

# LOIKKA

## Osa-projekti 1: Vähähiilisten betonien lujuudenkehitys

---

Anna Antonova

29.04.2024

Ekaterina Illarionova

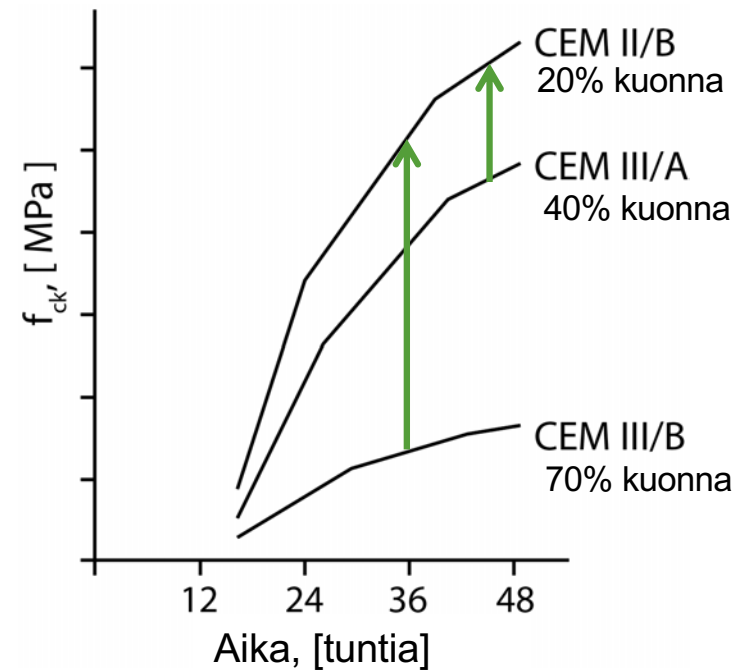
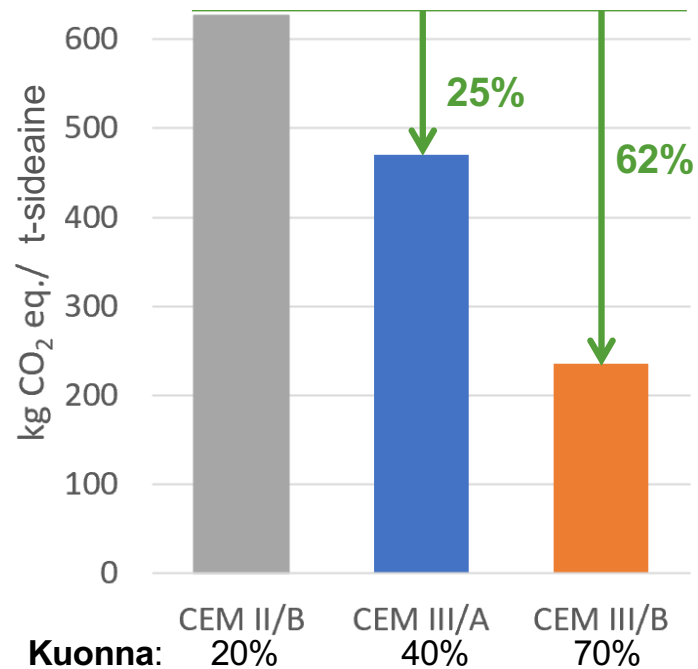
Iiro Vähälä

**A”**

Aalto-yliopisto  
Aalto-universitetet  
Aalto University

**LOIKKA**

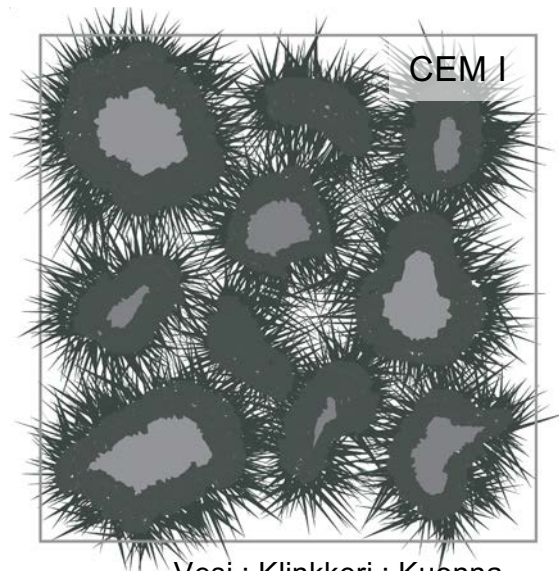
# Alkulujuuden kehitys



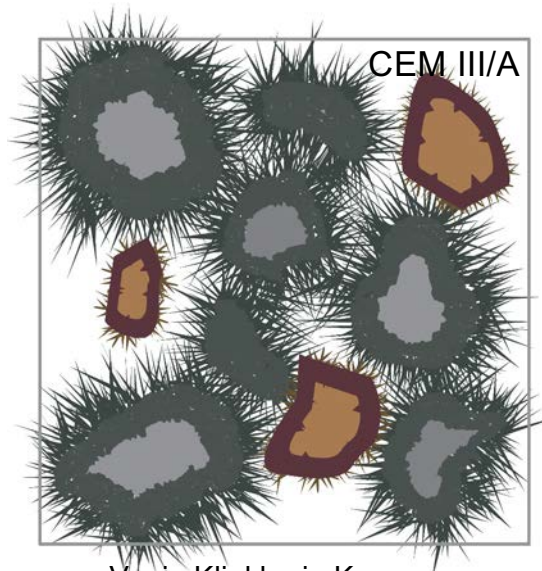
**Tavoite:** Kiihdyttää kuonasementtien (CEM III) lujudenkehitys Oiva-sementin (CEM II/B) tasolla.

