

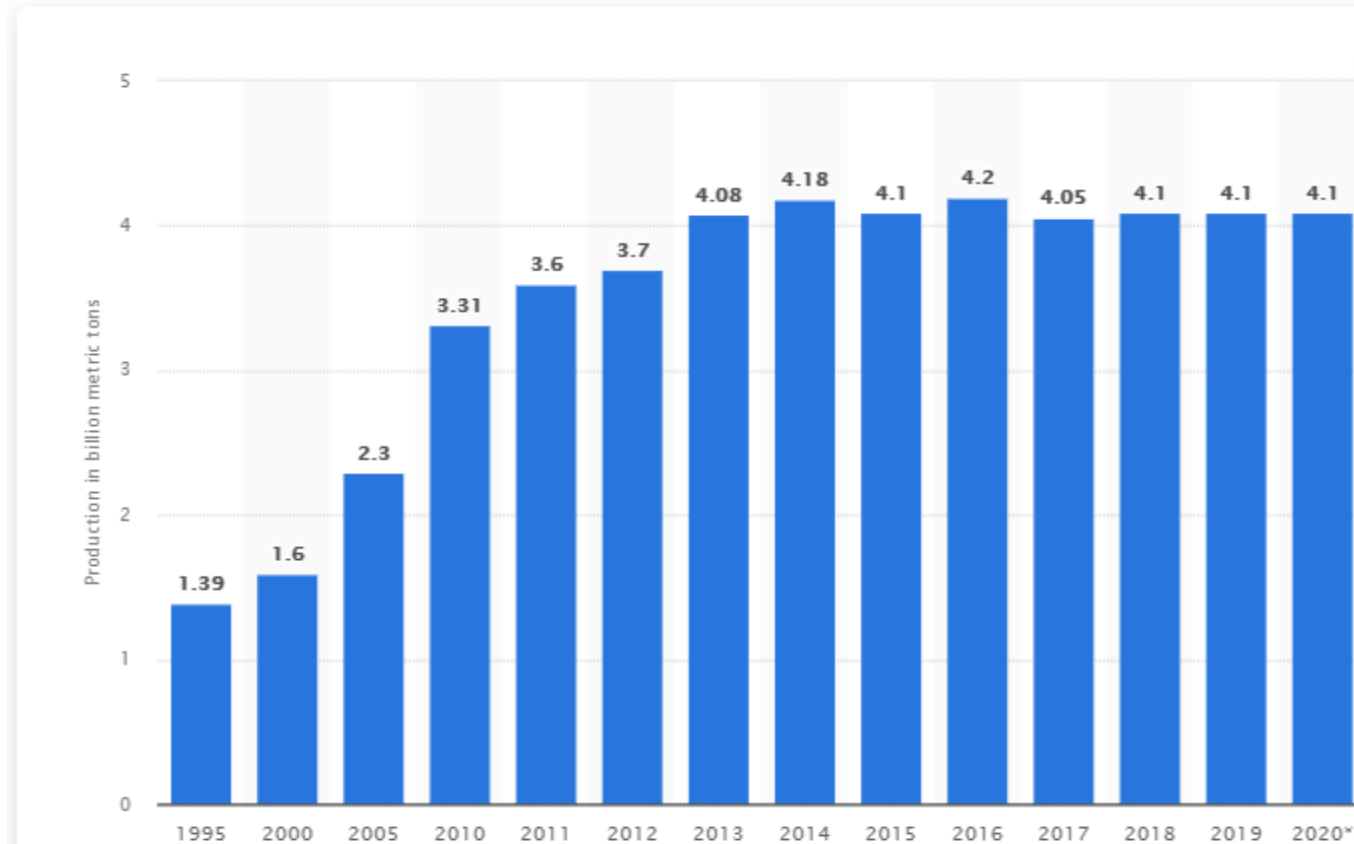


# Vähähiilisten betonien ja geopolymeerien mahdollisuudet infrarakentamisessa

Risto Väänänen

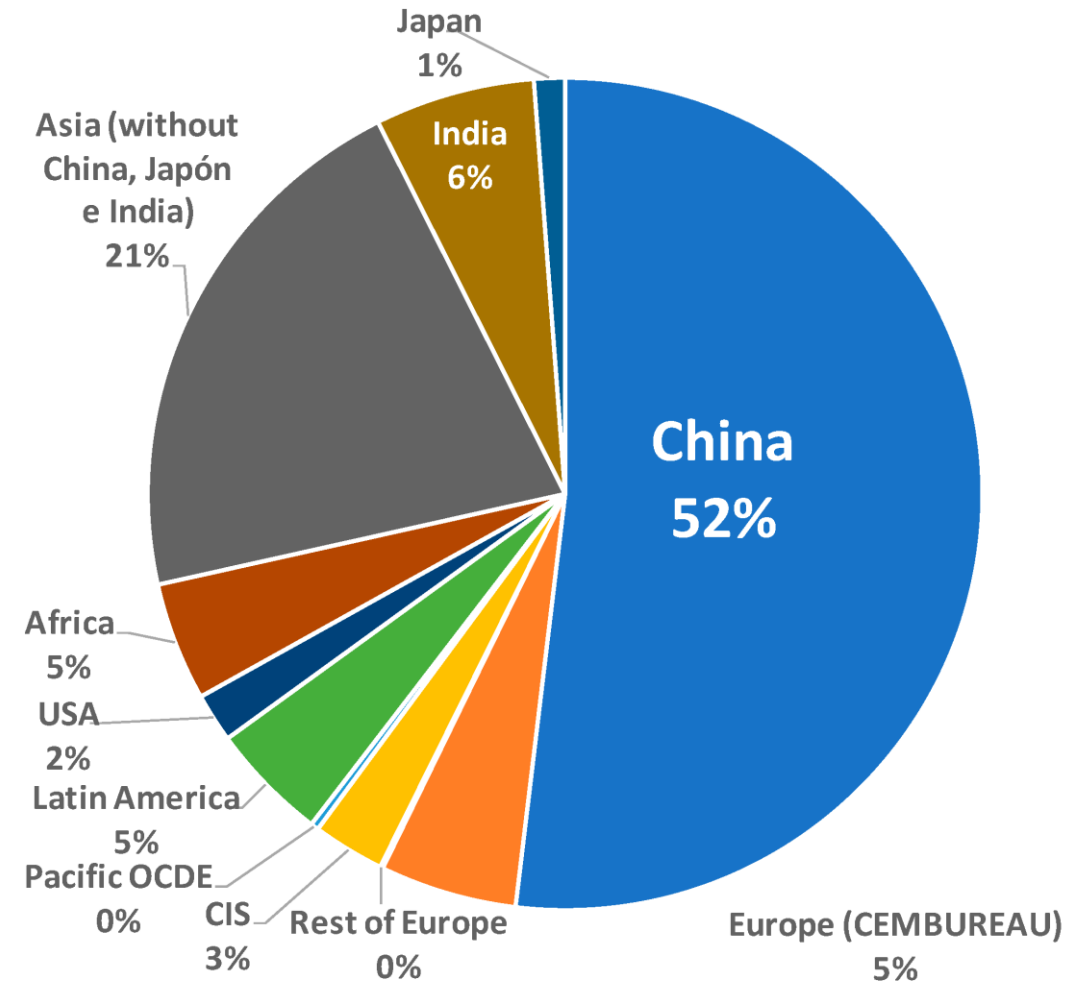
- Betoni on edelleen maailmalla laajimmin käytetty rakennusmateriaali.
- Siksi sementin kulutus on pysynyt korkealla viimeiset 10 vuotta.
- Uusia betonilaatuja on kehitetty vastaamaan valutekniikoiden kehittymiseen (kuten IT-betoni)
- Viime vuosina uusia seossementtityyppejä (CEM III, CEM IV, CEM V) on kehitetty rakennusteollisuuteen hyödyntämään kierrätysmateriaaleja sekä vähentämään CO<sub>2</sub>-päästöjä.

