

---

# Pakkasprojektin tuloksia

## Tilaustutkimus – Pakkasprojekti25

Teemu Ojala, Tkt  
Postdoctoral Researcher  
Aalto-yliopisto  
26.11.2025



# Sisältö

1. Taustaa Pakkasprojektista
2. Keskeisiä tuloksia
  - Esiselvitys
  - Pakkasprojekti25
3. Mitä seuraavaksi?

**A!**



# 1. Taustaa Pakkasprojektista

**A!**

# Miksi käynnistettiin Pakkasprojekti?

- **Betonin pakkasenkestävyydessä ei ole sinällään ollut ongelmia**
- **Muutokset betoneissa**
  - Sideaineet ja lisäaineet muuttuneet
  - Betoni notkeampaa
- **Testimenetelmissä havaittu hajontaa ja kestävät pitkään**
- **Vaatimustasojen oikeellisuus**

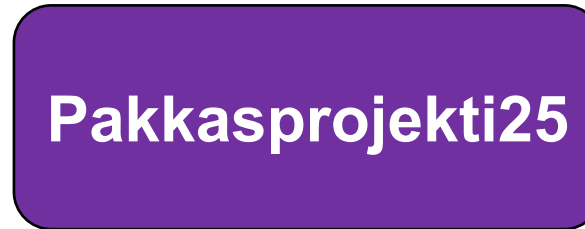


# Kansallinen Pakkasprojekti

2023 – 2024



2025



~ 2026



- Potentiaaliset testimenetelmät
- Vaatimustasot eri maissa
- Alustava tutkimussuunnitelma *“Hirmu pakkaseen”*

Osaprojekti 1

Olemassa olevien rakenteiden testaus

Osaprojekti 2

Laattatestin hajonnan pienentäminen

Osaprojekti 3

Pakkasenkestävyyden laadunvarmistuksen kehittäminen

- Kattava koeohjelma
- Vaatimustasojen tarkistus ja mahdollinen päivittäminen

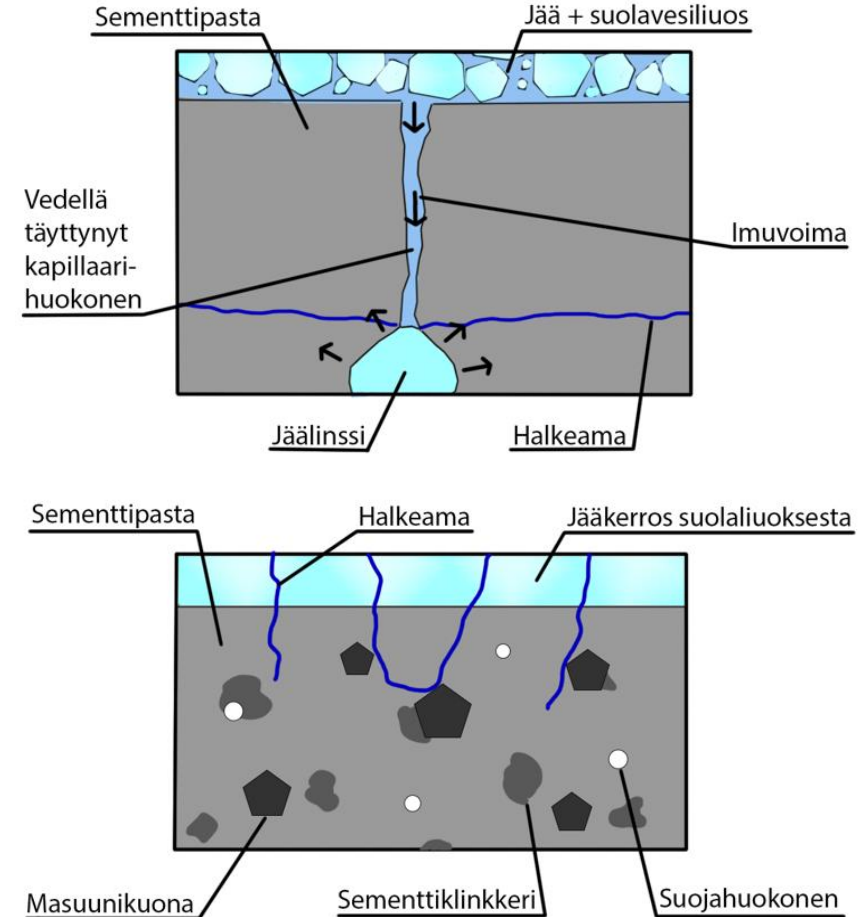
## 2. Keskeisiä tuloksia

**A!**

# Esiselvitys

## – Kirjallisuuskatsaus pakkasenkestävyyden perusteisiin

- **Jäätymis-sulamisrasituksen vaurioitumismekanismit puhuttavat**
  - Sisäinen vaurioituminen tunnetaan varsin hyvin
  - Pintarapautumisen vauriomekanismeista ei selkeää yksimielisyyttä
- **Karbonatisoitumisen vaikutus pakkasenkestävyyteen**
  - Erityisesti masuunikuonabetoneilla
  - Korostuu laattatestin rapaumamäärissä masuunikuonabetoneilla



