

Vähäpäästöistä betonia teollisuuden sivuvirroista

Professori Mirja Illikainen
Oulun yliopisto



UNIVERSITY
OF OULU



Sementti ja betoni - yhteiskunnan rakennusaineet

Sementti on veden jälkeen kaikista käytetyin materiaali maailmassa

Maailmanlaajuinen sementin tuotanto ~3.8 miljardia tonnia vuodessa

Sementin käyttö on helppoa, halpaa ja luotettavaa.





... on vain yksi ongelma

Sementin valmistus:

~0.8 t CO₂ / klinkkeritonni

CO₂ lähteet:

Kemia: 55%

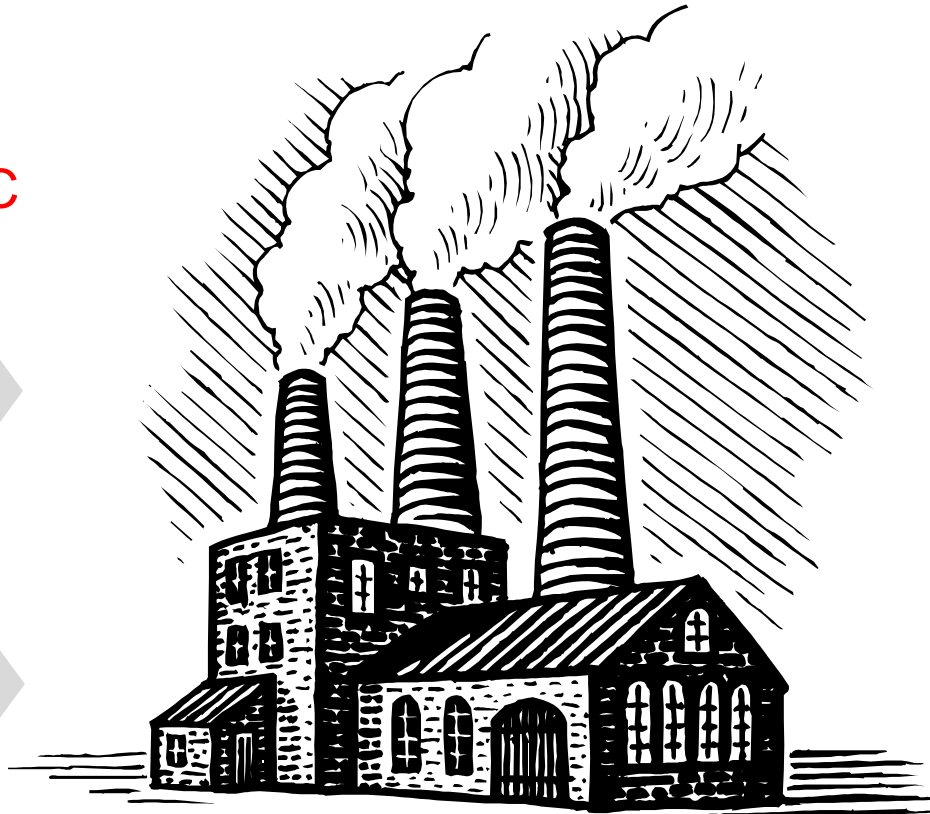
$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

Polttoaineet ~45%

~1400°C

Polttoaine

CaCO_3
 SiO_2



Sementtiklinkkeri
 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$



UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM

Eco-efficient cements:

Potential, economically viable solutions for a low-CO₂, cement-based materials industry



Sementin hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää:

- A) Oikeanlaisen suunnittelun ja betonin tehokkaan käytön avulla**
- B) Uusien, vaihtoehtoisten materiaalien avulla**



LC3

- Kalkkikivi ja kalsinoitu savi sementtiä korvaavina sideaineina
- 50 % vähemmän klinkkeriä
- 20 – 30 % vähemmän CO₂ päästöjä