# Kuonan hydrataationmekanismi

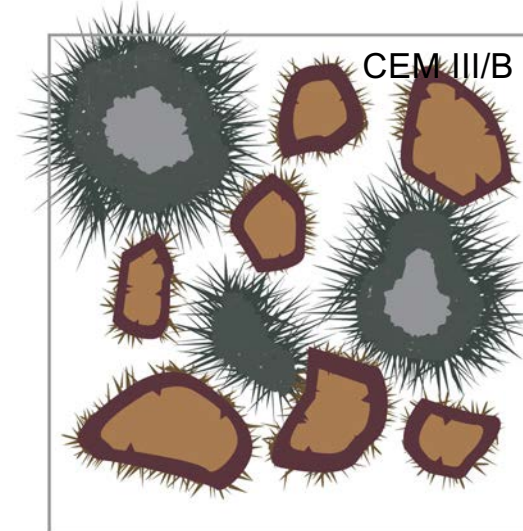
<b>Klinkkeri:</b>	Nopea liukeneminen (15 minuuttia)	→	Kiteytyminen (< 3 tuntia)	→	Kasvu (24 tuntia)	→	Kasvu (> 28 < päivää)
<b>Kuona:</b>	Hidas liukeneminen		Ionit adsorboituvat kuonan pinnan, sekä estävät liukenemista		Hidas kiteytyminen ja kasvu		Kasvu



Vesi : Klinkkeri : Kuonna  
Tilavuus 50% : 50% : 0%



Vesi : Klinkkeri : Kuonna  
50% : 30% : 20%



Vesi : Klinkkeri : Kuonna  
50% : 15% : 35%

# Masuunikuonan aktivointi



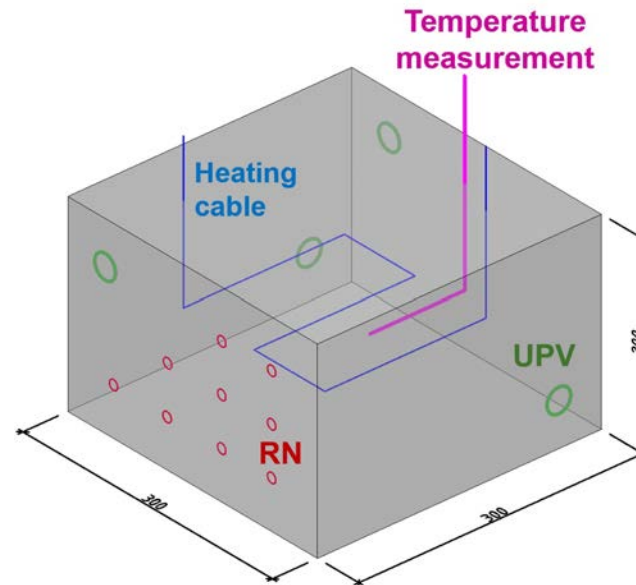
## Terminen aktivointi:

**Lämpö = energia**  
kihdyttää kemiallisia  
reaktioita

↓  
Liukeneminen  
Kiteytyminen

### Lämmitys:

- Kaapelit betonin sisällä
- Lämmitysaika: 0 - 10/15 h
- Lämmitysteho: 5 - 30 W
- Lämmitysenergia: 2.8...16.7 kWh/m<sup>3</sup>



## Kemiallinen aktivointi:

Lisätään ioneja  
nestefaasiin pH:n  
kasvattamiseksi

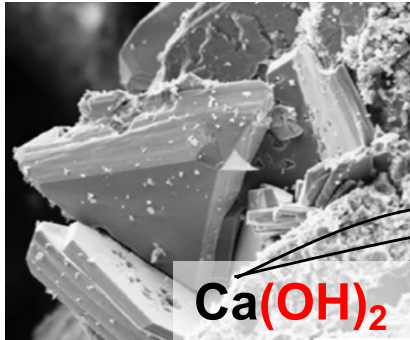
↓  
Liukeneminen  
Kiteytyminen

### Aktivaattorit:

- NaOH
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

Ekaterina Illarionova  
Väitöskirja

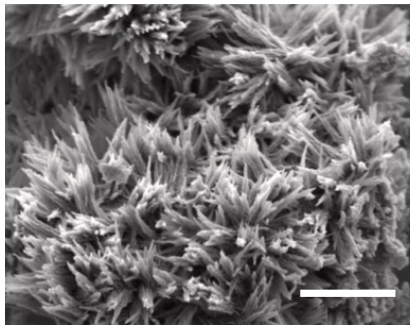
# Aktivaattorit



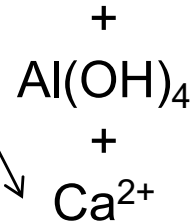
Kuonan aktivointiin tarvitaan korkea pH (>12)  
=  
korkea OH<sup>-</sup> ionien määrä



