luokittelun päättymistä koskevaan päätöksentekoon, vaikka käytettäisiinkin ympäristönsuojelulain 96 §:n kevennettyä menettelyä. Valvontaviranomaisen lausunnolla toteutetun todentamisen käyttökelpoisuus on puolestaan heikko, koska lausuntomenettelyllä ei saavuteta toiminnanharjoittajan kannalta riittävää oikeusvarmuutta. Lisäksi toimivaltaisten lupaviranomaisten toisistaan poikkeavan laintulkinnan vuoksi samankaltaiselle materiaalille voidaan antaa toisistaan poikkeavia EEJ-päätöksiä eri puolilla maata.

Nykyiseen tapauskohtaiseen jätteeksi luokittelun päättymistä koskevaan päätöksentekomenettelyyn liittyvien ongelmien ratkaisemiseksi jätedirektiivin muutoksen (EU) 2018/851 toimeenpanoa

koskevassa hallituksen esityksessä (HE 40/2021 vp) esitettiin päätöksentekomenettelyiden seurantaa ja tarvittaessa niiden kehittämistä. Eduskunta antoi vastauksessaan (EV 112/2021 vp) jätesäädöspaketista lausuman, jossa edellytettiin, että ”hallitus selvittää mahdollisuudet säätää kevyempi, erityisesti jätteeksi luokittelun päättymiseen sovellettava uusi menettely, jossa toimivalta keskitetään yhdelle viranomaiselle.” Ympäristöministeriö asettikin vuonna 2021 uusiomateriaalien tuotteistamista käsittelevän työryhmän (UTU-työryhmä), jonka tehtävänä on seurata ja kehittää jätteeksi luokittelun päättymistä ja sivutuotteita koskevaa sääntelyä ja hallintokäytäntöjä. Työryhmän toimikausi kestää vuoden 2023 loppuun saakka. (Valtioneuvoston hankeikkuna 2021).

UTU-työryhmä on julkaissut kesäkuussa 2022 väliraportin (Ympäristöministeriö 2022b), jossa ehdotetaan, että sekä jätteeksi luokittelun päättymistä että sivutuotteeksi luokittelua koskeva päätöksenteko siirrettäisiin tehtäväksi uudessa, ympäristölupamenettelystä irrotetussa ja kevyemmässä päätösmenettelyssä. Samalla toimivalta tapauskohtaisten päätösten tekemiseksi keskitettäisiin yhdelle viranomaistaholle. Lisäksi perustettaisiin uusi tietokanta Suomessa tehdyistä EEJ- ja sivutuotepäätöksistä, kehitettäisiin uusiomateriaalien ympäristövaikutusten riskinarviointia systemaattisemmaksi sekä päivitettäisiin olemassa olevaa ohjeistusta. Työryhmä ehdottaa myös tavoitekäsittelyajan asettamista EEJ- ja sivutuotehakemusten käsittelylle (esimerkiksi 3–6 kuukautta hakemuksen vastaanottamisesta, käsiteltävän asian monitahoisuudesta riippuen). Lopullisen ratkaisun tulevasta EEJ-päätöksentekomenettelystä tekee aikanaan eduskunta.

3.4.3 EEJ-materiaaleja koskeva sääntely

Kun materiaalin jätteeksi luokittelu päättyy, siihen sovelletaan tuotelainsäädäntöä. Jätteeksi luokittelun päättymisen hyödyt jätteen haltijan kannalta perustuvat siihen oletukseen, että sääntelyn aiheuttama taakka vähentyy ja materiaalin markkina-asema paranee. Materiaalin EEJ-status ei kuitenkaan aina johda sääntelyn keventymiseen, koska tilalle tuleva tuotesääntely voi aiheuttaa toiminnanharjoittajalle yhtä suuret tai suuremmat hallinnolliset kustannukset (Seppälä ym. 2019).

Materiaaliin voivat tulla sovellettavaksi samanaikaisesti useat eri tuotesäännökset. Keraamisista rakennus- ja purkumateriaaleista valmistettujen EEJ-materiaalien kannalta keskeisimpiä tuotesäännöksiä ovat kemikaalilainsäädäntö (ks. luku 3.6) sekä EU:n ja kansalliset rakennustuotesäännökset (luku 3.7). Eri tuote- ja tuoteryhmäkohtaiset säännökset eivät aina ole toisilleen vaihtoehtoisia, vaan useita tuotesäännöksiä voi tulla yhtä aikaa sovellettavaksi samaan EEJ-materiaaliin.

Jätedirektiivin 6 artiklan 5 kohdan mukaan EEJ-materiaalin ensimmäistä kertaa markkinoille saattavan velvollisuus on varmistaa, että materiaali on kemikaali- ja tuotelainsäädännön vaatimusten mukainen. Jos materiaalia ei ole saatettu markkinoille, on varmistamisvelvollisuus materiaalin ensimmäisellä käyttäjällä. Vastaava säädös on myös jätelain 5 b §:n 4 momentissa. Yleensä vastuu tuotevaatimusten täyttämisestä on EEJ-materiaalin valmistajalla, joka saattaa materiaalin markkinoille. Markkinoille saattamisella tarkoitetaan EU:n REACH-asetuksen (EY N:o 1907/2006[10]) 3 artiklan mukaan toimittamista tai tarjoamista kolmannelle osapuolelle joko maksua vastaan tai maksutta. Myös maahantuontia pidetään markkinoille saattamisena.

Tuotekohtaisessa lainsäädännössä säädetään valmistajan, maahantuojan ja jakelijan vastuut tuotteen vaatimustenmukaisuuden varmistamisessa (Ympäristöministeriö 2019b).

[10] Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1907/2006 kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelystä ja rajoituksista (REACH), Euroopan kemikaaliviraston perustamisesta, direktiivin 1999/45/EY muuttamisesta sekä neuvoston asetuksen (ETY) N:o 793/93, komission asetuksen (EY) N:o 1488/94, neuvoston direktiivin 76/769/ETY ja komission direktiivien 91/155/ETY, 93/67/ETY, 93/105/ETY ja 2000/21/EY kumoamisesta.

3.5 Kemikaalilainsäädännön velvoitteita

Jätteistä valmistettavien uusiomateriaalien kannalta merkittävimpien säännösten joukkoon kuuluvat kemikaalisäädökset. Niiden tehtävänä on varmistaa, että jäteperäisistä materiaaleista valmistetut uusiomateriaalit ovat suunnitelluissa käyttötarkoituksissaan turvallisia terveydelle ja ympäristölle. Kemikaalilainsäädännön vaatimukset voivat kuitenkin muodostaa myös merkittävän haasteen jäteperäisten materiaalien käytölle, esimerkiksi materiaalien mahdollisesti sisältämien niin sanottujen legacy-kemikaalien vuoksi. Legacy-kemikaalit ovat aiemmin yleisesti käytössä olleita kemikaaleja, joiden käyttö uusissa tuotteissa on nykyisin kiellettyä tai rajoitettua. Näitä kieltoja ja rajoituksia on noudatettava myös silloin, kun jätteistä valmistetaan EEJ-materiaaleja.

Keskeisimpiä kemikaalisäädöksiä ovat aineiden rekisteröintiä, arviointia, lupamenettelyä ja rajoituksia koskeva EU:n REACH-asetus, aineiden luokitusta, merkintää ja pakkaamista koskeva EU:n CLP-asetus (EY N:o 1272/2008[11]) sekä pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskeva EU:n POP-asetus (EU 2019/1021[12]). Lisäksi on erilaisia tuote- ja tuoteryhmäkohtaisia säädöksiä, joissa säädetään kemikaalien käytöstä yksittäisissä käyttötarkoituksissa ja muista tietyn tuotteen markkinoille saattamisen edellytyksistä.

REACH-asetuksen mukaiset velvoitteet vaihtelevat muun muassa sen mukaan, katsotaanko syntyvä tuote aineeksi vai esineeksi, mikä on vuosittain tuotetun aineen määrä, ja onko kyseiselle aineelle tai esineelle säädetty asetuksessa erityisiä määräyksiä tai poikkeuksia.

Jos keraaminen jäteperäinen EEJ-materiaali katsotaan aineeksi, sitä voi koskea REACH-asetuksen rekisteröintivelvollisuus. Rekisteröinnillä kerätään tietoja kemiallisten aineiden ominaisuuksista ja varmistetaan niiden turvallinen käyttö ihmisen terveyden ja ympäristön kannalta (Tukes 2023). Rekisteröinti on tehtävä Euroopan kemikaalivirastolle (ECHA) ennen kuin valmistetun tai maahantuodun aineen määrä ylittää 1 000 kg. Rekisteröintivelvoite koskee aineita sellaisenaan, seoksissa tai esineissä.

Rekisteröintivelvoitteesta on säädetty lukuisia ainekohtaisia poikkeuksia. Keraamisista materiaaleista esimerkiksi sementtiklinkkeri, jota ei ole muunnettu kemiallisesti, on asetuksen liitteen V mukaan vapautettu REACH-rekisteröinnistä (liite V, kohta 10). Lasi ja keraamiset fritit on puolestaan vapautettu rekisteröintivelvoitteesta vain, jos niitä ei ole luokiteltu vaarallisiksi aineiksi, ja ne eivät sisällä vaarallisia aineita, kuten raskasmetalliyhdisteitä, yli kemikaalilainsäädännön pitoisuusrajojen[13] (liite V, kohta 11).

Myös EEJ-materiaaleille on säädetty osin poikkeuksia REACH-rekisteröinnistä. Rekisteröintimenettelyä ei 2(7)(d) artiklan mukaan sovelleta EEJ-materiaaliin, jos hyödyntämisprosessin seurauksena syntyvä aine on jo rekisteröity, ja hyödyntämisen suorittavalla laitoksella on käytettävissään aikaisemmin rekisteröidyn aineen käyttöturvallisuustiedote, tai (jos aineelta ei edellytetä käyttöturvallisuustiedotetta) muut toimitusketjun seuraavan portaan toimijalle toimitettavat turvallisuustiedot. Toiminnanharjoittajan on kuitenkin pystyttävä osoittamaan, että kierrätyksessä syntyvä aine on todellisuudessa sama kuin aiemmin rekisteröity aine. Aineen samuuden vaatimus voi käytännössä estää rekisteröintipoikkeuksen soveltamisen. Jäännösmateriaalit sisältävät usein epäpuhtauksia tai ovat niin

[11] Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1272/2008 aineiden ja seosten luokituksesta, merkinnöistä.
ja pakkaamisesta sekä direktiivien 67/548/ETY ja 1999/45/ EY muuttamisesta ja kumoamisesta ja asetuksen (EY) N:o 1907/2006 muuttamisesta.
[12] Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/1021 pysyvistä orgaanisista yhdisteistä (uudelleenlaadittu).
[13] Liitteen V kohdan 11 mukaan myös vaarallisia aineita sisältävät fritit voivat vapautua rekisteröintivelvoitteesta, jos kokeelliset tieteelliset tutkimustulokset osoittavat luotettavasti, että vaaralliset aineosat eivät ole saatavilla aineen koko elinkaaren aikana, ja nämä tiedot on varmistettu riittäviksi ja luotettaviksi.

sanottuja UVCB-aineita[14], joiden täsmällinen koostumusmäärittely ei ole mahdollista tai tarkoituksenmukaista. Toiminnanharjoittajan on myös varmistettava, että olemassa olevat turvallisuustiedot kattavat hyödynnettävän aineen ennakoidut käytöt, ja huolehdittava, ettei käyttöturvallisuustiedotteiden tai muiden saatavissa olevien turvallisuustietojen käyttö loukkaa niiden omistajan tekijänoikeuksia. Hyödyntämispoikkeusta soveltava yritys voi käytännössä joutua ostamaan käyttöoikeuden samaan aineistoon, jonka nojalla rekisteröinnin tehneet yritykset ovat suorittaneet rekisteröintinsä. (Alaranta 2016; Kauppila ym. 2018).

Vaikka EEJ-materiaali olisi vapautettu REACH-rekisteröintivelvoitteesta, sen sisältämät epäpuhtaudet on tunnettava, jotta voidaan arvioida, vastaako materiaalin vaaraluokitus jo rekisteröidyn aineen luokitusta. Jos rekisteröidyn aineen vaaraluokitus eroaa EEJ-materiaalista, on EEJ-materiaalin toimittajan tehtävä materiaalin vaaraluokitus sen koostumuksen perusteella (ECHA 2010; Alaranta 2016; Kauppila ym. 2018).

Jos syntyvä EEJ-materiaali katsotaan REACH-asetuksen mukaan esineeksi, sitä voivat koskea REACH-asetuksen tiedonantovelvoitteet. REACH-asetuksen 3(3) artiklan mukaan esine on tuote, jolle annetaan tuotannossa erityinen muoto, pinta tai rakenne, joka määrittää sen käyttötarkoitusta enemmän kuin sen kemiallinen koostumus.

Jos esine sisältää REACH-asetuksen mukaista erityistä huolta aiheuttavaa ainetta (ns. SVHC-aineet) yli 0,1 paino-%, on esineen toimittajan tiedotettava siitä asiakkaalle. Vastaavat tiedot on pyynnöstä toimitettava myös kuluttajalle 45 päivän kuluessa pyynnön vastaanottamisesta.

Esineistä, jotka sisältävät SVHC-aineita yli 0,1 paino-%, on kemikaalilain (599/2013) 22 b §:n mukaan tehtävä myös ilmoitus EU:n kemikaaliviraston (ECHA) ylläpitämään SCIP-tietokantaan[15]. Ilmoitusvelvollisuus koskee esineen alkuperäisen markkinoille saattajan lisäksi vuorollaan kaikkia esineen toimitusketjun toimijoita. Ilmoitusvelvollisia ovat esineiden valmistajat ja kokoajat EU:ssa, esineiden EU:hun maahantuojat, esineiden jälleenmyyjät EU:ssa ja muut toimitusketjun toimijat, jotka saattavat esineitä markkinoille. Ilmoitusvelvollisuus ei kuitenkaan koske sellaista toimijaa, joka ainoastaan toimittaa esineen kuluttajalle.

Lisäksi esineen valmistajaa tai EU-alueelle maahantuojaa voi REACH-asetuksen 7 artiklassa määritellyissä tilanteissa koskea myös velvollisuus ilmoittaa SVHC-aineesta tiedot Euroopan kemikaalivirastoon, jos tällaista ainetta on esineessä yli 0,1 paino-% ja esineet sisältävät ainetta yhteensä tonnin tai enemmän valmistajaa/maahantuojaa kohden.

SVHC-aineet on lueteltu ECHAn ylläpitämässä luvanvaraisten aineiden kandidaattilistassa (https://echa.europa.eu/fi/candidate-list-table). Ne ovat erimerkiksi syöpää aiheuttavia, perimää vaurioittavia, lisääntymiselle vaarallisia tai luonnossa erittäin hitaasti hajoavia tai kertyviä. Listalla on tällä hetkellä yli 230 ainetta.

Rekisteröintivelvoitteiden ja esineitä koskevien velvoitteiden lisäksi REACH-asetus sisältää myös yksittäisten aineiden käyttökieltoja ja -rajoituksia eri tuotteissa ja tuoteryhmissä (asetuksen liite XVII). Tiettyjen aineiden käyttö on säädetty REACH-asetuksessa luvanvaraiseksi (liite XIV). Luvan näiden aineiden käyttöön voi myöntää EU:n komissio tapauskohtaisesti. REACH-asetuksessa säädetään myös aineiden ja seosten valmistajien ja maahantuojien velvollisuudesta laatia käyttöturvallisuustiedote, jolla välitetään ammatti- ja teollisuuskäyttäjille tietoa aineen tai seoksen vaaroista, turvallisesta varastoinnista, käsittelystä ja hävittämisestä.

[14] UVCB-aineilla tarkoitetaan koostumukseltaan tuntemattomia tai vaihtelevia aineita, komplekseja reaktiotuotteita tai biologisia materiaaleja (Substances of Unknown or Variable composition, Complex reaction products or Biological material). Näiden aineiden määrittely perustuu täsmällisen kemiallisen koostumustiedon sijaan muun muassa raaka-aineisiin ja tuotantoprosessiin, joista rekisteröitävä aine on saanut alkunsa (ECHA 2010; Alaranta 2016).

[15] SCIP = Substances of Concern In articles as such or in complex objects (Products).

Pysyvien orgaanisten yhdisteiden (POP-yhdisteet) käyttökielloista ja -rajoituksista säädetään REACH-asetuksen sijasta EU:n POP-asetuksessa (asetuksen liite I).

Aineiden luokitusta, merkintää ja pakkaamista koskeva EU:n CLP-asetus täydentää REACH-asetuksen velvoitteita. Sen mukaan valmistajien, maahantuojien ja jatkokäyttäjien on luokiteltava EU-maissa myytävät tai muuten jaettavat aineet ja seokset CLP-asetuksen mukaisesti. CLP-asetuksessa säädetään myös vaarallisten aineiden ja seosten pakkaamis- ja merkitsemisvelvoitteista.

Kemikaalilainsäädännön kieltoja ja rajoituksia päivitetään jatkuvasti uuden tutkimustiedon perusteella. EEJ-materiaalia valmistavan yrityksen tulisikin seurata aktiivisesti kemikaalilainsäädännössä tapahtuvia muutoksia voidakseen varmistaa, että tuotettu uusiomateriaali täyttää edelleen kemikaalilainsäädännön vaatimukset. Oleellista kemikaalilainsäädännön vaatimusten täyttämisen kannalta on tuntea EEJ-materiaalin koostumus ja siinä esiintyvät vaihtelut mahdollisimman tarkasti. Kemikaalilainsäädännön vaatimukset tulisikin ottaa huomioon mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, kun keraamisen jätemateriaalin tuotteistamista lähdetään suunnittelemaan, koska silloin voi olla vielä mahdollista vaikuttaa lopputuotteen koostumukseen esimerkiksi käytettyjen käsittelymenetelmien ja syöttömateriaalien valinnalla.

3.6 Rakennustuotesäännökset

Rakennustuotesäännöksiä sovelletaan kaikkiin rakennusmateriaaleihin, riippumatta siitä, luokitellaanko materiaali jätteeksi vai tuotteeksi. Rakennustuotteilla tarkoitetaan tuotteita, jotka tulevat kiinteäksi osaksi rakennusta. Rakennustuotteet katsotaan kelpoisiksi, jos ne täyttävät maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999, 117 a-g §:t) tai sen nojalla säädetyt olennaiset tekniset vaatimukset, jotka koskevat rakenteiden lujuutta ja vakautta, paloturvallisuutta, terveellisyyttä, käyttöturvallisuutta, esteettömyyttä, meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita sekä energiatehokkuutta.

Rakennustuotteiden markkinoille saattamisen ehdoista säädetään EU:n rakennustuoteasetuksella (EU N:o 305/2011[16]). Asetuksen tavoite on taata EU:n sisällä rakennustuotteiden vapaa liikkuvuus ja toimivat sisämarkkinat. Asetus koskee niitä rakennustuotteita, joille on harmonisoitu tuotestandardi tai jolle valmistaja on hakenut eurooppalaisen teknisen arvioinnin (ETA).

Harmonisoituja standardeja laativat EU:n komission pyynnöstä eurooppalaiset standardointijärjestöt Euroopan standardointikomitea (CEN), Euroopan sähkötekniikan standardointikomitea (Cenelec) ja Euroopan telealan standardointilaitos (ETS). Harmonisoituja rakennustuotestandardeja on nykyisin yli 440 kpl[17] (Euroopan komissio 2022b). Jos rakennustuote kuuluu harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan, osoitetaan sen kelpoisuus CE-merkinnällä, ja tuotteen ominaisuudet ilmoitetaan valmistajan laatimalla suoritustasoilmoituksella. Noin 80 prosenttia markkinoilla olevista rakennustuotteista arvioidaan kuuluvan tällä hetkellä CE-merkinnän piiriin (HE 139/2022 vp).

Sen jälkeen, kun tiettyä tuotetta koskevan harmonisoidun tuotestandardin viitetiedot on julkaistu Euroopan unionin virallisessa lehdessä, on standardia noudatettava tuotteen valmistuksessa. Jätteeksi luokiteltujen materiaalien käyttöä rakennustuotteissa, joille on laadittu harmonisoitu tuotestandardi, voi rajoittaa se, ettei kyseistä jätemateriaalia ole hyväksytty standardissa sallittuihin raaka-aineisiin.

Jos tuotteelle ei ole harmonisoitua tuotestandardia, CE-merkintä ei ole pakollinen. Tällaiselle tuotteelle valmistaja voi kuitenkin halutessaan hankkia CE-merkinnän ns. eurooppalaisella teknisellä

[16] Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 305/2011, annettu 9 päivänä maaliskuuta 2011, rakennustuotteiden kaupan pitämistä koskevien ehtojen yhdenmukaistamisesta ja neuvoston direktiivin 89/106/ETY kumoamisesta.
[17] Luettelo harmonisoiduista rakennustuotestandardeista: https://ec.europa.eu/docsroom/documents/52375

arvioinnilla (ETA), jolloin tuotteelle on laadittava suoritustasoilmoitus (Kauppila ym. 2018). ETA:n myöntävät nimetyt tekniset arviointilaitokset (TAB)[18]. Eurooppalainen tekninen arviointi on tarkoitettu erityisesti uusille, innovatiivisille tuotteille (Ympäristöministeriö 2023c).

Jos rakennustuotteelle ei ole määritelty Euroopan tasoista harmonisoitua tuotestandardia tai eurooppalaista teknistä arviointia, voidaan rakennustuotteiden kelpoisuuden osoittamiseen käyttää vapaaehtoista kansallista hyväksymismenettelyä. Kansalliset hyväksymismenettelyt on määritelty laissa eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä (954/2012) ja niitä on tarkennettu ympäristöministeriön asetuksessa eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä (555/2013). Edellä mainittujen säädösten mukaan rakennustuotteen kelpoisuus voidaan tuotteen käyttötarkoituksesta riippuen todeta tyyppihyväksynnällä, varmennustodistuksella tai valmistuksen laadunvalvonnalla. Lisäksi rakennusvalvontaviranomaisella on mahdollisuus edellyttää rakennustuotteen rakennuspaikkakohtaista varmentamista silloin, kun rakennustuotteen kelpoisuutta ei ole muulla tavalla osoitettu ja on syytä epäillä, että rakennustuote ei täytä sille säädettyjä olennaisia teknisiä vaatimuksia. (Ympäristöministeriö 2023d). Rakennustuotteiden keskitetty vapaaehtoinen ennakkohyväksyntä on lain 954/2012 perustelujen (HE 82/2012 vp) mukaan kuitenkin usein yksinkertaisempaa ja edullisempaa verrattuna rakennustuotteiden rakennuspaikkakohtaiseen varmentamiseen.

Komissio julkaisi ehdotuksen (Euroopan komissio 2022c) EU:n rakennustuoteasetuksen muuttamiseksi maaliskuussa 2022. Ehdotuksen mukaan rakennustuotteiden valmistajien tulisi muun muassa asettaa etusijalle kierrätettävät materiaalit ja kierrätyksestä saadut materiaalit sekä suunnitella tuotteet niin, että ne ovat helposti korjattavissa, kunnostettavissa tai päivitettävissä, ja niiden uudelleenkäyttö, uudelleenvalmistus ja kierrätys helpottuvat. Komissiolle annettaisiin valtuus antaa delegoituja säädöksiä, joissa voitaisiin määritellä esimerkiksi kierrätysmateriaalin vähimmäisosuus tietyssä tuoteryhmässä. Tämä voisi lisätä merkittävästi rakennusjätteiden, mukaan lukien keraamisten jätemateriaalien, kierrätystä ja hyödyntämistä. Komission ehdotuksen valmistelu on edennyt EU:ssa hitaasti, ja asetus valmistunee aikaisintaan vuonna 2024. Senkin jälkeen mahdollisten komission delegoitujen säädösten valmisteluun kuluu todennäköisesti vielä useita vuosia, joten kierrätysmateriaalien käyttövelvoitteista ei ole odotettavissa pikaista apua kierrätysmateriaalien käytön lisäämiselle rakennustuotteissa.

Myös olemassa olevien harmonisoitujen standardien uudistaminen tullee olemaan aikaa vievä prosessi. EU:n komissio julkaisi vuonna 2019 nykyistä rakennustuoteasetusta koskevan arvioinnin, jossa yhdeksi tärkeimmistä ongelmista todettiin standardointijärjestelmän heikko toimivuus (Euroopan komissio 2019b; Euroopan komissio 2022c). Komission ehdotuksessa rakennustuoteasetuksen muuttamiseksi pyritään parantamaan tilannetta muun muassa antamalla komissiolle uusi valtuutus hyväksyä teknisiä eritelmiä komission säädöksillä tapauksissa, joissa standardointijärjestelmä ei toimi ajoissa tai ei ole riittävän laadukas (Euroopan komissio 2022c).

Myös Suomessa on tehty maankäyttö- ja rakennuslain uudistus maaliskuussa 2023. Lain rakentamista koskevat määräykset on siirretty uuteen rakentamislakiin (751/2023), joka tulee voimaan 1.1.2025. Samalla maankäyttö- ja rakentamislain nimi muuttui alueidenkäyttölaiksi. Rakentamisen olennaiset tekniset vaatimukset säädetään jatkossa rakentamislaissa. Tarkemmat kansalliset rakentamismääräykset annetaan nykyiseen tapaan joko ympäristöministeriön tai valtioneuvoston asetuksina, ja lain nojalla annetut säännökset ja määräykset sekä ministeriön ohjeet kootaan Suomen rakentamismääräyskokoelmaan, jonka julkaisemista jatkaa ympäristöministeriö myös rakentamislain voimaantultua (HE 139/2022 vp).

[18] https://www.eota.eu/tabs

4 Tutkimustulokset (laboratorio/pilotointi)

Keraamisten materiaalien, kuten laatta- ja saniteettiposliinijätteen uudelleenkäyttö ei usein ole käytännössä varteenotettava vaihtoehto. Keraameja voidaan teknisesti kuitenkin kierrättää useissa eri käyttökohteissa, kun materiaalia sekoitetaan hienonnettuna uusiin tuotteisiin. Kierrättämistä haittaavia tekijöitä ovat esimerkiksi epäpuhtaudet, kuten laattoihin kiinnijäävät kiinnikkeet.

Hankkeessa tutkittiin laatta- ja saniteettiposliinijätteiden kierrätysmahdollisuuksia. Tutkimuksissa selvitettiin koko ketjun toimivuutta, alkaen purkutyöstä jatkuen keräyksellä, lajittelulla, murskauksella, jauhatuksella ja lopuksi etsimällä uusia käyttökohteita. Pääpaino oli laboratoriotutkimuksissa, mutta osa testeistä tehtiin myös kentällä. Muun muassa keraamien keräystä ja lajittelua kokeiltiin aidossa purkukohteessa. Murskaamista tehtiin sekä laboratoriossa että työmaalla raskaalla, siirrettävällä murskaimella, jolla murskattiin yksi pieni jätekeraamierä eri kokoluokkiin. Keraamien hyötykäyttöä tutkittiin sekä infrarakentamisessa että rakennusmateriaalina. Keraamimurskalle tunnistettuja ja pilotoituja käyttökohteita olivat:

1) rakennusmateriaalina
a) betoni ja betonituotteet
b) laasti
c) tulenkestävä laatta ja -laasti
d) palonsuojalevy
e) geopolymeerien raaka-aineena
f) mineraalivillan raaka-aineena

2) infrarakentamisessa
a) biosuodattimen materiaalina maasuodattimessa
b) pohjarakenteena

Keraamisen murskan tuottamia korvaushyötyjä ja -haittoja arvioitiin laskemalla muutamille tutkituille käyttökohteille ja näiden verrokkituotteille ilmastovaikutukset, energian kulutus ja maankäyttöalavuodet (ks. luku 7). Näin saatiin selville, minkälaisia eroja ympäristövaikutuksiin kierrätyskeraamin hyödyntäminen näissä käyttökohteissa tuottaa valittujen vaikutusten suhteen.

Taulukkoon 1 on kerätty yhteen tietoja korvattavista materiaaleista tutkituissa hyötykäyttökohteissa. Lisäksi siinä on joitain huomioita esimerkiksi siitä, miten lainsäädäntö, tuotestandardit ja CE merkintä vaikuttavat pilottituotteisiin ja minkälaisia näkökohtia kierrättämisestä saatavaan hyötyyn liittyy.

Taulukko 1. Keraamisten laatta- ja saniteettiposliinijätteiden kokeiltuja hyödyntämistapoja ja niihin liittyviä huomioita

Kategoria	Testattu hyödyntämiskohde	Korvattavia materiaaleja	Huomioita
Yleishuomiot	N/A	N/A	Käytännön toiminnassa on huomioitava lainsäädäntö ja muu sääntely. Esimerkiksi jätteeksi luokitellun keraamin käyttö raaka-aineena vaatii ympäristöluvan jätteen laitos- ja ammattimaiseen hyödyntämiseen. Tuotteistaminen EEJ-menettelyn kautta voi vaikuttaa rakennustuotestandardien soveltuvuuteen. EEJ-materiaalia voidaan tuottaa vain ympäristöluvan saaneessa laitoksessa. EEJ-statuksen saaneen jäteperäisen tuotteen käyttö raaka-aineena ei laukaise ympäristölupavelvollisuutta.
Infrarakentaminen	Laattojen käyttö pohjarakenteena (esim. tienpohjat)	Sora, hiekka, betonimurske	Materiaalin puuttuminen MARA-asetuksesta rajoittaa käyttöä. Ei näyttäydy korkean jalostusarvon kohteena.
	Maasuodatin	Hiekka, sora, biohiili.	Laajemmat tutkimukset puuttuvat. Käyttö maasuodattimissa edellyttää kohdekohtaista ympäristölupaa. Purkujätteiden osalta huomioitava myös tausta- ja kiinnikeaineiden liukoisuudet.
Rakennustarvikkeet/-tuotteet	Betoni ja betonituotteet	Kiviaines	Standardeihin ja CE-merkintään liittyvät tuotteistamisen haasteet. Lisäksi Suomessa on vielä kiviainesta hyvin saatavilla ja se on varsin edullista.
	Tavallinen muurauslaasti	Sementti, hiekka	Jos korvataan tavallista kiviainesta, jäävät keraameille ominaiset ominaisuudet osin hyödyntämättä.
	Tulenkestävä laatta ja laasti	Al-sementti, samotti	Tulenkestävissä tuotteissa on teknisesti mahdollista korvata korkeamman lisäarvon tuotteita kuten samottia, ja siten saada enemmän hyötyä keraamien tulenkesto-ominaisuuksista.
	Palonsuojalevy	Tulenkestävät runkomateriaalit, mm. samotti.	Standardeihin ja CE-merkintään liittyvät tuotteistamisen haasteet. Toimijalla pitää olla ympäristölupa jätteen laitos- tai ammattimaiseen käsittelyyn, jos käytettäisiin jätteeksi luokiteltua raaka-ainetta. Tulenkestävissä materiaaleissa mahdollista korvata arvokkaita raaka-aineita.
	Mineraalivillan valmistus	Si ja Al sisältävät raaka-aineet	Keraamisilla materiaaleilla voidaan mahdollisesti korvata osa alkuperäisestä raaka-aineesta eristysvillan valmistuksessa.
Muut	Geopolymeeri	Sementti, keraamit	Alkaliaktivaattorien ympäristövaikutusten tarkkuudesta on herännyt keskustelua. Tutkimus lisääntynyt viime aikoina, mikä lisää mahdollisuuksia tehdä uusia löytöjä – sinänsä geopolymeerit eivät ole uusi keksintö.

4.1 Keräys ja lajittelu

Keramiikkajätteen erilliskeräys ja lajittelu ovat ehkä koko ketjun tärkeimmät osiot, jotka toimiessaan mahdollistavat jätteen kierrätyksen uusioraaka-aineeksi.

