

# LOIKKA

---

Tavoitteena puolittaa betonin CO<sub>2</sub>-päästöt



Aalto-yliopisto  
Aalto-universitetet  
Aalto University

Jouni Punkki, prof.

26.4.2022

# YLEISESTI VÄHÄHIILISESTÄ BETONISTA



Aalto-yliopisto  
Aalto-universitetet  
Aalto University

**LOIKKA**

# VÄHÄHIILINEN BETONI

## Mitä se on?

- **Ei virallista määritelmää, mutta se voisi olla:**  
*”Betoni jonka CO<sub>2</sub>-päästöt ovat selvästi keskimääräistä tasoa alhaisemmat”*
- **Haasteena:**
  - Päästöt vaihtelevat betonilaaduittain
  - Päästöt vaihtelevat betonivalmistajien kesken
  - Mitä lasketaan; betoni, betonirakenne, rakennus
- **Vähähiiliselle betonille ei voida antaa yhtä raja-arvoa**
  - Esim. kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> tai kg-CO<sub>2</sub>/tn)
  - Betoneita voidaan kyllä luokitella päästöjen mukaan

# VÄHÄHIILINEN BETONI

## Miksi tarvitaan?

- **Ilmeinen tarve vähentää betonin CO<sub>2</sub>-päästöjä :**
  1. Ilmaston muutoksen hillitseminen ja betonin merkittävä rooli CO<sub>2</sub>-päästöjen aiheuttajana
  2. Kustannusvaikutukset: CO<sub>2</sub>-päästöjen hinta on voimakkaassa nousussa
    - Vaikutukset sementin -> betonin -> rakentamisen kustannuksiin
  3. Uudisrakennuksille tulossa päästökatto (YM – Ilmastaselvitys)
    - Energiankulutusmääräyksistä rakennusmateriaalien päästöjen ohjaamiseen

# BETONIN OMINAISPÄÄSTÖT

## CO2data.fi tietokannassa olevat rakennusmateriaalit / -tuotteet

Tuote / tuoteryhmä	n	Keskiarvo kg-CO <sub>2</sub> e/kg	Minimiarvo kg-CO <sub>2</sub> e/kg	Maksimiarvo kg-CO <sub>2</sub> e/kg
Kaikki tuotteet	202	1,48	0,004	19
CO2data-luokka: Betonituotteet	57	0,24	0,006	3,8
CO2data, Betonivalmisosat	28	0,16	0,14	0,20
CO2data, Valmisbetonit	10	0,10	0,06	0,16
CO2data-luokka: Puutuotteet	13	0,40	0,07	1,0
CO2data-luokka: Teräs- ja metallituotteet	17	3,7	0,50	12

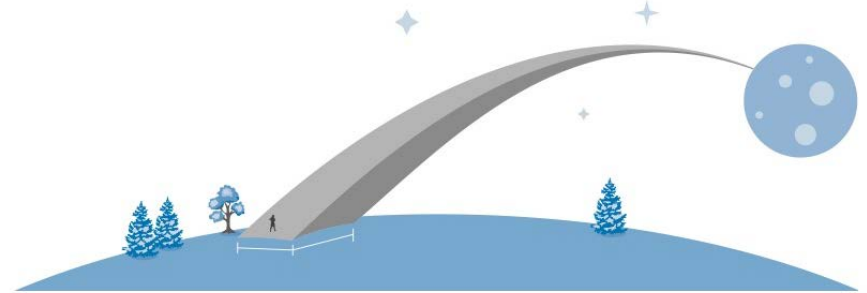
***Huom. Tuotteiden ominaispäästöt eivät ole suoraan vertailukelpoisia. Vertailut tulee tehdä rakennustasolla ja koko elinkaari huomioiden.***

# BETONIN VALMISTUKSEN CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖT

LOIKKA

- **Betonin suuret päästöt johtuvat sen valtavista käyttömääristä**
  - Maailmassa n. 10 000 000 000 m<sup>3</sup> / vuosi
  - > 1 m<sup>3</sup> / henk. vuosi
- **Suomessakin vuosittain lähes 1 m<sup>3</sup> / henk. (≈ 2500 kg)**

Maailman vuosittaisella betonituotannolla voitaisiin rakentaa poikkileikkaukseltaan 5\*5 m<sup>2</sup> silta maasta kuuhun



If the global concrete production of an year is used for building a bridge between the earth and moon, the bridge would have dimensions of 5\*5m<sup>2</sup>.