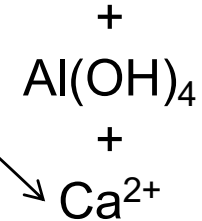
↓  
↑ pH



C(N)-A-S-H



↓  
Ettringiittiä + ↑ pH



↓  
AFm + ↑ pH  
+ CaCO<sub>3</sub>

# Tuloksia

Terminen TAI  
kemiallinen aktivointi



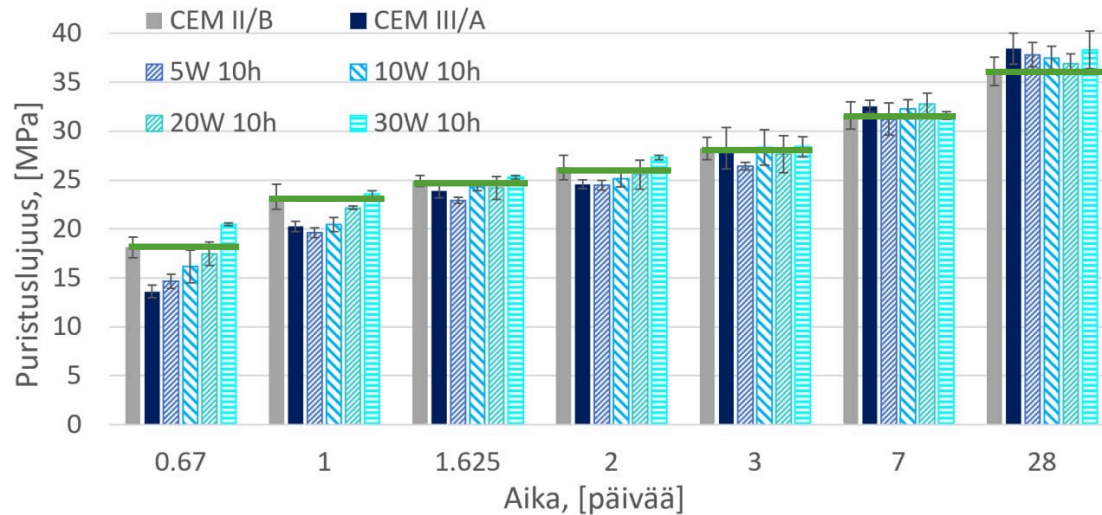
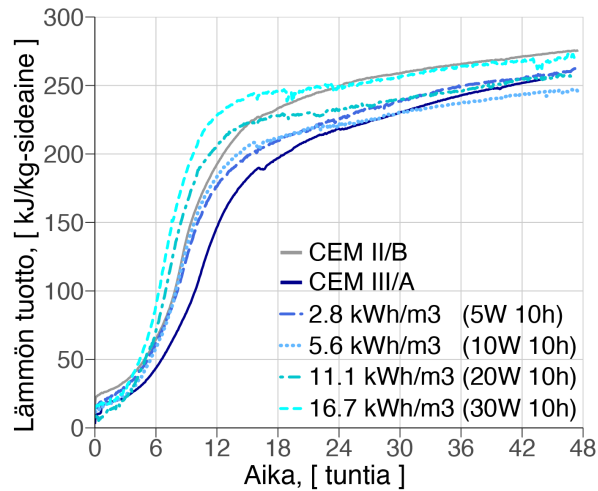
Aalto-yliopisto  
Aalto-universitetet  
Aalto University

**LOIKKA**

# CEM III/A aktivointi

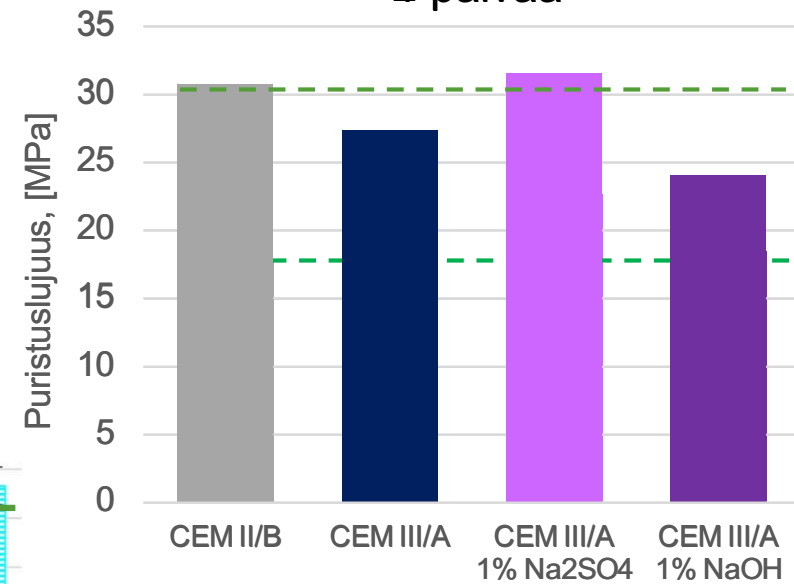


## Terminen aktivointi:



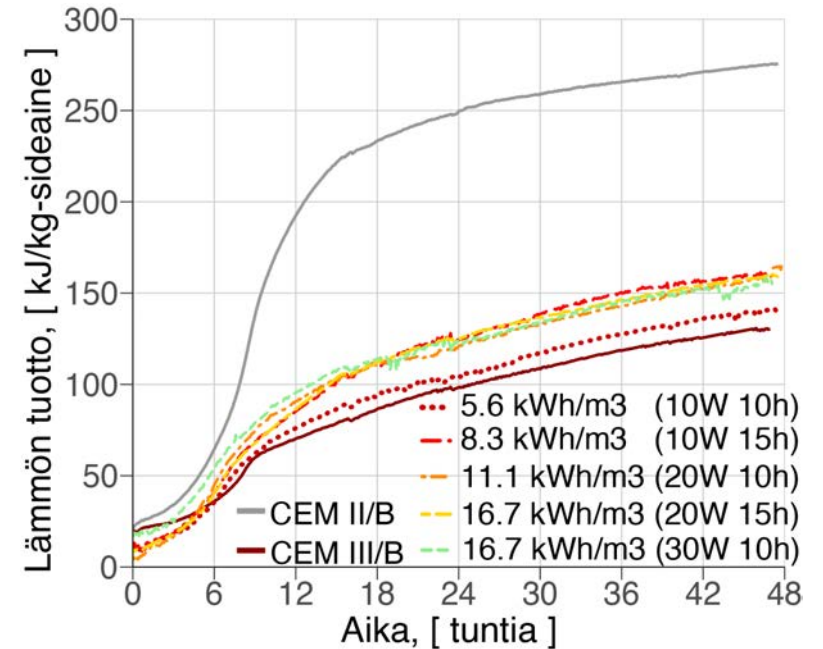
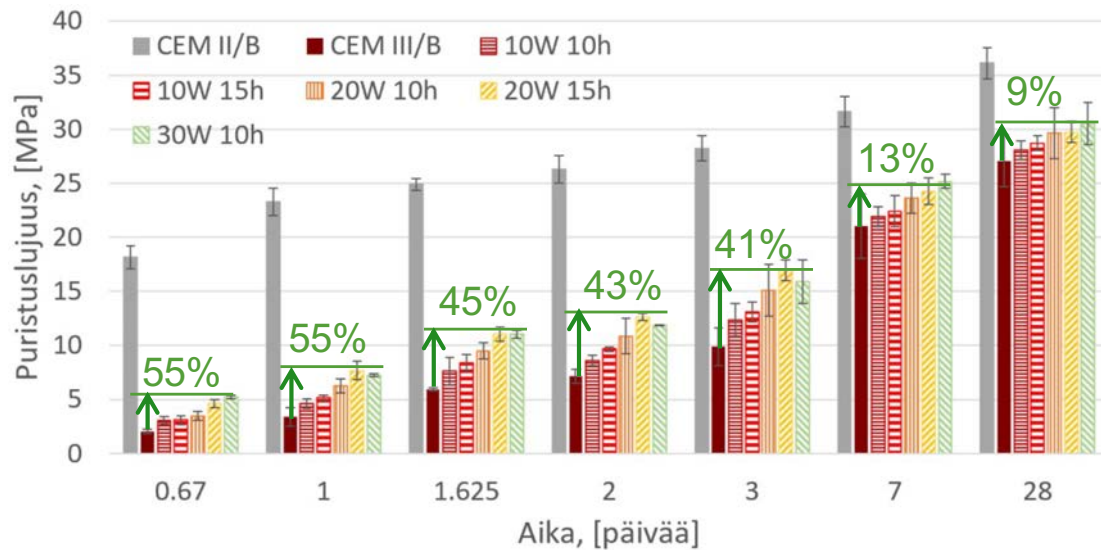
## Kemiallinen aktivointi:

