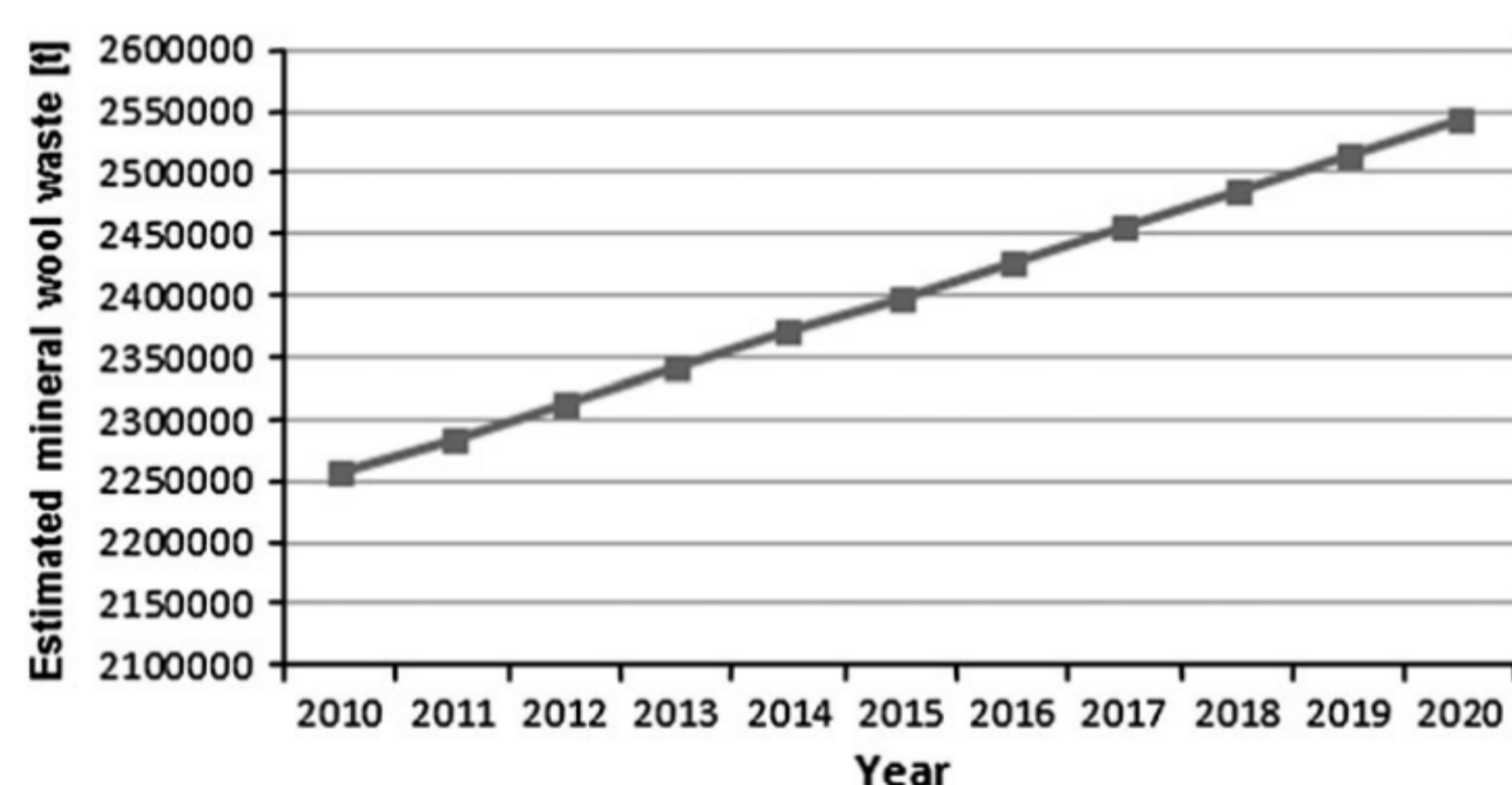


# Mineraalivillajäte geopolymerin raaka-aineena

Päivö Kinnunen, TkT, Mirja Illikainen, TkT & Jouko Niinimäki, Prof.



Mineraalivillajätettä syntyy vuosittain kasvava määrä Suomessa ja EU:n alueella sekä valmistusprosessin aikana, että rakennus- ja purkujätteenä (Kuva 1). Nykyisin mineraalivillajätteen kierrätys on lähes olematonta, ja johtuen kiristävistä kaatopaikkalainsäädännöstä, kierrätysmenetelmiä on erittäin tärkeää kehittää myös haastaville jätevirroille. Tässä tutkimuksessa jatkokehitetään menetelmää, jota hyväksikäyttäen mineraalivillajätettä voidaan käyttää raaka-aineena geopolymerisynteesissä, johon materiaalin kemiallinen koostumus on ideaali.