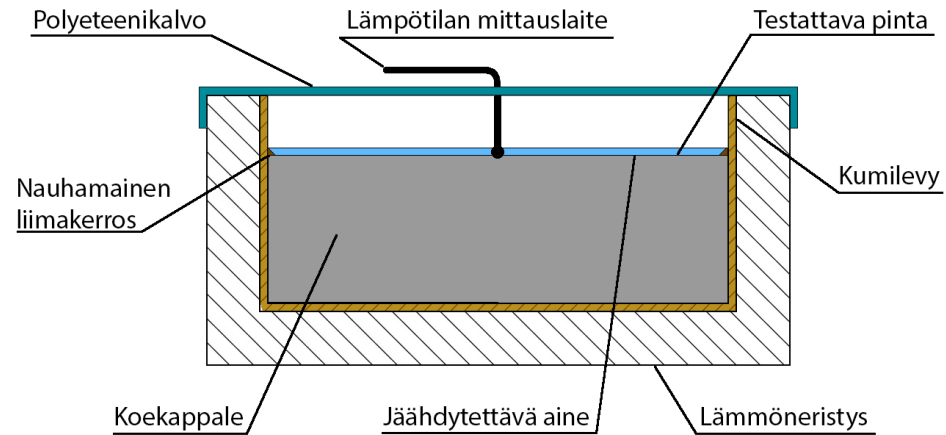
A!

# Esiselvitys

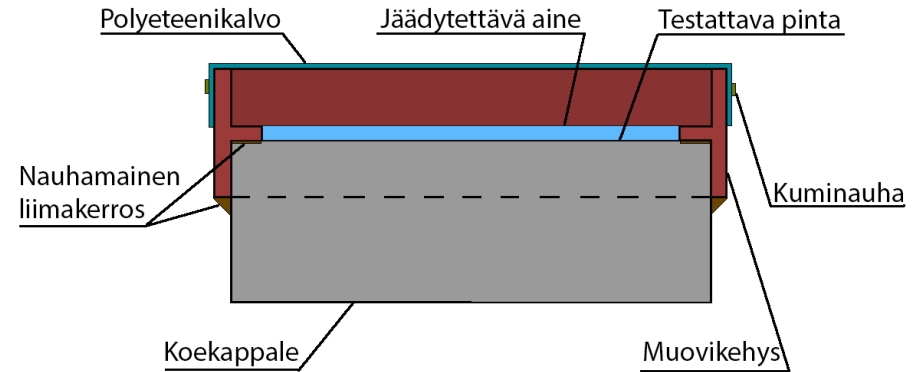
## – Suoria testimenetelmiä

CEN/TS 12390-9 (rapauma)  
CEN/TR 15177 (sisäinen vaurio)