2 päivää



- Terminen aktivointi oli riittävä; 20 - 30 W, 10 h (11.1...16,7 kWh/m<sup>3</sup>).
- Kemiallinen aktivointi oli riittävä; 1% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sementtipastakokeet)

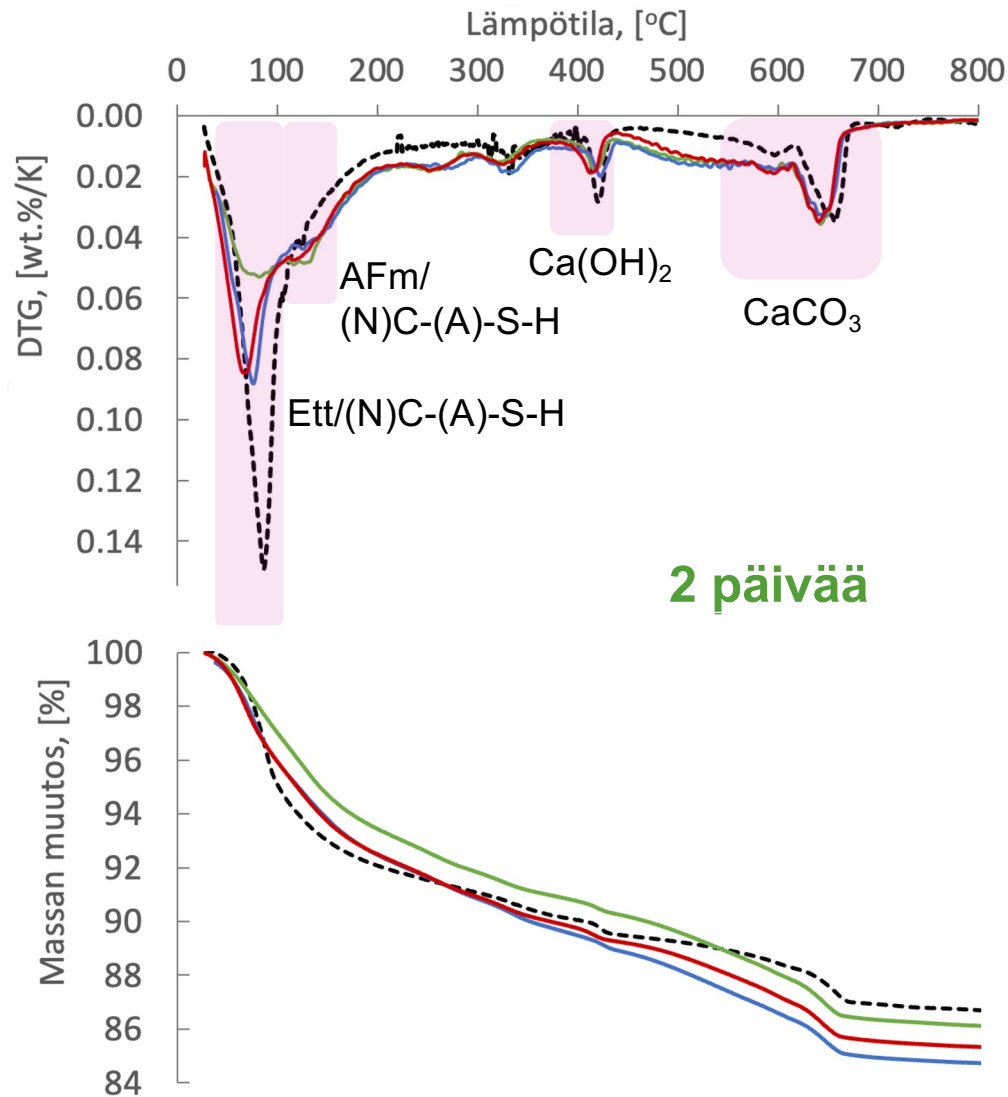
# CEM III/B terminen aktivointi



Terminen aktivointi ei ollut riittävä kiihdyttämään CEM III/B-sementtiä CEM II/B:n tasolle