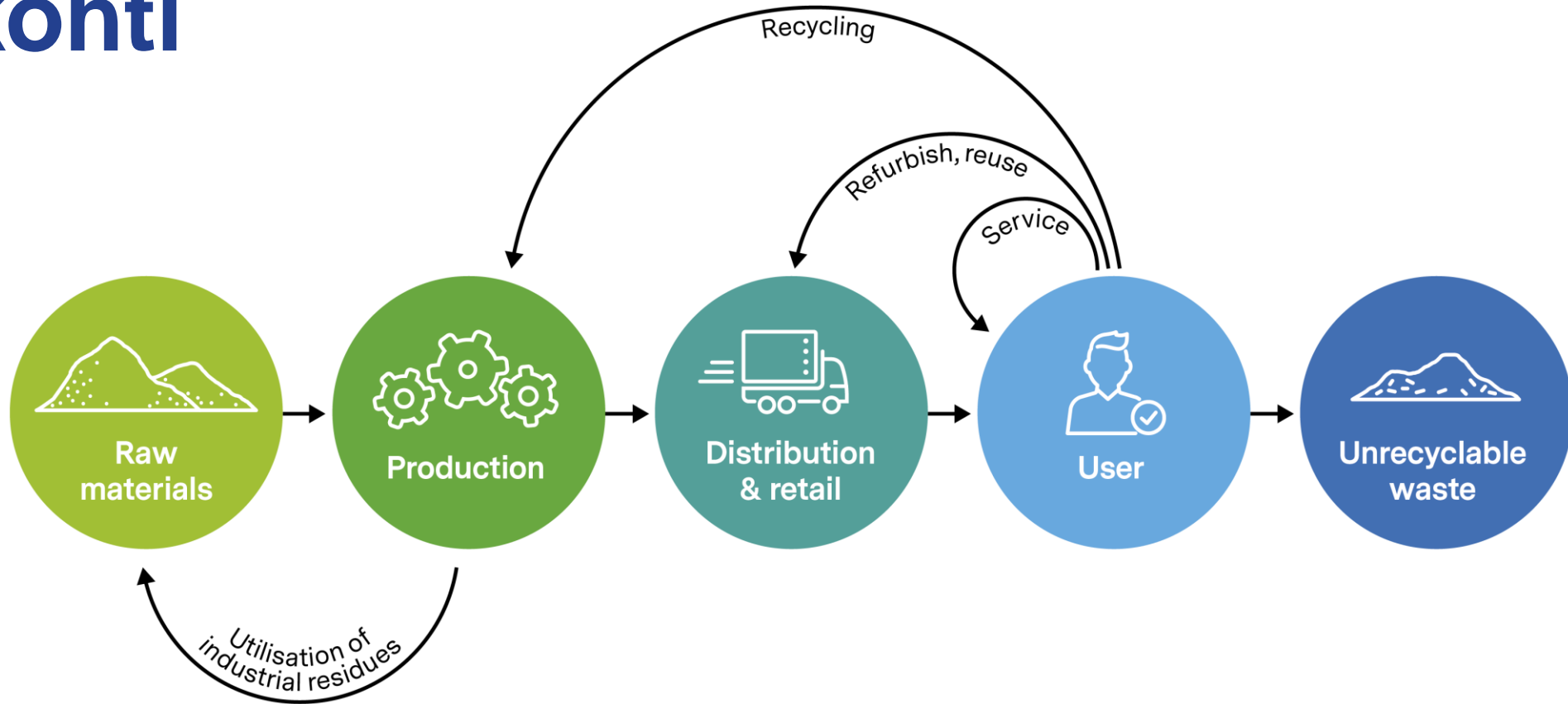


Mineraalijätteen synty Suomessa 2016 (tonnia)

Kaivostoiminta ja louhinta	93 661 000
Paperituotteiden valmistus	168 000
Mineraalituotteiden valmistus	202 000
Metallituotteiden valmistus	1 377 000
Energiantuotanto	957 000
Rakentaminen	13 389 000
	yhteensä: 109 754 000