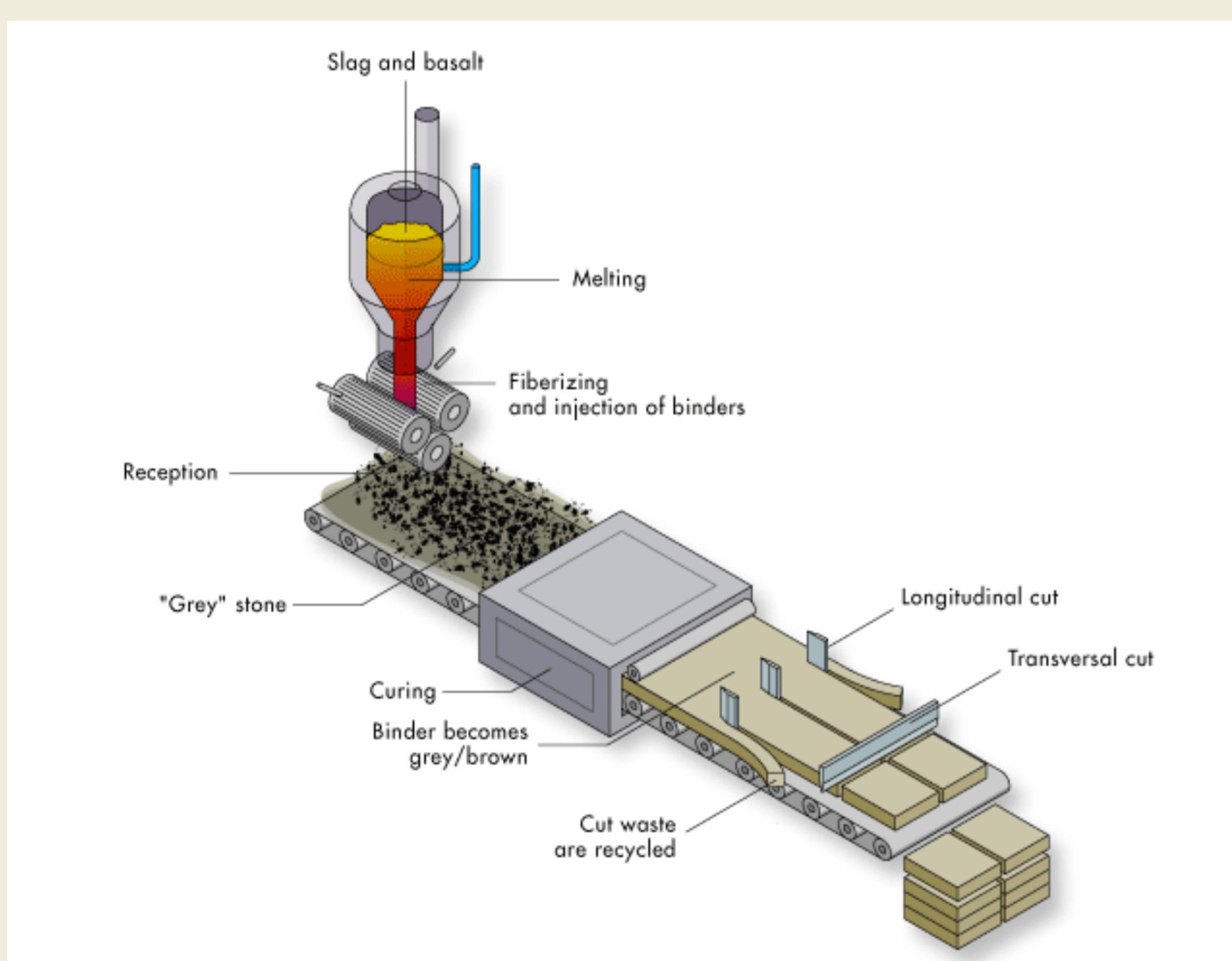


Kuva 1: Arvio mineraalivillajätteen kokonaismäärästä EU:n alueella, ilmaistauna tonneina Lähde (Väntsi & Kärki 2013)

Geopolymeriteknologiaa hyväksikäyttäen voidaan pienellä prosessin muutoksella valmistaa sekä sementtimäistä rakennusmateriaalia, että korkean lämpötilan komposiittimateriaaleja erittäin vaativiin olosuhteisiin. Tämän tutkimuksen tavoitteena on pienen tai negatiivisen ympäristöjalanjäljen geopolymerikomposiittimateriaali, jonka raaka-aineesta merkittävä osuus on peräisin jätevirroista. Tutkimustuloksia hyväksikäyttäen on mahdollista tuottaa tällä hetkellä hyödyntämätön jätevirta, mineraalivillajätteet, avaten uusia mahdollisuuksia kierrätysliiketoiminnan kehittämiseksi myös kansainvälisille markkinoille.