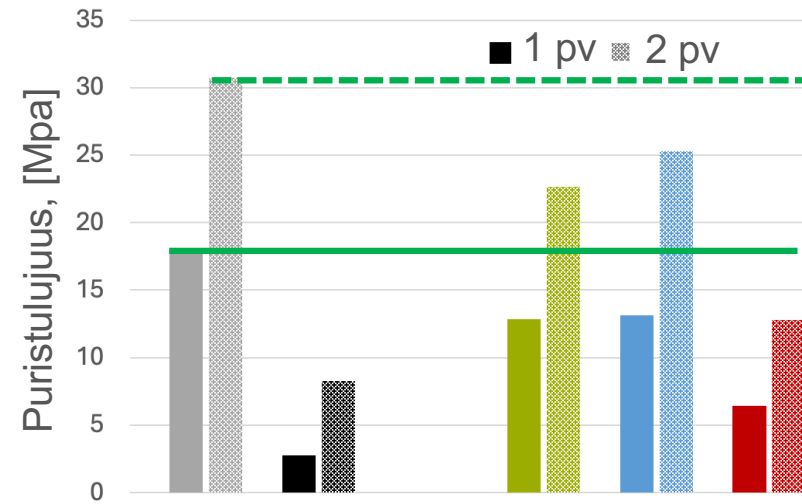


# CEM III/B kemiallinen aktivointi



## Päähdistelmät

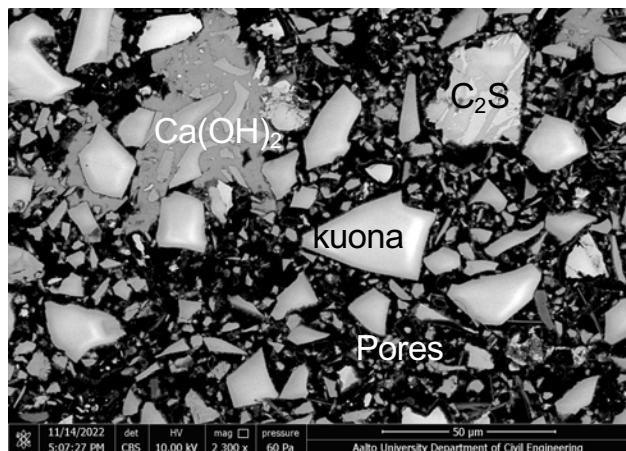
CEM III/B	CEM III/B 1% NaOH 3% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	CEM III/B 1% NaOH 3% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 2% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CEM III/B 2% NaOH 2% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 2% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>



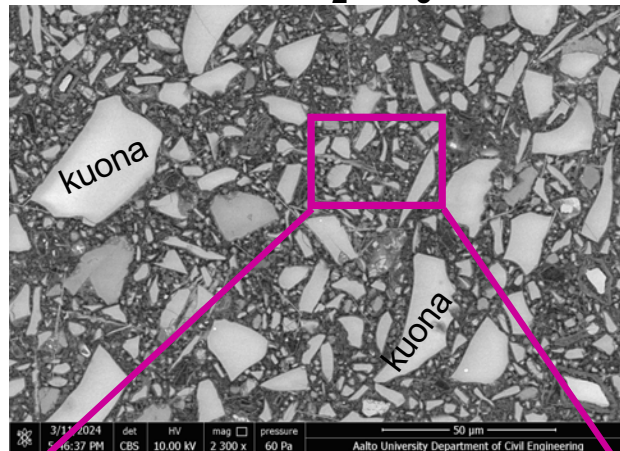
Kemiallinen aktivointi ei ollut riittävä kiihdyttämään CEM III/B-sementtiä CEM II/B:n tasolle

# CEM III/B mikrorakenne

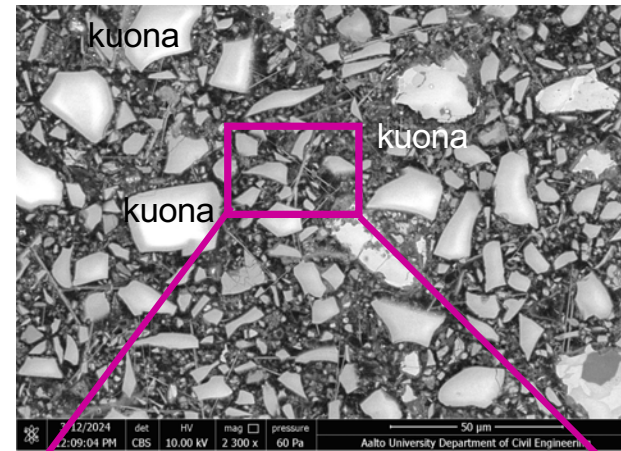
CEM III/B



CEM III/B  
1 % NaOH  
3 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

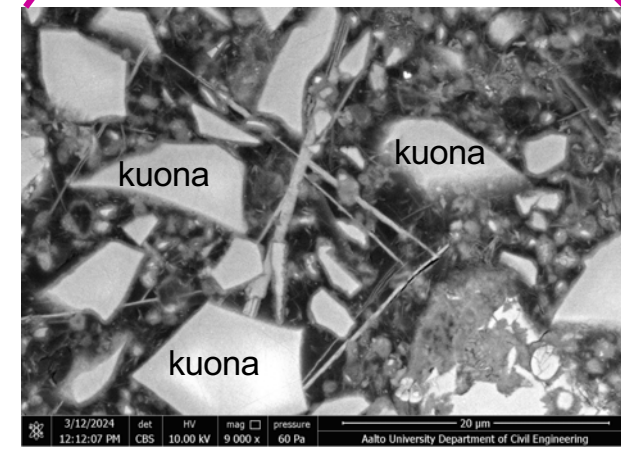
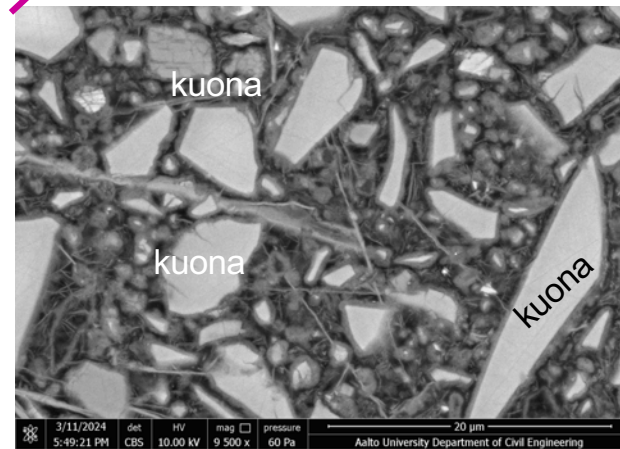