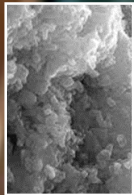


Kiertotaloutta kohti

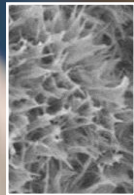


Ratkaisu: geopolymeerit ja muut vaihtoehtoiset sementit

Jopa 80 % pienemmät hiilidioksidipäästöt



Geopolymer:
Al, Si, Na, K



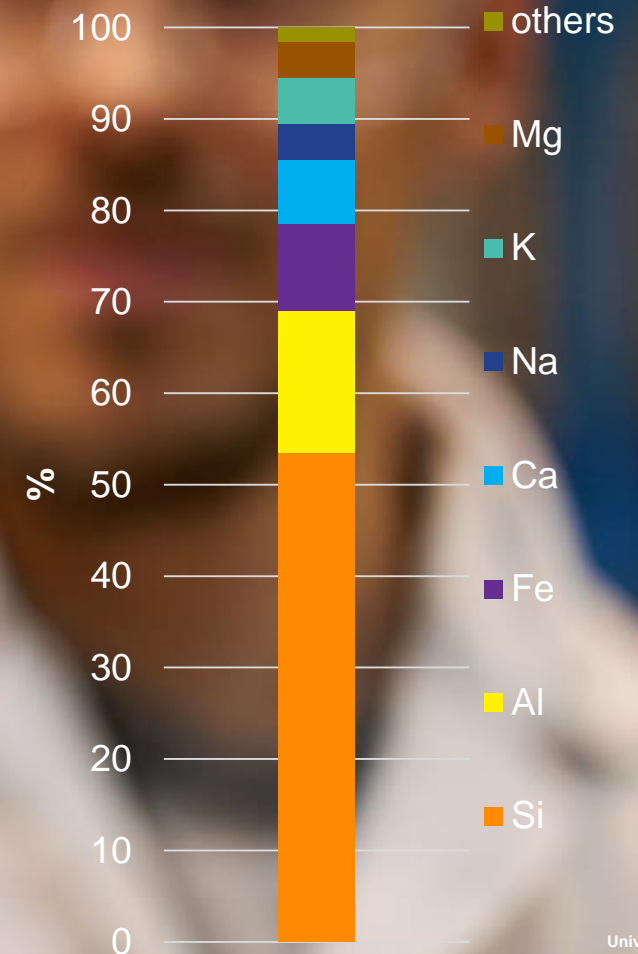
C-S-H:
Ca, Si, Al, Fe



Ettringite:
Ca, Al, S, Fe,



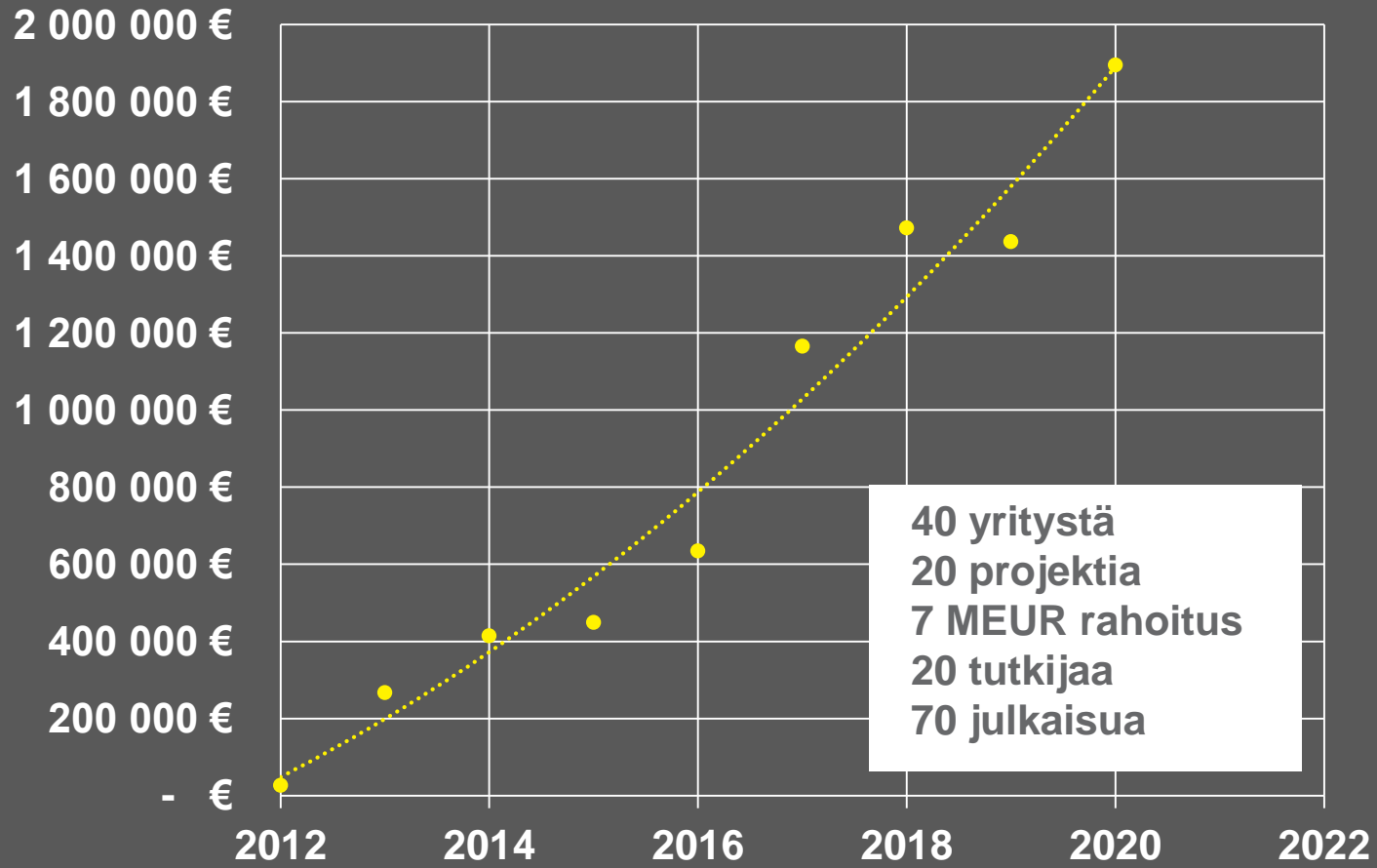
Carbonates:
 CaCO_3 , MgCO_3







Funding, EUR/y





Geopolymeerin valmistus

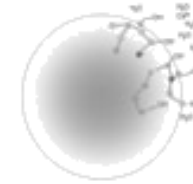
Tarkempi ilmaus
”alkaliaktivoitu materiaali”

- ”Tavallinen” betoni: Sementti + vesi + hiekka + sora
- Geopolymeeribetoni: Teollisuuden sivuvirta + alkaliaktivaattori + hiekka + sora