Keraamijätteestä saniteettiposliini on ylivoimaisesti helpointa hyödyntää, koska erilaisten lavuaarien ja WC-istuinten koostumus on useimmiten miltei identtinen ja tasalaatuinen. WC-istuimesta yli 90 % on keramiikkaa. Muut materiaalit ovat: muovia (istuinkansi, huuhteluosat) noin 3–4 % sekä metallia (kiinnitysruuvit, venttiilit) noin 1–3 % (kuva 3). Nämä muut osat ovat varsin helposti erotettavissa keraamisesta kappaleesta. Keraamiset seinä- ja lattialaatat ovat toinen ääripää, jossa koostumus ja ominaisuudet voivat vaihdella suuresti. Tämän lisäksi laatoissa on poistamisen jälkeen useimmiten kiinni erilaisia kiinnityslaasteja tai liimoja ja jopa seinämateriaalia (kuva 4). Erityisesti 70- ja 80-lukujen laattojen kiinnityslaasteissa on valitettavan usein myös asbestia, joka estää laattojen uudelleen käytön raaka-aineena.



Kuva 3. WC-istuimissa posliinin lisäksi muitakin materiaaleja.



Kuva 4. Laattoja kipsilevyseinissä.

Saniteettikalusteiden erillispurkua pilotoitiin yhdessä Cedcon Oy:n ja Forssan ammatti-instituutin opiskelijoiden kanssa. Saniteettikalusteiden purkua kokeiltiin opiskelijatyönä osana opintoja. Purkaessa opiskelijat irrottivat WC-istuimia ja lavuaareja mahdollisimman ehjinä käsityökaluja käyttäen ja kuljettivat ne pihalla olleelle keräyslavalle. (kuva 5). Kalusteiden irrotuksia ja kuljetuksia kellotettiin työajanmenekin mittaamiseksi. WC-istuimen ja lavuaarin irrottaminen ja kuljettaminen lavalle ehjänä vei yhteensä noin 30 minuuttia, eli noin 15 minuuttia per esine. Irrotus voidaan kuitenkin tehdä paljon nopeammin, jos kappaleita ei tarvitse varoa särkemästä. Esimerkiksi nyt kappaleet rikottiin lavoille, vaikka ne irrotettiin ehjinä. Mikäli kappaleita ei siis uudelleenkäytetä, ei niiden irrotukseen ehjänä kannata käyttää aikaa, vaan purkutyö kannattanee tehdä ronskimmalla otteella. Myös työmaalla esineiden kuljetuksen romulavalle voi varmasti organisoida tehokkaammin. Lisäksi kokeilussa purku teetettiin opiskelijoilla, joiden nopeus ei todennäköisesti yllä harjaantuneen työntekijän tasolle. Joka tapauksessa kaikkien materiaalien erilliskeräys tuottaa ajanmenekkiä ja sitä myötä kustannuksia, mutta jos erilliskerätylle materiaalille on pienempi jätemaksu, saati että sille löytyy ostaja, saattaa erilliskeräyksestä tulla kannattavaa.

Saniteettiposliinia purettiin myös Laakson sairaalan työmaalla Helsingissä (kuva 5). Purkupiha Oy toimi purku-urakoitsijana työmaalla ja vastasi myös posliinin keräyksestä. Irrotus ja kuljetus suoritettiin käsityönä ja jätesaniteettiposliinista täysi lava siirrettiin työmaalta heidän toimipisteelleen Vantaalle, missä posliinin murskausta pilotoitiin.



Kuva 5. Ylhäältä vasemmalta alkaen: Ylävasemmalla WC-istuimen irrotusta ja yläoikealla lavuaarin irroitusta seinästä. Alavasemmalla irrotettu kappale heitetään jätelavalle ja alaoikealla saniteettiposliinijätettä jätelavalla Laakson sairaalan työmaalla.

4.2 Murskaus, jauhatus ja erottelu

Murskauksella tarkoitetaan keramiikkajätteen murskausta pienempään kappalekokoon, jota voidaan edelleen erotella haluttuihin fraktioihin käyttökohteen mukaan.

Murskainlaitteistot ovat järeitä koneita, joita käytetään yleisesti esimerkiksi kiviainesten ja betonin murskaukseen. Yleisesti käytetyt murskaintyypit voidaan luokitella toimintaperiaatteensa mukaan kahteen luokkaan: puristusmurskaimiin ja iskumurskaimiin. Puristusmurskaimia ovat muun muassa leuka-, kartio- ja karamurskain, ja iskumurskaimia ovat puolestaan iskupalkkimurskain sekä vasaramylly. Nämä kaikki myllyvaihtoehdot sopivat myös keramiikan murskaukseen ja jauhatukseen eri tavoin, riippuen halutusta partikkelikoosta.

Leukamurskaimet soveltuvat yleisesti esimurskaukseen, sillä ne pystyvät käsittelemään suuria määriä kovia materiaaleja, esimerkiksi kiviä tai keramiikkaa. Niiden toiminta perustuu leukojen puristukseen. Murskaimen toinen leuka liikkuu edestakaisin ja välissä oleva aines murskaantuu. Leuat kuluvat murskauksessa ja ne pitää vaihtaa säännöllisesti. Leukamurskaimet ovat yleisiä, sillä ne ovat kestäviä ja luotettavia laitteita. Niihin syötettävän materiaalin suurin sallittu koko riittää selkeästi keramiikkajät-teen murskaukseen.

Kartio- ja karamurskaimen toimintaperiaate perustuu murskaukseen murskauskammiossa, jossa on ulkoinen kiinteä kartio (malja) ja sisäinen, liikkuva kartio, joiden välillä materiaali murskataan. Materiaali rikkoutuu, kun se joutuu puristuksiin murskauskammion ja sitä ympäröivien kulutuskartioiden väliin. Materiaali hioutuu myös itseään vasten, mikä vähentää kulutuskartioiden kulutusta. Nämä murskaimet ovat eritoten soveltuvia, kun tavoitellaan erittäin hienoksi, aina tomuksi asti jauhettua tavaraa. Murskattaessa murskauskammioon syötetään ainesta koko ajan niin täyteen kuin mahdollista, jolloin minimoidaan käyttökulut ja saavutetaan tasainen laatu. Karamurskain kykenee yleensä käsittelemään hieman karkeampaa syötettä kuin kartiomurskain.

Iskupalkkimurskaimissa iskuenergia siirretään murskattavaan materiaaliin. Iskupalkkimurskain on hyvä valinta silloin, kun murskattava materiaali on haurasta muttei kuluttavaa. Näillä murskaimilla on myös hyvä murskaussuhde, jos syöte ei ole liian hienoa. Iskupalkkimurskaimia on yleisesti kahdenlaisia; vaaka- ja pystyakselinen, joista ensimmäinen on yleisempi. Vaaka-akselimurskaimen roottoriin on kiinnitetty vasaroita tai palkkeja, jotka pyöriessään murskaavat syötteen. Materiaali törmäilee toistensa ja murskaimen sisäosien kanssa. Tätä murskaintyyppiä käytetään yleensä pehmeän ja hauraan aineksen esimurskaukseen. Pystyakselimurskaimissa materiaali syötetään roottorin keskiön läpi, jossa se kiihtyy suureen nopeuteen. Materiaali poistuu roottorissa olevien aukkojen kautta ja törmää suurella nopeudella rungon kulutuspintoihin, jolloin materiaali murskautuu. Koska materiaali törmää myös toisiinsa, iskeytymispintojen kuluminen vähenee. Iskupalkkimurskaimien etuna on suuri kapasiteetti. Syöte voi olla myös suurikokoista.

Vasaramyllyt ovat samankaltaisia kuin iskupalkkimurskaimet. Niiden roottorissa on nivellettyjä vasaroita ja poistoaukot ovat ristikoita, jonka läpi materiaali kulkee. Vasaramyllyt soveltuvat paremmin pehmeiden ja vähän kuluttavien materiaalien murskaukseen ja jauhamiseen.

4.2.1 Erottelu

Syötteen eri materiaalit voidaan erottaa toisistaan niiden eri ominaisuuksien perusteella. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi tiheys, partikkelikoko tai magneettisuus. Varsinkin purkukeramiikassa eri materiaalien erottelu käsittelyvaiheessa näyttelee suurta roolia. Puretusta saniteettikeramiikasta tulee erottaa kaikki muu paitsi keraamiset osat. Näitä ovat esimerkiksi muoviset ja metalliset osat WC-istuimissa ja lavuaareissa. Purkulaattojen osalta asia on monimutkaisempi. Laatoissa voi olla kiinni, kiinnityslaastin lisäksi, myös alla olevaa lattia- tai seinämateriaalia kuten kipsilevyä, betonia, puuta, lastulevyä tai muovimattoa. Nämä ovat yleensä myös tiukasti kiinnittyneinä laattoihin.

Keramiikkamurskeen käsittelyssä ylimääräisten materiaalien poistoon ja halutun partikkelikoon keräämiseen voidaan käyttää useita erottelumenetelmiä. Yleisimpiä erottelumenetelmiä ovat: seulat, tuuliseulat, ballistiset erottimet, magneettierottimet, pyörrevirtaerottimet, optiset erottimet sekä käsin erottelu.

Seuloissa materiaali siivilöidään. Siivilän reikäkoko määrittää, minkä kokoista materiaalia sen läpi kulkeutuu. Siivilän läpi menevää ainesta kutsutaan alitteeksi ja yläpuolelle jäävää, yhä liian suurta ainesta ylitteeksi. Seuloja ovat esimerkiksi jatkuvatoiminen rumpuseula sekä täryseula. Rumpuseula on periaatteessa kallellaan oleva reiällinen putki, joka pyöriessään erottelee kappaleet toisistaan samalla kun murske kulkeutuu seulan läpi alamäen suuntaan. Täryseula on laite, jossa tärytekniikkaa hyödyntämällä erotellaan materiaali halutun kokoisiin jakeisiin. Täryseula voi toimia myös kuljettimena. Eri jakeet otetaan ulos seulan päästä eri kohdista, tai haluttu alite voi virrata seulan läpi ja ylite otetaan seulan päästä ulos uudelleenmurskattavaksi. Tärykuljetin voi siis samanaikaisesti siirtää materiaalia ja

seuloa ylikokoiset jakeet materiaalivirrasta pois. Seulontakapasiteetti riippuu kuljettimen koosta, seulaverkon tai seulatason aukkokoosta sekä seulottavan materiaalin ominaisuuksista.

Tuuliseulan eli ilmaerottelun avulla materiaalit erotellaan toisistaan tiheyserojen perusteella. Syötteeseen ohjataan ilmavirta, jolloin ilma nostaa kevyemmät materiaalit, kuten muovit ja pahvit mutta ei raskaampia materiaaleja, esimerkiksi metalleja tai keraameja. Tiheysero ei kuitenkaan ole ainoa tekijä, vaan myös kappaleen muodolla ja pinta-alalla on vaikutusta ilmavirralla tehtävään erotteluun.

Ballistinen erotin perustuu eroihin materiaalin koossa ja tiheydessä. Ballistinen erotin jakaa materiaalin kolmeen jakeeseen: raskas jae, kevyt jae ja hieno jae. Erottimessa on liikkuva, kalteva ja rei'itetty tasanne, joka on jaettu riveihin. Rivit liikkuvat porrastetusti, ja alaspäin suuntautuvan liikkeen seurauksena raskaampi materiaali kulkeutuu tasanteella alaspäin, kun taas kevyempi materiaali kohoaa värähtelyn ansiosta ylöspäin. Hienoin aines tippuu tasanteella olevien reikien kautta suoraan alas, kuten seulassa.

Magneettierottimessa magneettiset metallit erotellaan syötteestä magneetin avulla. Erotin asennetaan yleensä kuljettimen yläpuolelle, josta se poimii magneettiset metallit ja siirtää ne eteenpäin omaksi virrakseen. Parhaiten magneettierotin toimii, kun syöte on esimurskattu pienemmäksi.

Pyörrevirtaerotinta käytetään erottelemaan magneettiset ja ei-magneettiset metallit, kuten alumiini, kupari ja sinkki, muusta materiaalivirrasta. Erottimessa on magneettinen tela, jonka ympärillä pyörii hitaampi ei-metallinen tela. Syntyvässä magneetti- ja sähkökentässä ei-magneettiset metallit hylkivät telaa nousten ilmaan ja lentäen hihnalta pidemmälle kuin muu materiaali. Muu materiaali tippuu hihnalta vapaasti alas ja magneettiset metallit puolestaan jatkavat kulkuaan hihnaa pitkin, kunnes ne ovat telan vaikutusalueen ulkopuolella ja tippuvat alas.

Optiset erottimet perustuvat erilaisten sensorien, kameroiden ja tietokoneen yhteistoimintaan. Värikamerat sekä infrapuna- ja UV-sensorit pystyvät tunnistamaan erilaisia muoveja, paperia ja muita materiaaleja. Sensorit tunnistavat syötteessä halutun materiaalin ja niihin kohdistetaan ilmavirta, joka kuljettaa materiaalit erikseen omaan keräykseen. Optisia erottimia käytetään muun muassa eri lasilaatujen lajitteluun.

Käsinlajittelu on vielä nykyäänkin luotettavin jakeiden erottelumenetelmä eroteltaessa silmin nähtävissä olevan kokoisia kappaleita, jotka selkeästi poikkeavat toisistaan. Käsinlajittelua voidaan tehdä kahdella tavalla. Ensimmäinen tapa on se, että lajittelijat poimivat hihnalta/kuljettimelta syötteestä halutut jakeet, kuten esimerkiksi lasin, muovin ja paperin, ja siirtävät ne omiin astioihinsa. Toinen tapa on poimia hihnalta poistettavat materiaalit ja jättää halutut materiaalit hihnalle. Keramiikan osalta jälkimmäinen tapa on luontevin.

4.2.2 Murskauspilotit– Recikla Oy ja Purkupiha Oy

Murskaamista pilotoitiin Recikla Oy:n leukamurskaimella, jolla murskattiin lavallinen keraamisia ylijäämälaattoja (kuva 6). Tavallisesti kyseistä murskainta käytetään betonin murskaamiseen. Levymäiset laatat olivat hankalia murskata, koska ne jäivät helposti jumiin ja niitä piti poistaa manuaalisesti tukoksen avaamiseksi (kuva 6). Laattojen murskaaminen saatiin lopulta onnistumaan, kun sekaan laitettiin betonimursketta. Tällöin murskeesta tulee sekoitetta, josta laatta- ja sementtijaetta ei käytännössä voida enää erotella toisistaan. Kyseistä leukamurskainta ei voi tämän kokemuksen perusteella suositella laattojen murskaamiseen.



Kuva 6. Vasemmassa kuvassa laatat putoavat Recikla Oy:n murskaimeen kuljettimelta. Oikeanpuoleisessa kuvassa avataan käsityönä tuketta murskaimessa, joka muodostui laattojen kiilautuessa jumiin.

Erilliskerätyn saniteettiposliinin murskaamista pilotoitiin Purkupiha Oy:n noin 55 tonnia painavalla, dieselillä toimivalla Kleemann MR130ZS EVO2 –iskupalkkimurskaimella[19] (kuva 7). Saniteettiposliini oli erilliskerätty Laakson sairaalan työmaalla Helsingissä (kuva 5). Purkupiha Oy toimi purku-urakoitsijana työmaalla ja vastasi myös posliinin keräyksestä. Jätesaniteettiposliinista täysi lava (kuva 7). siirrettiin työmaalta heidän toimipisteelleen Vantaalle, missä posliinin murskausta pilotoitiin.

Tavallisesti tätä murskainta käytetään betonimurskan valmistamiseen. Purkupiha Oy:tä konsultoitiin myös muissa murskaukseen liittyvissä asioissa syksyn 2022 ja kevään 2023 aikana.



Kuva 7. Vasemmalla Purkupuha Oy:n iskupalkkimurskain Kleeman MR130Zs EVO2 ja oikealla murskattavaa saniteettiposliinijätettä.

Betonia murskattaessa Kleemann-iskupalkkimurskaimen murskauskapasiteetti on noin 400 tonnia tunnissa 45 mm palakokoon seulottaessa, mutta saniteettiposliinin murskauksessa nopeuden arvioitiin laskevan 150 t/h tasolle. Murskaimessa voidaan materiaalin mukaan käyttää erikokoisia ja -muotoisia seuloja. Mitä tiheämpi seula on (eli mitä hienommaksi murskaa tehdään), sitä enemmän murskaaminen vie aikaa ja energiaa.

Saniteettiposliineissa, eli lähinnä WC-istuimissa ja lavuaareissa, on mukana muovisia, kumisia ja metallisia osia, jotka tulevat murskan sekaan, jollei niitä poisteta ennen murskausta (kuva 8). Nämä materiaalit tulee poistaa ennen keraamin kierrätystä, koska ne eroavat ominaisuuksiltaan keraamisista

[19] https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-bh/kleemann/mr-130-evo2-153-p/

materiaaleista. Purkutyön yhteydessä tai murskaimeen menevästä karkeasta syötteestä erottelu voidaan tehdä suoraan henkilötyönä, valmiin murskan seasta taas puhaltimella, magneetilla tai pyörrevirtaerottimella. Henkilötyö sekä laitteet ja niiden käyttö ovat kuitenkin kulueriä. Pyörrevirtaerotin on varsin paljon sähkötehoa vaativa laite; tässä murskauskokeilussa 11 kW:n teho todettiin sopivaksi.



Kuva 8. Purkupihan murskaimen läpi tullutta saniteettiposliinialitetta. Mukana näkyy myös posliinin seassa ollutta muuta materiaalia. Saniteettimurske pöllyää kohtalaisen paljon.

Varsinaisen murskaimen lisäksi tarvitaan kaivinkone posliinin syöttämiseksi murskaimeen ja pyöräkuormain valmiin murskan siirtämiseen. Näiden koneiden täysi kapasiteetti ei kuitenkaan ole käytössä, koska murskaimen tehokkuus on prosessin nopeutta rajoittava tekijä. Näin ollen ne eivät kuluta myöskään polttoainetta täyden tehon mukaisesti, mikä pyrittiin huomioimaan myös ympäristövaikutusten arvioinnissa.

Koko kolmen koneen ketjun kuljettaminen murskauspaikalle vaatii kolme ajokertaa, koska koneet ovat sen verran isoja ja painavia että niitä voi kuljettaa rekassaan vain yksi kerrallaan. Kuljetus kutakuinkin täydellä kuormalla tarkoittaa polttoaineen kulutuksena 55–65 litraa/100 ajo-km kulutustasoa. Kalustoa ei siis ole järkevää kuljettaa pienten murskauserien vuoksi, vaan materiaalia olisi Purkupiha Oy:n arvion mukaan oltava vähintään 500–600 tonnia ennen siirtoihin ryhtymistä. Tämän raportin laskennoissa murskaeränä käytettiin 1000 tonnia.

Laitteiston murskausnopeus on 45 mm palakokoon murskattaessa noin 150 t/h, ja välittömät kustannukset yrittäjän arvion mukaan noin 15 €/t. Välittömien kulujen päälle tulevat välillisinä kuluina muun muassa investointikulut, koneiden muut huoltokulut ja tuottovaatimus. Kustannukset tonnia kohti nousevat palakokoa pienennettäessä, kun tehokkuus alenee. Mikäli palakokoa lasketaan < 30 mm tasoon, puolittuu nopeus ja samalla tonnikohtaiset kustannukset kaksinkertaistuvat. Polttoaineen kulutuskäyrää jouduttiin kuitenkin arvioimaan suurella epävarmuudella. Tämän

raportin laskennoissa käytettiin karkeaa arviota, että < 2 mm palakokoon murskaamisen tehokkuus olisi vain noin 10 t/h. Näin hienoksi murskaa ei kuitenkaan kokeissa tehty, ja oletettu teho on todennäköisesti todellisuutta heikompi, vaikka kyseinen murskaintyyppi ei yrityksen mukaan olekaan optimaalinen hienon murskan tekoon.

Murskattaessa saniteettiposliini käyttäytyy ja hajoaa hieman eri tavoin kuin betoni, ja se myös pölyää enemmän (kuva 8). Murskausyrittäjän mukaan ainakin 5 % posliinista hajoaa murskattaessa mikrometrikokoluokan pölyksi, vaikka tavoitepalakoko on kymmeniä millimetrejä. Pölyn kerääminen imurilla voisi parantaa murskauksen kannattavuutta, koska sillä voi korvata arvokkaampia raaka-aineita kuin karkeammilla jakeilla. Esimerkiksi Chen ym. (2022) mukaan keraamisen pulverin ja karkeamman jakeen käyttö sementin korvaajana alentaa sementtiseoksen hintaa ja vähentää betonin energia- ja päästöintensiivisyyttä. Erikseen hienontaminen mikrometrikokoluokkaan on energiaa ja koneita kuluttavaa työtä, joten sen saaminen niin sanotusti ilmaiseksi on taloudellisesti hyvä asia. Hienommaksi jauhamisen kustannukset on voitava kuitenkin kompensoitava tuotteen hinnalla, ja tavallista kiviainesta parempi kannattavuus saadaan esimerkiksi silloin, jos keraamijätettä voidaan käyttää pulverina tulenkestävissä laasteissa ja tulitiilissä korvaamaan arvokkaita raaka-aineita. Erimerkiksi Purkupiha Oy:n mukaan varta vasten erityisen hienoksi jakeeksi teko ei ole kannattavaa kyseisellä murskaimella kustannusten vuoksi.

Isommat ja erityyppiset, esimerkiksi sähkökäyttöiset sementtitehtailla olevat murskaimet, voivat tiettävästi hyvinkin murskata ja jauhaa keraamisia materiaaleja tehokkaasti, jolloin niiden kustannukset jäisivät todennäköisesti matalammiksi kuin siirrettävillä murskaimilla. Tässä toimintamallissa tuotantoketjun logistiikka muuttuu, koska nämä murskaimet eivät ole siirrettäviä. Jäteposliinin tulisi saada pakattua riittävän tiiviiksi, että kuljettaminen varsinaiselle murskauskohteelle olisi järkevää.

Kaikkinensa murskauskokeilu onnistui hyvin eikä murskaukselle nykyisellä kalustolla ole teknisesti mitään estettä. Murskauksen tunnistettuja kehittämiskohteita ovat murskainasetukset ja epäpuhtauksien poisto: Esimerkiksi murskaimissa on paljon säätö- ja optimointimahdollisuuksia keraamien murskaamiseksi. Nyt murskausta tehtiin betonin säädöillä, vaikka materiaalina se on kovin erilaista posliiniin verrattuna. Lisäksi saniteettikeramiikan seassa olevien metallien ja muiden epäpuhtauksien poistamiskeinoja voi optimoida selvittämällä, millä tavoin ne voidaan poistaa tehokkaimmin missäkin tapauksessa. Tulisi selvittää esimerkiksi se, kannattaako kaikki erotella purkamisen yhteydessä vai voidaanko ne poistaa tehokkaammin murskauksen yhteydessä, ja millä erotusmenetelmillä tai -välineillä.

5 Tutkitut käyttökohteet

Keraamisten materiaalien käyttöä testattiin betonissa ja betonituotteissa, palonsuojalevyissä, infrarakentamisessa, vedenpuhdistuksessa ja geopolymeerien raaka-aineena. Tulokset ovat pääasiassa lupaavia ja osoittavat, että keraamisten jätteiden kierrättämiselle on aitoja mahdollisuuksia.

Keramiikan käyttöä eri käyttökohteissa tutkittiin Åbo Akademissa ja Turun ammattikorkeakoulussa. Käyttökohteet on tässä kappaleessa jaettu kahteen ryhmään; rakennusmateriaaleihin ja infrarakentamiseen. Keramiikan käyttöä uuden keramiikan tai tiilen raaka-aineena ei tutkittu tässä projektissa, koska sen on jo aiemmin todettu toimivan ainakin puhtaalla tuotannon hylyllä. Rakennusmateriaaleihin luokiteltiin betoni ja betonituotteet, tavallinen laasti, tulenkestävät laatat ja laastit ja palonsuojalevy, mineraalivilla ja geopolymeerit. Infrarakentamisen käyttökohteina olivat maarakentaminen murskeella ja murskan käyttö vedenpuhdistukseen maasuodattimessa.

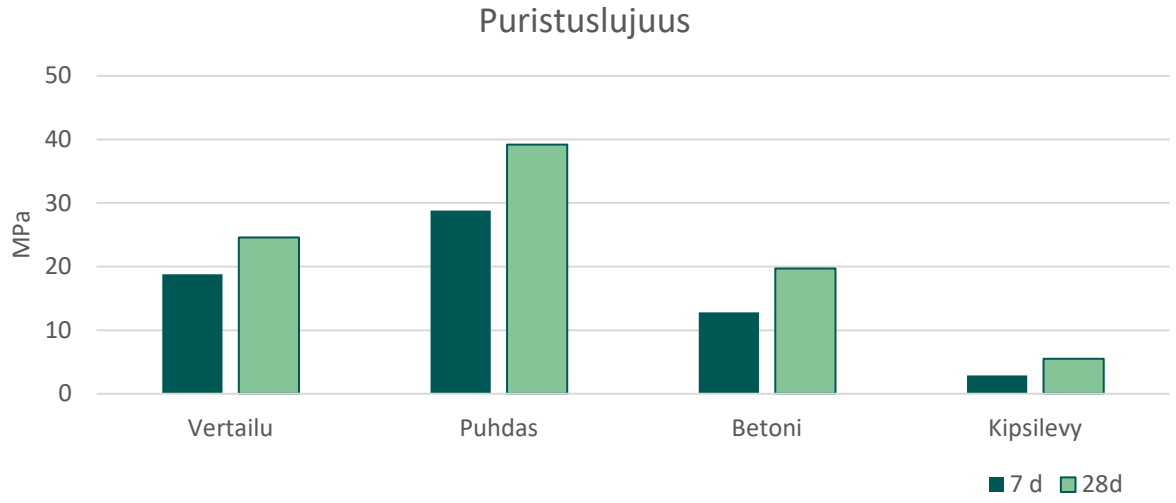
5.1 Rakennusmateriaalit

5.1.1 Betoni ja betonituotteet

Betoni valmistetaan sideaineista, joita ovat sementti sekä erilaiset seosaineet, runkoaineesta, joka yleisimmin on kiviainesta, sekä lisäaineista ja vedestä. Runkoainetta eli hiekkaa ja soraa on noin 70 % betonista. Kiviainesta Suomessa riittää niin luonnon muokkaamana kuin kalliomurskeena, ja sitä on saatavilla melko edullisesti. Karkeasti kiviaineksen hinta on nykyisellään 10 €/tn.

Hankkeen aikana testattiin betonin kiviaineksen korvaamista posliini- ja laattamurskalla. Ensimmäisessä kokeessa lujuusluokaltaan C20/25 betonin kiviaineesta (0–16 mm) korvattiin 50 % kolmella erilaisella laattajätteellä. Ensimmäisessä koekappaleessa mukana oli laatan lisäksi taustamateriaalin kipsilevyä, toisessa koekappaleessa mukana oli laastia ja betonia, ja kolmannen koekappaleen seoksessa oli mukana puhdasta laattaa ilman taustamateriaalia. Vertailubetonin koekappaleessa oli runkoaineena ainoastaan luonnon kiviaineksia.

Testien perusteella kipsijäämä laatassa heikentää kappaleen lujuutta selvästi. Posliini- tai laattamurskaa, jonka joukossa on vain kiinnitysaineita ja laastia sekä betonia, voidaan käyttää kiviaineen tilalla noin 25–50 % ilman, että lujuus kärsii. Keraamimurskan määrä, jota seoksessa voidaan käyttää, riippuu betonin lujuusluokasta, notkeudesta ja monesta muusta tekijästä, joten alla esitetyn kuvan 9 puristuslujuudet ovat vain suuntaa antavia. Kuvan 9 kolmessa reseptissä (puhdas, betoni ja kipsilevy) on käytetty laattamurskaa ja verrokkina (vertailu) on tavallinen, luonnonkiviainesta sisältävä betoni.



Kuva 9. Seitsemän ja 28 päivän kovettumisen jälkeiset lujuudet neljälle eri betonille. Vasemmalta ensimmäisenä on tavallinen betoni C20/25, jossa on käytetty luonnonkiviainesta, ja seuraavissa kolmessa betoniseoksessa on tavalliseen betoniin verrattuna korvattu luonnonkiviaineesta 50 % a) puhtaalla laattamurskeella (puhdas). b) laattamurskeella, jonka seassa laastia ja betonia (betoni) ja c) laattamurskeella, jonka joukossa kipsilevyä (kipsilevy).

Vastaavat kokeet tehtiin myös posliinimurskalla. Kokeiden perusteella posliinimurskaa voidaan käyttää betoniseoksessa korvaamaan noin 50 % kiviaineesta ilman, että lujuus kärsii. Ja kuten jo aiemmin on todettu, korkeaan lämpötilaan joutuvissa tuotteissa se on parempaa kuin normaali kiviaines. On kuitenkin huomattava, että niin laatta- kuin posliinimurskakin on melko teräväreakeista ja siten oletettavasti kuluttaa valukalustoa enemmän kuin luonnon muokkaama kiviaines.

Betonilaattoja käytetään esimerkiksi jalankulkualueilla, pihoilla ja terasseilla. Myös ajoväylillä ja niiden reunustuksissa käytetään betonilaattoja tai -kappaleita. Hiljattain markkinoille on tullut myös niin sanottuja sementittömiä “betoni”laattoja, joiden pääraaka-aine on masuunikuona (Cision 2023).

Posliinimurskaa voisi käyttää luonnon kiviaineen korvikkeena betonilaatoissa ja monissa muissakin betonituotteissa. Nämä tuotteet eivät kuitenkaan saa CE-merkintää, koska raaka-aineille ei ole harmonisoitua standardia tai ETA-hyväksyntää, ja ilman CE-merkintää posliinimurskan käyttö niin sanotusti rakenteellisissa betoneissa (luvanvarainen talon- tai esim. sillanrakennus) ei ole sallittua. Betonilaattoja ja pihakiviä voi kuitenkin tällä hetkellä myydä ja käyttää ilman CE-merkintääkin, mutta tapauskohtaiset REACH-asetuksen mukaiset vaatimukset on silloinkin täytettävä. Markkinaesteiden vuoksi keskityimme niin sanottuihin infratuotteisiin eli pihalaattoihin.

Posliinimurskan lisäksi myös laattamurskeella voidaan korvata luonnon kiviainesta näissä tuotteissa. Laattamurskeen käyttömahdollisuuksiin vaikuttaa erityisesti se, millaisesta kohteesta laatat poistetaan ja mitä purkutyön yhteydessä sekoittuu laatan mukaan. Jos laatoitetussa seinässä on kipsilevyä, tulee purettaessa laattajätteen sekaan kipsijauhoa ja kartonkia, eikä kipsin ja kartongin likaamalle laattajätteelle tässä projektissa keksitty toimivaa kierrätystapaa. Sen sijaan, jos laatat on purettu betoniseinästä ja mukana on laatan ohella vain betonia sekä kiinnitys- ja saumauslaastia, murske soveltuu osin betonin kiviaineen korvikkeeksi. Toki erilaisia laattoja ja kiinnitysmateriaaleja on paljon ja myös niiden ominaisuudet vaihtelevat. Siksi jätteen ominaisuudet on aina selvitettävä ennen käyttöä. Selvitykset puolestaan lisäävät kustannuksia, mikä on haitaksi kierrätysmateriaalin hintakilpailukyvylle.