CEM III/B  
1 % NaOH  
3 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$   
2 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$



Kemiallinen aktivointi kiihdyttää yhdisteitä muodostamista:

- Huokosten ja  $\text{Ca(OH)}_2$ -faasien määrä vähentyy
- Muodostuu neulamaisia kiteitä (AFm/AFt)
- N/C-A-S-H saostuu kuonan pintaan



# Masuunikuonan aktivointi

LOIKKA



## Terminen aktivointi:

**Lämpö = energia**  
kihdyttää kemiallisia  
reaktioita

↓  
Liukeneminen  
Kiteytyminen

### Tulokset:

**CEM III/A: OK**

- 20 W 10 h (11.1 kWh/m<sup>3</sup>)

**CEM III/B: EI RIITTÄVÄ**



## Kemiallinen aktivointi:

Lisätään ioneja  
nestefaasiin pH:n  
kasvattamiseksi

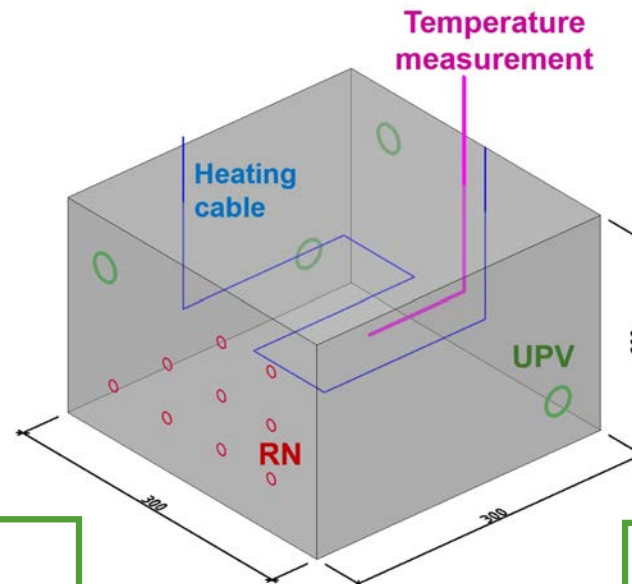
↓  
Liukeneminen  
Kiteytyminen

### Tulokset:

**CEM III/A: OK**

- 1% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

**CEM III/B: EI RIITTÄVÄ**



Iiro Vähälä  
diplomityö

**YHDISTELMÄ**

# Tuloksia

Terminen JA  
kemiallinen aktivointi



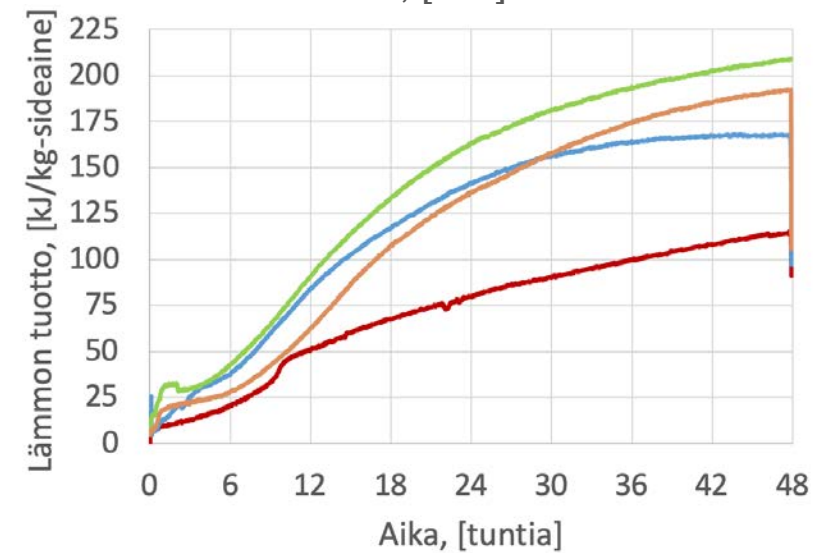
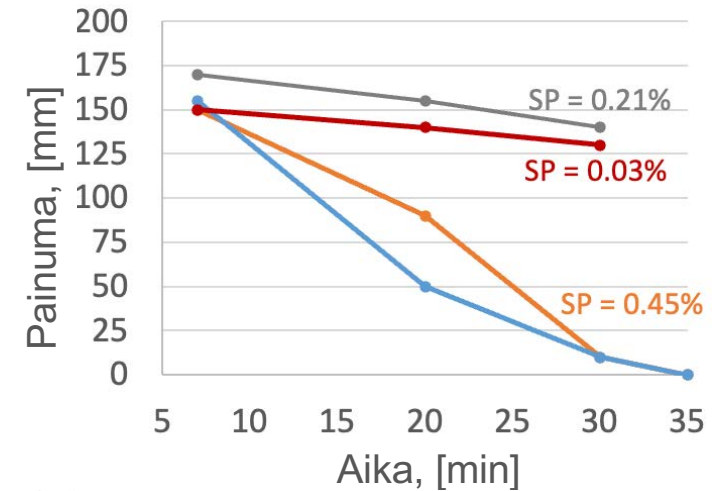
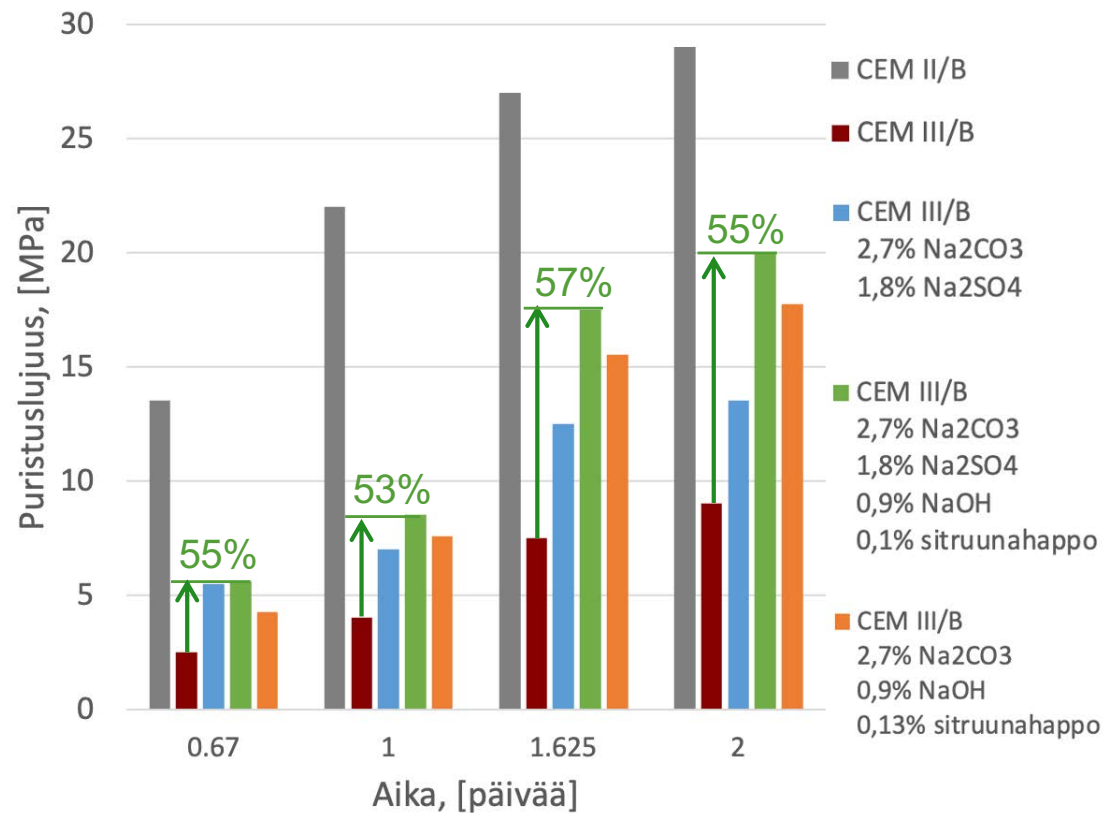
Aalto-yliopisto  
Aalto-universitetet  
Aalto University