Lähde: Aalto University  
Cvijeta Miljak and Jouni Punkki

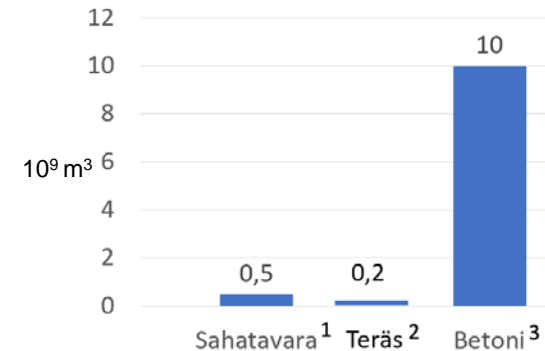
# KEINOT PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEKSI

## Betonin päästöjen vähentämismahdollisuudet

- Betoni korvaaminen muilla materiaaleilla
- Betonin määrään vähentämisessä rakenteissa
- Sementin määrän vähentäminen betonissa
- Betonin ominaispäästöjen alentaminen, käytännössä lähinnä sideaineen ominaispäästöjen alentaminen

*Korvaavia materiaaleja ei ole riittävästi tarjolla.*

*Tietyissä käyttökohteissa ei ole potentiaalisia vaihtoehtoja betonille.*



<sup>1</sup> FAO

<sup>2</sup> World Steel Association

<sup>3</sup> International Energy Agency IEA

# KEINOT PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEKSI

## Menetelmät sideaineiden päästöjen vähentämiseksi:

- A. Seossementit
- B. Vaihtoehtoiset sideaineet
- C. Sementin valmistuksen tekeminen päästöttömäksi

## A. Seossementit

- Sideaineet normien mukaisia, voivat sisältää jopa 95% kuonaa, kuonasementtejä on jo markkinoilla
- Voidaan ottaa käyttöön nopeasti
- Haasteena betonin alkulujuus, osin säilyvyysominaisuudet sekä mahdollisesti saatavuusongelmat
- Aiheuttaa muutoksia valmistus- ja rakentamisprosesseihin



# KEINOT PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEKSI

## B. Vaihtoehtoiset sideaineet

- Ei portland-klinkkeripohjaisia
- Tuttuja Suomessakin, esim. F-sementti jo 80-luvulla
- Erilaisia raaka-aineita, haasteena niiden saatavuus
- Eivät ole standardien mukaisia, käyttö kantavissa rakenteissa vaikeaa. Ei tunneta ominaisuuksia tarkkaan
- Voidaan saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä tuotetasolla, mutta käyttömäärät jäävät vähäisiksi

## C. Vähäpäästöinen sementin valmistus

- CO<sub>2</sub>:n talteenotto ja sähköinen kalsinointi
- Sementistä tulisi hyvin vähäpäästöinen (nollapäästöinen)
- Betonin päästöt jopa negatiivisia, kun huomioidaan myös betonin karbonatisoituminen
- Tekniikka on pääosin olemassa, mutta tarvitaan vielä tutkimusta sekä suuria investointeja
- Norjassa ensimmäinen systeemi rakenteilla

# LOIKKA-projekti



Aalto-yliopisto  
Aalto-universitetet  
Aalto University

**LOIKKA**

## Yleistä

- Tavoitteena puolittaa betonin valmistuksen CO<sub>2</sub>-päästöt
  - Kokonaisuutena n. 600 000 tn päästövähennys vuodessa
  - Päästövähennys vuoteen 2028 mennessä
- Lähtökohtana vähähiilisten sideaineiden laajamittainen käyttö
  - Ensisijaisesti kuonasideaineet