5.1.2 Laasti

Laasti on sideaineesta, tavallisesti sementistä, hienosta hiekasta ja vedestä valmistettu seos, jota käytetään muuraamiseen, rappaukseen, tasoitukseen, laattojen kiinnitykseen sekä moneen muuhun rakennustyöhön. Laastissa käytetään hienorakeisempia kiviaineita kuin betonissa ja laastin lujuus on yleisesti heikompi kuin betonin.

Hankkeessa tutkittiin, onko keramiikalla mahdollista korvata laastissa hiekkaa tai jopa osaa sementistä. Raaka-aineina testattiin keraamisia laattoja sekä saniteetti- ja astiakeramiikkaa (Kuva 10). Osassa laatoista myös kiinni oleva laasti jauhettiin mukaan sideaineseokseen. Raaka-aineet jauhettiin laboratoriossa partikkelikokoihin < 1 mm, < 100 µm sekä < 50 µm. Sideaineena käytettiin Finnsementin Oiva sementtiä (CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N (klinkkeri 65–79 %, kalkkikivi ja kuona 21–35 %)). Testeissä käytetyt hiekat olivat partikkelikokoa 0–2 mm, 0,6–1,5 mm sekä kvartsihiekkaa 0,1–0,5 mm.



Kuva 10. Tutkimuksessa käytetyt keraamiset tuotteet. Ylhäältä vasemmalta alkaen: sininen laatta yläpuoli, sininen laatta alapuoli, sininen laatta kiinnityslaasteineen, valkoinen laatta ylä- ja alapuoli. Alhaalla vasemmalta lukien saniteettiposliini ja astiakeramiikkaa.

Tutkimuksessa käytetyt perusreseptit näkyvät taulukossa 2. Vertailulaasteina käytettiin kahta referenssireseptiä, 30 % sementtiä ja 70 % hiekkaa sekä 20 % sementtiä ja 80 % hiekkaa. Keramiikan vaikutusta lopputuotteeseen tutkittiin reseptillä 20 % sementtiä, 10 % keramiikkaa ja 70 % hiekkaa. Keramiikan ja hiekan partikkelikoon vaikutusta tuloksiin testattiin näiden materiaalien eri raekoolla. Keramiikan partikkelikoko määritettiin laserdiffraktiomenetelmällä. Yhteensä 400 grammaa raaka-aineita ja 50 grammaa vettä sekoitettiin ja laastista valettiin 30x30x30 millimetrin näytepaloja, jotka irrotettiin muotista 24 tunnin jälkeen. Näytteet säilytettiin veden alla, ja puristuslujuus määritettiin 7, 28 ja 91 päivän jälkeen. Näytteistä tehtiin myös SEM-kuvantamista laastin rakenteen määrittämiseksi.

Taulukko 2. Tutkimuksessa käytetyt perusreseptit

Resepti	Sementti	Hiekka	Saniteetti	Astia	Laatta, valkoinen	Laatta, sininen	Laatta, sininen + laasti
1	30 %	70 %					
2	20 %	80 %					
3	20 %	70 %	10 %				
4	20 %	70 %		10 %			
5	20 %	70 %			10 %		
6	20 %	70 %				10 %	
7	20 %	70 %					10 %

Tutkimuksessa käytetyn keramiikan oksidikoostumus määritettiin SEM/EDS-menetelmällä (taulukko 3), ja koostumus vastasi hyvin maailmalla yleisesti käytössä olevaa saniteettiposliinia. Astiakeramiikassa alumiinipitoisuus on tavallisesti, kuten nytkin oli, vähän korkeampi ja piipitoisuus matalampi kuin saniteettiposliinilla, koska kovassa astiakeramiikassa käytetään usein hieman korundia (Al_2O_3) kvartsin (SiO_2) sijaan. Laatoissa kalsiumoksidia (CaO) on selvästi enemmän kuin astia- ja saniteettikeramiikassa, ja sinisessä laatassa sitä oli selvästi valkoista laattaa enemmän. Tämän lisäksi MgO -pitoisuus oli sinisessä laatassa melkein 8 %, kun muissa se oli alle 1 %. Laasti nosti sinisen laatan CaO -pitoisuuden yli 40 %:iin.

Taulukko 3. Tutkittujen keraamisten materiaalien kemiallinen koostumus (%).

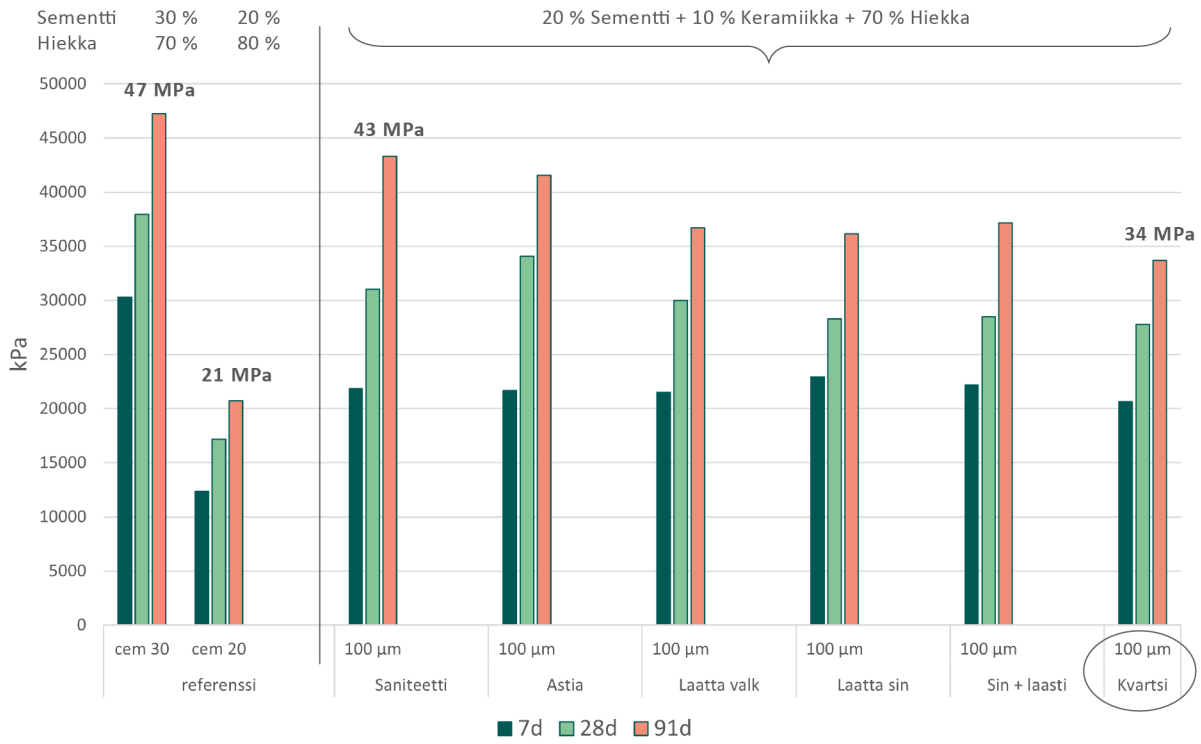
	Na_2O, %	K_2O, %	CaO, %	MgO, %	Al_2O_3, %	SiO_2, %	TiO_2, %	Fe_2O_3, %
Saniteetti	2,7	3,0	0,7	0,4	22,8	68,5	0,3	1,2
Astia	2,4	3,4	1,8	0,4	33,7	57,4		0,8
Laatta, valkoinen	2,9	1,8	8,6	0,7	19,1	65,2		1,6
Laatta, sininen	0,7	0,9	18,3	7,9	18,1	52,6	0,6	0,9
Laatta, sininen + laasti	0,5	0,8	40,7	6,6	12,5	37,1	0,5	1,2

Keramiikan mineraalipitoisuus (%) määritettiin röntgendiffraktiometrialla (XRD) ja mineraalien kvantitatiivinen osuus Rietveld-menetelmällä (taulukko 4). Kuten taulukosta näkyy, vaihtelee mineraalipitoisuus polton jälkeen paljon eri keramiikkalajien välillä. Lasifaasin osuus on riippuvainen muun muassa huokoisuudesta, lasitteen määrästä ja poltto-olosuhteista. Tässä tutkimuksessa mukana olleilla keraamisilla laatoilla oli pieni lasifaasiosuus. Pidempi polttokäyrä ja korkeampi lämpötila, joita sovelletaan saniteetti- ja astiaposliinin poltossa, antavat taas suuremman määrän mulliittia. Tutkimuksessa käytetty sininen laatta on koostumukseltaan tyypillinen Suomessa Pukkila Oy:n valmistama seinälaatta. Sen raaka-aineena käytettiin 2000-luvun alkuun saakka muun muassa wollastoniittia (kalsiumsilikaatti) ja talkkia (magnesiumsilikaatti). Tämä näkyy massan koostumuksessa myös polton jälkeen. Anortiitti-, wollastoniitti- ja diopsidimineraalit dominoivat koostumusta laatan korkeiden magnesium- ja kalsiumpitoisuuksien vuoksi. Lasifaasia ei ole syntynyt lainkaan.

Taulukko 4. Tutkitun keramiikan mineraalipitoisuus (%).

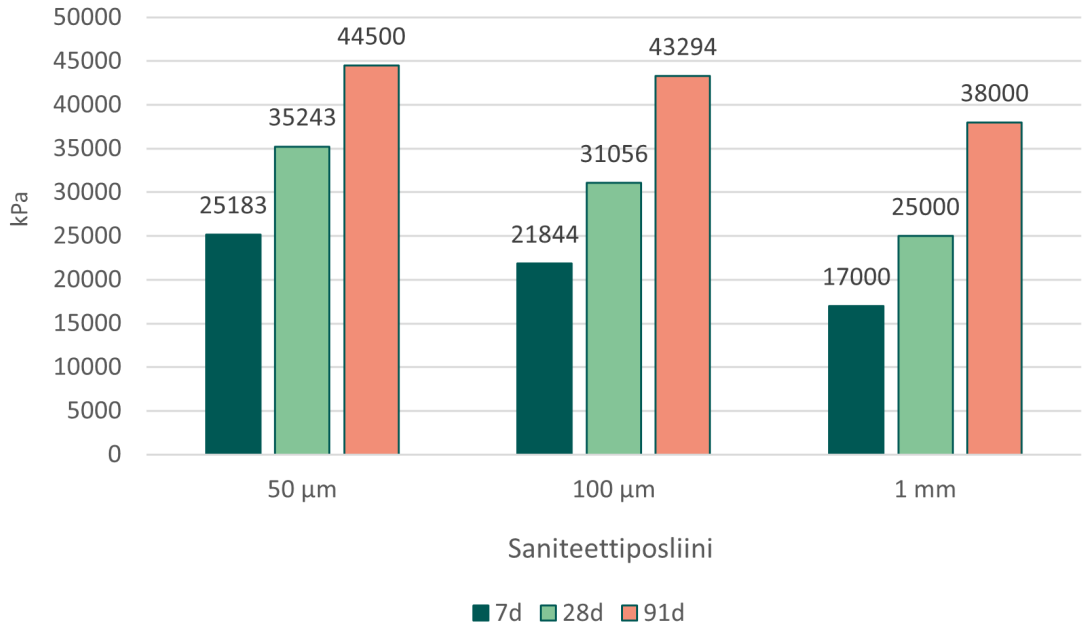
Keramiikan laji	Lasi	Kvartsi	Maasälpä	Mulliitti	Korundi	Anortiitti	Wollastoniitti	Diopsidi	Kalsiitti
Saniteetti	50	28		21					
Astia	20	18		44	17				
Laatta, valkoinen	5	41	27	9		18			
Laatta, sininen		27				35	11	27	
Laatta, sininen + laasti		27				25	9	11	25

Kuvassa 11 näkyy puristuslujuus (kPa) referenssinäytteille, joissa oli 20 ja 30 % sementtiä sekä hiekkaa, ja näytteille, joissa on 20 % sementtiä, 10 % eri keramiikkaa (< 100 µm) ja 70 % hiekkaa. Näissä näytteissä käytetty hiekkakoko oli 0,6–1,5 mm. Puristuslujuus yli tuplaantuu, kun sementin osuus nousee 20 %:sta 30 %:iin. Näytteissä, joissa oli keramiikkaa 10 % ja sementtiä 20 %, puristuslujuus oli paljon korkeampi kuin vastaavan määrän sementtiä sisältävässä referenssinäytteessä. Lujuus 91 päivän jälkeen lähentelee melkein samoja arvoja kuin käyttämällä 30 % sementtiä. Lujuuteen vaikuttaa myös hiekan partikkelikoko. Hienommaksi jauhettu keramiikkajauhe toimi myös fillerinä sementtipastassa. Tämä tarkistettiin käyttämällä myös < 100 µm kokoluokkaan jauhettua kvartsihiekkajauhetta. Myös kvartsilla lujuus oli viikon jälkeen samalla tasolla kuin keramiikalla, mutta 91 pv jälkeen keramiikkaa sisältävien näytteiden lujuus oli korkeampi. Saniteettiposliinilla ja astiakeramiikalla saatiin korkeammat lujuudet 91 pv jälkeen kuin laatoilla tai hiekalla. Tämä todennäköisesti johtuu niiden sisältämästä lasifaasista. Lasifaasi on yleensä reaktiivisempi kuin kidefaasit. Tämä ja korkeampi lujuus kuin inertillä kvartsilla osoittaa, että tietyillä posliinijauheilla olisi pozzolaaninen vaikutus laastissa. Kiinnostavaa oli myös se, että lujuus laatalla, jossa oli mukana reilusti kiinnityslaastia, oli samalla tasolla kuin puhtaalla laatalla. Näin ollen laastikiinnikkeet eivät näytä olevan haitaksi kappaleen lujuuden kannalta.



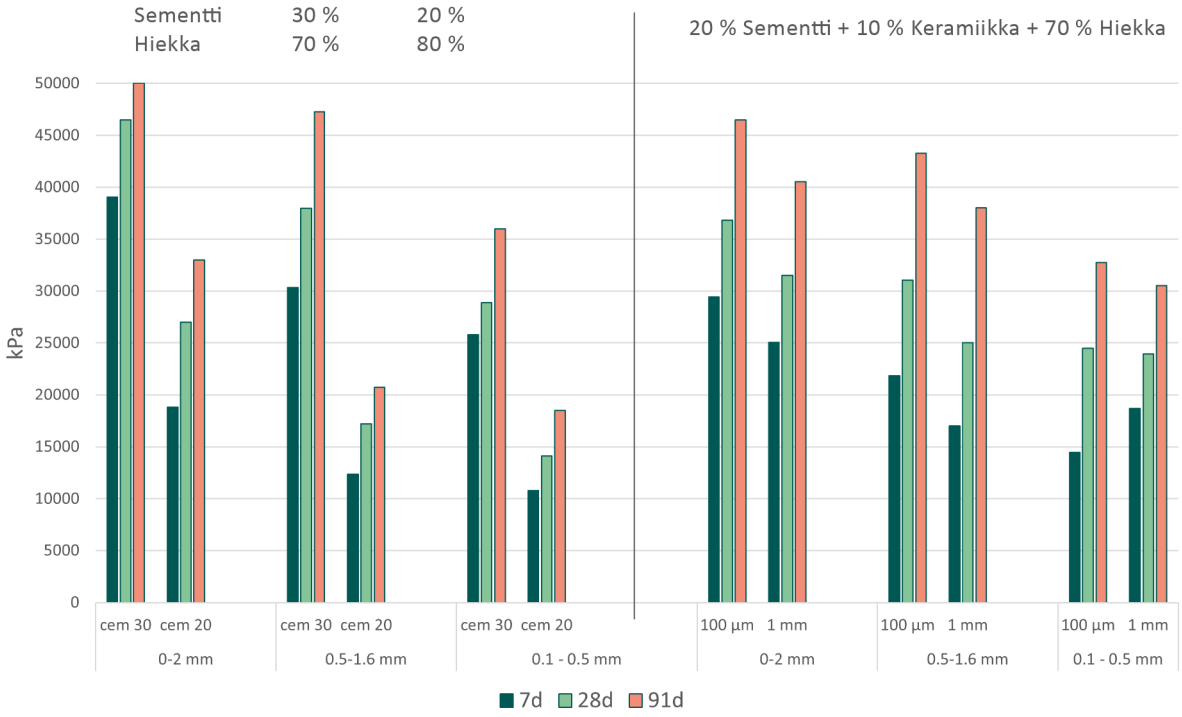
Kuva 11. Eri keramiikan vaikutus (10 %) puristuslujuuteen (MPa) ja vertailu kahteen seokseen, joissa käytettiin sementtiä 30 ja 20 % ja täyteaineena pelkkää hiekkaa.

Kuva 12 näyttää keramiikan partikkelikoon vaikutuksen puristuslujuuteen. Lujuus nousee hieman partikkelikoon pienentyessä. Tämä on odotettavissa, koska reaktiivisuus yleensä kasvaa partikkelikoon pienentyessä, kun reaktiivinen pinta-ala kasvaa. Sementin keskimääräinen partikkelikoko on yleensä noin 30 µm.



Kuva 12. Saniteettiposliinin partikkelikoon vaikutus puristuslujuuteen.

Kuvassa 13 näkyy hiekan partikkelikoon vaikutus puristuslujuuteen. Hiekan partikkelikokojakaumalla on suuri vaikutus tuloksiin. Paras lujuus saatiin 0–2 mm hiekalla. Sen partikkelijakauma on hyvin lähellä standardihiekan jakaumaa tällä partikkelikokoalueella. Korkeampi lujuus vaatii erikokoisia partikkeleita, missä pienemmät toimivat fillerinä isompien partikkelien välissä. Toisaalta pienemmät partikkelit (0,1–0,5 mm) antavat matalamman lujuuden kuin vähän karkeammat (0,5–1,6 mm). Tulokset kertovat hyvin, miten hiekan partikkelikoolla voidaan vaikuttaa puristuslujuuteen. Kaikissa seoksissa on käytetty samaa vesimäärää (50 g vettä, 400 g raaka-aineita). Tuloksista näkee myös, että keramiikalla pystytään korvaamaan osa sementistä, sillä kaikilla kolmella eri hiekkapartikkelikoolla 20 % sementtiä ja 10 % keraamia sisältävien näytteiden puristuslujuus oli 91 päivän jälkeen lähes samalla tasolla kuin ilman keramiikkaa käytettäessä 30 % sementtiä ja selvästi parempi kuin 20 % sementtipitoisuudella.



Kuva 13. Hiekan partikkelikoon vaikutus puristuslujuuteen erilaisissa sementtiresepteissä

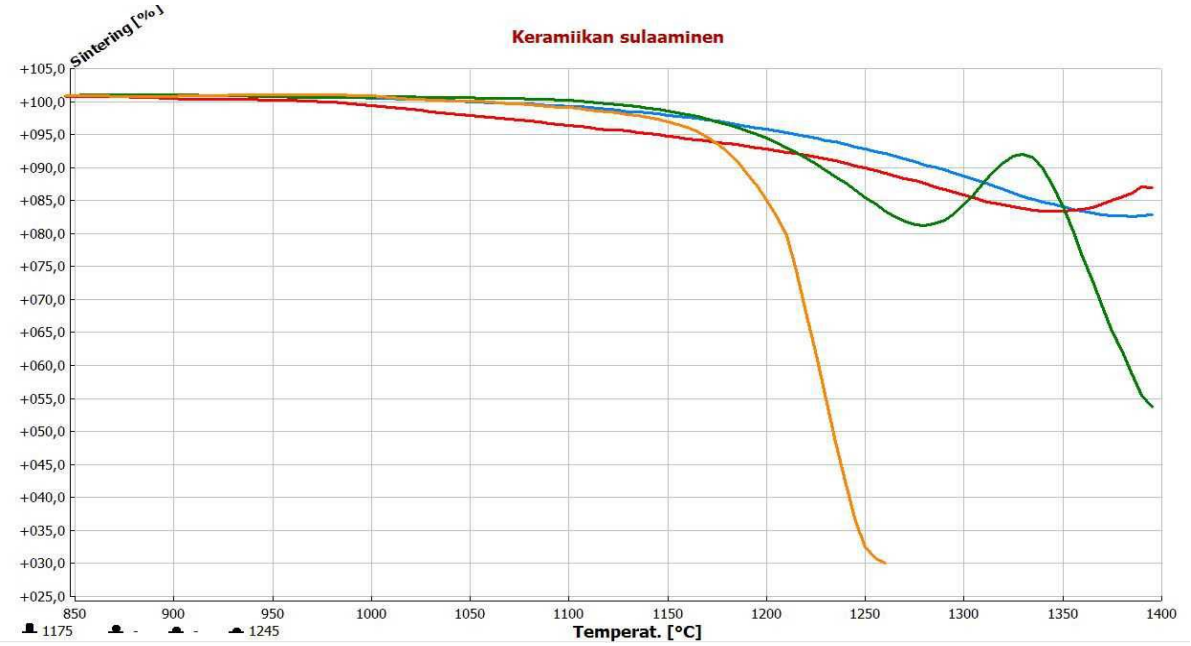
5.1.3 Tulenkestävät laatat ja laastit

Aluminaattisementtiä käytetään sideaineena, kun tarvitaan tuotteita, jotka altistuvat erittäin korkeille lämpötiloille, joita esimerkiksi tavallisista rakennussementeistä valmistetut tuotteet eivät kestä. Koviin lämpötilarasituksiin joutuvissa tuotteissa (kuten palolevyt, tulenkestävät valumassat, tiilet tai muurauslaastit) ei myöskään voida käyttää normaalia luonnon kiviainesta, koska Suomessa tyypillinen graniittipitoinen kiviaines sisältää aina myös kvartsia, joka alkaa rapautua jo noin 600 °C:n lämpötilassa. Jotta tuotteet kestävät toistuvia korkeita lämpötiloja, esimerkiksi uunin tulipesässä jopa 1300 °C, joudutaan runkoaineena käyttämään sopivia raaka-aineita, tyypillisesti samottia, joka on poltettua savea.

Hankkeessa tutkittiin, pystyisikö keramiikalla korvaamaan samottia tulenkestävissä laatoissa ja laastissa. Vertailuna käytettiin tyypillistä tulilaastireseptiä, jossa oli 20 % aluminaattisementtiä, 65 % samottia (0–2 mm) ja 15 % hienoa samottia (< 100 µm). Keramiikan vaikutusta tutkittiin korvaamalla sekä hienompi että karkeampi samotti keramiikalla (taulukko 5). Pääpaino oli saniteettikeramiikan käyttömahdollisuuksien tutkimuksessa. Näytteille tehtiin kattavasti erilaisia testejä.

Taulukko 5. Tutkitut reseptit tulenkestävien laattojen ja laastien valmistamiseksi.

Resepti nro	Aluminaatti Sementti	Samotti < 100 µm	Samotti 0–2 mm	Saniteetti < 100 µm	Saniteetti 0–2 mm	Astia < 100 µm	Astia 0–2 mm	Hiekka 0–2 mm
1	20 %	15 %	65 %					
2	20 %		65 %	15 %				
3	20 %	15 %			65 %			
4	20 %			15 %	65 %			
5	20 %					15 %	65 %	
6	20 %	15 %						65 %



Kuva 14. Keramiikkanäytteiden sulaminen lämpötilan suhteen. Saniteetti posliini (sin), astiakeramiikka (pun), valkoinen laatta (vihr) ja sininen laatta (kelt).

Aluksi keramiikkanäytteet analysoitiin kuumennusmikroskoopilla, jolla eri keramiikkatyyppien sulamiskäyttäytyminen saatiin selville (kuva 14). Osoittautui, että saniteetti- ja astiakeramiikka eivät odotetusti sulaneet vielä 1400 °C lämpötilassa, kun taas tutkimuksessa käytetyt keraamiset laatat sulivat paljon alemmissa lämpötiloissa. Valkoinen laatta alkoi sulaa noin 1300 °C lämpötilassa. Toinen tutkittu, Pukkilan valmistama sininen laatta, suli jo noin 1200–1250 °C lämpötilassa. Näissä 1980-luvulta aina 2000-luvun alkuun saakka valmistetuissa laatoissa käytettiin raaka-aineina muun muassa wollastoniittia ja talkkia (taulukko 3 ja taulukko 4). Nämä kalsiumia ja magnesiumia sisältävät raaka-aineet toimivat tehokkaana sulatusaineena noin 1200 °C lämpötilassa keraamisissa massoissa ja lasitteissa (Kronberg & Hupa 2019). Näitä keraamisia laattoja ei siten voi käyttää tulenkestävissä tuotteissa.

Raaka-aineet sekoitettiin keskenään ja lisättiin vettä (taulukko 5). Seoksista valettiin 30x30x30 mm kokoisia kuutioita. Näytteiden lämpöshokkikestävyys määritettiin niin sanotulla pirstolukutestillä. Näytteet kuivataan ensiksi 110 °C, jonka jälkeen näyte siirretään 15 minuutiksi 950 °C uuniin. Tämän jälkeen näyte pudotetaan suoraan 15-asteiseen veteen. Näyte pidetään veden alla 3 minuuttia, jonka jälkeen kierros aloitetaan alusta. Läpäistäkseen testin, materiaalin tulee kestää vähintään 16 sykliä. Referenssinä käytettiin kahta näytettä, joissa oli tavallista Oiva-sementtiä, 20 ja 30 %, ja loput samottia. Näyte, jossa oli 30 % sementtiä, hajosi vesiämpärissä jo ensimmäisen syklin aikana (kuva 15). Näyte, jossa oli

20 % sementtiä, hajosi toisen syklin aikana. Eli tavallisella sementillä ei saada aikaiseksi suuria lämmönvaihteluita kestävää materiaalia. Aluminaattisementillä tehdyt näytteet kestivät hyvin monta sykliä ilman huomattavia muutoksia ulkonäössä. Samotin korvaaminen saniteettiposliinilla ei vaikuttanut lopputulokseen; kaikissa näytteissä, joissa hieno ja/tai karkea samotti oli korvattu vastaavanlaisella saniteettiposliinijauhefraktiolla, oli testin tulos yhtä hyvä.



Kuva 15. Näytteitä pistolukutestien aikana. Tavallisella sementillä tehty näyte on hajonnut kahden syklin jälkeen (vas), aluminaattisementtiä sisältävä näyte on kestänyt hyvin monta sykliä (oik).

Lämmönkestävyyttä tutkittiin myös kuumentamalla näytteitä 1100 °C lämpötilassa kahden tunnin ajan. Jäähtyneet näytteet otettiin ulos ja niistä mitattiin kutistuma sekä puristuslujuus (taulukko 6). Puristuslujuutta verrattiin huoneenlämmössä, ilmassa säilytettyihin näytteisiin. Näytteet olivat kolmen kuukauden ikäisiä, kun testi suoritettiin. Kaikki testatut näytteet pysyivät ehjänä lämpökäsittelyn aikana. Puristuslujuus laski noin 50 % näytteissä, joissa oli käytetty samottia tai saniteettiposliinia. Tämä on normaalia tämäntyyppisille materiaaleille. Näytteessä, joissa oli käytetty tavallista hiekkaa, puristuslujuus laski noin 80 %. Kutistuma oli < 1 % kaikissa tulenkestävissä näytteissä. Hiekkapitoinen näyte paisui noin 1 % verran. Alle 1,5 % kutistumaa pidetään hyvänä tuloksena.

Taulukko 6. Lämmönkestokokeissa käytetyt reseptit ja niiden lujuudet ja kutistumat.

Al-Sem, Ciment fondu, %	Samotti < 100 µm %	Samotti 0–2 mm (%)	Saniteetti < 100 µm (%)	Saniteetti 0–2 mm (%)	Hiekka 0–2 mm (%)	1100 °C, 2h	25 °C	Muutos	Kutistuma (%)
20	15	65				12735	28803	44 %	-0,29
20			15	65		20204	38334	53 %	-0,75
20		65	15			13111	32931	40 %	-0,5
20	15			65		15909	34530	46 %	-0,37
15	20	65				11487	21675	53 %	-0,33
15			20	65		24553	32747	75 %	-0,46
20	15				65	8113	38169	21 %	0,79

5.1.4 Palonsuojalevyt

Palonsuojalevyillä hidastetaan palon etenemistä rakennuksissa. Palosuojalevyjä käytetään esimerkiksi kiukaiden taustalevyinä parantamassa paloturvallisuutta. Niiden, kuten palonkestävien tuotteiden valmistamisessa yleensäkin, käytetään sideaineena aluminaattisementtiä. Lisäaineina käytetään

esimerkiksi synteettisiä kuituja, lasikuitua, kipsiä ja selluloosaa. Nykyään kielletty asbestikuitu oli aikaisemmin yksi yleisistä palonsuojalevyissä käytetyistä ainesosista.

Hankkeen kierrätyskeraamia sisältäviä palonsuojalevyjä valmistettiin laboratorio-olosuhteissa neljällä reseptillä, joista lopulta kaksi valikoitiin palotesteihin. Palosuojalevyt testattiin polttamalla levyt kaasu-uunissa standardin EN 1363-1 A-palokäyrän mukaisesti. Palotestissä molemmat levyt säilyivät ulkoisesti vaurioitumattomina. Reseptit sisälsivät aluminaattisementtiä, kivivillajauhetta, laattamurskaa, posliinimurskaa ja tuhkaa. Aluminaattisementin kovettumisreaktio käynnistettiin vedellä, jonka oletettiin sitoutuvan rakenteeseen kokonaan.

Verrokkeina pilotoitujen palonsuojalevyjen kanssa toimi 1) aluminaattisementistä ja samotista valmistettu palonsuojalevy ($CaAlO_3$ + samotti, mukaillen esim. Swisspearl luja A[20]) sekä 2) tavallisesta sementistä (CEM II/B) ja murskatusta tiilestä (sis. tiilen valmistus + murskaus) valmistettu levy (CEM II/B + punatiili murskattuna). Punatiiltä sisältävä levy voisi toimia niin sanotusti välimallin tuotteena, kun tavallinen kiviainen ei ole riittävän kestävää tulenkestoltaan, mutta tiili riittää, eikä siten samottia tarvittaisi. Laskelmissa tämän levyn prosessiin otettiin mukaan myös tiilen valmistus, jotta vertailu osoittaisi eron samottiin. Käytännössä punatiiliä tai siihen soveltuvaa savea tuskin poltettaisiin ja jauhettaisiin varta vasten levyjen raaka-aineeksi, mutta purkutiili voisi olla hyvinkin toimiva vaihtoehto. Tämän vuoksi myöhemmin kappaleessa 7.2 esitetyistä tuloksista tiilen valmistus on helppo erottaa ja käsitellä se purkutiilenä. Reseptit, joille sittemmin laskettiin ympäristövaikutuksia (ks. kappale 7.2), on esitetty taulukossa 7.

Verrokki 1 -levyn ja pilottilevyjen aluminaattisementtimäärät olivat liki samat, eli vertailu kertoo pääasiassa eron samotin ja keraamisten kierrätysraaka-aineiden prosessoinnin välillä. Verrokin 2 tapauksessa sekä sideaineen että runkomateriaalin laatu ja -määrä poikkeavat pilottituotteista selvästi.

Taulukko 7. Kahden keraamista jätemateriaalia sisältävän ja kahden ensiömateriaaleista valmistetun levyn reseptit, joille laskettiin myös ympäristövaikutukset.