**LOIKKA**

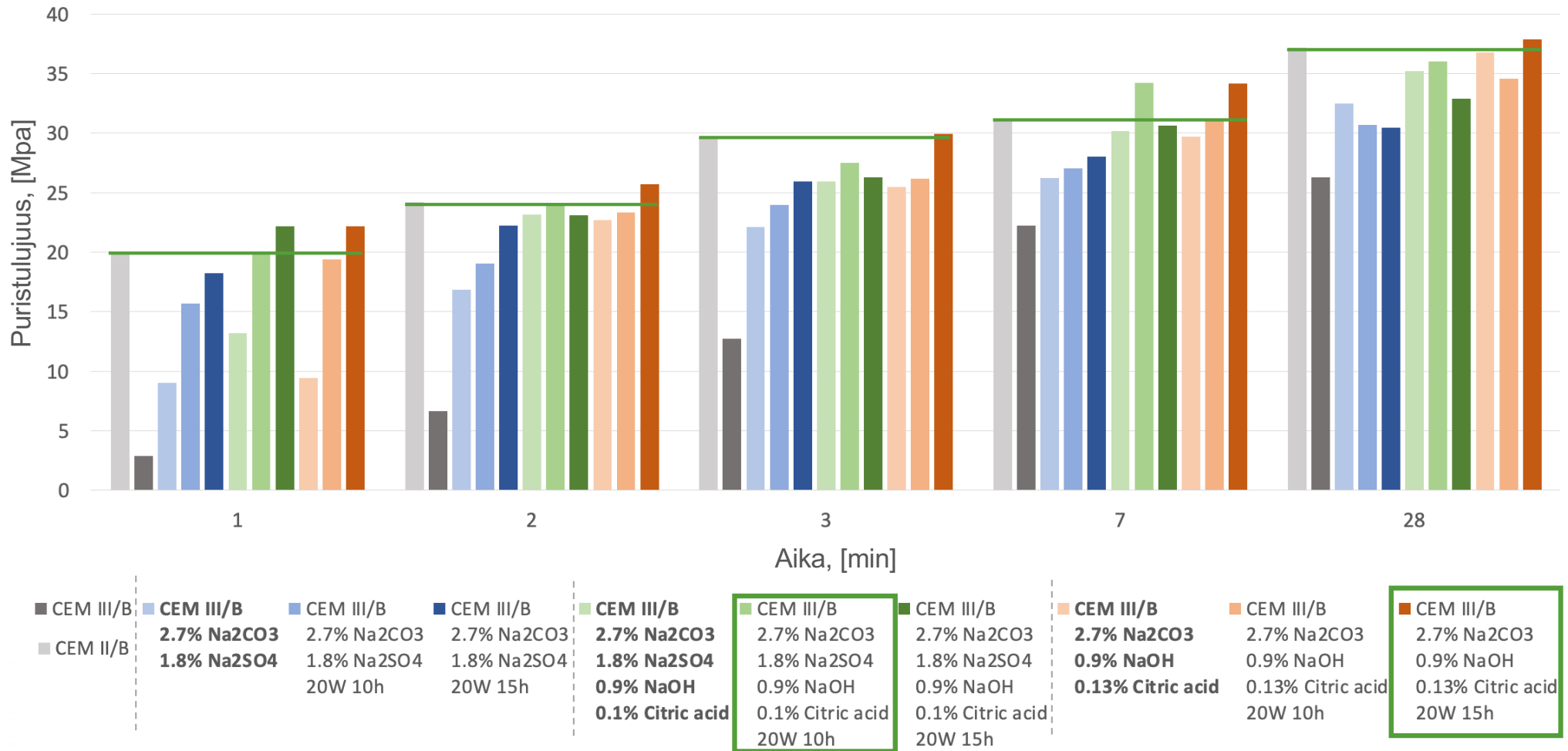
# Betoni: CEM III/B kemiallinen aktivointi



- Aktivaattorien koostumus optimoitiin betonin työstettävyyden varmistamiseksi.