Geopolymeerien valmistus

Kiinteä alumiinisilikaatin liukeneminen



Liuenneiden komponenttien uudelleen järjestäytyminen

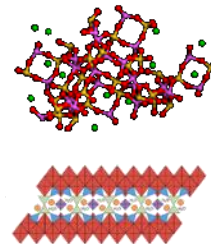
Geelin muodostuminen

Lujittuminen



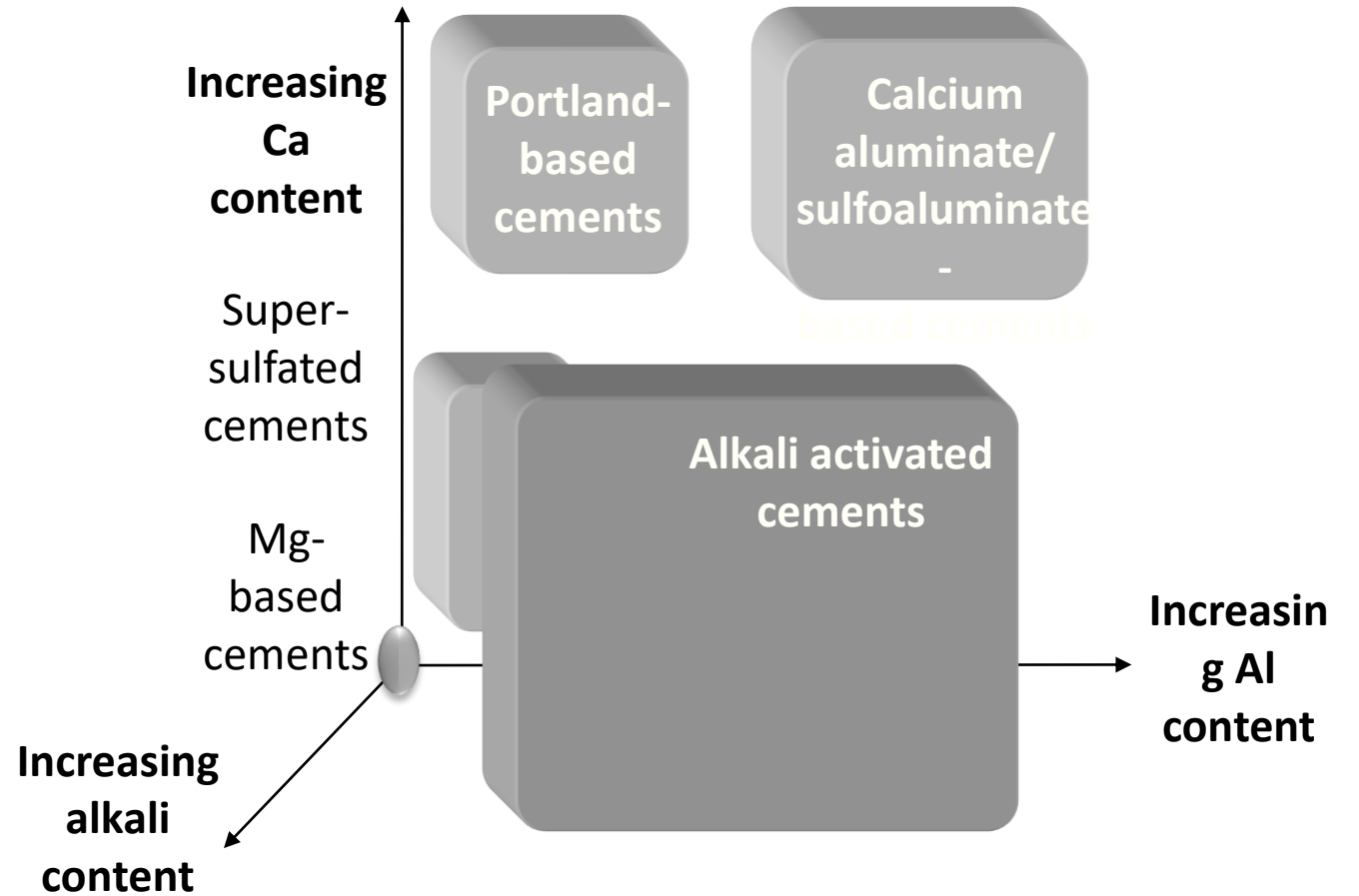
N-A-S-H

C-A-S-H





Materiaalin valinta käyttötarkoituksen mukaan





Geopolymeerien ympäristö- ystävällisyys

- Sementin tuotanto aiheuttaa 8% kaikista CO₂-päästöistä
- Teollisuuden sivuvirtoihin pohjautuvat sideaineet tuottavat ~40-96% vähemmän CO₂ päästöjä



Haasteita?