Tuotteessa käytettävä raaka-aine	Pilottilevy A, kg/t	Pilottilevy B, kg/t	Verrokki 1: CaAlO3 + samotti, kg/t	Verrokki 2: CEM II/B + punatiili murskattuna, kg/t
Aluminaattisementti	279	252	270	
Tuhka		50		
Hienoksijauhettu saniteettiposliini	186	294		
Lattialaatta	256	105		
Samotti			561	
Sementti II/B				167
Punatiili				750
Villa	105	84		
Vesi (tuotteeseen sitoutunut)	174	215	169	83
Summa	1000	1000	1000	1000

[20] EPD:ssä reseptiikkaa ei paljasteta tarkkaan ja puhutaan vain sementistä. https://www.swisspearl.com/fi/tuotteet/sisatilat/interior-product-finder/luja-a

5.2 Mineraalivillan valmistus

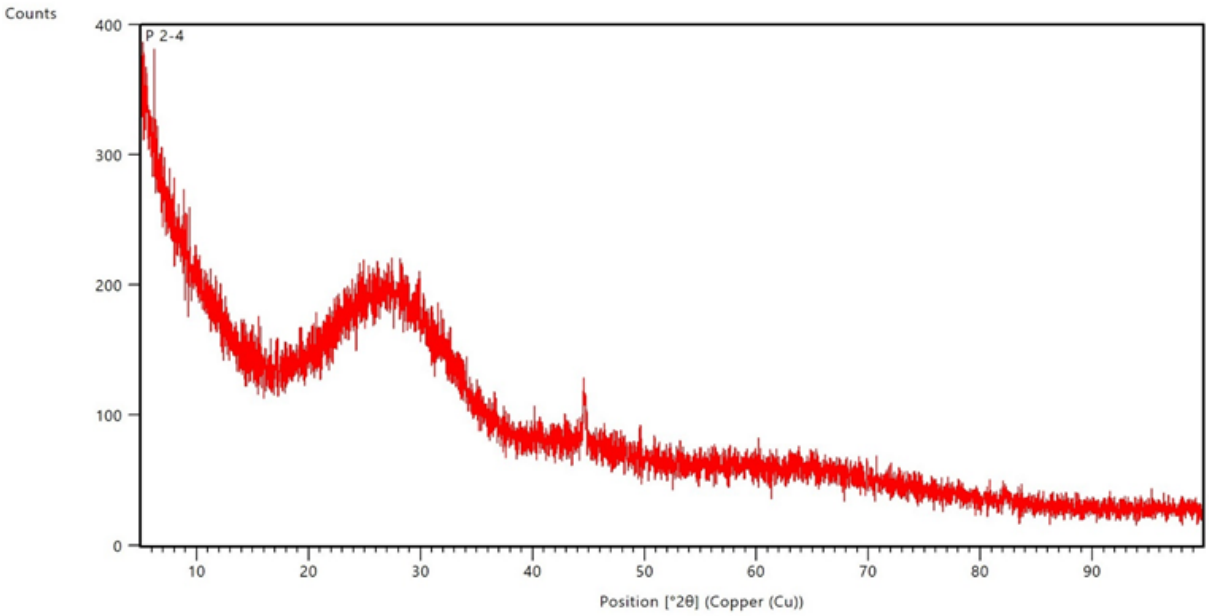
Projektissa tutkittiin myös alustavasti keramiikan käyttöä raaka-aineena mineraalivillan valmistuksessa. Tähän tarkoitukseen keramiikan pitää sulaa lasiksi muiden raaka-aineiden kanssa uunissa ennen kuidutusprosessia. Tämä on selvä ero verrattuna tulenkestäviin materiaaleihin, joissa keramiikka ei saa sulaa edes korkeissa lämpötiloissa

Kokeissa tehtiin seoksia, joissa erikokoista (0,5–10 mm) saniteettikeramiikkaa sekoitettiin mineraalivillatehtaalta saadun mineraalivillaraaka-aineen kanssa. Keramiikan osuus oli 5–10 %. Seosta kuumennettiin laboratoriouunissa (1450 °C) 60 minuutin ajan, jolloin se suli yhdeksi massaksi. Sula massa kaadettiin suoraan kylmään veteen, jolla estettiin massan kristallisoitumista (kuva 16). Tämän jälkeen tutkittiin materiaalin ominaisuuksia.



Kuva 16. Mineraalivillasulan valmistaminen ja kaato kylmään veteen.

Tulokset olivat lupaavia. Ainakin pienehkö, 5–10 % määrä saniteettikeramiikkaa saadaan sulatettua tunnin aikana mineraalivillaraaka-aineen kanssa yhteen. Tulos vahvistettiin röntgendiffraktometrialla (kuva 17). Röntgendiffraktogrammissa näkyy amorfiselle (lasimaiselle) rakenteelle tyypillinen taustan kohoaminen. Ainoa näkyvä pieni piikki on kristallimainen rauta, jota oli erittäin pieni pitoisuus näytteessä. Keramiikkaa voidaan siis käyttää raaka-aineena mineraalivillan valmistuksessa, mutta aiheesta tarvitaan vielä lisää tutkimusta. Lopullisen mineraalivillan haluttu oksidikoostumus määrittää sen, mikä määrä ja mitkä raaka-aineet voidaan korvata.



Kuva 17. Yhteen sulatetun keramiikan ja mineraalivillaraaka-aineen röntgendiffraktogrammi.

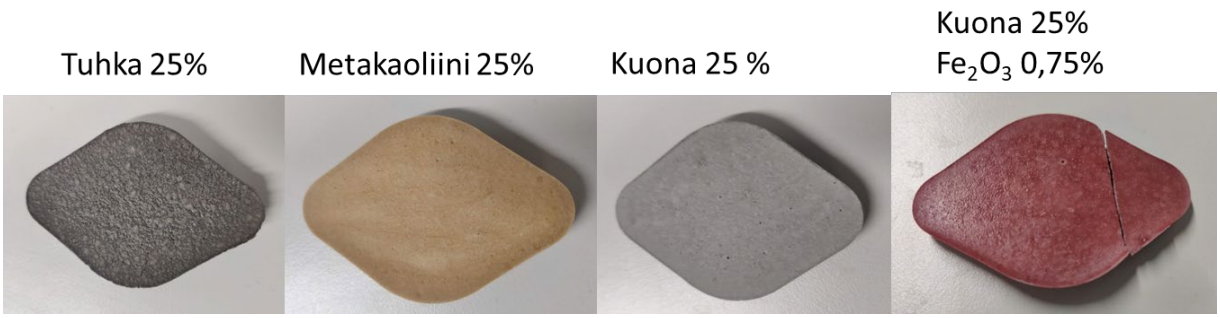
5.2.1 Geopolymeerit

Geopolymeerit ovat epäorgaanisia betonin kaltaisia materiaaleja, jotka on valmistettu alumiinisilikaatteja sisältävistä aineista, kuten esimerkiksi lentotuhkasta ja metakaoliinista. Geopolymeerit valmistetaan polymeroimalla alumiinisilikaattia, joka on osin liuennut emäksiseen aktivaattoriin joko huoneenlämmössä tai sitä korkeammassa lämpötilassa. Polymeroituminen johtaa amorfiseen faasiin ja kolmiulotteisiin alumiinisilikaattirakenteisiin. Geopolymeeritekniikka mahdollistaa sementtivapaan betonin tai materiaalin valmistuksen.

Tässä projektissa tutkittiin geopolymeerien tai alkaliaktivoitujen materiaalien käyttöä keramiikan tyyppisenä materiaalina sekä kevytrakennemateriaalina. Hienoksi jauhettua keramiikkaa (< 100 µm, < 1 mm) käytettiin raaka-aineena yhdessä masuunikuonan, tuhkan ja metakaoliinin kanssa. Alkaliaktivaattorina käytettiin natriumhydroksidia ja/tai vesilasia (natriumsilikaattia) eri suhteilla.

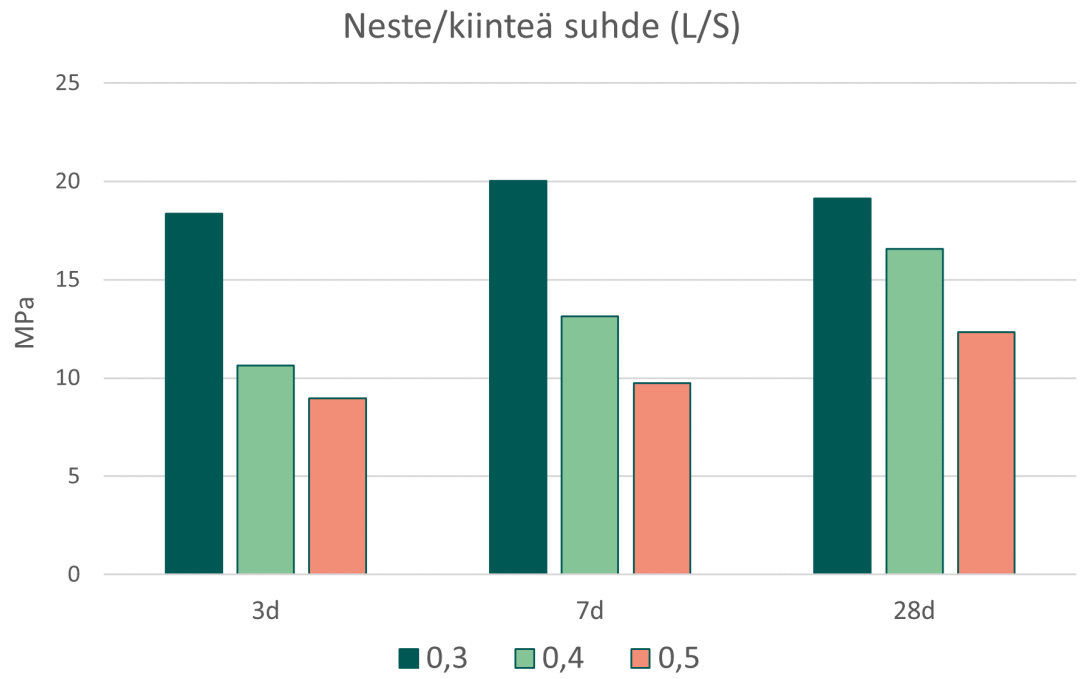
Näytteet valmistettiin sekoittamalla kiinteä materiaali ja nestemäinen aktivaattori. Näiden suhdetta muuttamalla voidaan vaikuttaa moneen ominaisuuteen. Myös kiinteän ja nestemäisen materiaalin koostumus vaikuttaa tuloksiin. Puristuslujuusmittauksia varten valettiin sylinterin muotoisia näytteitä. Näytteet otettiin pois muotista seuraavana päivänä ja puristuslujuus mitattiin kolmen, seitsemän ja 28 päivän jälkeen. Samalla valettiin salmiakkimuotoiseen muottiin näytepaloja.

Keramiikan osuus pidettiin tutkimuksessa mahdollisimman korkeana. Käytettäessä 75 % keramiikkaa lujuudet olivat vielä tarpeeksi korkeita keramiikan tyyppisen uusiomateriaalin valmistamiseksi. Kuvassa 18 on näytteitä, joissa keramiikan lisäksi on 25 % tuhkaa, metakaoliinia tai kuonaa. Materiaali voidaan myös värjätä esimerkiksi pienellä määrällä rautaoksidia.



Kuva 18. Geopolymeerinäytekappaleita, joissa käytetty 75 % keramiikkaa ja 25 % tuhkaa, metakaoliinia tai kuonaa. Oikeanpuoleisin näyte on värjätty pienellä määrällä rautaoksidia.

Kuvassa 19 on puristuslujuus kolmen, seitsemän ja 28 päivän jälkeen kolmella eri neste/kiinteä -suhteella (0,3, 0,4 ja 0,5) näytteille, joissa on 75 % saniteettikeramiikkaa ja 25 % kuonaa. Odotetusti puristuslujuus laskee (20 MPa -> 10 MPa) kun nesteen osuus nousee. Mutta jos halutaan tehdä valamalla esine muottiin, tulee suhteen olla vähän korkeampi kuin esimerkiksi betonityyppisiä massoja tehtäessä. Myös lujittuminen on hitaampaa neste/kiinteä suhteen noustessa ja siten muotista irrottamista joutuu odottamaan kauemmin.



Kuva 19. Puristuslujuus kolmen, seitsemän ja 28 vuorokauden kovettumisen jälkeen kolmella eri neste/kiinteä -suhteella 75 % keramiikkaa ja 25 % kuonaa sisältäville geopolymeereille.

Tulokset olivat positiivisia: käytännöllisiä ja tarpeeksi kovia näytteitä saatiin tuotettua. Ongelmaksi osoittautuivat vielä pintareaktiot, kun näytteet kostuivat. Veden kanssa kosketuksissa olevissa näytteissä havaittiin huomattavaa härmistymistä, johtuen suuresta ylimäärästä emäksisiä aineita kuten hydroksideja (kuva 20). Nämä reagoivat kuivuessaan suhteellisen nopeasti karbonaateiksi. Härmistymistä ei tapahdu ilman suoraa kontaktia veteen, mutta kuivuessa, varsinkin nesteen rajapinnassa, reaktio on ilmeinen. Tätä asiaa on tutkittava tulevaisuudessa lisää.



Kuva 20. Härmistymistä materiaalin pinnassa vasemmalla alhaalla.

Alustavasti tutkittiin myös kevytrakenteisen geopolymeerin tai alkaliaktivoidun materiaalin valmistamista käyttämällä sivuvirtoja: tuhkaa, kuonaa ja keramiikkaa. Alkaliaktivaattoreina käytettiin natriumhydroksidia ja vesilasia (natriumsilikaattia). Kevytrakenteiset geopolymeerit ovat saaneet huomiota erinomaisen kestävyytensä, vähäisempien ympäristövaikutustensa ja kestävien ominaisuuksiensa ansiosta (Masoule ym. 2022). Niiden ominaispaino on alhainen, niillä on alhainen lämmönjohtavuus ja ne ovat hyvin ääntä eristäviä.

Kevytrakenteiset materiaalit valmistettiin käyttämällä keramiikkaa ja kuonaa kiinteänä aineena ja natriumhydroksidia ja vesilasia alkaliaktivaattoreina. Huokoinen rakenne saatiin aikaiseksi lisäämällä seokseen muutama prosentti vetyperoksidia (H_2O_2). Referenssinä käytettiin reseptiä ilman vetyperoksidia. Sekoitukset kaadettiin muotteihin (30x30x30 mm) ja seuraavana päivänä kuutiot irrotettiin muoteista. Tyypillinen onnistunut resepti kehitti huokoisen rakenteen (kuva 21). Yhteenvetona tuloksista voidaan mainita matalampi tiheys (0,9 vs. 2,2 g/cm3), huokoisuuden kasvu (30 vs. 0,5 %) mutta puristuslujuuden lasku (5 vs. 40 MPa) verrattuna tavallisiin, tiheisiin geopolymeerikappaleisiin.



Kuva 21. Kevytrakenteisia alkaliaktivoituja materiaaleja, joissa käytetty keramiikkaa yhtenä raaka-aineena. Vasemmalta lukien, kappale sellaisenaan, muotoon hiottuna ja lähikuva muotoonsa hiotun kappaleen pintarakenteesta.

5.3 Keraamiset purkujätteet infrarakentamisessa

5.3.1 Keraamisten purkulaattojen haitta-aineiden liukoisuusanalyysit

MARA-asetuksen (VNa 843/2017) mukaan materiaalista on teetettävä liukoisuusanalyysit, jos asetuksessa nimettyjä jätteitä halutaan hyödyntää maa- ja vesirakennuskohteissa täytöissä. Haitta-aineiden pitoisuuksien tulee pysyä kullekin käyttökohteelle säädettyjen raja-arvojen alapuolella. Keraamiset laatat eivät kuulu MARA-asetuksen soveltamisalaan, joten MARA-asetuksen raja-arvoja ei sovelleta niiden käyttöön maarakentamisessa. Vaadittavat tutkimukset ja haitta-aineiden enimmäispitoisuudet määritellään kunkin hyödyntämiskohteen ympäristöluvassa tapauskohtaisesti. MARA-asetuksen kriteerejä on kuitenkin käytetty seuraavissa kokeissa suuntaa antavina vertailutietoina.

Irrotetut laatat voivat sisältää taustamateriaalista ja kiinnitystavasta riippuen hyvin erilaisia yhdisteitä. Erityisesti rakennukset, jotka on rakennettu vuosikymmeniä sitten ja remontoitu useaankin kertaan, voivat sisältää erilaisia ja vaarallisiakin aineita sisältäviä kiinnikkeitä, vaikka itse keraami olisi täysin turvallinen ympäristön kannalta. Lainsäädäntö on vuosien varrella muuttunut, ja aikaisemmin käytettyjen haitta-aineiden esiintyvyys vähenee rakennuskannan uusiutuessa. Toki jotkin nykyään hyväksytyt yhdisteet saatetaan tulevaisuudessa todeta haitallisiksi, jolloin purkukohteissa tulevat eteen uudet haitta-ainehaasteet vanhojen haitta-aineongelmien pikkuhiljaa poistuessa.

Pilotoinnin yhteydessä Turun alueen saneerauskohteista noudettiin yhteensä viisi erilaista purkulaattaa, joista teetettiin MARA-asetuksen mukaiset liukoisuusanalyysit asetuksessa esitetyistä haitta-aineista. Lisäksi analyysit tehtiin puhtaalle, sekalaisista ylijäämälaatoista koostuvalle näytteelle. Taulukossa 8 esitetyt purkulaatat olivat kiinnitystaustaltaan seuraavanlaisia:

- Purkulaatat 1, 2 ja 5: betoniseinätaustaisia
- Purkulaatta 3: tiiliseinätaustainen
- Purkulaatta 4: kipsiseinätaustainen, seassa myös kosteuseristeitä
- Puhdas laatta: kokoomanäyte eri maahantuojien erilaisia ylijäämäseinä- ja -lattialaattoja.

Taulukossa 8 on esitetty MARA-asetuksessa mainitut haitta-aineet ja kunkin haitta-aineen raja-arvojen vaihteluväli, sekä eri lähteistä saatujen laattojen haitta-aineanalyysien liukoisuuskoetulokset. Analyysien (2-vaiheinen ravistelutesti) tuloksia on verrattu MARA-asetuksen raja-arvoihin esittämällä värjäämättöminä raja-arvot alittavat näytteet, maalaamalla keltaisella ne arvot, jotka ovat alimman ja ylimmän raja-arvon välissä ja punaisella ne, jotka ovat ylittäneet ylimmän raja-arvon (taulukko 8).

Taulukko 8. Taulukossa on esitetty eri purkukohteiden laattojen haitta-aineiden liukoisuudet ja pitoisuudet ja MARA-asetuksen (VNA 843/2017, liite 2) raja-arvojen vaihteluväli. Punaisella maalatut arvot ovat ylittäneet raja-arvojen vaihteluvälin ylimmän raja-arvon ja oranssilla maalatuissa arvo on alimman ja ylimmän raja-arvon välissä. Sulkeissa on kerrottu, miten laatta on ollut kiinnitettynä seinään.

Haitta-aine	Raja-arvojen vaihteluväli, mg/kg	Puhdas Ylijää-mälaatta	Purkulaatta 1 (Betoniseinä)	Purkulaatta 2 (Betoni-seinä)	Purku-laatta 3 (Tiiliseinä)	Purkulaatta 4 (Kipsilevy-seinä)	Purkulaatta 5 (Betoniseinä)
Antimoni	0,3–0,7	0,004	<0,01	<0,01	0,0046	<0,01	<0,01
Arseeni	0,5–2	0,34	0,002	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Barium	20–100	0,13	0,2	0,05	0,41	0,51	0,059
Kadmium	0,04–0,06	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Kromi	0,5–10	0,52	0,12	0,27	0,22	0,31	0,055
Kupari	2–10	<0,05	0,09	<0,05	<0,05	0,13	<0,05
Lyijy	0,5–2	<0,005	0,001	<0,005	<0,005	0,85	<0,005
Molybdeeni	0,5–6	0,14	0,14	0,063	0,12	0,15	0,013
Nikkeli	0,4–2	<0,01	0,03	0,01	<0,01	0,011	0,01
Seleeni	0,4–1	<0,04	0,019	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Sinkki	4–15	0,063	0,023	0,099	0,06	9	0,05
Vanadiini	2–3	1,5	0,018	1,5	0,51	0,11	0,64
Elohopea	0,01–0,03	<0,004	<0,001	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Kloridi	800–11000	<50	30	<50	<50	<50	<50
Sulfaatti	1000–18000	400	2600	3000	1100	5100	720
Fluoridi	10–150	<5	5	6,6	6,3	9	11
DOC (liuen-nut org.hiili)	500	130	880	350	400	1800	250
Bentseeni	0,02–0,2	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
TEX	10–25	<0,1**	<0,1**	<0,1**	<0,1**	<0,1**	<0,1**
Naftaleeni	5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
PAH-yhdis-teet	30	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,0	<0,1
Fenoliset yhdisteet	5–10	<0,5	6,5	<0,5	2,4	9,8	<0,5
Öljyhiilive-dyt C10-C40	500	<50	<50	<50	<50	260	<50
TDS (total dissolved solids)	4000–100000	3300	27000	9300	7200	20000	2400
PCB	1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Liukoisuustestien mukaan jokaisessa näytteessä vähintään yksi haitta-aine, jonka pitoisuus ylitti ainakin alemman raja-arvon. Ylityksiä oli eniten, kuuden haitta-aineen kohdalla, kipsilevytaustaisella purkulaatalla 4. Sen mukana taustamateriaalin lisäksi runsaasti kiinnikeaineita ja muun muassa kosteuseristeen paloja. Kuudesta ylityksestä kuitenkin vain DOC ylitti ylimmän raja-arvon. Purkulaatan 1 kohdalla ylittyivät neljän aineen raja-arvot, joista purkulaatan 4 tavoin vain DOC ylitti ylimmän raja-arvon. Betonitaustaisen purkulaatan 5 fluoridit olivat hieman yli alimman raja-arvon.

Kerätyt näytteet ovat vain pieni otanta, mutta ne edustavat kuitenkin hyvin erilaisten purkulaattojen kirjoa. Teetetyt liukoisuusanalyysit antavat kuvan siitä, mitä haitta-aineita eri purkulaattaeristä voi löytyä. Monen nyt testatun laatan käyttö maa- tai pohjarakenteena olisi sellaisenaan mahdollista, mikäli nämä materiaalit kuuluisivat MARA-asetuksen piiriin.

5.3.2 Hulevesien hallinta

Hulevesien hallinnalla pyritään esimerkiksi hillitsemään taajamista sadevesien mukana kulkeutuvien ravinteiden ja kiintoaineen haittoja ympäristölle. Imeytyspainanteet ovat yksi hulevesien hallintaratkaisu. Ne ovat kiviaineisia painanteita, joissa usein kasvillisuuspeitteillä lisätään hulevesien haihtumista takaisin ympäristöön ja ravinteiden sitoutumista vedestä kasvustoon. Imeytyspainanteet usein tukkeutuvat ja alueita joudutaan puhdistamaan kiviaineksen läpäisevyyden varmistamiseksi. Puhdistamistoimenpiteet häiritsevät alueella jo olevaa ja kasvavaa kasvillisuutta (Suomen Kuntaliitto 2012). Imeytyspainanteiden hoidon helpottamiseksi, hankkeessa kokeiltiin hulevesien käsittelyä laskeutumisalueiden ja imeytysaltaiden välissä hyödyntäen keraamisia laattoja. Käsittelyn tarkoituksena oli orgaanisen aineksen hajottaminen hulevedestä, jolloin liettyminen hidastuu ja ravinteet muuttuvat liukoiseen, eli kasveille hyödynnettävään muotoon. Tällöin kasvillisuuden biomassan tuotanto lisääntyy, mikä mahdollistaa kasvillisuuden monimuotoisuuden lisääntymisen ja samalla toimenpide vähentää imeytysaltaiden huoltotarvetta.

Hankkeen aikana testattiin laattoja maasuodattimen osana. Laattasuodattimella pyrittiin puhdistamaan ravinnepitoisia (fosfori ja typpi) vesiä sekä laboratorio-olosuhteissa että kentällä. Laboratoriokokeita tehtiin yhteensä kaksi. Niissä molemmissa tarkoitus ja järjestelyt olivat samanlaiset, mutta kokeissa käytettiin eri lähteistä haettuja vesiä ja eri suodatinmateriaaleja. Laboratoriokokeiden vesi oli luonnosta haettua ravinnerikasta vettä, joka kulki pumppujen avulla laattojen läpi. Ensimmäisen laboratoriokokeen (laboratoriokoe 1) vesi noudettiin hevostallin viereisestä laskuojasta ja toisen laboratoriokokeen (laboratoriokoe 2) vesi Tarvasjoella sijaitsevasta suurehkon valuma-alueen laskuojasta. Koejärjestely näkyy pääpiirteittäin kuvassa 22, jossa näkyy laboratoriokokeessa 1 käytetty soratäytteinen ja likaisen purkulaatan täyttämä vesiastia.



Kuva 22. Laboratoriokokeen vesiastiat, joiden toinen pääty on täytetty tutkittavalla materiaalilla. Vasemmalla soratäytteinen astia ja oikealla hyvin likaisella purkulaatalla täytetty astia. Vesi on saatu koejärjestelyssä virtaavaksi pienillä pumpuilla.

Vesi juoksutettiin kokeissa eri suodatinmateriaalien läpi: soran, puhtaan ylijäämälaatan, betonitaustaisen ja hyvin likaisen purkulaatan läpi. Mukana oli myös astia, johon laitettiin vain ravinnepitoinen vesi ja pumppu. Laatat olivat rakenteessa kevyesti rikottuina, niitä ei murskattu pieneksi. Astioiden vedestä analysoitiin kokonaisfosfori, liuennut kokonaisfosfori, kokonaistyppi ja liuennut kokonaistyppi. Kaikki analyysit tehtiin koejärjestelyjen alussa 10 vrk:n ja 25 vrk:n kuluttua kokeen aloituksesta. Laboratorioanalyysien tulokset materiaalikohtaisesti on esitetty alla olevissa taulukoissa 9 ja 10.

Taulukko 9. Laboratoriokoe 1, jossa vertailtiin puhtaan ylijäämälaatan ja hyvin likaisen purkulaatan läpi virtautetun veden ravinnepitoisuuksien muutosta ajan suhteessa. Kokeessa oli mukana vertailun vuoksi myös kiviaines ja puhdas vesiastia. Vesi oli haettu Liedon hevostallin läheisestä laskuojasta.

Laboratoriokoe 1: Liedon hevostallin laskuoja Suodatinmateriaali - Tutkittu pitoisuus	Koeaika (vrk) ja ravinnepitoisuudet µg/l		
Puhdas ylijäämälaatta	0 vrk	10 vrk	25 vrk
Kokonaistyppi	930	580	620
Liuennut kokonaistyppi	790	570	660
Kokonaisfosfori	65	37	39
Liuennut kokonaisfosfori	15	22	28
Kipsilevytaustainen, likainen (saumausaineet, eristeet mukana)			
Kokonaistyppi	930	6300	4000
Liuennut kokonaistyppi	790	650	700
Kokonaisfosfori	65	37	47
Liuennut kokonaisfosfori	15	36	42
Sora			
Kokonaistyppi	930	1200	1100
Liuennut kokonaistyppi	790	920	1000
Kokonaisfosfori	65	45	32
Liuennut kokonaisfosfori	15	10	8
Puhdas vesi, ei laattaa, ei kiviainesta			
Kokonaistyppi	930	820	870
Liuennut kokonaistyppi	790	710	450
Kokonaisfosfori	65	45	36
Liuennut kokonaisfosfori	15	11	6

Taulukko 10. Laboratoriokoe 2, jossa kokeiltiin betonitaustaisen laattakasan läpi virtautetun veden ravinnepitoisuuksien muutosta. Vesi oli haettu Tarvasjoella sijaitsevasta suurehkon valuma-alueen laskuojasta.

Laboratoriokoe 2: Tarvasjoen vesi Suodatinmateriaali - Tutkittu pitoisuus	Aika (vrk) ja ravinnepitoisuudet µg/l		
Puhdas ylijäämälaatta	0 vrk µg/l	10 vrk µg/l	25 vrk µg/l
Kokonaistyppi	930	820	960
Liuennut kokonaistyppi	520	800	900
Kokonaisfosfori	68	41	25
Liuennut kokonaisfosfori	13	32	12
Betonitaustainen purkulaatta			
Kokonaistyppi	740	1400	2000
Liuennut kokonaistyppi	520	1200	1400
Kokonaisfosfori	68	45	57
Liuennut kokonaisfosfori	13	16	11

Tarvasjoen vedellä tehdyn laboratoriokokeen perusteella sekä puhtaasta että betonitaustaisesta laatasta valmistettu laattasuodatin toimii fosforin poistossa ravinnerikkaasta vedestä, kun tarkastellaan liuenneen kokonaisfosforin ja kokonaisfosforin suhdetta 10 vrk:n ajanhetkellä. Kokonaisfosfori on muuttunut suodattimen avulla liukoiseen muotoon. Sorassa ja vesiastiassa, jotka toimivat vertailunäytteinä, puhdistavaa ilmiötä ei näkynyt merkittävästi. Hyvin likainen purkulaatta muodosti astian vesipintaan limaisen kerroksen, joka johtui todennäköisesti kipsisestä taustalevymateriaalista. Puhdistavaa ilmiötä ei siis ollut havaittavissa, koska suodatin “tukkeutui” laatan kiinnikeaineista. Hyvin likaisten laattojen osalta on myös mahdollista, että tausta- ja kiinnikemateriaaleista irtoaa veteen myös jotain haitallista, kuten aikaisemmin esitetyissä liukoisuusanalyyseissa (kappale 5.3.1) nähtiin.

Myöhemmän näytteenoton (25 vrk) tuloksia on syytä kyseenalaistaa, koska puhdistimessa virtasi jatkuvasti sama vesi. Suodattimen vaikutusta typen määrän vähenemiseen ei voitu osoittaa, mutta sen vaikutusta on näillä koejärjestelyillä vaikea todentaa muun muassa ilman korkean typpipitoisuuden takia.

Laboratoriokokeen tulosten pohjalta ylijäämälaatoista rakennettiin suodatinrakenne myös luonnonolosuhteisiin, Tarvasjoella sijaitsevalle kentälle. Muovinen säiliö täytettiin käsin rikotuilla laatoilla ja säiliö upotettiin laskuojassa virtaavaan veteen. Säiliön läpi virtaavan veden virtausnopeutta säädeltiin säiliön alareunaan tehdyillä rei’ityksillä. Koejärjestelyitä on esitetty kuvassa 23. Kenttäkokeessa käytettiin vain puhtaita ylijäämälaattoja. Iso muoviastia täytettiin ylijäämälaatoilla ja astia upotettiin laskuojassa virtaavaan veteen.



Kuva 23. Kenttäkoejärjestelyt. Vasemmanpuoleisessa kuvassa näkyy muovinen säiliö, joka täytettiin ylijäämälaatoilla astian yläpintaan ja upotettiin ojaan oikeanpuoleisen kuvan mukaisesti. Säiliön toisen eli ylävirranpuoleisen päädyn alareunassa on rei'itys, jota pitkin vesi pääsee hallitusti kulkemaan koko laattapesän eli suodattimen läpi alavirran suuntaan. Vesi virtaa ojassa oikeamman puoleiseen kuvaan piirretyn nuolen suuntaan.

Laattasuodattimen upotuksen jälkeen ojasta poimittiin vesinäytteitä sekä ennen suodatinta (yläjuoksu) että suodattimen jälkeen (alajuoksu). Näytteiden kokonais- ja liuenneen typen ja fosforin ravinnepitoisuudet eri ajan hetkillä on näytetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Kenttäkokeen vesinäytteenoton tulokset ojan ylä- ja alajuoksulta. Yläjuoksulta tulee luonnollinen ravinnepitoinen laskuvesi ja alajuoksu on virrannut laattapesäkäsittelyn läpi.