Cement production worldwide from 1995 to 2020  
(in billion metric tons)



## CO<sub>2</sub>-päästöt

- Sementtiklinkkerin poltto korkeissa lämpötiloissa aiheuttaa korkeat CO<sub>2</sub>-päästöt.
- Koska betonia valmistetaan paljon, myös sementin valmistuksesta aiheutuvat päästöt ovat suuret – jopa 5% koko maailman hiilipäästöistä.
- Sementtitehtaat ovatkin kehittäneet viime vuosina valmistusprosessiaan vähäpäästöisemmäksi erityisesti Euroopassa.
- Samoin betonin valmistajat ovat alkaneet kehittää vähähiilisiä betonilaatuja



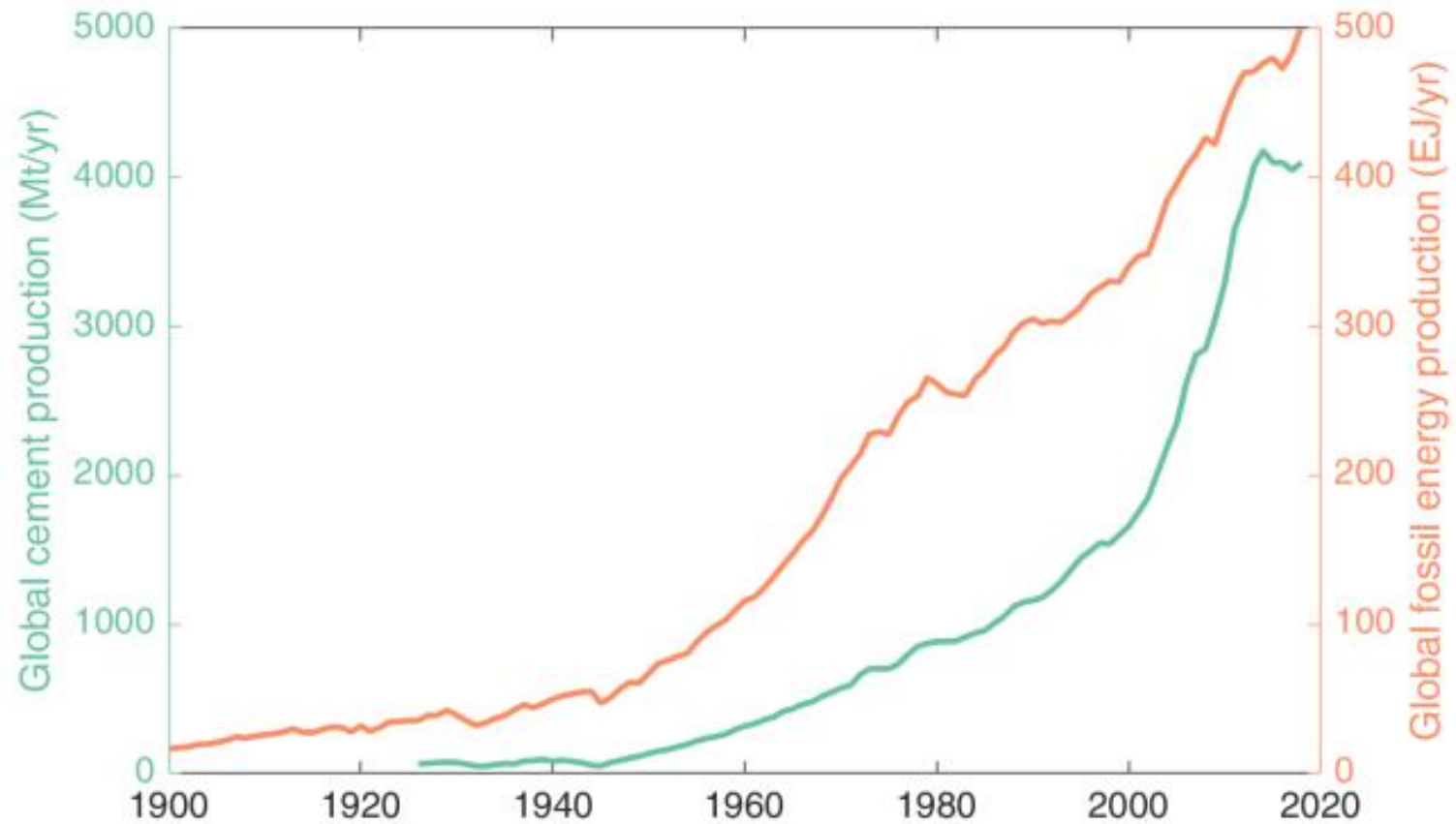
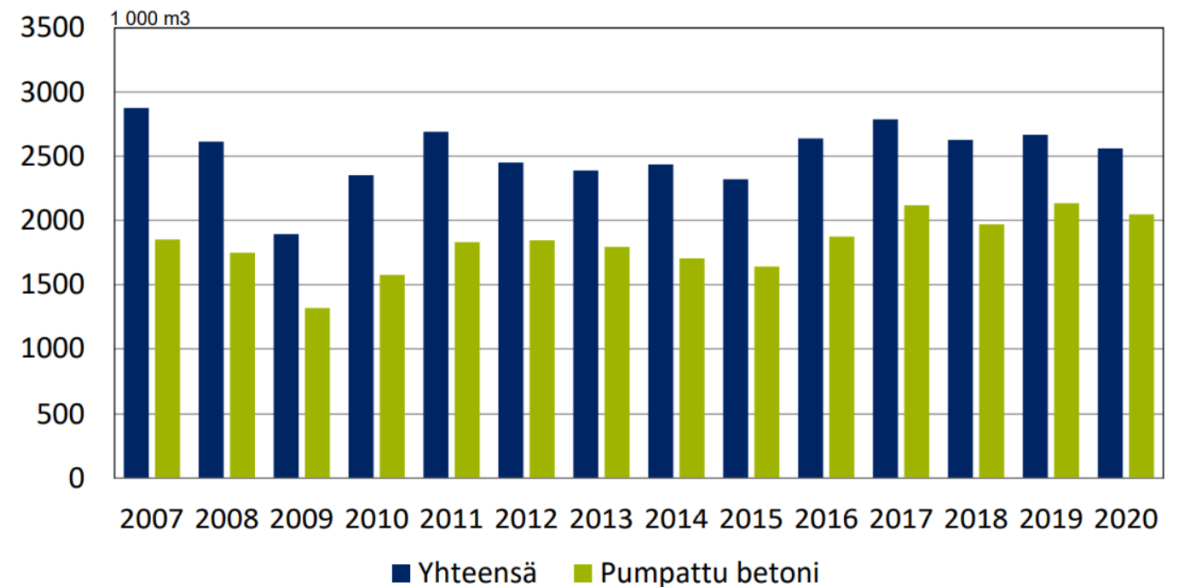