- **LOIKKA-hanke koostuu**
  - Aalto-yliopiston tutkimushankkeesta
  - 5 yrityshankkeesta
    - *Finnsementti Oy*
    - *Elematic Oyj*
    - *Lammin Betoni Oy*
    - *Betolar Oyj*
    - *Joutsenon Elementti Oy*
  - Tutkimusyhteistyötä Norjan Teknillisen Yliopiston kanssa (NTNU)

## Rahoitus ja aikataulu

- **Rahoitus**

- Business Finland
  - *Co-Innovation hanke*
  - *RRF-Haku, Vähähiilinen rakennettu ympäristö*
- Yritysten oma rahoitus
- Aallon tutkimushankkeessa rahoittajina myös:
  - *Betoniteollisuus ry*
  - *Talonrakennusteollisuus ry*
  - *Väylävirasto*

- **Aikataulu:**

- 1.3.22 – 29.2.24

- **Kokonaiskustannukset**

- n. 3,4 Milj.€



Euroopan unionin rahoittama –  
NextGenerationEU

## Tavoitteet

- **Päästöjen puolittaminen edellyttää useita, erilaisia toimenpiteitä**
  - Vähähiilisten sideaineiden laaja käyttöönotto
  - Betonin valmistuksen optimointia CO<sub>2</sub>-päästöjen kannalta
  - Kehitystä betonirakentamisessa
- **Systeminen muutos koko betonirakentamisessa**

### A. Uusien sideaineiden laajamittaiseen käyttöönotto

- Varhaislujuuden kehitys
- Betonin säilyvyys

### B. Reseptioptimointi CO<sub>2</sub>:n kannalta

- Merkittävää potentiaalia vähentää CO<sub>2</sub>-päästöjä
- Kiviainesten vaikutus

### C. Rakentamisprosessi

- Vaikutukset elementti- ja paikallavalurakentamiseen
- Muottikierto / alkulujuus

## Aallon tutkimushanke

- **Osaprojektit**

- 1. Vähähiilisten betonien lujuudenkehitys
  - 2. Vähähiilisten betonien säilyvyysominaisuudet
  - 3. Betonien optimointi CO<sub>2</sub>-päästöjen kannalta
  - 4. Vähähiilisten betonien tuotantotekniikka
  - 5. Tulevaisuuden ratkaisut betonin CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämiseksi
- Primääriset tutkimuspanostukset**
- Lisämahdollisuus päästöjen alentamiseksi**
- Tutkimustulosten hyödyntäminen**
- Tulevaisuuden mahdollisuudet**

# VÄHÄHIILINEN BETONI INFRA- RAKENTAMISESSA



Aalto-yliopisto  
Aalto-universitetet  
Aalto University

**LOIKKA**

## Infrarakentamisen erityispiirteet

- **Kuonabetoneita käytetty infrarakentamisessa jo 100 vuotta**
  - Saksa, Hollanti
- **Ominaisuudet tunnetaan varsin hyvin**
- **Suurin haaste pakkassuola-kestävyyden kanssa**

## Kuonabetonien pakkassuola-kestävyys

- **50% kuonamäärä on osoittautunut kriittiseksi raja-arvoksi**
  - Tätä käytetään myös Väylän vaatimuksissa (paitsi P0: 70%)
- **Karbonatisoituminen kasvattaa kuonabetonien rapautumaa**
  - Tämän vuoksi Väylävirastolla sementtien erillishyväksyntä, jossa huomioidaan karbonatisoituminen
  - Ruotsissa XF4:ssä edellytetään karbonatisoitumista ennen pakkastestausta



# VÄHÄHIILINEN BETONI

## P-luvun laskenta

- **P-luku ottaa huomioon kuonamäärän**

- Perustuu Seppo Matalan tutkimuksiin
- Kuona alentaa P-lukua
  - *Sementtiin lisätty kuona*
  - *Betoniasemalla lisätty kuona*

- **Kuonan käyttö kasvattaa sideainemäärää**

- Kasvattaako liikaa?