Kenttäkoe: Tarvasjoen laskuoja Suodatinmateriaali - Tutkittu pitoisuus	Aika (vrk) ja ravinnepitoisuus (µg/l)		
Puhdas ylijäämälaatta	0 vrk yläjuoksu	62 vrk yläjuoksu	62 vrk alajuoksu
Kokonaistyppi	1500	1500	1500
Liuennut kokonaistyppi	510	1000	1000
Kokonaisfosfori	470	210	210
Liuennut kokonaisfosfori	48	48	50

Ojasta mitattujen fosfori- ja typpipitoisuuksien perusteella (taulukko 11) ei voida todeta, että laattapesä olisi näillä koejärjestelyillä toiminut ravinteina puhdistavana rakenteena. Noin kahden kuukauden seurantajakson jälkeen sekä rakenteen yläpuolisen ojan että rakenteen alapuolisen ojan veden tutkitut ravinnepitoisuudet olivat lähes samat. Syynä on voinut olla se, että oja oli hyvin runsaasti kasvillisuuden peittämä ja kasvillisuus itsessään toimi jo ravinteiden puhdistajana, jolloin eroa ylä- ja alajuoksulle ei saatu näkymään. Lisäksi koejärjestelyjä hankaloittivat vaihtelevat sääolosuhteet; kokeen alussa oja kuivui täysin ja mittausajan loppuvaiheilla sateet olivat taas hyvin runsaita. Mahdollisissa jatkotutkimuksissa olisi hyvä etsiä oja, jossa olosuhteet ovat hyvin tasaiset, ja varata mittausajalle pidempi ajanjakso kuin tässä hankkeessa. Vaikka tällä kokeella haettiinkin lähes murskaamattomalle laatalle hyötykäyttökohdetta, voisi suodattimen tehokkuuden lisäämiseksi murskatun laatan pienempi raekoko tehostaa puhdistamista.

5.3.3 Laattojen käyttö pohjarakenteena

Rakennettujen alueiden kuormitetut alueet kuten parkkipaikat, tiet ja kadut tehdään päällysteiden lisäksi yleensä luonnonkiviaineksista eli kalliomurskeesta, sorasta ja hiekasta. Luonnonkiviainekset ovat

ominaisuuksiltaan tunnettuja ja kestäviä. Viime vuosien aikana myös teollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen pohjarakennemateriaaleina on lisääntynyt ja tutkimusta niiden ominaisuuksista ja käyttökohteista on selvitetty esimerkiksi Väyläviraston julkaisussa (Väylävirasto 2022).

Hankkeen aikana selvitettiin laattojen soveltuvuutta pohjarakennemateriaaliksi kenttäkokeella ja laboratoriokokeilla. Kenttäkokeen ensisijainen tarkoitus oli selvittää, onnistuuko laattamateriaalin murskaus ja tiivistys kentällä perinteisin maarakennuskonein, ja minkälaisiin kantavuusarvoihin (E-moduulit) sillä päästään verrattuna luonnonmateriaaleihin. Lisäksi laboratoriossa määritettiin materiaalin optimivesipitoisuus ja maksimikuivatilavuuspaino parannetun Proctor-kokeen avulla.

Kokeissa käytettiin ylijäämälaattoja, joita tiivistettiin kentällä 400 kg:n tärylevyllä ja 12 t tiehöylällä 35–40 cm kerrospaksuuksin ja 8–10 kertaa yliajaen, ja laatat murskautuivat ja tiivistyivät laitteiden alla noin 1–5 cm:n raekokoon (kuva 24). Molempien koneiden tiivistyksen jälkeen lopullisen rakenteen kantavuus mitattiin kevyellä pudotuspainolaitteella ja levykuormituskokeella. Kevyellä pudotuspainolaitteella mitatut E1-moduuliarvot olivat noin 50–60 MPa:n luokkaa. Vastaavasti suurimmat arvot olivat n. 80–90 MPa:n luokkaa, vastaten tiiviin hiekkakerroksen jäykkyyttä. Levykuormituskokeella E1-arvoksi saatiin 42 MPa ja E2-arvoksi 144 MPa. Mitattu E2-arvo on suuri ja vastaa tiiviin soramoreenin tai jopa soran jäykkyyttä ja viittaa siihen, että laattamateriaali jatkaa tiivistymistään, kun sen kuormitus jatkuu. Laboratoriossa tehtyjen materiaalitutkimusten perusteella laattamurskeen optimivesipitoisuus oli noin 11–12 % ja maksimikuivatilavuuspaino noin 14,5 kN/m3.



Kuva 24. Vasemmanpuoleisessa kuvassa näkyy tyhjennetty laattalava ja oikeanpuoleisessa kuvassa laatat on murskattu ja tiivistetty tyypillisin maarakennuskonein

Kokeen perusteella voidaan todeta, että laattoja ei tarvitse erikseen murskata, vaan ne murskautuvat myös perinteisin kenttäkonein päältä ajaen. Käytön suhteen on huomioitava, että laatat voivat pintamateriaalina käytettäessä olla teräviä ja pölyäviäkin, mutta soveltuvat kantavuuden ja tiivistettävyyden puolesta hyvin rakennekerrosten täyttöihin yleistäyttöihin, varsinkin jos päälle tuodaan muuta materiaalia tai päällyste. Laattamateriaali on myös kevyempää kuin kiviaines, ja vähentää siten painuvilla alueilla haitallista kokoonpuristumista. E-moduuliarvot vastasivat tiiviin hiekan tai parhaimmillaan soran tiiviyttä. Kenttäkokeessa käytetty materiaali oli puhdasta ylijäämälaattaa. Tehtyjen liukoisuusanalyysien (kappale 3.20.1) perusteella puhtaan purkulaatan käyttö olisi todennäköisesti myös haitta-aineiden puolesta useimmiten täysin käyttökelpoista pohjarakenteissa. Sen käyttö vaatii kuitenkin toistaiseksi ympäristöluvan, koska laatat eivät ole mukana MARA-asetuksen materiaaleissa.

6 Pilottituotteiden ympäristövaikutusten arviointi ja indikaattorit

Pilottituotteiden ympäristövaikutuksista arvioitiin ilmastopäästöjä, ja maankäyttövaikutuksia sekä niihin liitoksissa olevaa energiankäyttöä. Keraamisten jätemateriaalien hyödyntämisellä on mahdollista saavuttaa ympäristöhyötyjä, kun niillä voidaan korvata ensiömateriaaleja. Eri materiaaleilla on kuitenkin erilaiset ympäristövaikutukset, jotka voivat olla myös ristiriitaisia. Joidenkin vaikutusten arviointi voi olla vaikeaa, tai niitä on vaikea havainnollistaa ymmärrettävästi.

Kestävän kiertotalouden toteutuminen edellyttää, että eri toimien ympäristö-, sosiaaliset ja taloudelliset vaikutukset tunnistetaan. Kestävyysvaikutusten arviointiin on kehitetty erilaisia menetelmiä ja periaatteita, joita voidaan soveltaa tavoitteen mukaan. Yksi suosituimmista menetelmistä on elinkaariarviointi (life cycle assessment, LCA), jolla arvioidaan tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaiset vaikutukset, mikä tarkoittaa, että vaikutuksia lasketaan yhteen alkaen aina raaka-aineiden hankinnasta aina siihen asti, kun raaka-aineista valmistettu tuote lopulta poistetaan käytöstä, esimerkiksi kierrättämällä tai polttamalla. Tähän asti elinkaariarvioinnissa on keskitytty ympäristövaikutuksia kuvaaviin indikaattoreihin ja vähemmän talouden tai sosiaalisten vaikutusten näkökulmiin. Elinkaarilaskennassa on useita metodologisia tapoja, joilla laskentoja voidaan tehdä. Jotkin LCA-tutkimuksen yksityiskohdat ovat tulkinnanvaraisia; esimerkiksi kierrätysteknologiaa arvioitaessa se, oletetaanko jonkin uuden tai vaihtoehtoisen tuotteen korvaavan toista materiaalia markkinoilla vai jätetäänkö mahdollinen globaali vaikutustaso huomioimatta.

Vaikutusten arviointiin käytetään erilaisia indikaattoreita eli sellaisia mitattavia ilmiöitä, joilla voidaan kuvata eri asioiden tiloja ja muutoksista ajassa. Indikaattoreiden avulla voidaan verrata esimerkiksi eri tuotteita. Tyypillisiä ympäristöindikaattoreita ovat muun muassa ilmastonmuutos (kasvihuonekaasupäästöt), ravinnepäästöjen aiheuttama rehevöityminen, otsonin muodostus ja toksisuusvaikutukset. Joissain tapauksissa ympäristövaikutusten osalta keskitytään vain ilmastonmuutokseen ja tavoitteena on laskea vain hiilijalanjälki.

Indikaattoriarvojen määrittämiseen ja laskemiseen on monia standardeja ja laskentamenetelmiä, joihin ei syvennytä tässä raportissa. Yksi yleisistä menetelmistä, jota tämänkin raportin elinkaariohjelmissa käytettiin, on ReCiPe-keskipistemallinnus (Huijbregts ym. 2016). Siinä eri päästöjä yhdistellään ja yhteismitallistetaan yhteensä 18 eri indikaattorin alle.

Laajemmassa kuvassa indikaattoreilla voidaan havainnoida tai seurata toimia laajemmin (esim. politiikan vaikutuksia ja kehityssuuntia) ja huomioida muitakin kuin vain ympäristöasioita. Kun halutaan huomioida kestävyyttä moniulotteisesti, myös indikaattorit pyritään jakamaan taloudellisiin, sosiaalisiin ja ekologisiin indikaattoreihin. Tällainen kategorisointi kolmeen (tai useampaan) pääulottuvuuteen on jossain määrin keinotekoista, koska moni asia voi vaikuttaa yhtä aikaa useammassa kestävyyden ulottuvuudessa (Karvonen ym. 2017), eikä ulottuvuuksia voi käsitellä täysin toisistaan irrallisina. Kategorisointi voi silti olla välttämätöntä asioiden ymmärtämiseksi.

Hyvän indikaattorin kriteereitä ovat relevanttius, viestittävyys, vertailtavuus kansainvälisesti, selkeys ja läpinäkyvyys, reaktiivisuus muutoksiin, tarkentuvuus, tiedon saatavuuden kustannustehokkuus, toistettavuus ja ennustavuus (Luoma ym. 2015). Perinteiset lineaariseen talousmalliin sopivat menetelmät eivät juurikaan kannusta materiaalien kierrätykseen, ja elinkaariarviointiin tarvitaankin uusia,

paremmin kiertotalouden vaikutuksia kuvaavia indikaattoreita ja laskentatapoja (The Ellen McArthur Foundation 2019). On muistettava, etteivät kiertotalouden toimet ole aina yksiselitteisesti positiivisia ensiömateriaaleista valmistettuihin tuotteisin verrattuna. Onkin tärkeää tarkastella samanaikaisesti useampia indikaattoreita, kuten haitallisten aineiden päästöjä, materiaalivarantojen riittävyyttä, energiankulutusta, vedenkäyttöä, maankäyttöä ja kasvihuonekaasupäästöjä (The Ellen McArthur Foundation 2019). Kun eri indikaattorit ovat ristiriidassa – toiset asiantilat paranevat, toiset heikkenevät – jää päättäjän tehtäväksi valita kokonaisuuden kannalta paras vaihtoehto. Esimerkiksi, jos materiaalin kierrätys vähentää maankäyttöä, mutta kuluttaa selvästi enemmän energiaa ja kemikaaleja kuin täysin uuden tuotteen tekeminen, voidaan kiertotalouden tavoitteesta joutua joustamaan.

Elinkaarilaskennassa lähtötiedon tarkkuus voi vaihdella tapauskohtaisesta mittausdatasta globaaliin keskiarvoon. Esimerkiksi kulutettu energiamäärä ja sen aiheuttamat päästöt per tuote vaihtelevat sen mukaan, miten tehokkaasti ja millä energialähteellä kyseinen energia on tuotettu, puhdistetaanko savukaasuja, mistä tarvittavat polttoaineet ovat peräisin ja mitä tehdään lopulta syntyville jätteille sekä mahdolliselle ylijäämälämmölle. Tällainen tapauskohtainen tarkkuus on yleensä haluttua, joskin heikosti yleistettävissä, jos se ei teknologialtaan edusta alaa yleisemmin. Se kuitenkin mahdollistaa vertailun yleiseen tasoon, maa- tai maanosakohtaisesti sekä globaalisti. Yleistason tietoja on useammin saatavissa eri lähteistä, kuten tässä raportissa hyödynnetystä ecoinvent 3.9 –tietokannasta. Lisäksi hyödynnettiin ympäristöselosteista ja muista kirjallisuuslähteistä saatuja tietoja, jotka ovat jo lähempänä tapauskohtaista tietoa. Joitain tietoja saatiin myös yrityksiä konsultoimalla: esimerkiksi murskauksen osalta kulutustiedot perustuivat suoraan yrityksen arvioihin.

6.1 Valitut indikaattorit

Keraamisen purkujätteen kierrättämisen vaikutusarviointiin valittiin indikaattoreiksi kasvihuonekaasupäästöt ja niiden muutos, energian käyttö ja maankäyttö. Arviointi käsittää keraamisen purkujätteen tuotantoketjun keraamisen jätteen murskaamisesta uuden tuotteen valmistukseen asti. Tällä kierrätyskeraamimateriaalilla korvattiin vastaavassa tuotteessa neitseellisiä raaka-aineita.

6.1.1 Kasvihuonekaasupäästöt

Kasvihuonekaasupäästöt kuvataan useimmiten hiilidioksidiekvivalentteina (CO_2-e). Se on yleisimmin käytetty indikaattori kuvaamaan ihmistoiminnan vaikutusta ilmaston lämpenemiseen. Tähän työhön valitulla indikaattorilla arvioidaan eri kasvihuonekaasujen vaikutuksia 100 vuoden ajanjaksolla ReCiPe-mallin mukaisin kertoimin. Kasvihuonekaasupäästöistä käytetään myös termiä hiilijalanjälki, joka - ristiriitaista kyllä - tiettävästi alun perin suunniteltiin erään öljy-yhtiön mainoskampanjaa varten (Kaufman 2020).

Eri kasvihuonekaasujen päästöt lasketaan yhteen kertomalla kukin kasvihuonekaasumäärä kaasukohtaisilla kertoimilla siten, että se vastaa ilmastoa lämmittävältä teholtaan hiilidioksidia. Tulos ilmoitetaan näin ollen hiilidioksidiekvivalentteina. Kunkin kasvihuonekaasun lämmittävään vaikutukseen vaikuttaa sen pysyvyys ilmakehässä, sen kyky absorboida infrapunasäteilyä, ja sen absorptiospektrihuippujen paikat. Nämä kaasukohtaiset kertoimet ovat saatavilla muun muassa kansainvälisen ilmastopaneelin IPCC:n raportista (Myhre ym. 2013). Tutkimustiedon lisääntyessä eri kaasujen laskennassa käytettävissä kertoimissa tulee joskus muutoksia, mikä on huomattava kertoimia käytettäessä ja eri aikoina tehtyjen laskentojen vertailussa.

Merkittävimmät - ja usein ainoat huomioitavat - kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4) ja typpioksiduuli (N_2O). Ilmaston lämpenemiseen vaikuttavia kaasuja ja aerosoleja on muitakin, joista osa on erittäin voimakkaita hiilidioksidiin verrattuna ja osa hiilidioksidia heikompia. Näiden muiden kaasujen merkitys maailman kasvihuonekaasupäästöjen kokonaisvaikutukseen on kuitenkin verrattain pieni (Myhre ym. 2013). Lisäksi niiden käyttöä on myös alettu rajoittaa haitallisuuden vuoksi (esimerkkinä kylmäaineina käytettävät CFC-yhdisteet), joten niiden osuuksien pitäisi vähentyä edelleen. Tällaisten kaasujen huomioinnin merkitys riippuu siis käytön volyymistä arvioitavassa tilanteessa.

IPCC:n kerrointen lisäksi on muitakin tapoja skaalata eri kasvihuonekaasut hiilidioksidiekvivalenteiksi. Tässä raportissa arvot laskettiin Ecoinvent -tietokannan datasta ReCiPe (2016) -hierarkkista laskentamenetelmää hyödyntäen. Poikkeuksena olivat tuotteet, joista löydettiin ympäristöseloste, jolloin lukemat saatiin suoraan.

6.1.2 Maankäyttö

Maankäytön perusyksikkönä on pinta-ala. Se on selkeästi hahmotettava ja ymmärrettävä suure, muttei itsenäisesti kuitenkaan riittävä kuvaamaan maankäytön vaikutusten merkittävyyttä (Mattila ym. 2011). Maankäyttöön liittyy useita ympäristövaikutuksia, muun muassa hiilinielujen, luonnon monimuotoisuuden, ympäristön myrkyllisyyden (ekotoksisuus), ravinnevalumien ja pohjaveden laadun tiimoilta. Näiden huomiointi yksittäisen indikaattorin avulla on haastavaa, koska vaikutukset ovat riippuvaisia ainakin muutetun alueen koosta, ekosysteemin nykytilasta, palautumiskyvystä ja ominaisuuksista, maa-aineksen kemiasta sekä muutetulla maalla toteutettavasta toiminnasta (ruoantuotanto, rakentaminen, kaivannaisteollisuus, ym.) (Auri ym. 2022). Yhtä yleisesti hyväksyttyä menetelmää ei ole maankäytön ympäristövaikutusten mallinnukseen löydetty (Milà i Canals ym. 2007; Jolliet ym. 2018).

Toiminnan tai tuotteen vaatiman maankäytön laskemiseksi tarvitaan käsitys kaivannon syvyydestä, ainesten pitoisuuksista ja tiheyksistä tai sadosta. Näistä voidaan lopulta johtaa maapinta-ala, johon kajotaan tai ei kajota. Esimerkiksi jos mineraaliesiintymän paksuus on 30 metriä, kuluttaa 30 kuution ottaminen yhden neliömetrin maa-alaa, tai jos kaurasato on 3000 t/ha, tarvitaan yhden kilon kaurasäkin täyttämiseksi 3 m^2 peltoviljelyalaa. Maa-aineksista puhuttaessa käytetään myös maamassayksiköitä, joista voi johtaa tilavuuksia maalajikohtaisilla kertoimilla (Ronkainen 2012). Laskenta mutkistuu, kun huomioidaan elinkaareen kuuluvat muut toiminnot ja tuotantopanokset, kuten lannoitteet. Nekin aiheuttavat maankäyttöpaineita, joiden arvioinnissa käytetään usein suuntaa antavia karkeistuksia (Mattila ym. 2011).

Kun tarvittavan pinta-alan suuruus tunnetaan, voidaan maankäytön muutoksen merkitystä arvioida kohdekohtaisesti. Tässä huomioidaan muutettavan alueen lähtötila ja suhteutetaan se vastaavan alueen kokoon yhteensä: esimerkiksi mitä harvinaisempi elinympäristö otetaan käyttöön, sitä merkittävämpi suhteellinen vaikutus siitä syntyy (de Baan ym. 2012; Chaudhary ym. 2015). Maankäytön vaikutuksia kuvataan tarkemmin eri mallein laskettujen yksiköiden avulla. Niitä on kuitenkin vaikea suhteuttaa keskenään ja niissä on paljon maantieteellistä eroa, eivätkä ne ole helposti ymmärrettäviä. Esimerkiksi erään tuotteen maankäyttövaikutus (neliömetrivuosia viljelyalaekvivalenttina: m^2a crop eq., ks. Huijbregts ym. 2016) oli Saksaan kohdistetussa laskennassa 0,0065, mutta koko maailmaa kuvaavana lukuna 7,05. Vastaavien prosessien lukemat pelkkänä vuosittaisena maankäyttöalana, tai sen maa-alan käytön tehokkuutena, (m^2a) olivat 14,7 ja 15.5. Tavallaan crop eq. -arvo tässä tapauksessa ”antaa anteeksi” toimintoja alueilla, jotka on jo otettu käyttöön, ikään kuin jo luonnontilansa menettäneen alueen luontoarvoa ei voisi enää enempää heikentää, tai että muutoksia ei tapahdu. Myös alempi biodiversiteetin lähtötila suosii toimintojen kohdentumista heikomman monimuotoisuuden alueille. Pinta-ala on täten yksiselitteisempi mittari maankäytölle kuin monenkirjavat vaikutuskertoimet.

Vaikutusarvioinnin yhteydessä elinympäristöjen laadun ja lajimäärien muutosten arviointi on melko työlästä ja paikkasidonnaista, eivätkä tuotannossa käytettävien materiaalien tarkat alkuperät ole usein selvitettävissä. YK:n alainen Ympäristökemian ja toksikologian kumppanuusohjelma (UNEP/SETAC) suosittaa arviointiin Chaudharyn ym. (2015) mallia, mutta tunnustaa mallin olevan keskeneräinen eikä sitä suositella käytettävän vertailuväittämissä (Jolliet ym. 2018).

Tässä raportissa keraamisen purkujätteen kierrätyksen vaikutukset ilmoitetaan maankäyttöalavuosina (m^2a) elinkaaritietokantojen prosessien mukaisesti (Simapro 8, selected LCI results v.1.06) ilman sen tarkempaa vaikutusten kuvausta eli karakterisointia. Kierrättämisen kaatopaikkasijoitusta vähentävää vaikutusta ei huomioitu maankäyttölaskelmassa. Kuriositeettina mainittakoon, että viime vuosien tilastojen mukaan Suomessa menee joka vuosi kaatopaikoille noin 100 000 000 tonnia jätteitä, mistä suurin osa on kirjattu mineraalijätteeksi (Tilastokeskus 2023b).

6.1.3 Energiankäyttö

Tässä tarkastelussa arvioitiin, kuinka paljon kierrätysmateriaalista valmistetun tuotteen valmistamiseen kuluu energiaa. Lisäksi vertailussa arvioitiin kaivostoiminnan energiankulutus elinkaaritietokantojen perusteella. Energiaintensiivisyys ja energiankäytön muutos ovat selkeät indikaattorit, joilla mitataan kulutetun energian määrää ja kulutuksen kehitystä. Energiankäytön muutoksella saadaan tietoa siitä, mikä on korvattavan tuotteen valmistuksessa kuluva energiamäärä suhteessa verrokkituotteeseen. Energiankäyttö ei ehkä ole niinkään suorasti ympäristöindikaattori, mutta se on suhteessa ympäristövaikutuksiin energiantuotannon ja -jakelun kautta. Eri tavoin tuotettu energia kuormittaa ympäristöä eri tavoin, mutta yleisesti katsoen energiankulutuksella on haitallisia vaikutuksia ympäristölle.

Kahden samanlaisenkin tuotteen valmistuksessa kulutetut energiamäärät voivat poiketa selvästi. Esimerkiksi thaimaalaisen keraamisen tiilen valmistamisen energiankulutus oli erään tutkimuksen mukaan keskikokoisessa tehtaassa 133 MJ/m^2, ja pienessä laitoksessa 254 MJ/m^2 (Tikul 2014). Samaan tapaan tuotteen energiaintensiivisyyttä voidaan madaltaa raaka-aineita vaihtamalla, kuten esimerkiksi korvaamalla osa sementin klinkkeristä muilla ainesosilla (Samadi ym. 2020).

Tämän raportin laskennoissa verrokkituotteiden energiankäyttöarviot huomioivat sekä fossiilisen että uusiutuvan energian. Arviot perustuvat joko Ecoinvent 3.9-tietokannan Simapro 8-ohjelman cumulative energy demand, v.1.11-menetelmän summaan, tai mahdollisuuksien mukaan tuotteiden ympäristöselosteissa raportoituun energiankäyttöön.

6.2 Laskenta ja epävarmuudet

Ympäristövaikutusten laskenta alla esiteltävien kasvihuonekaasupäästöjen, energian käytön ja maankäyttöalan osalta tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla, jonne oli koottu prosessitietoja ja päästökertoimia eri lähteistä. Jos lähteenä käytettiin jonkin tuotteen ympäristöselostetta (environmental product declaration, EPD), etsittiin maankäyttötiedon puutteen vuoksi Simapro-ohjelmalla Ecoinvent- tai ELCD-tietokannoista samankaltainen tuote, jolla EPD-tietoja täydennettiin. Eri tietolähteiden välillä vertailtavuus voi joissain tapauksissa olla huonoa.

Keraamijätteen hyödyntämisprosessit jakautuvat laskennassa kahteen pääosaan: keraamijätteen murskaukseen ja muuhun prosessointiin, sekä sen käyttöön tuotteen valmistamisessa. Näiden prosessien ero verrattuna neitseellisistä raaka-aineista valmistettuihin verrokkeihinsa huomioitiin muutoksena, joka tulkittiin kierrättämisen tuottamana hyötynä tai haittana. Murskauksen ja valmiin murskeen

käytön erittely mahdollistaa prosessikohtaiset tarkastelut. Erityisesti murskauksessa uskotaan olevan tehostamisen varaa koneiden ja niiden käytön optimoinnin kautta. Toisaalta keraamimurskeelle on useita käyttökohteita, ja niitä voidaan myös löytää lisää, jolloin hyödyt muuttuvat. Yhtenä raaka-aineena käytettiin kivivillaa, jonka repimisen päästöt arvioitiin villan jauhamisesta tehdyn opinnäytetyön perusteella (Kohvakka 2020). Villa oli tehtaan tuotannossa syntyvää jätevillaa, ja sitä käytettiin tuotteessa lähinnä keventämään levyn painoa ja vähentämään mahdollista halkeilua.

Kierrättämisen sivuvirtojen, esimerkiksi WC-istuinten muovien, jatkokäyttöä ei tässä tutkimuksessa huomioida. WC-istuinten muoviosia valmistetaan ainakin PP- ja PVC-muoveista, joista PP on kierrätettävä mutta PVC:n kierrättäminen on haastavaa ja usein se poltetaan. Muovien osuus koko istuimen painosta on noin 5 % (Penttinen 2018).

Eri indikaattorien välistä tärkeyttä ei määritetty tässä tarkastelussa, eikä niille luotu minkäänlaisia pisteytysjärjestelmiä eri vaihtoehtojen paremmuusjärjestyksen määrittämiseksi.

Epävarmuudet laskennan osalta liittyvät erityisesti elinkaaritiedon puutteeseen ja epäselvyyksiin. Puutteita havaittiin myös tietokantojen selitteissä; aina ei ollut selvää, mitä tietokantojen prosessit kulloinkin käsittävät. Erityisesti joidenkin keraamiraaka-aineiden ja geopolymeerien tuotannon päästötietoja ei aina ollut saatavilla, tai saman tuotteen valmistusprosessien päästökertoimissa oli poikkeuksellisen suuria eroja eri valmistusmaiden/-alueiden sekä valmistustekniikoiden välillä. Näissä tilanteissa tietoa etsittiin useammasta lähteestä ja valittiin hajonnan keskivaiheilta mieluummin konservatiiviset kuin optimistiset arviot. Toisaalta myös tietokantojen prosesseja voitiin muokata siten, että ne sopisivat vertailuun mahdollisimman hyvin. Tietokantojen prosessidata on teollisuudesta, joten sitä on haastavaa verrata hankkeen pilotteihin, jotka tehtiin kokeiluluontoisesti reilusti pienemmässä mittakaavassa.

7 Pilottien ympäristövaikutusten tarkastelu

Muutamille tutkituille keraamijätteen hyötykäyttövaihtoehdoille tehtiin ympäristövaikutuslaskenta edellä kuvattujen ilmastovaikutusten, energiankäytön ja maankäytön suhteen. Tuotteissa on pyritty hyödyntämään keraamista jätemateriaalia ja korvaamaan tällä tavoin jotain muuta raaka-ainetta, esimerkiksi sementtiä ja hiekkaa. Tyypillisiä betonituotereseptejä muokattiin korvaamalla osa raaka-aineista sekä 0–100 mikrometrikokoluokan keraamipulverilla (Ceramic Powder, CP), että 0–2 millimetrikokoluokan keraamijauheella (Fine Ceramic, FC). Jos sementti korvataan betonissa kokonaan, tarvitaan geopolymeereja, jotka vastaavalla tavalla sitovat eri raaka-aineet yhteen. On huomattava, että näissä laskennoissa on käytetty sementtinä Finnsementin Oiva-sementtiä, joka on II-luokan sementti ja on päästöiltään noin 2/3 tavalliseen Portlandin sementtiin verrattuna. Tulokset näistä laskennoista esitetään seuraavissa alakohdissa tuote tai tuotetyyppi kerrallaan. Lopuksi tuloksia analysoidaan lyhyesti.

7.1 Betoni ja betonituotteet

Perinteisissä betonituotteissa noin kolmannes on sementtiä ja loppuosa hiekkaa ja kivimurskaa. Erikoistuotteissa, kuten tulenkestävissä laasteissa käytetään erilaisia raaka-aineita, kuten samottia ja aluminaattisementtiä, koska tavallinen betoniseos ei kestä korkeita lämpötiloja.

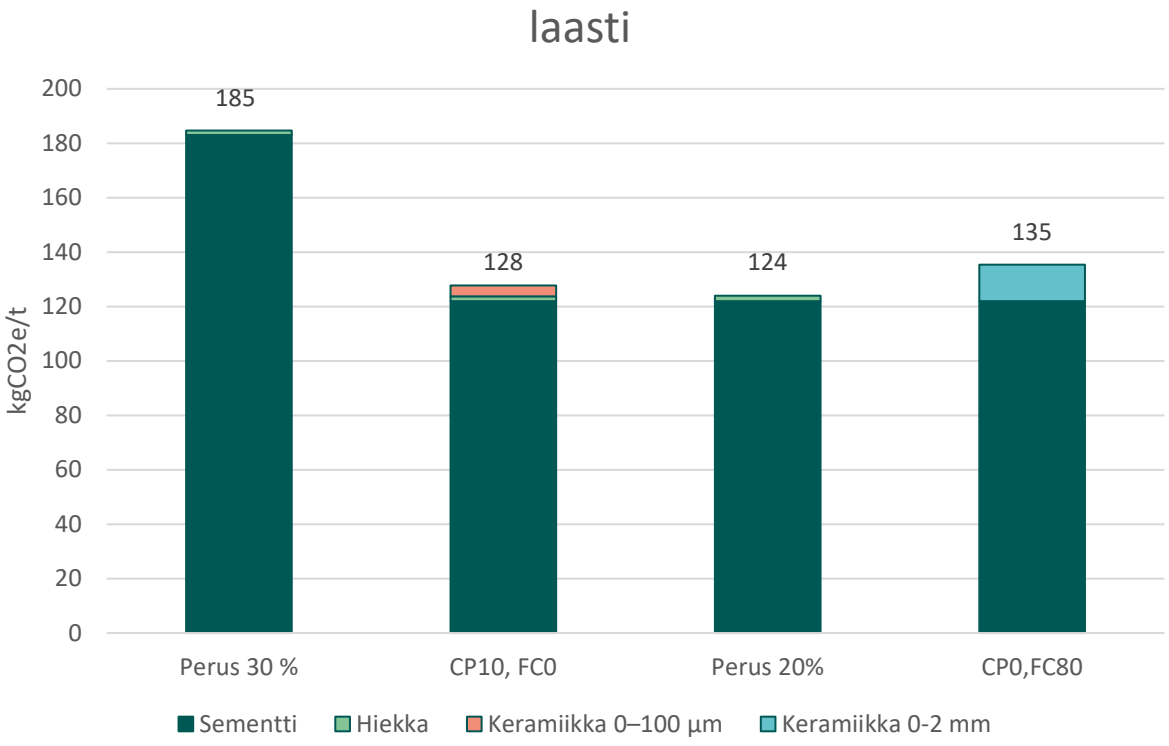
7.1.1 Laastit

Tässä tutkimuksessa laastien niin sanotut perustuotteet sisältävät 20–30 % sementtiä ja 70–80 % kiviainesta. Näitä suhteita muutettiin korvaamalla joko 10 % sementistä 0–100 µm keraamilla, tai koko hiekan 80 % osuus 0–2 mm keraamilla (taulukko 12). Laboratoriokokeissa keraamia sisältävät laastit olivat puristuslujuudeltaan vähintään yhtä kovia kuin verrokkinsa.