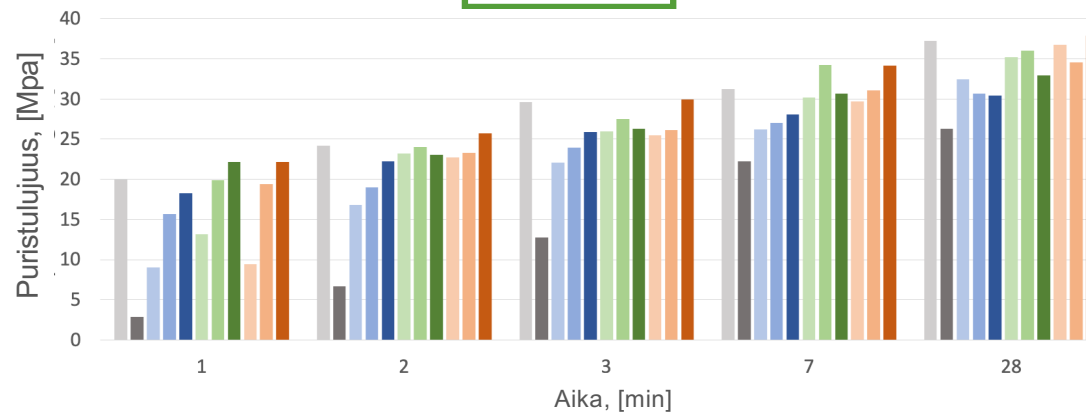
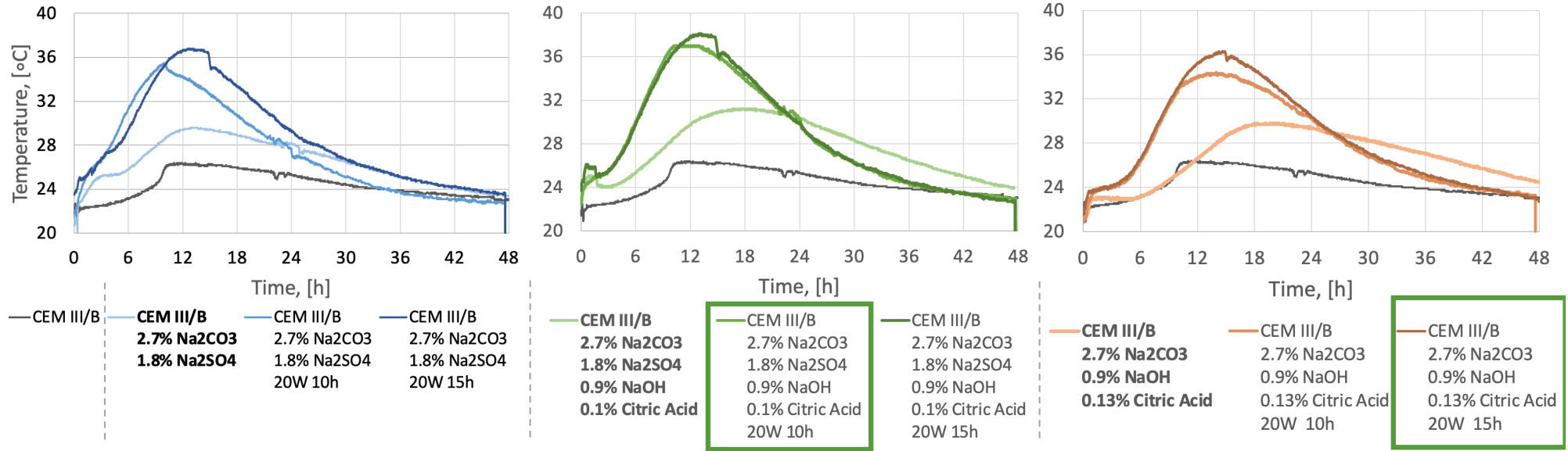


# CEM III/B teminen + kemiallinen aktivointi **LOIKKA**



# CEM III/B terminen + kemiallinen aktivointi **DIKKA**

## Lämpökäsittelyn vaikutus todelliseen hydrataatio lämpötilan kehitykseen



# LOIKKA: 1 osa-projekti



- CEM III/A sementillä päästään tavoitetasolle (CEM II/B) kohtuullisen helposti:
  - Terminen aktivointi - *20 W 10 h (11.1 kWh/m<sup>3</sup>)*
  - Kemiallinen aktivointi - *1% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>*
  
- CEM III/B sementillä tavoitetason saavuttaminen on haastavaa:
  - Tarvitaaan termisen ja kemiallisen aktivointi yhdistelmää:
    - *2.7% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 1.8% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 0.9% NaOH + 0.1% sitruunahappo + 20 W 10 h (11.1 kWh/m<sup>3</sup>)*
    - *2.7% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 0.9% NaOH + 0.13% sitruunahappo + 20 W 15 h (16.7 kWh/m<sup>3</sup>)*
  
- Tarvitaan lisätutkimuksia aktivoinnin vaikutuksista kuonan reaktioihin ja säilyvyysominaisuuksiin.



# Kiitos!

**A”**

Aalto-yliopisto  
Aalto-universitetet  
Aalto University

**LOIKKA**