## Mineraalivillajäte

Tuotannon aikana syntyvää hienojakoista pölymäistä jätettä ei voida syöttää takaisin prosessiin, ja se on ollut tässä työssä raaka-aineena. Tuotantoprosessi on kuvattu kuvassa 2.

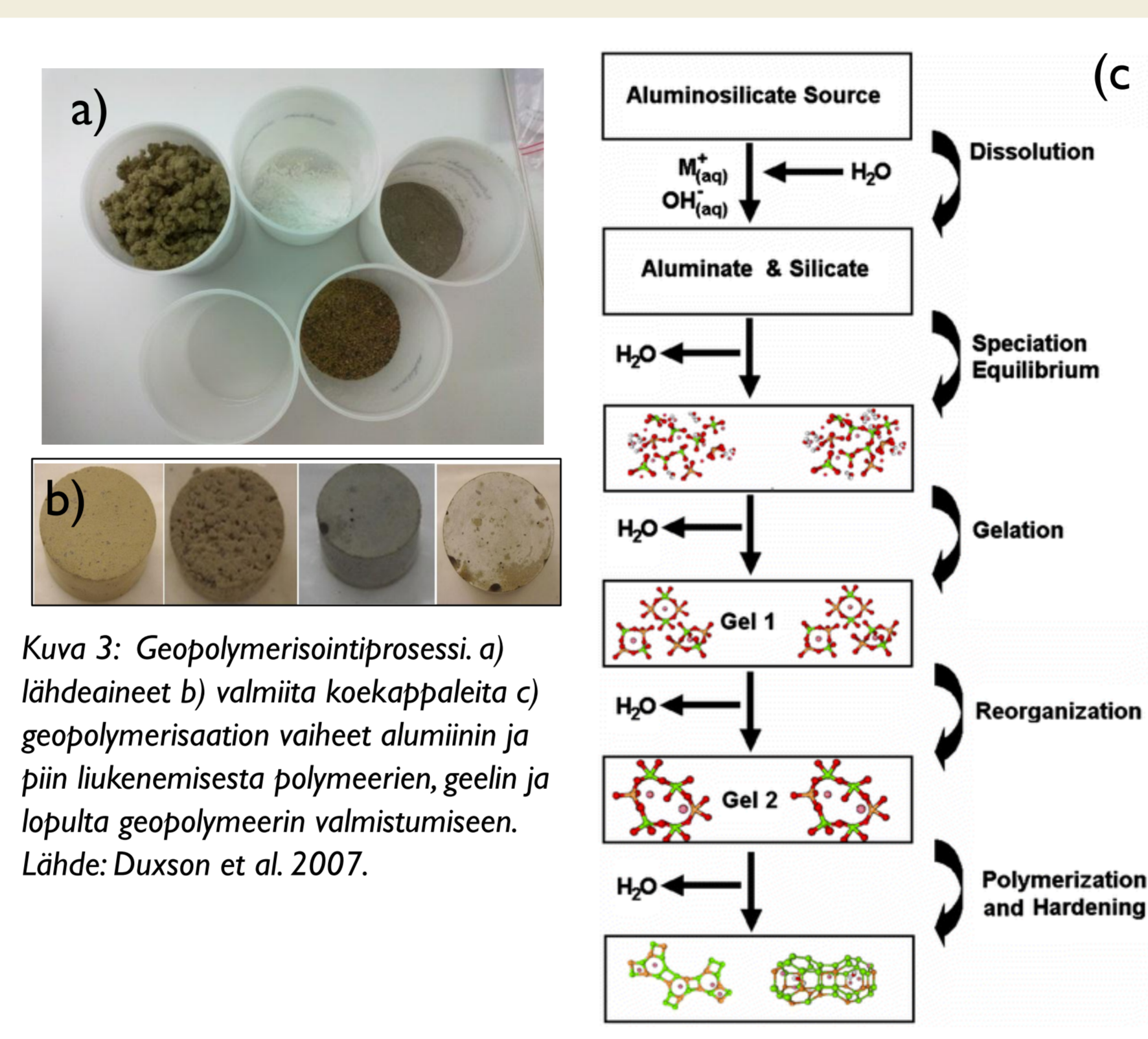


Kuva 2: Kivivillan valmistusprosessi. Lähde: Eurima 2011.