Figure 1: Global cement and fossil energy production to 2018 (Mohr et al., 2015; USGS, 2016, 2018; BP, 2019).

## Päästömäärät eivät alene merkittävästi käyttämällä muita materiaaleja

- Valmisbetonia tullaan käyttämään jatkossakin tietyissä rakenteissa, joihin menee paljon betonia
  - Betoni on koneperustuksissa, anturoissa ja perustuslaatoissa parhain materiaali
  - Betoni toimii hyvin jäykistävän rakenteena mm. kerrostaloissa
- Betonin korvaaminen muilla materiaaleilla kevyimmissä rakenteissa ei pudota paljoa kokonais CO<sub>2</sub>-päästöjä

### Valmisbetonin tuotantomäärät 2007-2020



# Uutta betonimarkkinoilla

- Viime aikoina betonialanyritykset ovat tuoneet markkinoille omia vähäpäästöisiä betonituoteperheitä
- Käyttämällä joko irtokuonaa tai CEM III sementtilaatuja, voidaan CO<sub>2</sub>-päästöjä vähentää puoleen nykyisestä
- Monissa Euroopan maissa alan järjestöt tuovat luokituksia ja suosituksia vähäpäästöisille betonilaaduille
- Valtioiden tavoitteena on
  - Lisätä merkittävästi vähäpäästöisiä betonirakenteita
  - Kannustaa markkinoita suosimaan vähäpäästöisiä betonilaatuja
  - Kannustaa urakoijia muuttamaan rakennustapoja vähäpäästöisiä betoneja suosiviksi
- Seuraava askel on geopolymeeribetonien käyttö osassa rakentamista