Taulukko 12. Laastien reseptit. CP tarkoittaa 0–100 µm keraamijauhetta ja FC 0–2 mm keraamimurskaa.

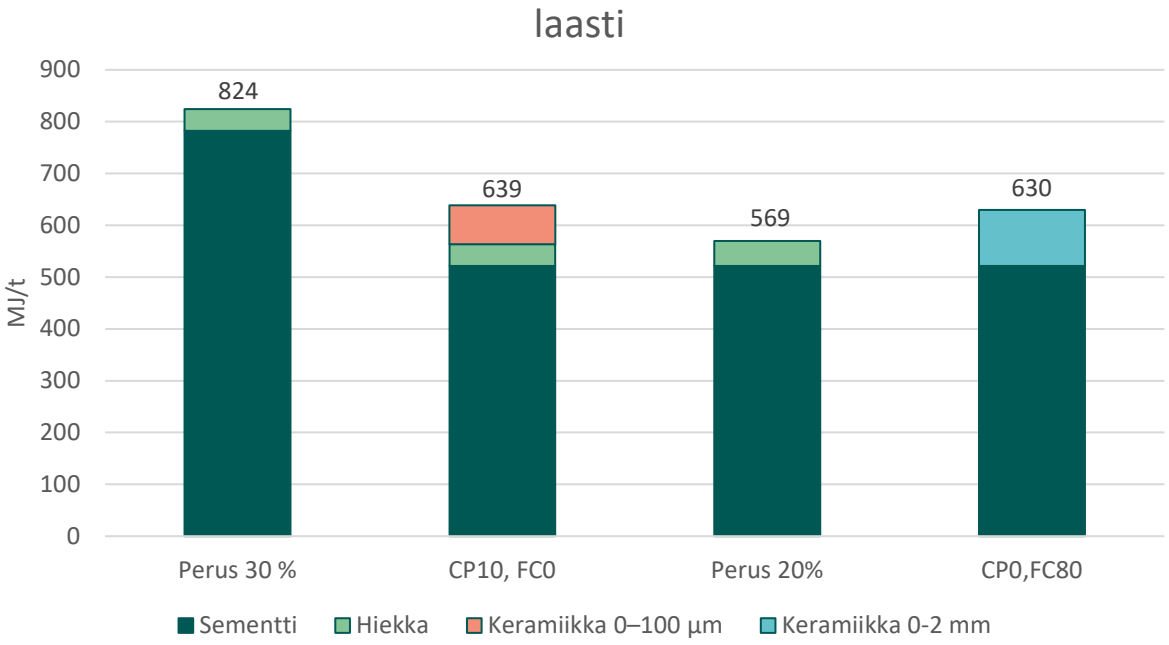
Resepti	Sementti	Hiekka	Keramiikka 0–100 µm	Keramiikka 0–2 mm	Lujuus, MPa
Perus 30 %	30 %	70 %			36
CP10, FC0	20 %	70 %	10 %		39
Perus 20 %	20 %	80 %			25
CP0, FC80	20 %			80 %	36

Laastin ilmastovaikutuksia määrittää pitkälti sementin määrä. Sen korvaaminen tuottikin selvän vähennyksen päästöihin (kuva 25), kun taas hiekan korvaaminen keraamimurskalla voi kasvattaa ilmastovaikutuksia. Perustuote, jossa on 30 % sementtiä ja loput hiekkaa, sai päästöiksi 185 kg CO_2-e/t. Sen sijaan, kun sementin määrä toisessa perustuotteessa pudotettiin 20 %:iin, olivat päästöt enää 124 kg CO_2-e/t. Keraamipölyn ja keraamijauheen valmistamisen päästöt ovat korkeammat kuin hiekan, mutta niiden osuus laastin kokonaispäästöistä ei kuitenkaan ole suuri sementtiin verrattuna.



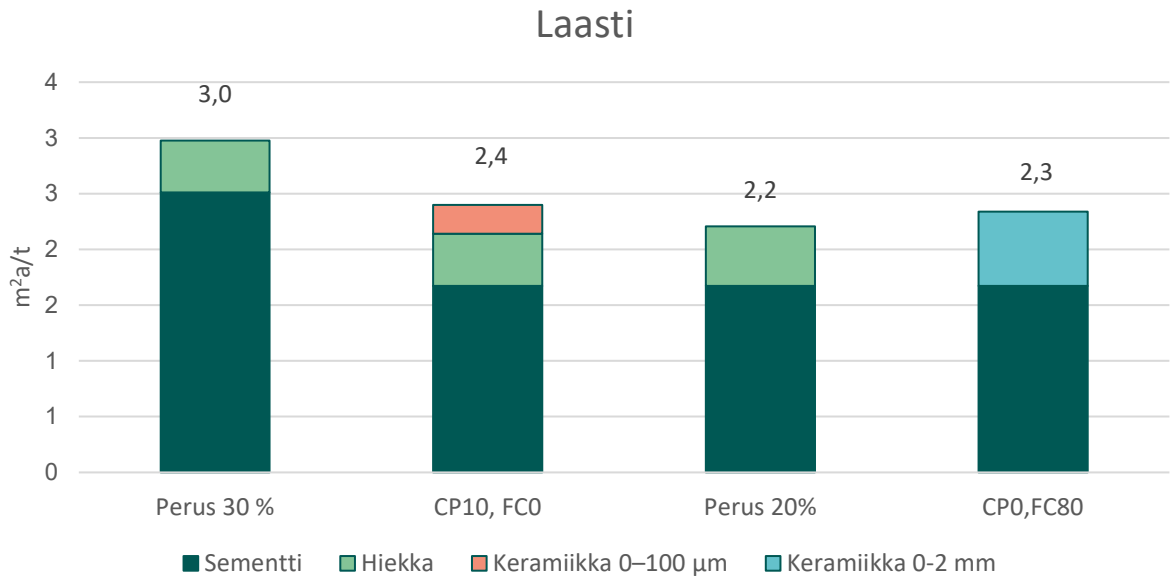
Kuva 25. Eri laastireseptien ilmastovaikutukset.

Energiankäytön osalta tilanne on liki sama kuin ilmastovaikutusten (kuva 26). Erona havaitaan, että keraamijauheen valmistaminen kuluttaa selvästi enemmän energiaa kuin sen jättäminen 0–2 mm kokoluokkaan, huomioiden että CP10, FC0 -reseptissä keraamipulveria on 10 %, kun CP0, FC80 -reseptissä keraamijauhetta on 80 % massasta.



Kuva 26. Eri laastireseptien valmistamisen vaatima energiamäärä.

Eri reseptien maankäyttöala vaihteli reseptien välillä arvojen 2,2–3,0 m^2a välissä (kuva 27). Suurin vaikutus on jälleen sementillä, mutta myös hiekalla ja keraamisilla materiaaleilla on näkyvät osuudet kokonaisuudessa. Erityisesti hiekan osuus on maankäyttöä tarkasteltaessa suurempi kuin ilmastovaikutusten ja energiankulutuksen kuvissa. Tämä on luonnollista, sillä hiekan osuus reseptistä on suuri ja se on myös neitseellinen maa-aines. Myös keraamijätteille tulee maankäyttövaikutuksia, vaikka niitä ei jouduta keräämään maasta: syynä on se, että niiden hienontamisessa käytettävän sähköenergian maankäyttövaikutus on tietokannan laskentamallissa varsin korkea.



Kuva 27. Eri laastireseptien maankäyttövaikutus neliömetrivuosina.

7.1.2 Tulenkestävät laatat ja laastit

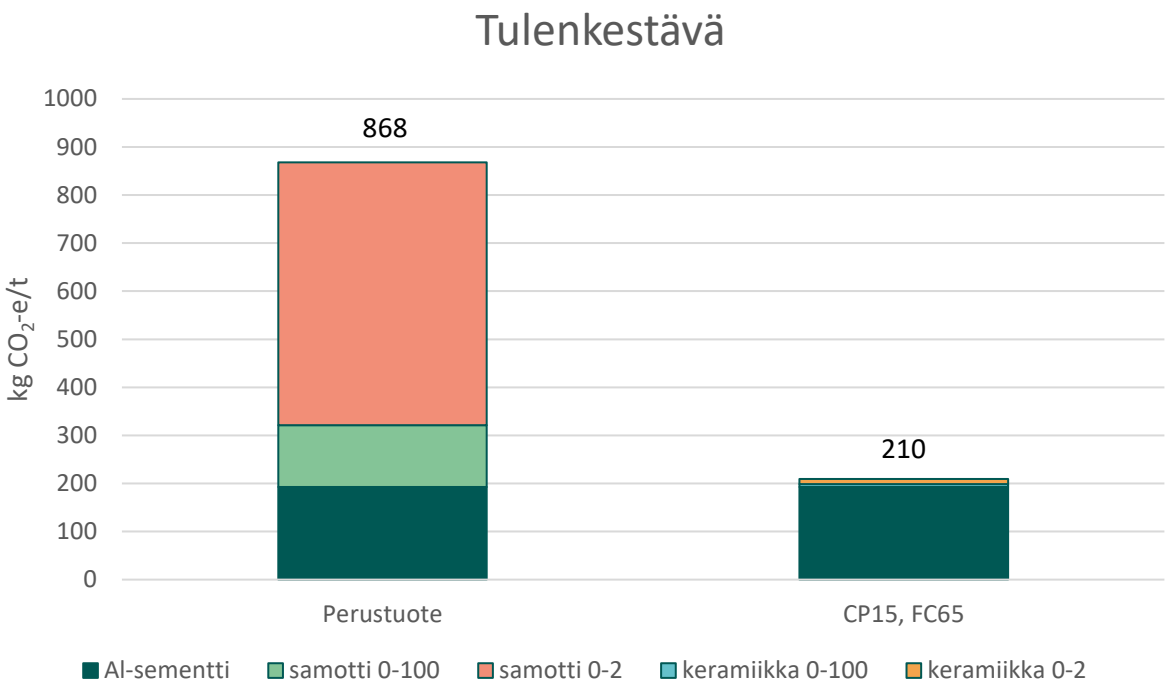
Tulenkestävinä laatta- ja laastiresepteinä kokeiltiin aluminaattisementtiä ja samottia sisältävän perustuotteen lisäksi sellaista vaihtoehtoa, jossa samotti korvattiin vastaaviin partikkelikokoihin hienonnetuilla keramiikkajätejakeilla. Sideaineena käytettyä aluminaattisementtiä oli molemmissa tapauksissa 20 %, ja 0–100 µm ja 0–2 mm kokoluokkaista hiekkaa tai samottia järjestyksessään 15 % ja 65 % (taulukko 13).

Taulukko 13. Tulenkestävät perus- ja pilottituotereseptit.

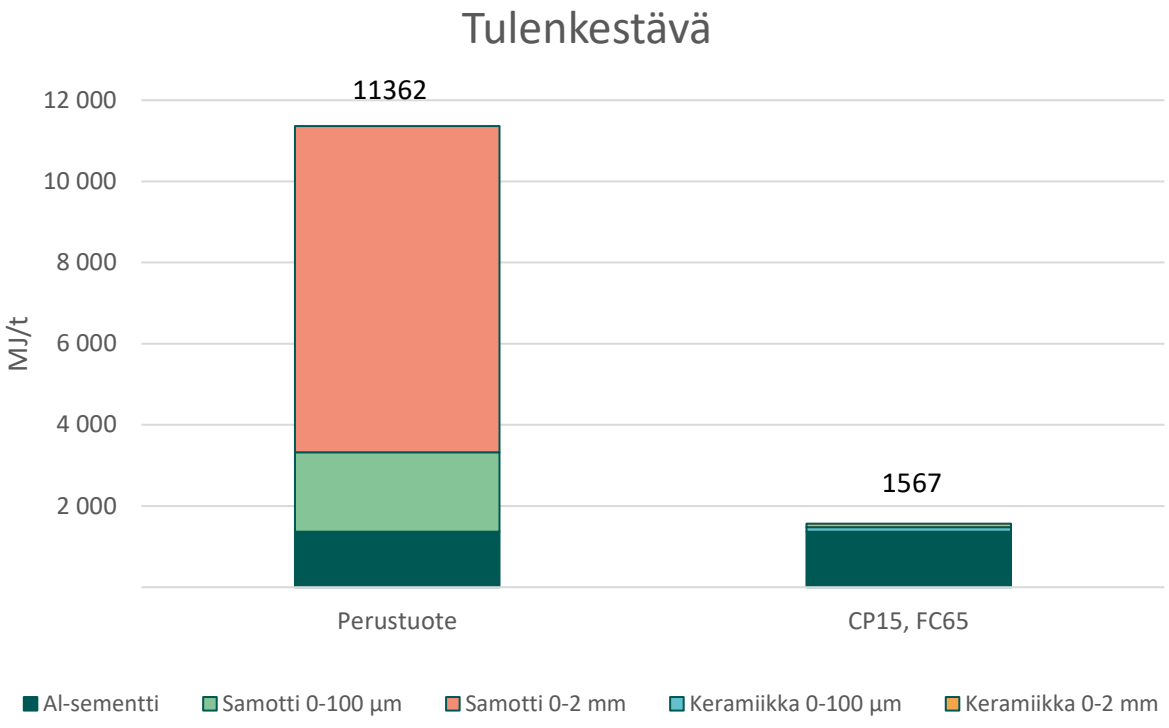
Resepti	Aluminaattise-mentti	Samotti 0–100 µm	Samotti 0–2 mm	Keramiikka 0–100 µm	Keramiikka 0–2 mm
Perustuote	20 %	15 %	65 %		
CP15, FC65	20 %			15 %	65 %

Samotin korvaaminen keramiikalla tuotti merkittävät ympäristöhyödyt niin ilmaston, energiankulutuksen kuin maankäytönkin saralla. Ilmastovaikutuksiltaan perustuote aiheuttaa 868 kg CO_2-e/t ja pilottituote 210 kg CO_2-e/t eli vain noin neljänneksen perustuotteen päästöistä (kuva 28). Energiankäytössä ero on tätäkin suurempi, kun perustuotteen energiankulutus oli 11 362 MJ/t ja pilottituotteen vain reilun seitsemäsosan tästä eli 1 567 MJ/t (kuva 29). Eroa selittää hyvin pitkälti se, että samotti valmistetaan polttamalla sopivaa savilajia korkeissa lämpötiloissa ja on siten varsin energiaintensiivinen tuote. Energiantuotanto taas aiheuttaa yleensä myös ilmastopäästöjä. Saven kaivuu maasta aiheuttaa puolestaan maankäyttövaikutuksia, jotka vältetään, jos samotti korvataan jätekeraamilla. Perustuotteella

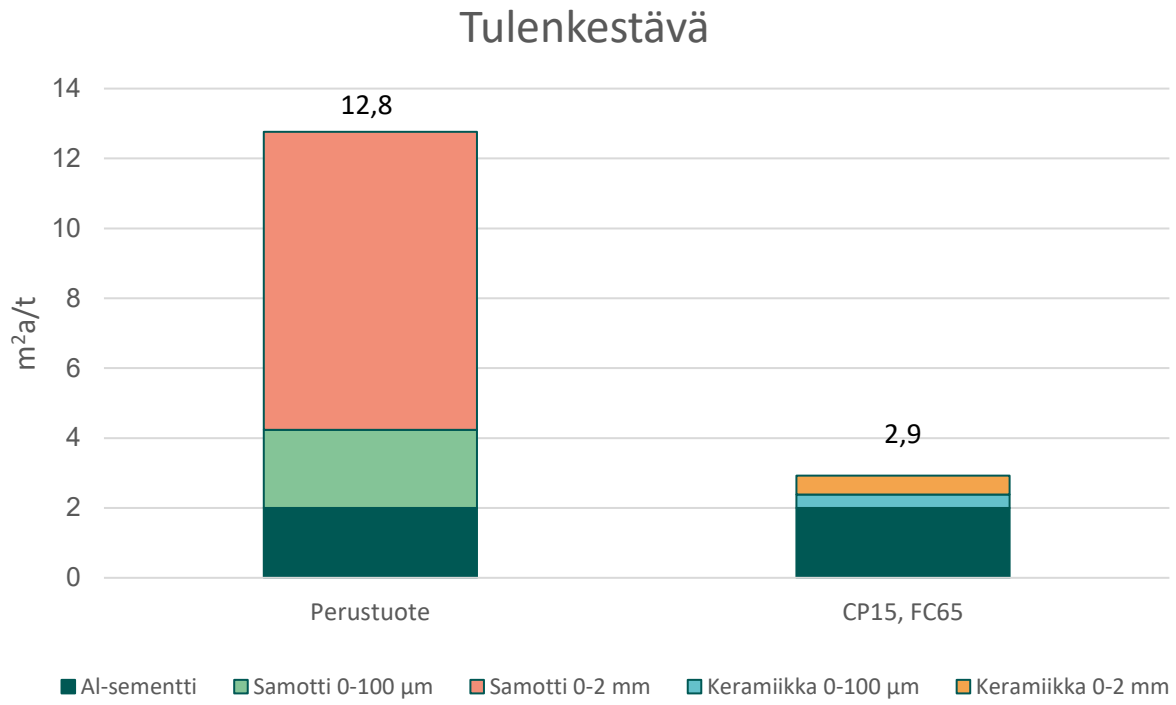
maankäyttö oli 12,8 m^2a, kun se oli pilottituotteella 2,9 m^2a eli vain reilun viidesosan perustuotteen vastaavasta arvosta (kuva 30). Huolimatta vain 20 %:n osuudestaan reseptissä aluminaattisementillä on näkyvä rooli pilottilevyn kokonaisvaikutuksissa. Toisaalta sen korvaaminen voi olla vaikeaa sen tulenkestävyyden vuoksi.



Kuva 28. Tulenkestävien samottia sisältävän perustuotteen ja pilotoidun keramiikkaa sisältävän tuotteen ilmastopäästöt.



Kuva 29. Tulenkestävien samottia sisältävän perustuotteen ja pilotoidun keraamia sisältävän tuotteen energiankulutus.



Kuva 30. Tulenkestävien samottia sisältävän perustuotteen ja keraamia sisältävän pilottituotteen maankäyttövaikutukset.

7.2 Palonsuojalevyt

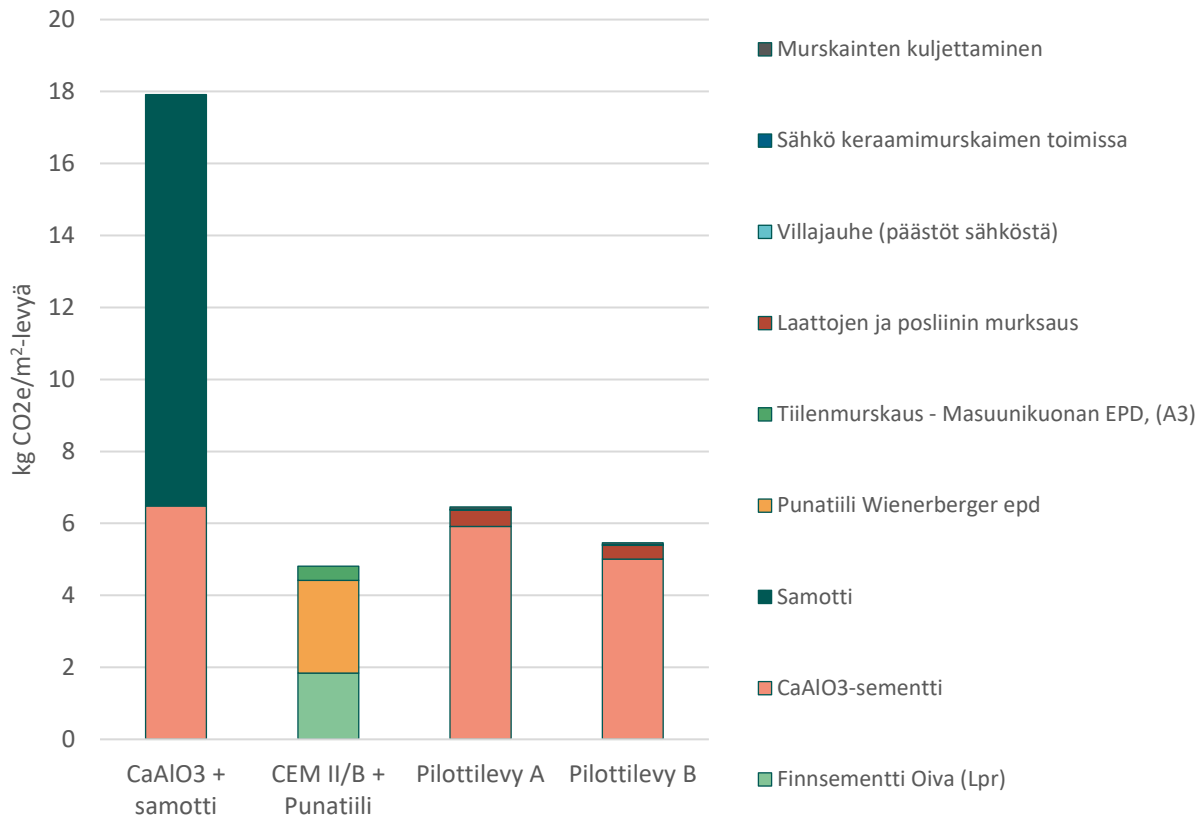
Kuvissa 31-33 on esitetty pilotoitujen palonsuojalevyjen ilmastopäästöt, energiankulutus ja maankäyttövaikutukset yhtä 10 millimetrin paksuista levyneliömetriä kohti verrattuna tyypilliseen tuotteeseen ja hypoteettiseen vaihtoehtoiseen tuotteeseen. Taulukon 7 resepteistä johdettiin raaka-aineiden tiheyksin neliömetrimäärät, jotka yhdestä tonnista kutakin reseptiä 10 mm paksuisia levyjä voidaan valmistaa. $CaAlO_3$ + samotti –levyn, CEM II/B + punatiili –levyn, pilottilevyn A ja pilottilevyn B tiheyksiksi saatiin 2 495, 2 017, 2 201 ja 2 063 kg/m^3. Yhtä tonnia kohti voidaan siis valmistaa järjestyksessään 40,1, 49,6, 45,4 ja 48,5 neliömetriä levyä, jonka paksuus on 10 mm. Tuloksia tulkittaessa on huomattava, että laskenta on herkkä näille tiheyksien olettamille, mukaan lukien sitoutuvan ja haihtuvan veden määrät massan kovettuessa. Lisäksi posliinin murskauksen polttoaineen kulutus on todennäköisesti varsin konservatiiviseen arvioon perustuva, jolloin sen vaikutukset näkyvät tosiasiallista suurempina. Tiiltä tuskin tosiasiassa valmistettaisiin vain murskattavaksi palonsuojalevyyn, eli CEM II/B + punatiili –levyn osalta tulos on vain havainnollistava.

CO_2-päästöjen osalta keraamisten jätemateriaalien hyödyntämisprosessit, samoin kuin mallinnettu tiilen murskaaminen, aiheuttavat varsin vähäiset päästöt suhteessa muihin prosesseihin, jättäen alumi-naattisementille vallitsevan osuuden (kuva 31). $CaAlO_3$ + samotti -levyssä samotti tuotti noin 11,4 kg CO_2 -e/m^2 (64 %) päästön ja aluminaattisementti loput noin 6,5 kg CO_2 -e/m^2 (36 %) ilmastovaikutuk-sista, mutta toisaalta samottia olikin paljon suurempi osuus.

CEM II/B + punatiili -levyn ilmastovaikutus oli noin 5 kg CO_2 -e /m^2. Tästä 1,9 kg CO_2 -e/m^2 (38 %) johtui sementistä, tiilen valmistuksen ja tiilen murskauksen osuuksien ollessa 2,6 kg CO_2 -e/m^2 (53 %) ja 0,4 kg CO_2 -e/m^2 (8 %). Pilottilevyn A päästöt ovat 6,5 kg CO_2 -e/m^2 ja pilottilevyn B päästöt 5,5 kg CO_2 -e/m^2. Kummankin pilottilevyn CO_2-e päästöistä aluminaattisementti tuottaa noin 92 % ja kierrätyskeraamimateriaalien prosessit ja murskainkoneketjun kuljetus työmaalle yhteensä noin 8 %. Osuus

on likimain sama, vaikka pilottilevyn B päästöt ovat selvästi matalammat kuin pilottilevyn A päästöt. Erosta 90 % selittyy hieman vähäisemmällä aluminaattisementtimäärällä ja loppu runkoainereseptien eroilla. Samotin korvaaminen säästää lopulta noin kaksi kolmasosaa levyn neliömetrikohtaisista ilmastovaikutuksista. Sen sijaan CEM II/B + punatiili -levyä pilottilevyjen kaltaisilla resepteillä ei ilmastopäästöjen näkökulmasta kannata korvata, johtuen ensisijaisesti sementtilaatujen eroista.

CEM II/B-sementin päästöt ovat vähäisemmät kuin aluminaattisementin. Näiden raaka-aineet ja valmistusprosessit ovat eriävät ja lisäksi II-tyypin sementti sisältää myös masuunikuonaa, mikä vähentää sementin päästöintensiivisyyttä. Masuunikuonan päästökerroin on alle kymmenys sementtiklinkkerin päästökertoimesta. CEM II/B-sementtiä oletettiin myös käytettävän aluminaattisementtiä vähemmän. Vaikka tiilien valmistus tuottaa ison osan CEM II/B + punatiili -levyn päästöistä, on se keraamien joukossa verrattain vähäpäästöinen materiaali, eikä sen murskaaminenkaan tuota kovin suuria päästöjä.



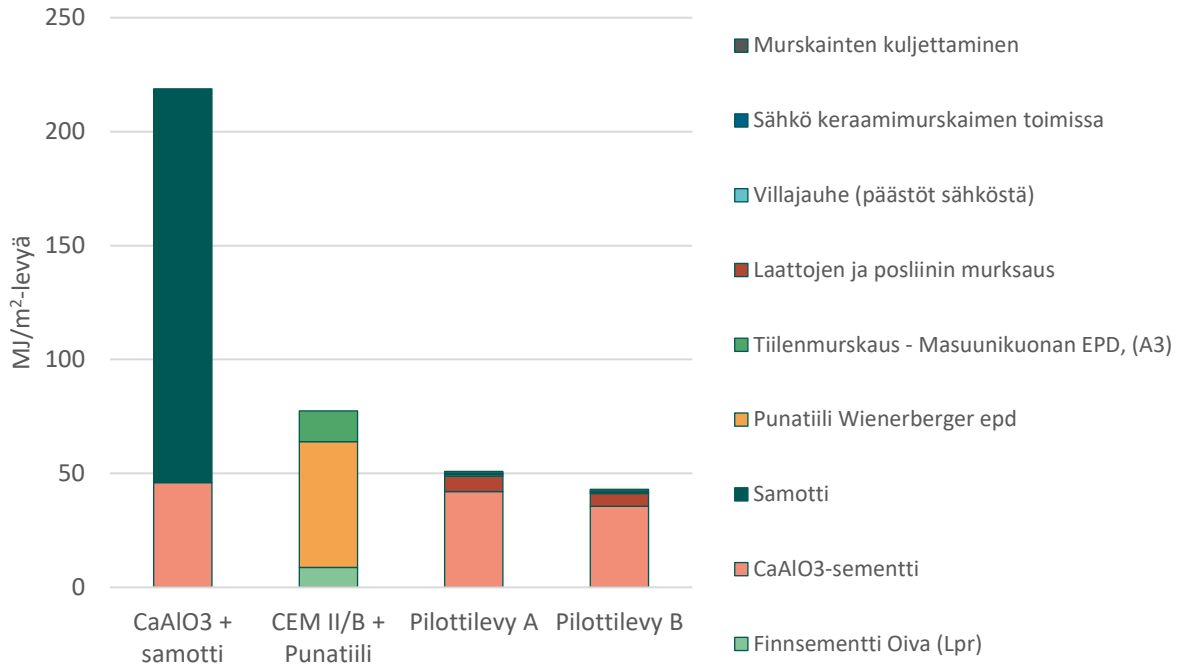
Kuva 31. Eri levyjen ympäristövaikutukset hiilidioksidiekvivalentteina levyneliömetriä kohti.

Energiankulutuskuvaaja poikkeaa hieman ilmastovaikutuksista, kun punatiilen ja samotin osuudet niitä sisältävissä tuotteissa lisääntyvät ja sementtien osuudet pienenevät verrattuna ilmastopäästöjen vastaaviin osuuksiin (kuva 32). $CaAlO_3$ + samotti -levyn 218 MJ/m^2 energiankäytöstä samotin osuudeksi tuli 173 MJ/m^2 eli noin 79 %. CEM II/B + punatiili -levyn osalta erityisesti tiilen valmistus kuluttaa energiaa, noin 55 MJ/m^2 (71 %), mutta myös tiilen murskausprosessin osuus (17 %) on suurempi kuin se oli ilmastopäästöistä. Sementin osuudeksi jäi noin 9 %. Pilottilevyjen A ja B kokonaisenergiankulutukset olivat 51 ja 43 MJ/m^2. Näistä uusiomateriaaleihin liittyvät prosessit tuottivat yhteensä noin 17,5 %

osuudet, ja tästä osuudesta puolestaan murskaukset tuottivat noin 76 % energiankulutuksesta kummallekin tuotteelle.

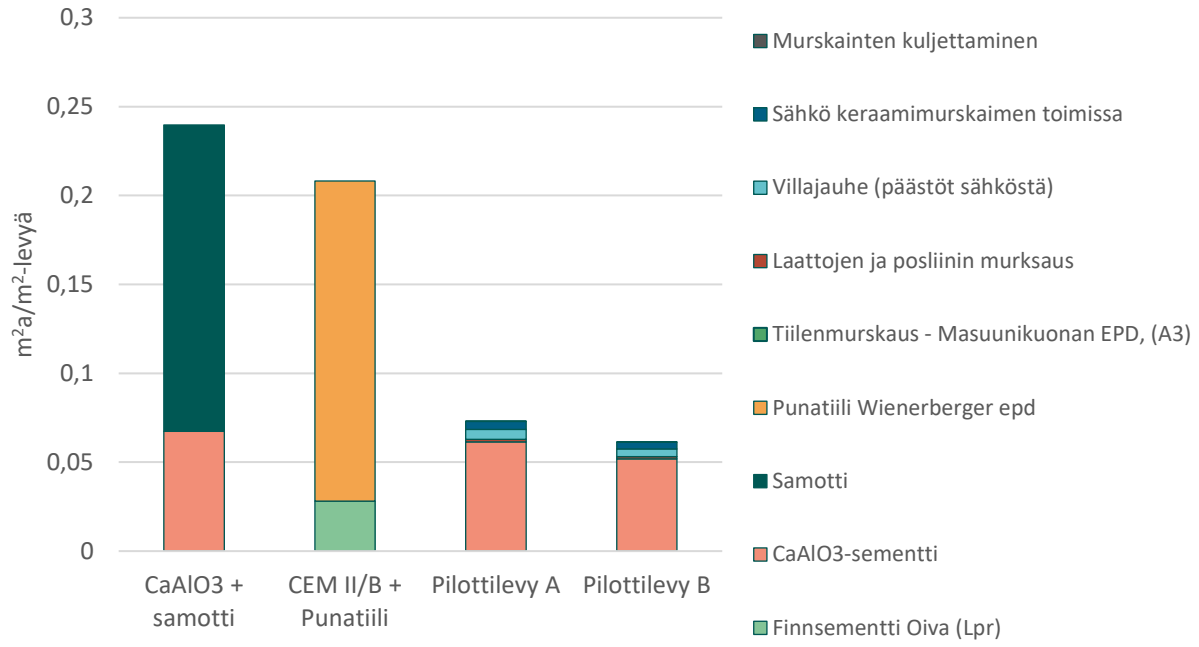
Samotin korvaaminen keraamimurskeella vähentää palonsuojalevyn vaatiman energiankulutuksen noin neljännekseen. Myös sementti + punatiili -levyn energiankulutus on suurempi kuin pilottilevyn, joten punatiilen korvaaminen keraamijätemurskeella on sekin kannattavaa energiankulutuksen näkökulmasta. Jos käytetty tiili olisi kierrätystiiltä, romahtaisi myös sen laskettu energiankulutus, eikä sen korvaaminen pilottilevyjen reseptillä tuottaisi enää hyötyä energiankäytön kannalta.