$$k_{\text{sid}} = 1 - \left( \frac{Q_{\text{vesi}}}{Q_{\text{sid}}} \right)^{1,5} \cdot (0,05 \cdot \text{sil} + 0,02 \cdot \text{kuona} + 0,01 \cdot \text{lt}) \quad (4)$$

jossa sil on silikan osuus sideaineen kokonaismäärästä [%]  
kuona on masuunikuonan osuus sideaineen kokonaismäärästä [%]  
lt on lentotuhkan osuus sideaineen kokonaismäärästä [%]  
Q<sub>vesi</sub> on tehollinen vesimäärä [kg/m<sup>3</sup>]  
Q<sub>sid</sub> on tehollinen sideaineen kokonaismäärä [kg/m<sup>3</sup>].

$$Q_{\text{sid}} = Q_{\text{sem}} + 2,0 \cdot Q_{\text{sil}} + 0,8 \cdot Q_{\text{kuona}} + 0,4 \cdot Q_{\text{lt}} \quad (5)$$

jossa Q<sub>sem</sub> on tehollinen sementtimäärä [kg/m<sup>3</sup>]  
(Portlandsementillä (CEM I) k<sub>A</sub> on 1)  
Q<sub>sil</sub> on lisätyn silikajauheen määrä [kg/m<sup>3</sup>]  
Q<sub>kuona</sub> on lisätyn masuunikuonan määrä [kg/m<sup>3</sup>]  
Q<sub>lt</sub> on lisätyn lentotuhkan määrä [kg/m<sup>3</sup>]

k<sub>A</sub> riippuu masuunikuonan osuudesta  
Jos sementilla erillishyväksyntä, k<sub>A</sub> = 1

## P-luvun laskentaesimerkki

- **C35/45 – P50 betoni**

- Finnsementti, Oiva-sementti (CEM II/A)
  - $440 \text{ kg/m}^3$
  - *Sis. kuonaa: 17%*
- Vesi:  $175 \text{ dm}^3/\text{m}^3$
- Ilma: 5,0%
- **P-luku: 53**
  - $Q_{\text{vesi}}/Q_{\text{sid}} = 0,40$

- **C35/45 – P50 betoni**

- Finnsementti, Kolmossementti (CEM III/A)
  - $440 \text{ kg/m}^3$
  - *Sis. kuonaa: 42%*
- Vesi:  $175 \text{ dm}^3/\text{m}^3$
- Ilma: 5,0%
- **P-luku: 37**
  - $Q_{\text{vesi}}/Q_{\text{sid}} = 0,43$
  
- **Kun erillishyväksyntä:**
  - **P-luku: 47**
    - $Q_{\text{vesi}}/Q_{\text{sid}} = 0,40$

## P-luvun laskentaesimerkki

- **Paljonko tarvitaan sementtiä jotta päästään P53 tasolle Kolmossementillä:**

**a) Ei erillishyväksyntää**

- 497 kg/m<sup>3</sup> (+57 kg/m<sup>3</sup>)
- P53

**b) Erillishyväksyntä**

- 457 kg/m<sup>3</sup> (+17 kg/m<sup>3</sup>)
- P53

- **Vaikutukset CO<sub>2</sub>-päästöihin**

- Oiva 440 kg/m<sup>3</sup> – P53:  
**333 kg-CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>**
- Kolmossementti 440 kg/m<sup>3</sup> – P37 / 43:  
**263 kg-CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>**
- Kolmossementti 497 kg/m<sup>3</sup> – P53 (ei erillishyväksyntää):  
**291 kg-CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>**
- Kolmossementti 457 kg/m<sup>3</sup> – P53 (erillishyväksyntä):  
**271 kg-CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>**

- **Vähähiiliset betonit tulevat**
  - BY-Vähähiilisyysluokitus vauhdittaa
- **50% päästövähennys on haastava tavoite**
  - Edellyttää toimenpiteitä kaikilta osapuolilta
- **Infrarakenteissa haasteena on pakkassuolakestävyys**
  - Infrabetoneissa 50% päästövähennys voi olla vaikeaa, ainakin P50-tasolla.
  - P0-betoneissa 50% vähennys onnistuu.
  - Säilyvyysominaisuuksista pidettävä kiinni.