# Vähäpäästöisten betonien käyttömahdollisuudet rakentamisessa

*Low heat of hydration and  
sulfate resisting blast furnace cement  
CEM III/B 32,5N -LH/SR*

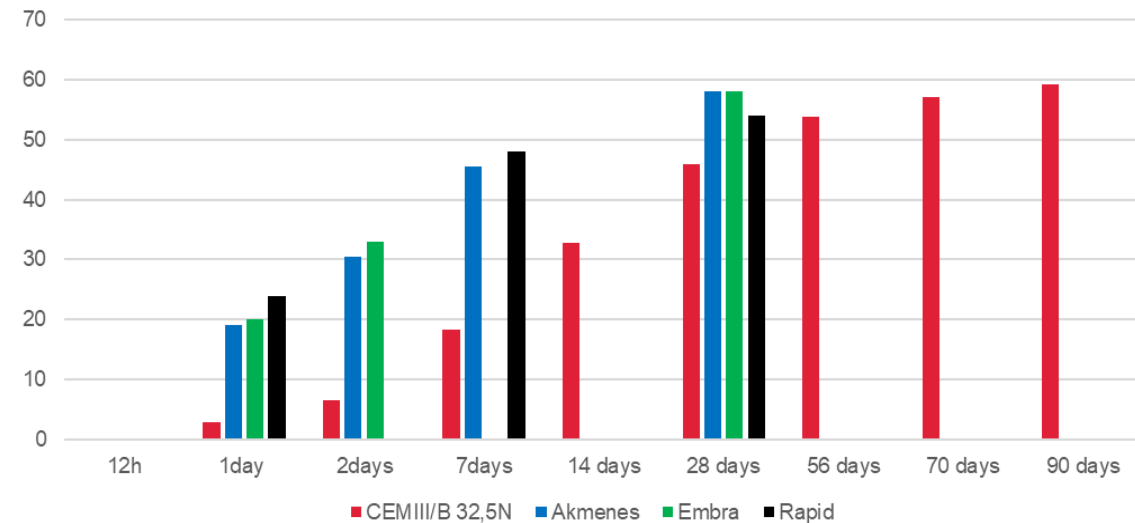


- Suuria kokonaispäästövähennyksiä saadaan aikaan erityisesti massiivisissa perustusvaluissa
  - Sujuva ratkaisu on käyttää CEM III sementtiä, jonka päästö on reilusti alle puolet normaaleista seossementeistä
  - Betonivalun sitoutumista ja kovettumisnopeutta voidaan tehostaa käyttämällä CEM III&CEM I kombinaatiota halutulla suhteella
- Ruskon Betonin työmailla on jo ko konseptia hyödynnetty.
- Voidaan olettaa että jatkossakin isoissa valukokonaisuuksissa saadaan merkittäviä päästövähennyksiä CEM III konseptilla
- Vuoden 2022 päästöluokitus kasvattaa vielä betoniteollisuuden tarvetta alentaa laajalti betonilaatujen CO<sub>2</sub>-päästöarvoja

# Vähäpäästöisen betonin vaikutus rakennusaikatauluun

- Betoni edellyttää kovettumiseen ja pitkään käyttöikään riittävää jälkihoitoaika
  - Yleensä jälkihoitoaika on 60%-80% nimellislujuudesta
  - Mikäli jälkihoitoaika jää vajaaksi, ei betoni saavuta haluttuja ominaisuuksia
- Usein CEM I sementit sitoutuvat myös nopeasti – sen sijaan seosaine-pohjaiset sementit (kuten CEM III B) kovettuvat hitaammin
  - Jälkihoitoaika pitenee siis CEM III betoneilla
  - Käyttämällä CEM III & CEM I kombinaatiota voidaan rakenteiden jälkihoitoaika lyhentää
  - Joskus tarvitaan myös suojausta ja lämmitystä, jos halutaan säilyttää normaali aikataulu
- Ilman tarkempaa suunnittelua vähäpäästöisten betonien käyttö lisää siis rakennusaikaa
  - Rakennusajan kasvu ja mahdollinen lisäsuojaus/lämmitys kasvattaa rakennuskustannuksia
- Etukäteissuunnittelu on tärkeää vähäpäästöisiä betonirakenteita tehtäessä !