Energiankäyttö ja ilmastovaikutukset ovat usein toisiinsa liitoksissa, koska ilmastopäästöt muodostuvat paljolti fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Eroja kuitenkin syntyy, jos jossain prosessissa käytetään uusiutuvaa eli (suorilta) ilmastovaikutuksiltaan päästötöntä energiaa. Tällöin energiaa kuluu, vaikka laskettavia kasvihuonekaasupäästöjä ei muodostukaan. Selkeimmän tällaisen eron tekee tuloksissa CEM II/B + punatiili -levy, joka on CO_2-päästöiltään matalampi kuin pilottituotteet, mutta energiankäytöltään suurempi.



Kuva 32. Eri levyjen valmistamisen energiankulutus levyneliömetriä kohti.

Maankäyttöindikaattorissa $CaAlO_3$ + samotti- ja CEM II/B + punatiili -levyjen samotti ja punatiili hallitsevat omia kuvaajiaan 0,17 m^2a/levyneliö (72 %) ja 0,18 m^2a/levyneliö (86 %) vaikutuksillaan (kuva 33). Näissä levyissä loput maankäytöstä johtuu aluminaattisementistä ja tavallisesta sementistä. Pilottilevyissä A ja B aluminaattisementti tuottaa noin 0,06 ja 0,05 m^2a/levyneliö, mikä vastasi 84 % ja 85 % osuuksia. Muista pilottituotteiden prosesseista vain sähkönkulutus (villajauheen teossa ja laatta- ja posliinimurskaimessa) aiheuttavat mainittavan osan maankäyttövaikutuksesta. Jätemateriaali itsessään ei maankäyttövaikutuksia aiheuta, päinvastoin sen käyttö periaatteessa vähentäisi niitä, koska jätettä siirtyisi vähemmän kaatopaikoille asti. Tätä ei kuitenkaan ole huomioitu tuloksissa. Maankäyttövaikutus pilottituotteissa vaihteli neljänneksestä kolmannekseen verrattuna kahteen verrokkituotteeseen, eli vaikutus on merkittävä. Mikäli tavallisen sementin ja tiilen seoksessa kuitenkin käytettäisiin jätetiiltä, olisi se todennäköisesti parempi vaihtoehto kuin pilottilevyt, joskaan tuotteiden ominaisuudet eivät tällöin välttämättä olisi toisiaan vastaavia.



Kuva 33. Eri levyjen maankäyttöalavuodet levyneliömetriä kohti.

Yhteenvetona palonsuojalevyjen vaikutuslaskennoista voidaan sanoa, että keraamisia jäteraaka-aineita sisältävien palonsuojalevyjen erot näyttävät kaikkien valittujen indikaattorien osalta paremmilta kuin levy, jossa on käytetty aluminaattisementtiä ja samottia. Sen sijaan tavallisen sementin ja tiilimurskan seos on ilmastovaikutukseltaan vähäisempi, mutta tuote on hypoteettinen ja myös sen ominaisuudet olisivat poikkeavat. Tämänkaltaista tuotetta voisi kuitenkin tutkia tehtäväksi purkutiilestä.

7.3 Geopolymeerit

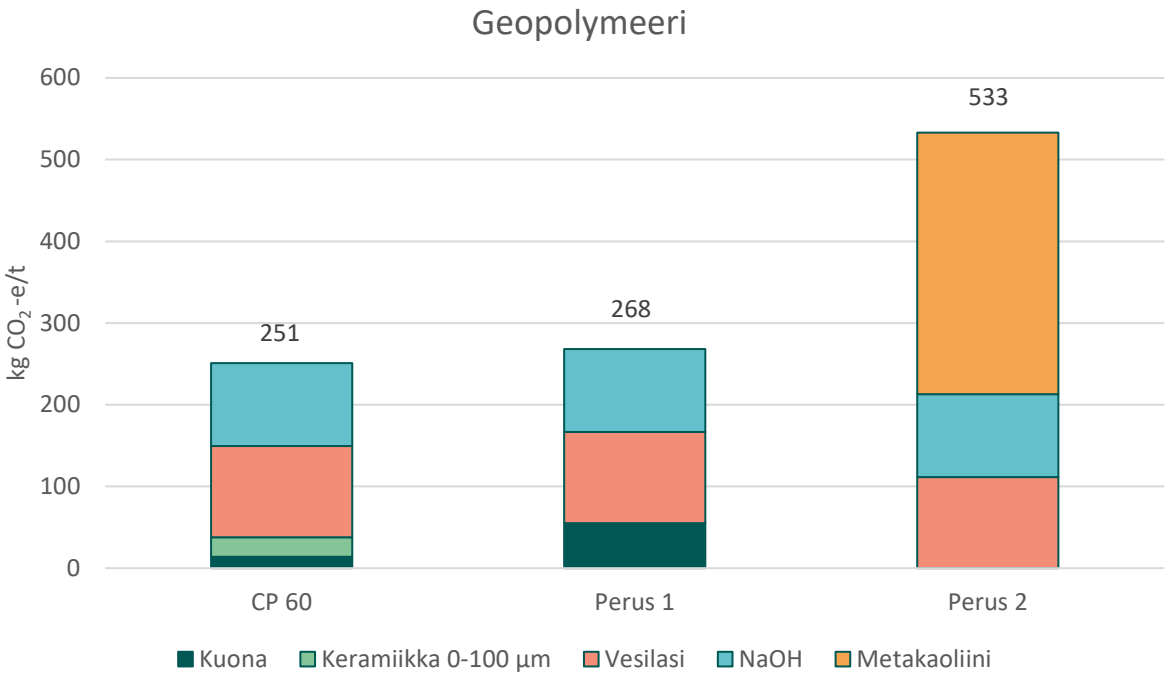
Geopolymeerireseptejä, joita vertailtiin keskenään, oli kolme (taulukko 14). Yhdessä niistä varsinainen pääraaka-aine oli keraamipulveri, toisessa masuunikuona ja kolmannessa metakaoliini. Vesilasia ja natriumhydroksidia (NaOH) kaikissa resepteissä oli sama määrä. Lujuuksiltaan keraamia sisältävä tuote oli selvästi heikompi kuin verrokkinsa, jossa keraamia ei ollut.

Taulukko 14. Geopolymeerien reseptit.

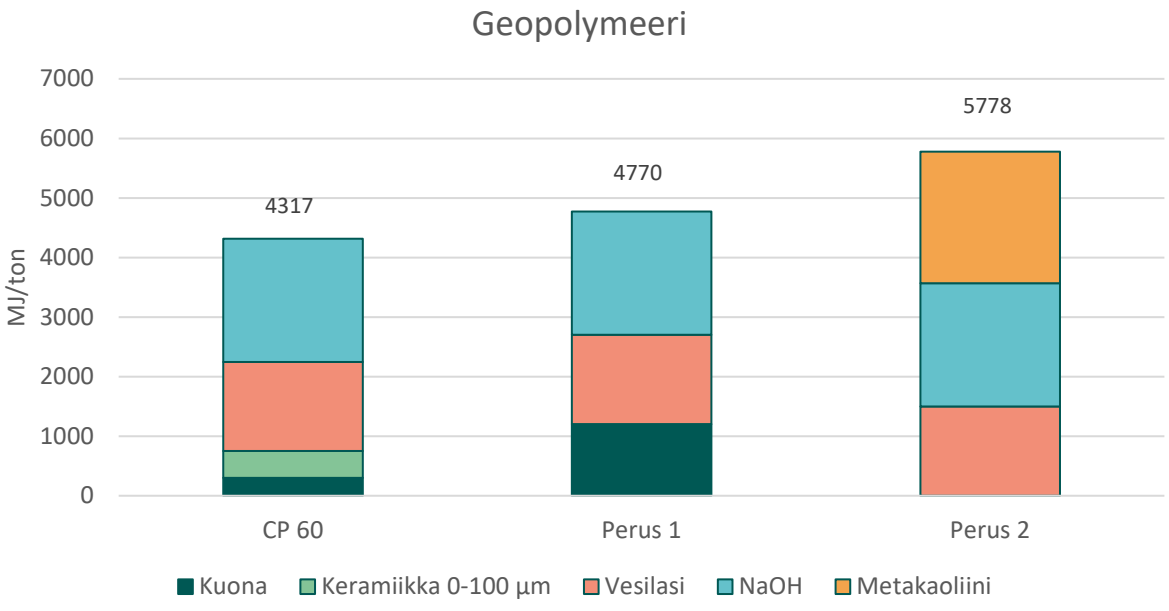
Resepti	Masuunikuona	Keramiikka 0–100 µm	Vesilasi	NaOH	Metakaoliini	Puristuslujuus, MPa
CP 60	20 %	60 %	10 %	10 %		10
Perus 1	80 %		10 %	10 %		40
Perus 2			10 %	10 %	80 %	30

Ilmastovaikutuksiltaan keraameja sisältävä geopolymeeri oli matalin 251 kg CO_2-e/t arvollaan, hieman tätä enemmän (268 kg CO_2-e/t) päästöjä syntyy käytettäessä masuunikuonaa ja metakaoliinin käyttö tuotti selvästi suurimmat (533 kg CO_2-e/t) ilmastovaikutukset (kuva 34). Kuvaaja on järjestykseltään vastaava energiankäytössä, mutta metakaoliinia sisältävän reseptin ero muihin kaventuu lähinnä siksi, että metakaoliinin osuus energiankulutuksesta ei ole yhtä suuri kuin se on ilmastopäästöistä (kuva 35).

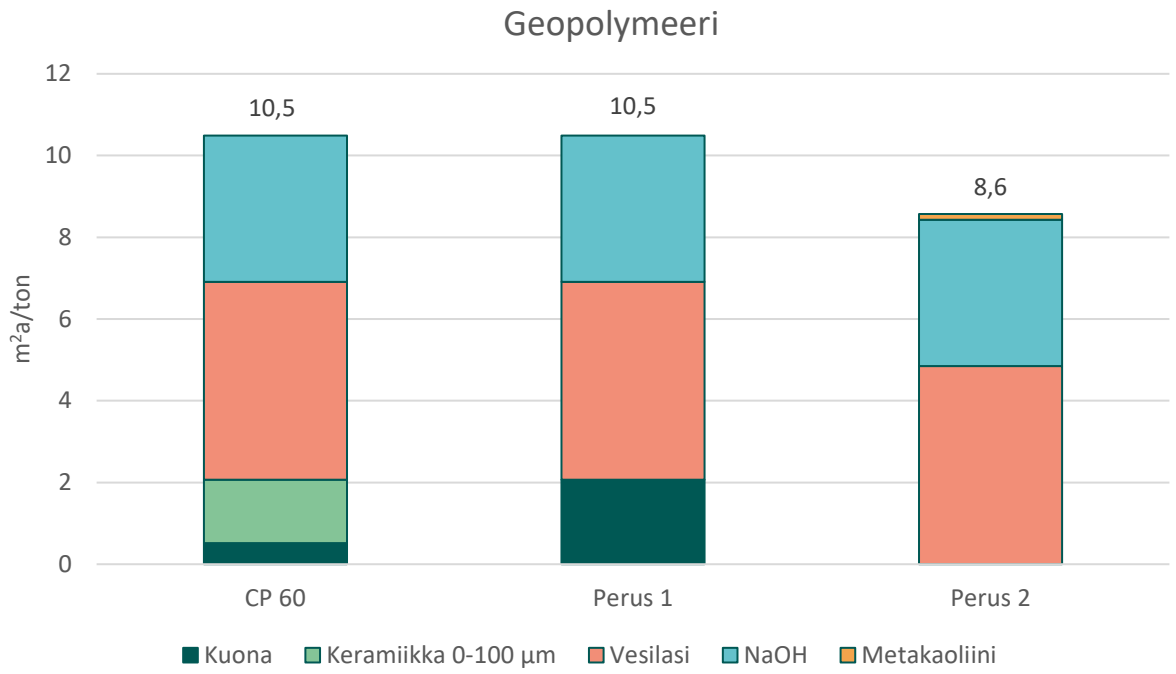
Maankäyttövaikutuksia katsottaessa tilanne kääntyy puolestaan päälaelleen – keraamia ja kuonaa pääraaka-aineina käytettäessä maankäyttöarvo on molemmilla 10,5 m^2a, mutta metakaoliinia sisältävällä 8,6 m^2a (kuva 36). Suurin osuus maankäyttövaikutuksista johtuu NaOH:sta ja vesilasista, mutta keraamin ja kuonan valmistamiseen liittyy suuremmat vaikutukset kuin metakaoliiniin, minkä vuoksi paremmuusjärjestys oli toinen kuin ilmastopäästöjen ja energiankäytön kuvissa.



Kuva 34. Eri Geopolymeeriresepteillä valmistettujen kappaleiden ilmastovaikutukset tonnia kohti.



Kuva 35. Eri Geopolymeeriresepteillä valmistettujen kappaleiden energiankulutukset tonnia kohti.



Kuva 36. Eri Geopolymeeriresepteillä valmistettujen kappaleiden maankäyttöarvot tonnia kohti.

On huomionarvoista, että vaikka vesilasia ja NaOH:a oli kumpaakin vain 10 % tuotteen massasta, jyvittyi näille merkittävä osuus vaikutuksista jokaisella kolmella indikaattorilla. Näiden aineiden osalta on kuitenkin kyseenalaistettu sitä, mitkä ovat niiden oikeat päästökertoimet. Witzleben (2022) löysi kirjallisuudesta 100 painoprosenttiselle vesilasille päästökertoimet väliltä 737–3433 kg CO_2-e/t. Myös Davidovits (2015) on esittänyt kritiikkiä, että geopolymeerien päästölaskennoissa käytettävät päästökertoimet ovat välillä ylisuuria ja että nämä päästökertoimet otetaan kirjallisuudesta annettuna myöhempiin tutkimuksiin ilman tarkempaa tarkastelua. Useissa hänen esittämissään tapauksissa kyse on siitä, että on käytetty 100 % vesilasia, kun pitäisi käyttää sen osuutta liuoksessa. Myös Batuecas ym. (2021) toteavat, että aikaisempien tutkimusten tuloksissa on vaihtelua ja huomauttavat, että geopolymeerien vertailua tulisi tehdä muihinkin sementtilaatuihin kuin vain tavalliseen portlandin sementtiin. Tavallinen portlandin sementti on nimittäin selvästi suuripäästöisempää kuin esimerkiksi tässä tarkastelussa käytetty II/B-tyyppi, jossa on mukana noin kolmannes muitakin aineita, kuten kuonaa ja tuhkaa, joilla sementin päästökerrointa voidaan alentaa. Näiden seikkojen vuoksi vertailut tavallisiin tai tyypillisiin sementteihin on kyseenalaistettavissa. Nyt tehdyissä laskennoissa ei kuitenkaan verrata päästöjä eri sementtilajeihin, vaan muutamaa geopolymeerireseptiä keskenään. Tehdyissä laskennoissa on käytetty melko konservatiivisia arvoja (n. 1000 kg CO_2-e/t) NaOH:lle ja vesilasille, mutta niiden osuudet ovat samat jokaisessa reseptissä, jolloin mahdollisesti korkea kerroin ei haittaa niiden keskinäistä vertailua.

7.4 Ympäristövaikutuslaskentojen yhteenveto

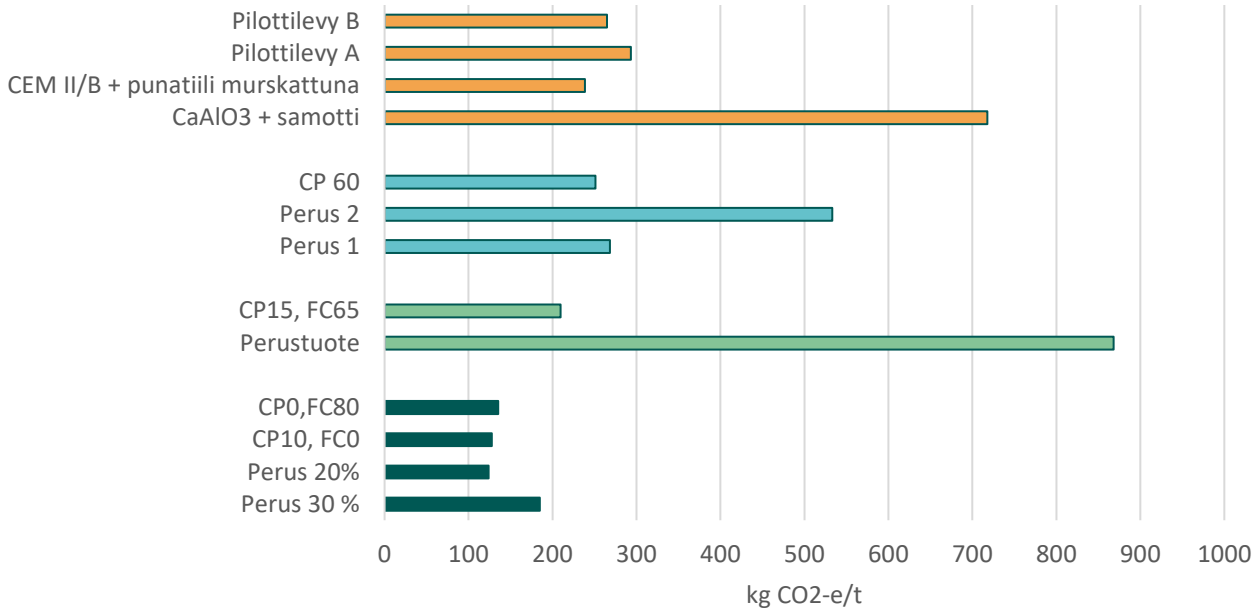
Pilotoitujen tuotteiden osalta yleisesti voidaan todeta, että keraameja kierrättämällä on mahdollista vähentää ympäristövaikutuksia (kuva 37). Erityisen selvältä hyöty näyttää korvattaessa tulenkestävissä materiaaleissa käytettävää samottia. Myös geopolymeereissa keraamisen murskan käyttö tuottaa ilmastopäästöjen ja energiankulutuksen osalta selvät hyödyt – maankäytön osalta ei niinkään, mutta tähän

yksikköön liittyy jo enemmän tulkinnanvaraa ja epävarmuutta. Hyödyt jäävät vähäisemmiksi tuotteissa, joilta tulenkestoa ei vaadita. Tätä selittää se, että näissä kohteissa voidaan käyttää enemmän polttamattomia raaka-aineita, kuten hiekkaa. Nämä ovat tuotantopanoksiltaan kevyempiä kuin keraamimurska.

Maankäytön osalta jätekeraamin hienontaminen aiheuttaa verrattain paljon maankäyttövaikutuksia. Tätä selittää se, että sähkö aiheuttaa käytetyissä tietokannoissa yllättävän paljon maankäyttövaikutusta m^2a -arvossa, kun sähköverkko ja tuotantolaitokset varaavat paljon maa-alaa pitkiksi ajoiksi. Jokin muu maankäyttöindikaattori voisi tuottaa toisenlaisia tuloksia. Toisaalta laskennoissa ei ole huomioitu sitä hyötyä, minkä jätekeraamien hyödyntäminen tuottaa kaatopaikkoihin verrattuna. Jos oletus on, että sähköverkko on joka tapauksessa olemassa, eikä sitä huomioida, voidaan arkijärjellä sanoa, että myös kiviaineksen korvaaminen on ympäristölle eduksi – erityisesti alueilla, missä maa-aineksista on pulaa.

Kuva 37 kokoaa yhteen eri keraamijätteitä hyödyntävien ja verrokkituotteiden ilmastovaikutukset. Yleisesti katsottuna laskelmat kannustavat keraamisen jätemateriaalin, kuten laatta- ja saniteettiposliinijätteen, hyödyntämiseen. Niillä voidaan saavuttaa merkittäviäkin ympäristöhyötyjä ilmastopäästöjen, maankäytön ja energiankulutuksen osalta. Jos raaka-aineiden tiheyksissä on eroja, mutta tuotannollinen yksikkö on pinta-ala- eikä tilavuuskohtainen, on se huomioitava. Palonsuojalevyjen osalta näin on tehty, jotta tulosten vertailtavuus olisi helpompaa. Geopolymeerien päästöt ovat sementtipohjaisia tuotteita korkeammat, johtuen NaOH:n ja vesilasin korkeista päästöistä. Niiden päästöjä voisi ehkä madaltaa kierrätyspohjaisilla aktivaattoreilla.

Tulevissa tutkimuksissa tulisi huomioida lisää eri ympäristöindikaattoreita sekä jätekeraamin hyödyntämistapoja. Arvioinnit eivät sisältäneet keraamijätteen keräyksen, kuljetuksen ja rejektin käsittelyn vaikutuksia, eikä hyötyjä siitä, ettei kierrätettyä jätettä tarvitse sijoittaa kaatopaikalle. Tarvitaan myös lisää keraamisten materiaalien kierrättämistä käytännössä, jolloin päästäisiin luotettavasti arvioimaan koko murskauskoneketjua ja siitä syntyviä päästöjä ja kustannuksia.



Kuva 37. Eri käyttökohteiden ja niiden reseptien ilmastovaikutusten summat per tonni. Huomaa, että palonsuojalevyillä tonnit eivät ole täysin vertailukelpoinen yksikkö, koska niiden tiheyksissä on eroja.

8 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä hankkeessa tutkittiin rakennuksissa käytettävien ja purkamisessa jätteiksi muuttuvien keraamisten materiaalien (saniteettiposliini, keraamiset laatat) hyödyntämistä muutamissa käyttökohteissa. Tyypillisesti purkukeraamit päätyvät kaatopaikoille läjitettäviksi. Hankkeessa tarkastelun kohteena oli koko ketju keräämisestä hyötykäyttöön asti. Pääpaino oli uusien käyttökohteiden tutkimisessa, mutta myös keräystä ja murskaamista pilotoitiin ja siihen liittyviä haasteita arvioitiin. Tämän lisäksi tehtiin kattava tutkimus lainsäädännöstä sekä arvioitiin pilottituotteiden ympäristövaikutusta.

Hankkeen aikana löydettiin useita keraamijätemateriaalin hyödyntämismahdollisuuksia. Myös ympäristön kannalta katsottuna tulokset ovat lupaavia ja kannustavat jatkamaan tutkimustyötä edelleen keraamisten materiaalien kierrättämiseksi. Nyt tehdyissä pilotoinneissa erityisesti - muttei suinkaan ainoastaan -tulenkestävien tuotteiden valmistuksessa samotin korvaaminen laatta- ja posliinijätteellä voi tuottaa suuriakin ympäristöhyötyjä sekä ilmaston, energian että maankäytön osalta. Tulenkestävissä kohteissa on se hyvä puoli, että silloin yksi keraamien hyvistä erityisominaisuuksista, eli korkean lämpötilan sietokyky, tulee hyödynnettyä myös uudessa käyttökohteessa. Toinen kiinnostava käyttökohde oli sementin osittainen korvaaminen laastissa ja betonissa, sillä sementtikin on varsin päästöintensiivinen raaka-aine, jonka korvaaminen keraamijätteellä olisi ympäristöteko. Sementtiä pystyttiin korvamaan noin 20 % nyt tutkitussa sementti/hiekka -laastissa. Sementin korvaamista betonissa ei valitettavasti ehditty tässä hankkeessa laajemmalti kokeilemaan. Sementin korvaaminen keraameilla tarvitseekin ilman muuta lisätutkimuksia. Hiekan ja soran osittainen korvaaminen betonissa ja laastissa onnistuu myös hyvin, mutta kiviaineiden saatavuus ja matala hinta Suomessa vaikeuttavat keramiikan käytön mahdollisuuksia niiden korvaamisessa. Lisäksi niitä korvattaessa myös ympäristöhyödyt ovat vähäisemmät kuin jalostetumpien raaka-aineiden korvaamisessa.

Lisäksi geopolymeereissa saniteettiposliinikappaleista hienonnettu jauhe toimi hyvin ja voi teknisesti olla toimiva osa raaka-aineseosta. Geopolymeerit voivat tuoda uusia mahdollisuuksia tuottaa perinteisiä sementti- ja betonituotteita korvaavia ratkaisuja. Geopolymeereissä on potentiaalia merkittäviinkin säästöihin ympäristövaikutusten näkökulmasta, mutta tutkimus on kuitenkin vielä kesken, eikä niiden täyttä potentiaalia ole vielä selvitetty. Geopolymeerien ympäristöystävällisyydestä on puhuttu paljon ja niitä pidetään monesti mahdollisena sementtipohjaisen rakennusmateriaalin korvaajana. Tässä tutkimuksessa tehdyissä laskelmissa niiden hiilijalanjäljet olivat kuitenkin jopa korkeammat kuin perinteisellä sementtipohjaisella betonilla tai laastilla. Alkaliaktivaattoreina käytetyillä natriumhydroksidilla ja vesilasilla on suuri vaikutus laskentaan. Niiden päästöintensiivisyyksissä on kuitenkin paljon vaihtelua, ja valittu päästökerroin voi vaikuttaa tuloksiin merkittävästi. Tässä tutkimuksessa päästöarvot otettiin valitsemalla Ecoinvent-tietokannasta keskitasoinen päästökerroin, joka on selvästi korkeampi kuin matalimmat ”tarjolla” olevat kertoimet.

Keramiikan käyttöä mineraalivillan raaka-aineena tutkittiin myös yhtenä hyödyntämiskohteena. Tässä käyttökohteessa keramiikan pitää sulaa lasiksi muiden käytettyjen raaka-aineiden kanssa. Sulatuskokeissa pystyttiin lisäämään jopa 10 % keraamimurskaa (< 4 mm) ilman massan kristallisoitumista. Nämä tulokset ovat vielä hyvin alustavia ja lisätutkimuksia tarvitaan siitä, mitkä nykyisistä raaka-aineista voidaan korvata, jotta lopullinen lasikoostumus olisi tavoitearvon sisällä.

Näiden lisäksi tutkittiin keraamisten laattojen käyttöä maansuodattimena sekä maan pohjarakenteena. Laattasuodattimella testattiin sekä laboratoriossa että kentällä, pystytäänkö ravinnepitoisia (fosfori ja typpi) vesiä puhdistamaan. Laboratoriokokeissa pystyttiin sekä puhtaista että betonitaustaisista laatoista tehdyillä laattasuodattimilla poistamaan fosforia vedestä. Kenttäkokeissa ulkoiset

olosuhteet olivat kuitenkin haastavia ja luotettavien tulosten saamiseksi laattasuodattimilla pitää tehdä vielä lisää kokeita.

Keraamisten laattojen soveltuvuutta pohjarakennemateriaalina testattiin kentällä ja laboratoriossa. Kenttäkokeessa huomattiin, että laattoja ei tarvitse erikseen murskata, vaan ne murskautuvat päältä ajaen. Laatat voivat pintamateriaalina olla liian teräviä ja pölyäviä, mutta ne soveltuvat rakennekerrostäyttönä kantavuuden ja tiivistettävyyden osalta hyvin yleistäyttöihin, varsinkin jos päälle tuodaan muuta materiaalia tai päällyste. Materiaali on myös kevyempää kuin kiviaines, ja vähentää painuvilla alueilla haitallista kokoonpuristumista. Puhtaille ja seinästä puretuille laatoille tehtiin liukoisuuskokeita niiden käyttöturvallisuuden selvittämiseksi esimerkiksi maarakentamisessa. Tehtyjen liukoisuuskokeiden perusteella puhdas ylijäämälaatta vaikuttaa varsin turvalliselta materiaalilta. Seinästä irrotetustakaan laattajätteestä ei pääasiassa liuennut hälyttäviä määriä epäpuhtauksia verrattaessa niitä nykyisten MARA-asetukseen sisällytettyjen jätemateriaalien raja-arvoihin. Laattoihin kiinnijäävät epäpuhtaudet voivat kuitenkin nostaa joidenkin haitta-aineiden liukoisuuksia myös MARA-asetuksen raja-arvojen yli.

Keraamilla korvattavan materiaalin on oltava sellaista, että sen korvaamisella saatavat ympäristö- ja taloushyödyt ylittävät kulut ja muut kierrätyksen tuotantopanokset. Hankkeessa talouslaskentaa ei kuitenkaan suoritettu muun muassa siksi, että murskauskokeilussa materiaalia ei murskattu kovinkaan hienoon palakokoon asti eikä kyseinen murskainmalli todennäköisesti edes olisi parhaimmillaan tehtäessä kovin hienojakoista tavaraa. Lisäksi koejärjestely oli mittakaavaltaan varsin pieni.

Murskainkoneketjun käyttö ja kuljettaminen ovat kalliita toimintoja, jotka tulee huomioida myös keraamin kierrätyksessä. Ilman tarkempia laskentoja voidaan sanoa, että kustannusrakenne on pitkälti riippuvainen tehokkuudesta, eli nopeudesta, joka karkeampaan kokoluokkaan (< 45 mm) murskattaessa oli vielä noin 150 t/h. Tällöin murskauksen kustannukset ovat vielä kohtuulliset (noin 10 €/t). Palakoon pienentyessä murskaustehokkuuden voidaan olettaa laskevan jyrkästi, ja vastaavasti kustannusten nousevan. Murskauksen päästöt eivät kuitenkaan olisi tällöinkään erityisen suuret verrattuna keraamisten materiaalien tyypillisiin päästöihin. Joka tapauksessa keraamia oikein hienoksi jauhettaessa murskaimen tyyppi pitänee valita toisin tai vaihtaa murskainta sen jälkeen, kun palkkimurskaimella on suoritettu esimurskaus. Murskauspilotoinnin aikana huomattiin, että jopa 5 % murskatusta keraamista hajosi hienoksi tomuksi ja aiheutti pöllyämistä. Tämän pölyn talteenotto voisi mahdollistaa hienon jakeen teon samalla, kun murskausta suoritetaan karkeammalla seulalla. Laatta- ja saniteettiposliinijätteen kerääminen erikseen työmailta tuo myös lisätyötä ja aiheuttaa siten hitautta purkutyöhön ja kuluja keraamien kierrätysketjuun. Näillä perusteilla matalan jalostusarvon tuotteita ei ole järkevää korvata keraamijätemurskalla – ei ainakaan niin kauan, kun maa-ainekset ovat halpoja ja niitä on runsaasti saatavilla ja/tai jätemaksut eivät ole niin korkeita, että kannattavuusasetelma uuden ja kierrätetyn materiaalin välillä kääntyisi ympäri. Toimintaa voisi aloittaa esimerkiksi käyttämättömistä laattaeristä, joita jää yli rakennustyömailta ja kauppojen ja tehtaiden varastoihin. Nämä ovat myös hyviä materiaaleja kierrättämiselle siksi, että ne ovat puhtaita muista materiaaleista, kuten kiinnikkeistä, ja siksi vähemmän riskisiä haitta-aineille tai muille niistä johtuville ongelmille.