Mineraalivillaeriste on kemialliselta koostumukseltaan ideaali geopolymerisointiin, joskin sen kuitumaisuus tekee siitä vaikeasti hyödynnettävän.

## Geopolymerisointi

Geopolymeerit muodostuvat kun piin ja alumiinin lähteeseen sekoitetaan emäksinen aktivaattori. Liuotettu pii ja alumiini alkavat muodostaa polymeerejä, jotka muodostavat kolmiulotteisia rakenteita (kuva 3). Piin ja alumiinin suhteesta riippuen, voivat rakenteet olla sementtimäisen kovia mutta hauraita ( $Si/Al \sim 2$ ), tai huomattavasti taipuisampia ( $Si/Al > 5$ ).



Kuva 3: Geopolymerisointiprosessi. a) lähdeaineet b) valmiita koekappaleita c) geopolymerisaation vaiheet alumiinin ja piin liukenemisesta polymeerin, geelin ja lopulta geopolymerin valmistukseen. Lähde: Duxson et al. 2007.

Raaka-aineelta vaadittavia ominaisuuksia geopolymeroinnissa ovat siis korkea liukoisen piin ja alumiinin osuus. Johtuen mineraalivillan valmistusprosessin nopeasta jäähtyksestä, ovat siinä olevat pii ja alumiini täysin liukoissa muodossa, mikä tekee siitä ihanteellisen raaka-aineen kemiallisen koostumuksen puolesta. Se on myös hienojakoisessa muodossa, mikä entisestään nopeuttaa liukenemistä.

Taulukko 1: Kivivillan ja lentotuhkan kemiallinen koostumus. Piin ja alumiinin korkea pitoisuus tekevät molemmista hyviä geopolymerien raaka-aineita.

	Kivivilla	Lentotuhka
CaO [%]	14.7	4.3
SiO <sub>2</sub> [%]	41.9	58.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	16.5	21.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	11.2	5.8
Na <sub>2</sub> O [%]	1.6	1.5
K <sub>2</sub> O [%]	0.4	2.4
MgO [%]	12.2	2.1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [%]	0.09	0.9
TiO <sub>2</sub> [%]	0.8	0.9
SO <sub>3</sub> [%]	0.03	0.4
Cl [%]	0.036	0.04

## Menetelmät

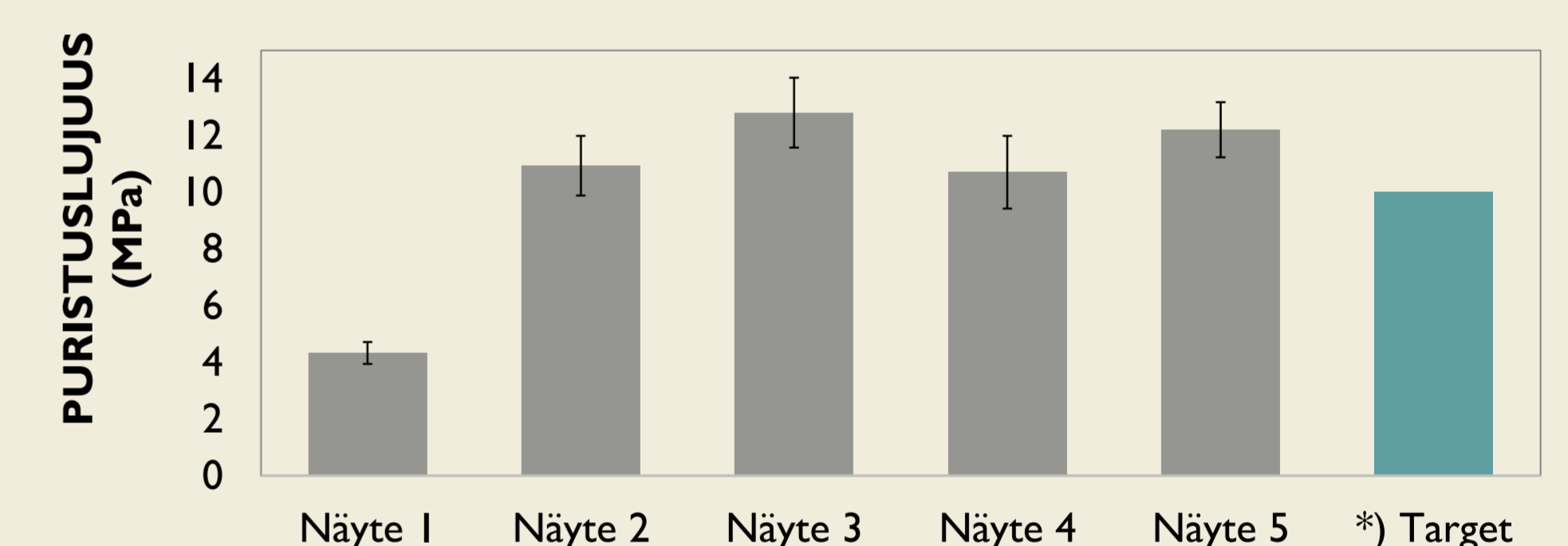
Geopolymeerinäytteitä valmistettiin viidellä eri pitoisuusarvolla - alumiinin määrää muutettiin pitäen alkalipitoisuus vakiona muuttamalla natrium aluminaatin ja NaOH:in määrää. Kappaleet valettiin muotteihin (Kuva 3b), kuumennettiin 80 C asteeseen 24 tunniksi, ja annettiin tämän jälkeen lujittua 28 päivää huoneenlämmössä.