- **Prosessointi**
- **Sijainti**
- **Kustannukset**
- **CO2**
- **Markkinaodotukset**
- **Lainsäädäntö ja säätely**



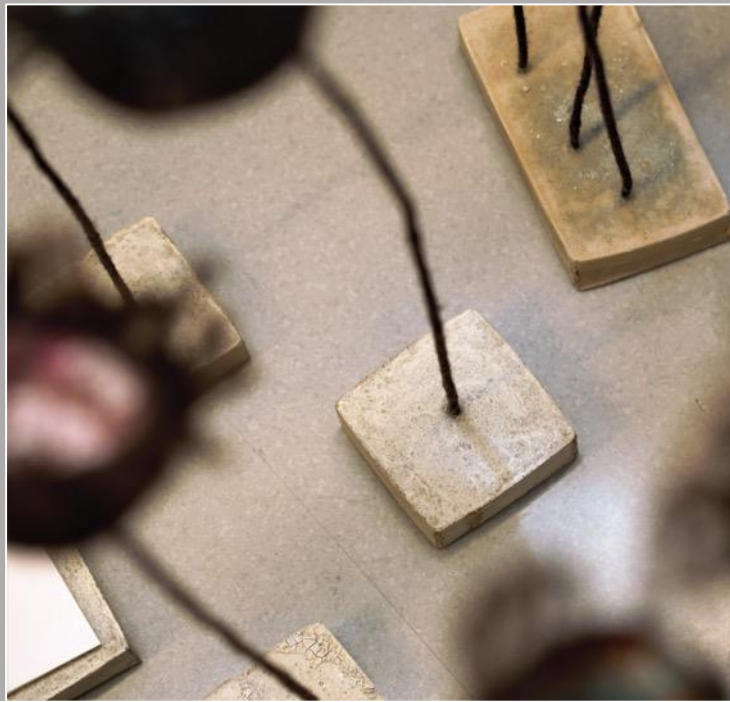
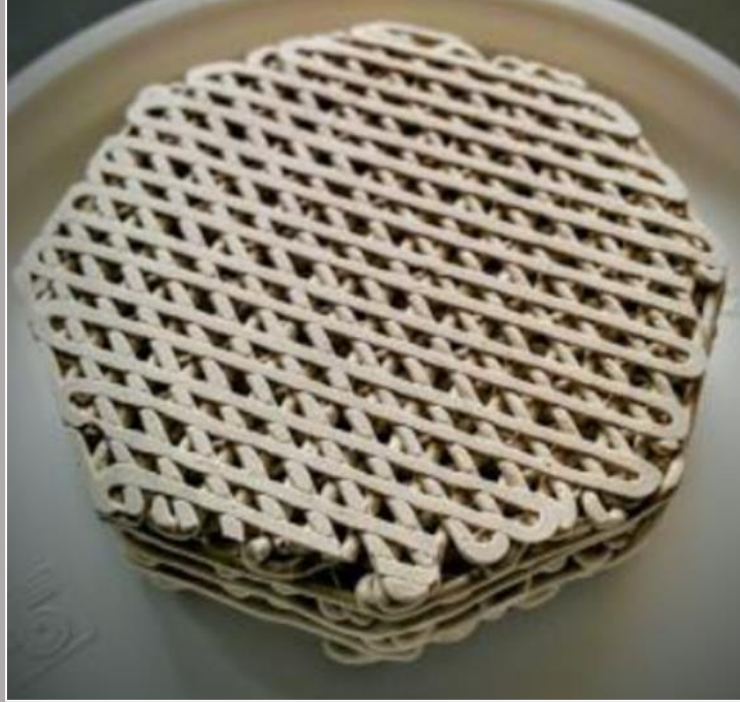
- **Kemiallinen koostumus**
- **Minerologia**
- **Fysikaaliset ominaisuudet**
- **Reaktiivisuus**
- **Laadun vaihtelu**
- **Haitalliset ainesosat**



Mahdollisuuksia?



- Paikallisuus
- Edulliset raaka-aineet
- Matalat CO₂ päästöt
- Monipuoliset ominaisuudet





Geopolymeeri- kuivaseokset

Perinteisissä geopolymeereissä käytetään voimakkaasti emäksisiä alkaliaktivaattoriainekkaita

- Työturvallisuusriski
- Korkea viskositeetti vaikeuttaa käsittelyä
- Kuljettaminen kallista mukana olevan veden vuoksi





Maailmanennätysluja geopolymeerikuivalaasti



Oulun yliopistossa on kehitetty ennätysluja ekobetoni - valmistetaan kuivista raaka-aineista ja vedestä

TYKKÄÄ 69 KOMMENTOI 32 JAA: 286

Oulun yliopisto SEURAA



Kuvassa näkyy koekappale valmistusta betonia. Kappaleita käytetään tutkimuksessa.

Oulun yliopistossa on kehitetty maailman lujimman sementtiä sisältämättömän ekobetoni.

Oulun yliopistossa on kehitetty maailman lujimman sementtiä sisältämättömän ekobetoni.