Laatta- ja saniteettiposliinijätteiden kierrättämisellä voidaan saatujen tulosten mukaan saavuttaa ympäristöhyötyjä, jotka tällä hetkellä haaskataan läjittämällä jätettä kaatopaikoille. Haasteena ja pullonkaulana on kuitenkin jätteen kerääminen laajamittaisesti purkukohteista, mielellään vieläpä kannattavasti ja riittävän puhtaina hyödyntämisen mahdollistamiseksi. Laatta- ja saniteettiposliinijätteen korkeatasoisen kierrätyksen lisäämisen edellytys onkin kattavan erilliskeräysjärjestelmän luominen. Toistaiseksi purkutyömailta peräisin olevilla laatta- ja saniteettiposliinijätteille ei ole vielä merkittävää määrää sopivia käyttökohteita. Siinä vaiheessa, kun keraamiselle rakennus- ja purkujätteelle soveltuvia kierrätyskohteita on kehitetty laajemmin, voitaisiin keraamimateriaalien kierrätystä tehostaa muuttamalla jätelain 26 §:n betonin, tiilien, kivennäislaattojen ja keramiikan jätelajeittainen erilliskeräys

pakolliseksi. Se ohjaisi parempilaatuisten ja siten paremmin kierrätykseen soveltuvien keraamisten jätefraktioiden talteenottoon.

Keraamisista jäteperäisistä materiaaleista valmistettujen rakennustuotteiden on täytettävä kansallisen maankäyttö- ja rakennuslainsäädännön sekä EU:n rakennustuotesäännösten vaatimukset riippumatta siitä, luokitellaanko materiaali jätteeksi vai tuotteeksi. Jos tuotteelle on laadittu eurooppalainen harmonisoitu standardi, saa markkinoille saattaa vain sellaisia tuotteita, jotka täyttävät standardin vaatimukset. Jäteperäisen materiaalin käyttö CE-merkintää vaativassa rakennustuotteessa voi olla mahdotonta, jos kyseistä jäteperäistä materiaalia ei ole hyväksytty harmonisoidussa standardissa rakennustuotteen sallittuihin raaka-aineisiin. Esimerkiksi laastien ja betonien kiviainestandardi estää laatta- ja posliinimurskan käytön betonirakenteissa tai muurauslaasteissa.

Jätelainsäädäntö ja jätteiden kierrätykseen sovellettavat lupamenettelyt koetaan usein vaikeaselkoisiksi ja toimintaa rajoittaviksi. Keraamisen rakennus- ja purkujätteen ammattimainen ja laitosmainen käsittely edellyttää yleensä ympäristölupaa, sillä sille ei ole säädetty poikkeusta lupavelvollisuudesta (lukuun ottamatta tiilimurskeen ja kevytsoran käyttöä MARA-asetuksen mukaisesti maarakentamisessa). Lisäksi jätemateriaaleja koskevat esimerkiksi jätelainsäädännön kuljetus-, kirjanpito- ja raportointisäännökset. Ratkaisuksi jätesääntelyn aiheuttaman taakan vähentämiseen ja materiaalin markkina-aseman parantamiseen esitetään usein materiaalin jätteeksi luokittelun päättymistä (EEJ). EEJ-päätöksen myötä materiaaliin sovelletaan kuitenkin tuotelainsäädäntöä, josta jäteperäisen materiaalin käytölle voi tulla uusia merkittäviä velvoitteita. Se, onko toiminnanharjoittajan kannalta kannattavampaa kierrättää keraamista materiaalia jätteenä vai hakea materiaalille EEJ-statusta, voikin vaihdella materiaalin ja sen käyttötarkoituksen mukaan.

Keramiikkajätteen maarakentamiskäytön sääntelytaakkaa keventäisi materiaalin lisääminen MARA-asetukseen. Toisaalta jätteen hyödyntämisessä tulisi pyrkiä jätehierarkiassa mahdollisimman korkealla olevaan toimintaan. Keraamisten rakennus- ja purkumateriaalien sisällyttäminen MARA-asetukseen voisi ohjata ne kierrätyksen sijasta jätehierarkiassa alemmalla tasolla olevaan maarakentamiseen, koska korkeatasoisempi kierrätys vaatii MARA-ilmoitusta raskaamman ympäristölupamenettelyn.

Jätehierarkiassa korkeammalla olevia keraamisen jätteen kierrätystapoja voitaisiin edistää säätämällä nekin rekisteröintimenettelyn piiriin jätedirektiivin 24–25 artiklan mukaisesti. Tämä edellyttäisi uutta MARA-asetusta vastaavaa valtioneuvoston asetusta, jossa määriteltäisiin kriteerit keraamisen jätteen kierrätykselle terveyden- ja ympäristönsuojelun kannalta hyväksyttävällä tavalla tietyissä käyttökohteissa. Ilmoitusmenettely vähentäisi sääntelytaakkaa sellaisessa keraamisen jätteen hyödyntämisessä, jossa laitos ei ole ympäristöluvanvarainen muusta syystä kuin jätemateriaalin hyödyntämisen vuoksi. Ennen kuin suosituksia tämänkaltaisesta ”keraamiasetuksesta” voitaisiin antaa, tarvitaan kuitenkin kattavia selvityksiä eri keraamijätteiden kierrättämisen terveys- ja ympäristönsuojelunäkökohdista. Myös olemassa olevia rakennustuotestandardeja pitää muuttaa, jotta jätemateriaalia saisi käyttää markkinoille saatettavissa tuotteissa — Ilman markkinakelpoisuutta asetustakaan ei kannata tehdä.

Keraamisen jätteen jätteeksi luokittelun päättyminen on mahdollista tehdä vain tapauskohtaisessa EEJ-menettelyssä, sillä sille ei ole säädetty kansallisia tai EU-tason EEJ-kriteerejä. Nykyinen Suomessa sovellettava menettely, jossa tapauskohtaiset EEJ-päätökset tehdään pääasiassa osana laitoksen ympäristölupaa, on varsin raskas ja aikaa vievä. Lisäksi toimivaltaisten lupaviranomaisten toisistaan poikkeavat laintulkinnat voivat johtaa päätösten sisällön suureen vaihteluun eri puolilla maata. Erillisen EEJ-päätösmenettelyn luominen ja päätösten keskittäminen yhdelle valtakunnalliselle viranomaiselle UTU-työryhmän esittämällä tavalla olisikin merkittävä parannus nykykäytäntöön.

Jätettä, jolle on tehty EEJ-päätös, koskevat esimerkiksi kemikaalilainsäädännön velvoitteet. Kemikaalilainsäädännön aiheuttama sääntelytaakka vaihtelee sen mukaan, katsotaanko EEJ-materiaali EU:n REACH-asetuksen mukaan aineeksi vai esineeksi, ja onko kyseiselle aineelle säädetty asetuksessa

ainekohtaisia poikkeuksia. Esineiden (esimerkiksi keraamisesta jätteestä valmistetut palolevyt, tulenkestävät laatat ja betonilaatat) sääntely on keveämpää, koska niitä ei koske REACH-asetuksen rekisteröintivelvollisuus. Esineiden kemiallisen koostumuksen mukaan niitä voivat kuitenkin koskea erityistä huolta aiheuttavia aineita (eli SVHC-aineita) koskevat ilmoitusvelvollisuudet.

EEJ-päätöksen saaneen keraamijauheen tai -murskeen markkinoille saattaminen edellyttäisi todennäköisesti REACH-rekisteröintiä, ellei voida hyödyntää samalle aineelle jo aiemmin tehtyä rekisteröintiä. Aineen rekisteröinti on varsin kallis ja aikaa vievä prosessi muun muassa rekisteröintiä ja aineen vaaraluokitusta varten tarvittavien testien vuoksi. Rekisteröinti voi kuitenkin olla toiminnanharjoittajalle pitkällä tähtäimellä kannattavaa, koska se mahdollistaa EEJ-materiaalin markkinoinnin ja käytön ilman jätteitä koskevia lupa- tai ilmoitusmenettelyjä.

Kemikaalilainsäädännön vaatimusten täyttämiseksi toiminnanharjoittajan tulisi tuntea keraaminen materiaali ja sen sisältämät haitta-aineet riittävän tarkasti. Rekisteröintiprosessi tulisi aloittaa hyvissä ajoin ennen materiaalin EEJ-päätöstä, koska materiaalia saa saattaa markkinoille yli 1000 kg vasta sen jälkeen, kun rekisteröinti EU:n kemikaalivirastolle on tehty. EEJ-materiaalia valmistavan yrityksen tulisi myös aktiivisesti seurata kemikaalilainsäädännössä tapahtuvia muutoksia, sillä kemikaalilainsäännön kieltoja ja rajoituksia päivitetään jatkuvasti uuden tutkimustiedon perusteella.

Rakennustuotteita koskevien harmonisoitujen standardien uudistaminen olisi kiertotalouden näkökulmasta erittäin tärkeää. Standardointijärjestelmän heikko toimivuus on todettu myös EU:n rakennustuoteasetuksen arvioinnissa yhdeksi asetuksen tärkeimmistä ongelmista, ja siihen pyritään saamaan parannusta meneillään olevassa EU:n rakennustuoteasetuksen uudistuksessa. Ehdotuksessa rakennustuoteasetuksen uudistamiseksi on esitetty myös kierrätysmateriaalien käytön lisäämistä muun muassa määrittelemällä komission delegoiduilla säädöksillä kierrätysmateriaalien käytölle vähimmäisosuus rakennustuoteryhmittäin. Käytännön tasolla muutokset alkavat kuitenkin vaikuttaa todennäköisesti vasta useita vuosia rakennustuoteasetuksen hyväksymisen jälkeen, kun tuoteryhmäkohtaiset delegoidut säädökset on saatu valmiiksi ja olemassa olevat rakennustuotestandardit on päivitetty.

Keraamisia laatta- ja saniteettiposliinijätteitä voidaan siis tekniseltä kantilta katsoen kierrättää monessakin käyttökohteissa. Samalla on mahdollista vähentää maankäyttöpainetta, energiankulutusta ja ilmastovaikutuksia korvattaessa tiettyjä neitseellisiä materiaaleja. Kierrättämisen haasteena ovat kuitenkin paitsi keräyksen käytännön toteuttamisen kannattavuus ja materiaalin epäpuhtaudet, myös jätemateriaalin käyttöä koskevat säädökset ja standardit, jotka voivat joissain tapauksissa jopa estää keraamista purkujätettä sisältävien tuotteiden saattamisen markkinoille. Tämän ei kuitenkaan tarvitse olla pysyvä asiaintila. Ratkaisuja näihin ongelmiin saadaan usein paremmin, kun ensin löydetään hyötykäyttökohteita. Tämä saa aikaiseksi kysynnän jätemateriaalille, jonka jälkeen on helpompi ratkaista keräykseen ja lajitteluun liittyviä haasteita. Keraamisten materiaalien kierrättämisen edellytyksiä tulisikin parantaa niin teknisen hyödyntämisen lisätutkimuksin kuin erilaisten muodollisten esteiden purkamisella sitä mukaa, kun teknisen hyödyntämisen toimivuudesta ja turvallisuudesta eri käyttökohteissa saadaan riittävästi tietoa.

Lähteet

Alaranta, J. 2016. Jäännösmateriaalien rekisteröinti REACH-asetuksen mukaan. Ympäristöjuridiikka 4/2016 s. 39–58.

Alsaif, A. 2021. Utilization of ceramic waste as partially cement substitute–A review. Construction and Building Materials, 300, 124009. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.829

Auri, J., Kaseva, A., Tarvainen, T., Kronberg, T. Eriksson, J-E., Mattbäck, S., Nilivaara, R., Boman, A., Hänninen, H., Suvanto, E. 2022. Maalle läjitetyn happoa tuottavan maamassan seuranta- ja neutralointitutkimukset. Geologian tutkimuskeskus; GTK:n tutkimustyöraportti 29/2022. https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/29_2022.pdf

Batuecas, E., Ramon-Alvarez, I., Sanchez-Delgado, S., Torres-Carrasco, M. 2021. Carbon footprint and water use of alkali-activated and hybrid cement mortars. Journal of Cleaner Production 319 (2021) 128653. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128653.

Bionova Oy 2017. Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa. https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta [Viitattu 4.4.2023].

Chaudhary, A., Verones, F., de Baan, L., Hellweg, S. 2015. Quantifying land use impacts on biodiversity: combining species–area models and vulnerability indicators. Environmental Science & Technology 49(16):9987–9995 (2015) https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02507

Chen, X., Zhang, D., Cheng, S., Xu, X., Zhao, C., Wang, X., Wu, Q., Bai, X. 2022. Sustainable reuse off ceramic waste powder as a supplementary cementitious material in recycled aggregate concrete: Mechanical properties, durability and microztructure assessment, Journal of Building Engineering Volume 52, 15 July 2022. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104418

Cision 2023. Betonilaatta valmistaa SRV:n kohteeseen ensimmäiset vähähiiliset pihalaatat. Verkkolähde, saatavilla osoitteesta: https://news.cision.com/fi/betolar-oyj/r/betonilaatta-valmistaa-srv-n-kohteeseen-ensimmaiset-vahahiiliset-pihalaatat,c3525800 [Viitattu 26.6.2023]

CWR 2022. Ceramic World Review. World production and consumption of ceramic tiles 148/2022. ISSN 1121-0796. Saatavilla osoitteesta https://ceramicworldweb.com/en/magazines/ceramic-world-review-1482022 [Viitattu 15.9.2023]

Davidovits, J. 2015. False Values on CO2 Emission For Geopolymer Cement/Concrete published In Scientific Papers, Technical Paper #24, Geopolymer Institute Library, www.geopolymer.org.

de Baan, L., Alkemade, R., Koellner, T. 2012. Land use impacts on biodiversity in LCA: a global approach. International Journal of Life Cycle Assessment 18:1216–1230 (2013). https://doi.org/10.1007/s11367-012-0412-0

ECHA 2010. Jätettä ja hyödynnettäviä aineita koskevat toimintaohjeet. Versio 2, toukokuu 2010. Euroopan kemikaalivirasto. 30 s. Helsinki, 2010. https://echa.europa.eu/documents/10162/2324906/waste_recovered_fi.pdf/5df40cf9-ac7b-467a-8bac-3d1dce901e65

Euroopan komissio 2019a. Euroopan vihreän kehityksen ohjelma. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. COM 2019. 640 final. Bryssel 11.12.2019.

Euroopan komissio 2019b. Evaluation of Regulation (EU) No 305/2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC (SWD(2019)1770).

Euroopan komissio 2020. Uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma, Puhtaamman ja kilpailukykyisemmän Euroopan puolesta. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. COM 2020. 98 final. Brussels 11.3.2020.

Euroopan komissio 2022a. Green Deal: new proposals to make sustainable products the norm and boost Europe's resource independence. European Commission – Press release on 30th March 2022. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/ip_22_2013/IP_22_2013_EN.pdf [Viitattu 2.4.2023]

Euroopan komissio 2022b. Summary of references of harmonised standards published in the Official Journal – Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC. Brussels, 2.12.2022. https://ec.europa.eu/docsroom/documents/52375

Euroopan komissio 2022c. Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukseksi rakennustuotteiden kaupan pitämistä koskevien ehtojen yhdenmukaistamisesta, asetuksen (EU) 2019/1020 muuttamisesta ja asetuksen (EU) N:o 305/2011 kumoamisesta. COM (2022) 144 final. Bryssel 30.3.2022.

Euroopan komissio 2023. European Commission, Level(s), European framework for sustainable buildings. https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/levels_en [Viitattu 4.4.2023]

Eurostat 2022. EU's material consumption: 14.1 tonnes per person in 2021. [julkaistu 15.7.2022, viitattu 25.5.2023] https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220715-2

Fortuna, A., Fortuna, D.M., Martini, E. 2017. An Industrial Approach to Ceramics: Sanitaryware. Plinius 43, 2017. DOI: 10.19276/plinius.2017.02019.

Fortuna D. 2000. Ceramic Technology Sanitaryware, Faenza (Gruppo Editoriale), 2000, 188 pages. ISBN-13: 978-8881380985

HE 139/2022 vp. Hallituksen esitys eduskunnalle rakentamislaiksi ja siihen liittyviksi laeiksi. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/KasittelytiedotValtiopaivaasia/Sivut/HE_139+2022.aspx

Huijbregts M., Steinmann Z., Elshout, P., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Hollander, A., Ziip, M., van Zelm,R. 2016. ReCiPe 2016. A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report 1: Characterization. Corpus ID: 114317965. Saatavilla osoitteesta https://www.rivm.nl/en/news/new-version-recipe-2016-to-determine-environmental-impact. [Viitattu 4.4.2023]

Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. (toim.) 2019. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 704 s.

Häkkinen, E. 2023. Jätelainsäädäntö – opas keraamisten materiaalien kierrättäjille. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 32/2023. Suomen ympäristökeskus, 2023. ISBN 978-11-5604-5. http://hdl.handle.net/10138/29865

IPBES 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services (summary for policy makers). IPBES Plenary at its seventh session (IPBES 7, Paris, 2019). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579

Jolliet, O., Antón, A., Boulay, AM. Cherubinin, F., Fantke, P., Levasseur, A., McKone, T. E., Michelsen, O., Milà i Canals, L., Motoshita, M., Pfister, S., Verones, F., Vigon, G., Frichknecht, R. 2018. Global guidance on environmental life cycle impact assessment indicators impacts of climate change, fine particulate matter formation, water consumption and land use International Journal of Life Cycle Assessment 23, 2189–2207 (2018). https://doi.org/10.1007/s11367-018-1443-y

JRC 2023. End-of-waste, Boosting the market for secondary raw materials. EU Science Hub. European Commission's Joint Research Centre. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-activities-z/less-waste-more-value/end-waste_en. [Viitattu 15.8.2023]

Karvonen, J., Halder, P., Kangas, J., Leskinen, P. 2017. Indicators and tools for assessing sustainability impacts of the forest bioeconomy. Forest Ecosystems. 4, 2 (2017). https://doi.org/10.1186/s40663-017-0089-8

Kaufman, M. 2020. The devious fossil fuel propaganda we all use Mashable. 13.7.2020. [Viitattu 23.3.2023]

Kauppila, J., Turunen, T., Häkkinen, E., Salminen, J., Lazarevic, D. 2018. Jätteeksi luokittelun päättymisen hyödyt ja haitat. Ympäristöministeriön raportteja 9/2018. Ympäristöministeriö. Helsinki, 2018. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/160560

Kisu 2023. Kiertotalous-Suomi. Kiertotalous vie yhteiskuntaa kestävän kehityksen polulle. https://kiertotaloussuomi.fi/tieto/kiertotalous/ [viitattu 17.10.2023]

Kohvakka, T. 2020. Glass wool as goepolymer raw material. Milling process waste with Mil-Tek IC60 screw mill. Degree Thesis. Materials Processing Technology. Ammattikorkeakoulu Arcada. https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020121628605

Kronberg, T. and Hupa, L., 2019. Melting behaviour of raw glazes. *Journal of the European Ceramic Society*, *39*(14), pp. 4404–4416.

Lausuntopalvelu.fi 2023. Valtioneuvoston asetusluonnos mekaanisesti kierrätetyn uusiomuoviraaka-aineen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista, Lausuntopyynnön diaarinumero: VN/6588/2023. https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=9b5d99a8-868e-46f9-8def-a126893f1653

Lehtonen, K. 2019. Purkutyöt – opas tekijöille ja teettäjille. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:29. Ympäristöministeriö. Helsinki, 2019. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-036-1.

Lehtinen, T. 2022. Lakiuudistuksen kuulumiset keväällä 2022. Blogi 7.4.2022. https://mrluudistus.fi/2022/04/lakiuudistuksen-kuulumiset-kevaalla-2022/ [Viitattu 10.6.2022]

Luhar, I., Luhar, S., Abdullah, M.M.A.B., Nabiałek, M., Sandu, A.V., Szmidla, J., Jurczyńska, A., Razak, R.A., Aziz, I.H.A., Jamil, N.H. and Deraman, L.M., 2021. Assessment of the suitability of ceramic waste in geopolymer composites: An appraisal. *Materials*, *14*(12), p.3279. https://doi.org/10.3390/ma14123279

Luoma, P., Larvus, L., Hjelt, M., Päällysaho, M. & Aho, M. 2015. Miten kiertotalouden kehitystä mitataan? Esiselvitys kiertotalouden kansallisen barometrin kehittämisestä. Gaia Consulting Oy, 4.9.2015.https://media.sitra.fi/2017/02/27174938/Miten_kiertotalouden_kehitysta_mitataan-2.pdf. [Viitattu 23.3.2022.]

MA 2005. MA (Millennium Ecosystem Assessment) Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC (2005)

Magbool, H.M. 2022. Utilisation of ceramic waste aggregate and its effect on Eco-friendly concrete: A review. *Journal of Building Engineering*, *47*, p.103815. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103815

Masoule, M. S. T., Bahrami, N., Karimzadeh, M., Mohasanati, B., Shoaei, P., Ameri, F., & Ozbakkaloglu, T. 2022. Lightweight geopolymer concrete: A critical review on the feasibility, mixture design, durability properties, and microstructure. *Ceramics International*, *48*(8), 10347 -10371. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.01.298

Mattila, T., Helin, T., Antikainen, R., Soimakallio, S., Pingoud, K., Wessman, H. 2011. Land use in life cycle assessment. The Finnish Environment 24/2011. ISBN 978-952-11-3926-0 (PDF)

Milà i Canals, L., Bauer, C., Depestele, J., Dubreuil, A., Knuchel, R. F., Gaillard, G., Michelsen, O., Müller-Wenk, R., Rydgren, B. 2007. Key Elements in a Framework for Land Use Impact Asessment Within LCA. Journal of Life Cycle Assessment 12 (1) 5 – 15 (2007). http://dx.doi.org/10.1065/lca2006.05.250

MML 2021. Maanmittauslaitoksen tilastoja. Saatavilla osoitteesta https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2022/01/Vuoden_2022_pinta-alatilasto_kunnat_maakunnat.pdf. [Viitattu 8.6.2022]

Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T. and Zhang, H., 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. Teoksessa: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Saatavilla osoitteesta: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf [Viitattu 15.9.23].

Orveillon, G., Pierri, E., Egle, L., Gerbendahl, A., Wessman, P., Garcia John, E. and Saveyn, H. 2022. Scoping possible further EU-wide end-of-waste and by-product criteria. European Commission – Joint Research Centre, Growth and Innovation, Circular Economy and Industrial Leadership. March 2022. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC128647

Pacheco-Torgal, F., Jalali, S. 2010. Reusing ceramic wastes in concrete. Construction and Building Materials 24 (5), pp.832-838 (2010). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.023

Penttinen, J. 2018. Saniteettiposliinijätteen käsittelymahdollisuudet. Turun ammattikorkeakoulun opinnäytetyö. https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018061413890.

Pierri, E., Egle, L., Saveyn, H.G.M. 2023. Developing EU-wide end-of-waste criteria for plastic waste. Draft Technical proposals. April 2023. JRC Science for Policy Report. European Commission, Joint Research Centre, 2023.

Pitarch, A.M., Reig, L., Tomás, A.E. and López, F.J., 2019. Effect of tiles, bricks and ceramic sanitary-ware recycled aggregates on structural concrete properties. *Waste and Biomass Valorization*, *10*, pp. 1779–1793. https://doi.org/10.1007/s12649-017-0154-0

Pitchaiah, P.S., 2017. "Impacts of Sand Mining on Environment – A Review," SSRG International Journal of Geoinformatics and Geological Science, vol. 4, no. 1, pp. 1-5, 2017. Crossref, https://doi.org/10.14445/23939206/IJGGS-V4I1P101

Raval, A.D., Patel, I.N., Pitroda, J. 2013. Ceramic Waste: Effective Replacement Of Cement For Establishing Sustainable Concrete. International Journal of Engineering Trends and Technology 4 (6) (2013). ISSN: 2231–5381

Reig, L., Soriano, L., Borrachero, M.V., Monzó, J.M. and Payá, J. 2022. Potential use of ceramic sanitary ware waste as pozzolanic material. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, *61*(6), pp.611–621. https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2021.05.006

Ronkainen, N. 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia. Suomen ympäristö 2/2012. ISBN 978-952-11-3975-8

Ruokamo, E., Savolainen, H., Seppälä, J., Sironen, S., Räisänen, M., Auvinen, A-P. 2023. Exploring the potential of circular economy to mitigate pressures on biodiversity, Global Environmental Change 78 (2023).

Samadi, M., Huseien, G., Mohammadhosseini, H., Lee, H.S., Lim, N.H.A.S., Tahir, M. M., Alyousef, R. 2020. Waste ceramic as low cost and eco-friendly materials in the production of sustainable mortars Journal of Cleaner Production 266 (2020). https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121825

Seppälä, J., Sahimaa, O., Honkatukia, J., Valve, H., Antikainen, R., Kautto, P., Myllymaa, T., Mäenpää, I., Salmenperä, H., Alhola, K., Kauppila, J., Salminen, J. 2016. Kiertotalous Suomessa – toimintaympäristö, ohjauskeinot ja mallinnetut vaikutukset vuoteen 2030. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 25/2016. https://tietokayttoon.fi/julkaisu?pubid=11902

Shooshtarian, S., Caldera, S., Maqsood, T., Ryley, T. 2020. Using Recycled Construction and Demolition Waste Products: A Review of Stakeholders' Perceptions, Decisions, and Motivations. Recycling 5 (4), 2020. https://doi.org/10.3390/recycling5040031

Statista 2022. Global market size of sanitary ware from 2018 to 2021, with a forecast up to 2030 https://www.statista.com/statistics/1286411/sanitary-ware-global-market-size-forecast/

Suomen Kuntaliitto 2012. Hulevesiopas. Suomen Kuntaliitto 2012. Saatavilla osoitteesta https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2012/1481-hulevesiopas [Viitattu 24.11.2023].

Suomen ympäristökeskus 2022. Luontotyyppien uhanalaisuus. [ymparisto.fi-sivustolla: julkaistu 3.5.2022, päivitetty 21.3.2023, luettu 25.5.2023] https://www.ymparisto.fi/fi/luonto-vesistot-ja-meri/luonnon-monimuotoisuus/luontotyyppien-monimuotoisuus/luontotyyppien-uhanalaisuus

The Ellen McArthur Foundation, 2019. Circularity Indicators - An Approach to Measuring Circularity: Methodology (2019). https://emf.thirdlight.com/link/3jtevhlkbukz-9of4s4/@/preview/1?o [Viitattu 16.1.2023]

Tikul, N. 2014. Assessing environmental impact of small and medium ceramic tile manufacturing enterprises in Thailand, Journal of Manufacturing Systems 33 (1), 2014, Pages 1-6, ISSN 0278-6125, https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.12.002

Tilastokeskus 2021. Jätetilasto 002 ja 003: Jätteiden synty ja käsittely 2015–2019 EU:n tilastollisen jäteluokituksen mukaan jaoteltuna. https://stat.fi/tilasto/jate

Tilastokeskus 2023a. Materiaalitilinpito. https://stat.fi/tilasto/kanma

Tilastokeskus 2023b. https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__jate/statfin_jate_pxt_12qy.px/table/tableViewLayout1/

Tukes 2023. REACH-rekisteröinti. www.tukes.fi/kemikaalit/reach/rekisterointi [Viitattu 15.8.2023]

UNEP 2014. United Nations Environment Programme Global Environmental Alert Service 2014. Thematic focus: Ecosystem management, Environmental governance, Resource efficiency: Sand, rarer than one thinks.

Saatavilla osoitteesta https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8665/GEAS_Mar2014_Sand_Mining.pdf [Viitattu 03.05.2023]

Valtioneuvosto 2021. Uusi suunta - Ehdotus kiertotalouden strategiseksi ohjelmaksi. Valtioneuvoston julkaisuja 2021:1. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-658-7

Valtioneuvosto 2023. Uusiutuvan energian direktiivistä saavutettu kunnianhimoinen sopu EU:n trilogineuvotteluissa. Työ- ja elinkeinoministeriön tiedote 30.3.2023. https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/uusiutuvan-energian-direktiivista-saavutettu-kunnianhimoinen-sopu-eu-n-trilogineuvotteluissa [Viitattu 4.4.2023].

Valtioneuvoston hankeikkuna 2021. Uusiomateriaalien tuotteistamista käsittelevä työryhmä (UTU-työryhmä). Hankesivu YM045:00/2021. https://ym.fi/hankesivu?tunnus=YM045:00/2021

Väylävirasto 2022. Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. Väyläviraston ohjeita 20/2022. Verkkojulkaisu, saatavilla osoitteesta https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-20_uusiomateriaalien_kaytto_web.pdf [viitattu 17.11.2023]

Wagner, M., Heinzel, T. 2020. Human Perceptions of Recycled Textiles and Circular Fashion: A Systematic Literature Review. Sustainability 12 (24) 2020. https://doi.org/10.3390/su122410599

Witzleben, S. 2022. Minimizing the GlobalWarming Potential with Geopolymer-Based Insulation Material with Miscanthus Fiber. Polymers 2022, 14, 3191. https://doi.org/10.3390/polym14153191

Ymparisto.fi 2023. Valtakunnallisen jätesuunnitelman seuranta. Verkkolähde, saatavilla osoitteesta https://www.ymparisto.fi/fi/kestava-kierto-ja-biotalous/kierratys-jatteet-ja-jatehuolto/valtakunnallisen-jatesuunnitelman-seuranta#Rakentamisen%20j%C3%A4tteet. [Viitattu 26.5.2023]

Ympäristöministeriö 2017. Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Mara-asetuksen perustelumuistio 28.11.2017. Saatavilla osoitteesta: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/843_2017_MARA-perustelumuistio-94093D0C_8BCE_47A4_AC91_6B5E3EBD115A-133239.pdf/0efd21ad-0789-0326-ca63-b15573ffc965/843_2017_MARA-perustelumuistio-94093D0C_8BCE_47A4_AC91_6B5E3EBD115A-133239.pdf?t=1603260937685 [Viitattu 15.9.2023].

Ympäristöministeriö 2019a. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22

Ympäristöministeriö 2019b. Jätteeksi luokittelun päättymistä koskeva tapauskohtainen päätöksenteko. Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto. Muistio 30.8.2019. Saatavissa www-sivulta https://ym.fi/jatelainsaadanto

Ympäristöministeriö 2022a. Kierrätyksestä kiertotalouteen, Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2027. Ympäristöministeriön julkaisuja 2022:13. Ympäristöministeriö. Helsinki, 2022. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-266-2

Ympäristöministeriö 2022b. Tapauskohtaisen jätteeksi luokittelun päättymistä ja sivutuotteita koskevan päätöksenteon kehittäminen. UTU-työryhmän väliraportti, 30.6.2022. Saatavissa www-sivulta https://ym.fi/jatelainsaadanto

Ympäristöministeriö 2023a. Maa-ainesten ottaminen – opas ainesten kestävään käyttöön. Ympäristöministeriön julkaisuja 2023:30. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-577-9

Ympäristöministeriö 2023b. Purkumateriaali- ja rakennusjäteasetuksen sidosryhmätilaisuus 24.5.2023. Asetusehdotuksen esittely. Mikko Koskela, hallitussihteeri, RYMO/Ympäristöministeriö, Harri Hakaste, yliarkkitehti, RYMO/Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö 2023c. https://ym.fi/ce-merkinta. [Viitattu 1.6.2023.]

Ympäristöministeriö 2023d. Rakennustuotteiden kansalliset hyväksyntämenettelyt. https://ym.fi/rakennustuotteiden-kansalliset-hyvaksyntamenettelyt. [Viitattu 1.6.2023]

Zanelli, C., Conte, S., Molinari, C., Soldati, R., Dondi, M. 2021. Waste recycling in ceramic tiles; a technological outlook. Resources, Conservation & Recycling 168 (2021) 105289. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105289

Keraamisen laatta- ja saniteettiposliinipurkujätteen hyödyntäminen

Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute

Teemme tiedolla toivoa.

ISBN978-952-11-5643-4 (PDF)
ISSN 1796-1726 (verkkoj.)