Taulukko 2. Koekappaleiden sekoitusosuudet

	Näyte 1	Näyte 2	Näyte 3	Näyte 4	Näyte 5
Kivivilla [%]	32 %	32 %	33 %	33 %	33 %
Lentotuhka [%]	46 %	46 %	47 %	48 %	48 %
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.20	3.22	2.62	2.20	1.90
SiO <sub>2</sub> /Na <sub>2</sub> O	1.13	1.04	0.96	0.90	0.84
H <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	19.4	17.9	16.6	15.5	14.5
w/b - suhde	0.43	0.42	0.40	0.39	0.37

## Tulokset ja pohdinta

Koekappaleiden 28 päivän puristuslujuudet olivat yli 12 MPa, joka on riittävä kantavien rakenteiden valamiseen geopolymerimateriaalilla. Geopolymeerirakenteet kovettuvat ajan myötä, eikä rapistumista tapahdu toisin kuin monilla muilla materiaaleilla.



Kuva 4. Koekappaleiden puristuslujuudet 28 päivän jälkeen verrattuna tavoitelujuuteen, 10MPa.

Tässä työssä valettiin onnistuneesti geopolymerikoekappaleita käyttäen erittäin vaikeasti hyödynnettävää mineraalivillajätettä. Tulokset antavat viitteitä, että tämä maailmanlaajuisesti merkittävä jätejäte voisi olla mahdollista hyödyntää ja tuottaa geopolymerin raaka-aineena. Mittavia lisätutkimuksia kuitenkin tarvitaan geopolymerien ominaisuuksien ja prosessoinnin optimoimiseksi, ennen kuin se on kaupallisesti hyödynnettävissä.

## Lähteet

Duxson, P., Fernández-Jiménez, A., Provis, J. L., Lukey, G. C., Palomo, A., & Van Deventer, J. S. J. (2007). Geopolymer technology: The current state of the art. *Journal of Materials Science*, 42(9), 2917-2933.

Eurima (2011) Mineral Wool, Production process. <http://www.eurima.org/about-mineral-wool> [27.2.2014]

Väntsi, O. & Kärki, T. Mineral wool waste in Europe: a review of mineral wool waste quantity, quality, and current recycling methods. *J Mater Cycles Waste Manag* 2013, 1-11 (2013).

## Tulokset

Torniainen, S., Kinnunen, P., Illikainen, M. & J. Niinimäki. (2014). Mineraalivillan hyödyntäminen geopolymerin raaka-aineena. Kandidaatintyö, Oulun Yliopisto. Kuitu- ja Partikkeliteknikan Tutkimusryhmä.

## Rahoitus

Projekti on saanut Ekokemin Ympäristöstipendiraaston tutkimusapurahan vuodelle 2014-2015.

## Päivö Kinnunen, PhD / Applied Physics

Postdoctoral research fellow  
Thule Institute & Fibre and Particle Engineering Laboratory  
PO Box 4300  
FIN-90014 UNIVERSITY OF OULU  
Finland  
Tel.: +358-29-4488020  
Fax: +358-8-5532405  
e-mail: paivo.kinnunen@oulu.fi