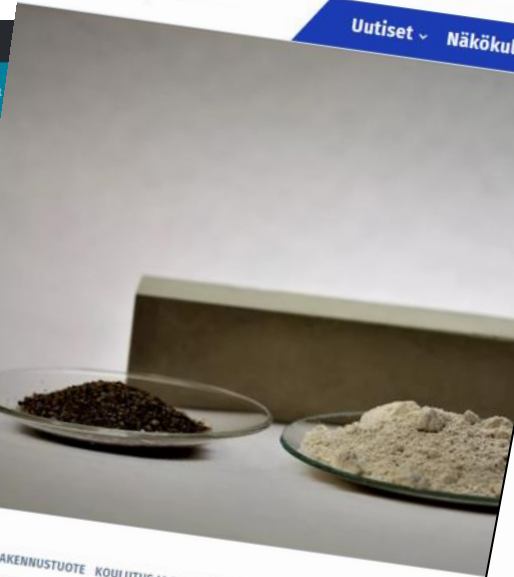
Oulu 21.1.2019 klo 13:06



Pekka Loukkola

Rakennuslehti

Kaikki mitä tietää pitää



Masuunikuonasta syntyi ennätysluja ekobetoni

Oulun yliopiston tutkijaryhmä on kehittänyt maailman lujimman sementtiä sisältämättömän ekokuivalaaston eli geopolymeeribetonin.

Merja Mannila



Ekobetoni on vihreämpi vaihtoehto

Oulussa on keksitty huippuvahva ekokuivalaasti, joka lyö laudalta kaikki vertaisensa. Pula-ajan materiaali nousi tutkijoiden työpöydälle ympäristöystävällisyyden standardoinnissa saattavat auttaa löydökset entisestään Neuvostoliitosta.

Katja Pulkkinen

Oulun yliopistossa on kehitetty poikkeuksellisen lujaa betonia, joka ei sisällä vettä geopolymeerillä, joka tehdään alumiinisilikaattimateriaalista.

Ennen kuin seoksesta syntyy kovettuva kivi, tarvitaan vielä aktivaattoriajasta, joka käynnistää kemialliset reaktiot nopeuttaa niitä.

"Me valitsimme aktivaattoriksi kiinteän vesilasin", kertoo Oulun yliopiston tutkijajohtaja Tero Luukkonen, johtajana.

Business Finlandin rahoittamassa hankkeessa on mukana myös joukkopäästäminen. Kuonan ja kiinteän vesilasin seos muostetaan reagoitua sementin kanssa seoksesta kovan, kivimäisen aineen.

Koska aktivaattori on alkalinen, se-geopolymeeriksi tai alkaliaktiiviseksi koittavat samaa asiaa. "Kovettimena voi käyttää muitakin aineita, mutta tällä kombinaatiolla betonia tulee erityisen lujaa", Luukkonen

Oululaismateriaali eroaa useimmista geopolymeereistä siinä, että sen aktivaattorina on kuiva-ainete. Yleensä geote, kuten vesilasi.

"Kuulostaa ehkä vähäpätöiseltä erol- ta. Kiintein aktivaattorin käyttäminen on kuitenkin kemiallisesta näkökul- masta iso muutos."

Muutos on tärkeä siksi, että kiintein aktivaattorin käyttö mahdollistaa geopolymeeriseoksen myynnin sikkita- tavana. Valmistuksessa ei myöskään tarvita voimakkaasti emäksisiä liuot- tainaineita.

Oululainen alkaliaktiivinen betoni on tavallista lujempaa kuin tavallinen megapascalilla, mikä tekee siitä maailman lujimman sementtiä sisältämättömän kuivalaaston geopolymeeribetonin.

Luukkonen mukaan poikkeuksellista lujaa voidaan käyttää hyödyksi monenlaisissa rakenteissa, joista saadaan Kova ekobetoni voi sopia myös erityis- pintoihin, joita on vaikkapa teollisu- laitteissa.

Lisäksi uutuumateriaali voi nopeuttaa rakentamista, sillä sen kuumuusaika on tavallista lyhyempi.

Normaalia lujempaa betonia tarvitaan esimerkiksi korkeisiin rakennuksiin ja siltarakenteisiin. Yleensä erityy- pöiden ja tarkan reseptioptimoinnin avulla portlandsementistä, jota suositaan malainnoissa ei tarvita.

Portlandsementti on maailman yleisin sementtilaatu, joka sai aikoinaan nimensä siitä, että se muistuttaa eng- lantilaiselta Portlandin saarella louhit- tavaa kiveä.

Portlandsementti on tavallista lujempaa kuin tavallinen megapascalilla, mikä tekee siitä maailman lujimman sementtiä sisältämättömän kuivalaaston geopolymeeribetonin.

Luukkonen mukaan poikkeuksellista lujaa voidaan käyttää hyödyksi monenlaisissa rakenteissa, joista saadaan Kova ekobetoni voi sopia myös erityis- pintoihin, joita on vaikkapa teollisu- laitteissa.

Lisäksi uutuumateriaali voi nopeuttaa rakentamista, sillä sen kuumuusaika on tavallista lyhyempi.

NYKYMAAILMA ON TEHTY BETONISTA

Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali. Sitä valmistetaan vuosittain noin kaksi kuutiometriä maailman jokaista asukasta kohti. Perinteisesti betoni koostuu sementistä, vedestä ja kiviaineksesta. Sementti on betonin perusainesosa, jota tarvitaan betonin sitomiseen ja kovettamiseen.