## Sementin prismalujuus





## Sideaineet tulevaisuudessa?

- Sementtien päästökauppa pakottaa sementtiteollisuuden kehittämään prosessejaan vähäpäästöisiksi
- Sementtilaadut muuttuvat edelleen seostetuimmiksi (CEM III, CEM IV, CEM V) ja niissä korvataan klinkkeriä enenevässä määrin kierrätysmateriaaleilla (kuten kuona, tuhka, kalkkikivifilleri)
- Suomessakin laajalti käytetyn tuhkan määrä vähenee kivihiilivoimalaitosten sulkeutuessa
- Kuonan saatavuus jatkuu edelleen hyvänä terästehtaiden toimiessa
- Silikan käyttö pienessä mitassa erikoisbetoneissa säilyy tulevaisuudessakin
- Kiihdyttimillä aktivoitavat hienoaineet ovat tulevaisuudessa merkittävä roolissa
- Joitain uusia sideaineita on tulossa markkinoille kuten metakaoliini



## Geopolymeerit vaihtoehtona

- Geopolymeeribetonien valmistus perustuu aktivaattoreihin – ei sementin kovettumisreaktioon
- Geopolymeereissä voidaan käyttää erilaisia kierrätysmateriaaleja kuten pohjatuhkaa ja kuonaa, jotka aktivoidaan kovettumaan sopivalla kiihdyttimellä
  - Tarjoaa hyvän mahdollisuuden vähentää CO<sub>2</sub>-päästöjä
- Euroopassa on jo yksittäisiä geopolymeerisovelluksia, joista valmistetaan jatkuvasti elementtejä
  - Suomessakin geopolymeeri-kehitys on edennyt ensimmäiseen käyttökohteeseen
- Geopolymeerien kehitys jatkuu vahvana ja sitä työntää eteenpäin valtioiden päästövähennystavoitteet
- Lisää testauksia tarvitaan vielä paljon, jotta saadaan tarpeellinen tieto säilyvyydestä ja laajemmat käyttökohteet geopolymeereille

## Geopolymeerien käyttöönoton antamat mahdollisuudet

- Geopolymeeribetoneita on jo tutkittu useampia vuosia eri puolilla Eurooppaa.
- Seuraavat ominaisuudet voidaan saavuttaa nykyisin melko sujuvasti geopolymeereillä:
  - Rakenteelle vaadittava lujuustaso
  - Sulfaatinkestävyys
- Sen sijaan säilyvyyteen liittyvät kysymykset vaativat vielä lisätutkimusta kuten suolapakkaskestävyys
- Geopolymeerituotteet, joita käytetään olosuhteissa, joissa ei ole suolapakkasrasitusta tai pakkasrasitusta voidaan saada markkinoille nopeastikin. Näitä ovat mm:
  - Sisätiloihin tulevat rakenteen ja elementit
  - Maan alle jäävät rakenteet



- Infrarakentamisessa hyvä säilyvyys ja pitkä käyttöikä ovat tärkeitä tavoitteita
  - Yleensä edellyttää hyvin tunnettuja materiaaleja ja paljon ennakkotestauksia
- Vähähiilisiä betoneja voidaan käyttää infrarakentamisessa kunhan sideaine täyttää väylän P-luku betoni vaatimukset
  - Kuonan käyttömäärä rajattu huokostetuissa P-luvuissa 50%:iin sideaineesta
  - Vain ”normaalit” seosaineet kuten tuhka, kuona ja silika ovat sallittuja
- Geopolymeerien käyttö P-luku betoneissa edellyttää paljon ennakkotestauksia ja Väylältä saatavaa hyväksyntää
  - Tällä hetkellä käyttömahdollisuutta ei ole vielä ”Infrabetonien valmistus” ohjeilla
  - Tulevaisuudessa edellytetään lisää säilyvyyskokeita ja tutkimuksia, jotta ohjeistus täydentyy
- Geopolymeeribetonien käyttö tulee mahdolliseksi laajemmin lähitulevaisuudessa kun saadaan positiivisia käyttökokemuksia

**Kiitos !**