Sementin pääainesosa on kalkki- ja vesiainetta, jota valmistetaan kiviä, jotka poltetaan 1 400 asteessa klinkkeriksi. Klinkkerin kanssa sementtiklinkkeriksi. Sementin klinkkerimateriaalit muodostavat reagoitua kovan ja huokoisen ki- ven, joka sitoo ainesosat yhteen.

Sementtiä ja runkoainesta voidaan korvata erilaisilla seosaineilla. Seosaineina käytetään esimerkiksi teollisuuskuonia ja tuhkia. Betonin ominaisuuksia ja työskä- tettävyttä säädelään lisäaineilla, kuten notkittimilla ja huokosin- lääkkeillä. Lisäaineet ovat pääasiassa kemian- teollisuuden tuotteita.

Betonin tavallinen puristuslujuus on noin 50 megapascalia. Tätä lujempia betoneja tarvitaan esimerkiksi siltarakenteisiin ja korkeisiin rakennuksiin. Erityislujat betonit ovat puristuslujuudeltaan 55-200 mega- pascalia.







**MINERAL WOOL
WASTE**



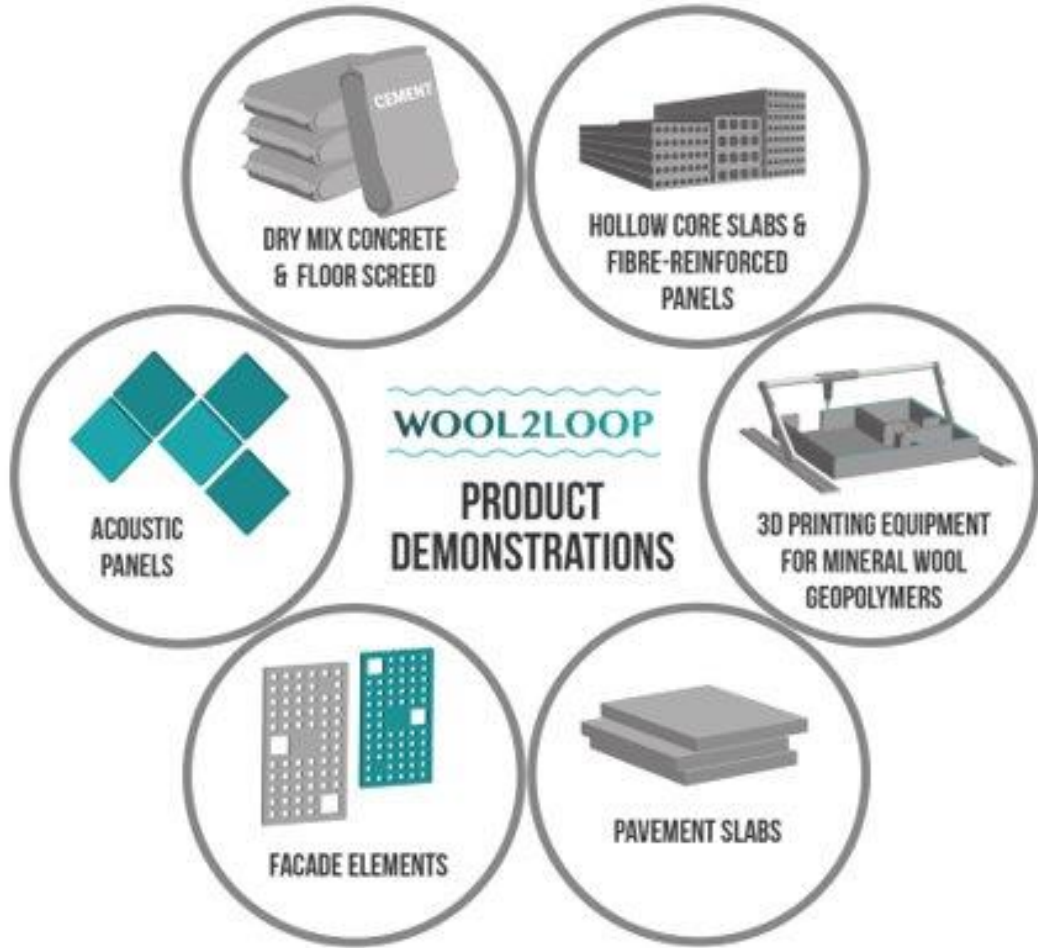
**MINERAL WOOL
POWDER**



addition of e.g.
 NaOH
 Na_2SiO_3
 NaAlO_2



**MINERAL WOOL
GEOPOLYMER**





<https://www.youtube.com/watch?v=1rcCSDVIUtg>



Tilanne meillä ja maailmalla

GEOPOL[®]

orbix

LUCIDEON



CARBICRETE

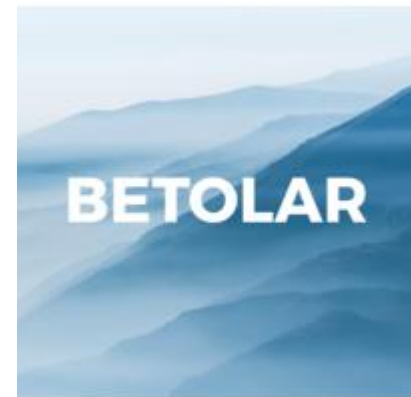
banah[®]
cement reimagined

 **Zeobond**

Cemfree[™]
Part of the DBGroup

 **CEMENTBOUW**
A CRH COMPANY

KEKŌ



The University of Queensland's Global Change Institute (GCI)





Image courtesy of Bob Talling

1980's

Bob Talling: AAM -kattotiilet, Helsinki

Pavel Krivenko: AAM -viemäriputket, Oulu



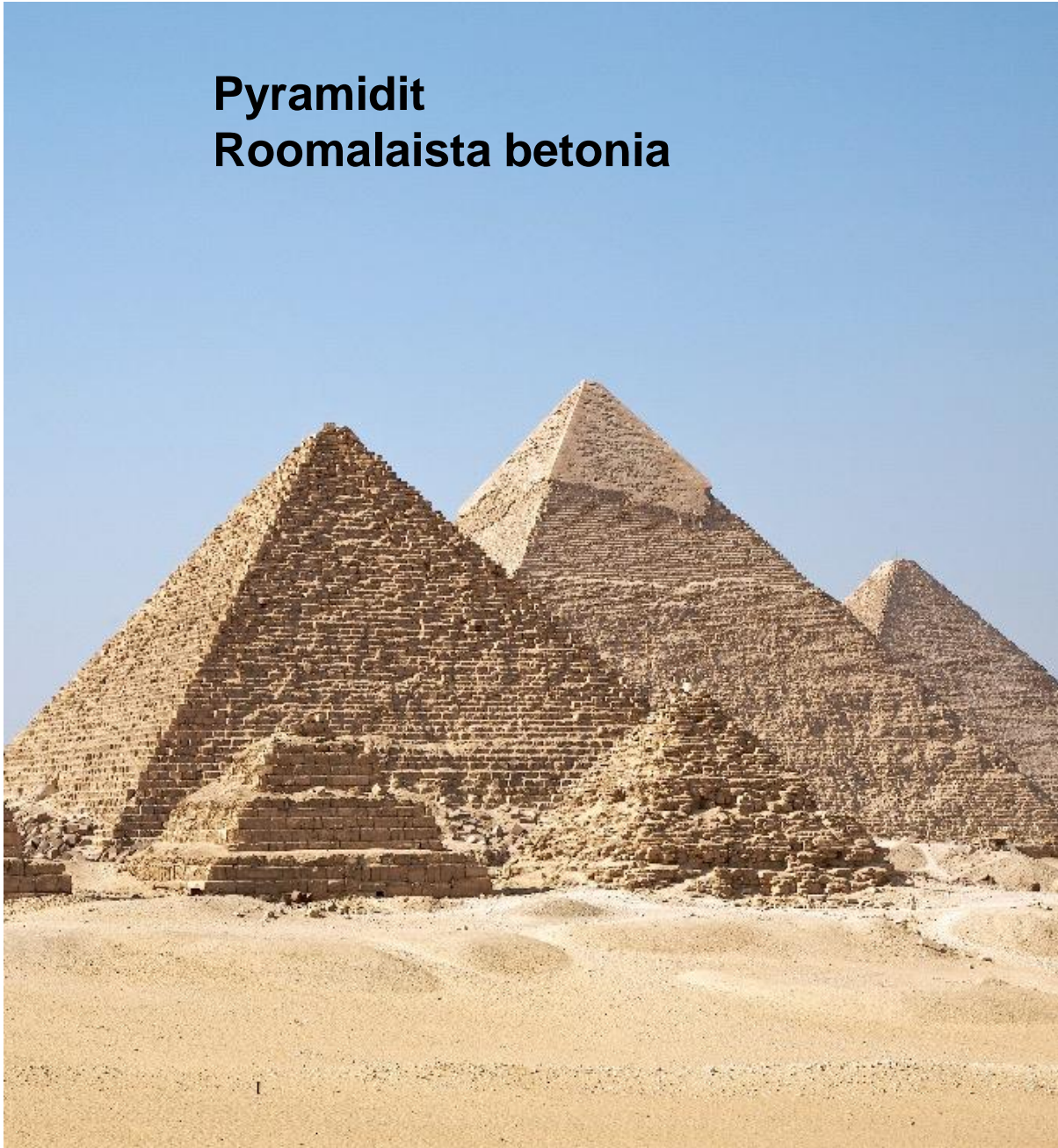
Image courtesy of Pavel Krivenko



1950's
Glukhovsky Instituutti, Kiev



**Pyramidit
Roomalaista betonia**





Lopuksi

Voivatko geopolymeerit ratkaista maailmanlaajuisen sementin tuotannon CO₂ ongelman? → Eivät voi

Ovatko geopolymeerit osa ratkaisua?
→ KYLLÄ