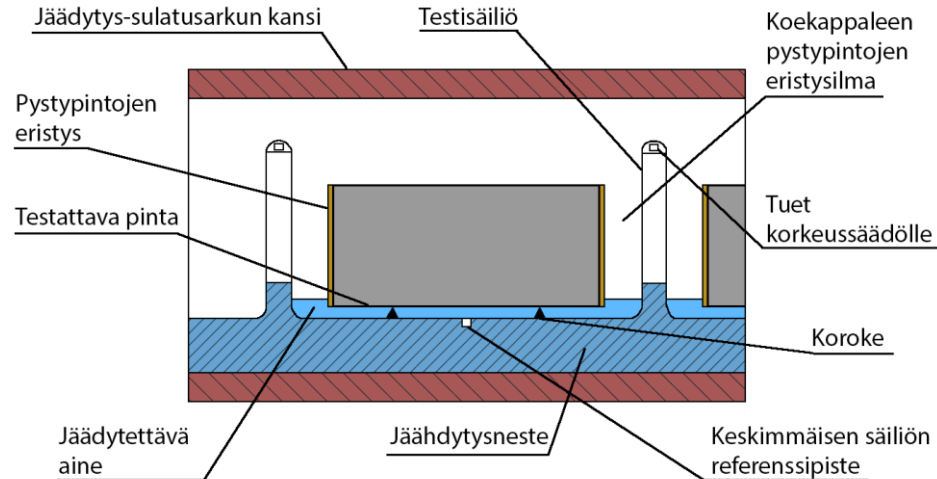
### Laattatesti



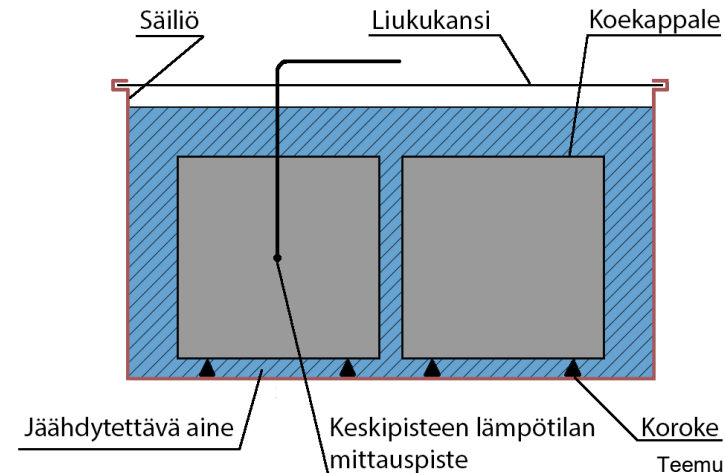
### Sveitsiläinen laattatesti



### CDF/CF/CIF-testi



### Kuutiotesti

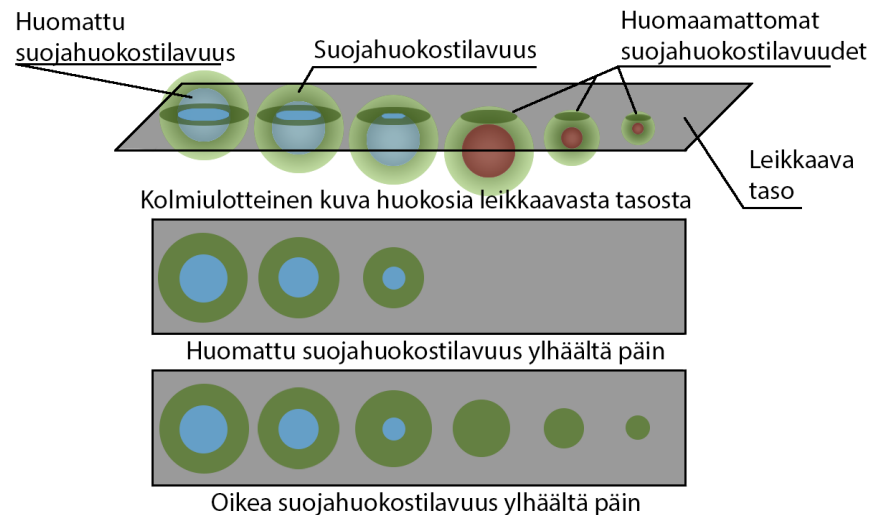
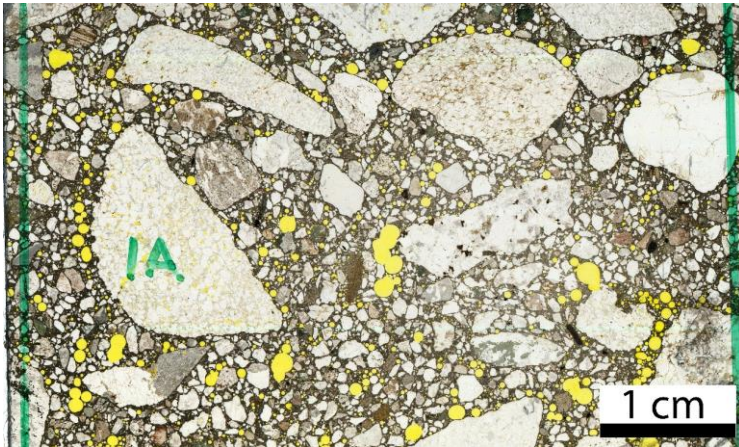


A!

# Esiselvitys

## – Epäsuoria testimenetelmiä

### Huokosanalyysi



### Suojahuokostesti



# Esiselvitys

## – Vaatimustasot Suomessa ja muissa maissa

### XF1

- Koostumusvaatimukset samanlaisia
- Ilmamäärälle ei vaatimusta muissa maissa

### XF3

- Koostumusvaatimukset samanlaisia
- Suomessa myös huokostuksen laatuvaatimus
- Laattakoetta ionivaihdetulla vedellä ei käytetä muualla

### XF2 ja XF4, Infra

#### Samankaltaisuudet

- Koostumusvaatimukset, vaikka P-luku
- Sementtien ennakkotestaus
- Rakenteiden testaustarve (Ruotsi poikkeaa muista)

#### Erot

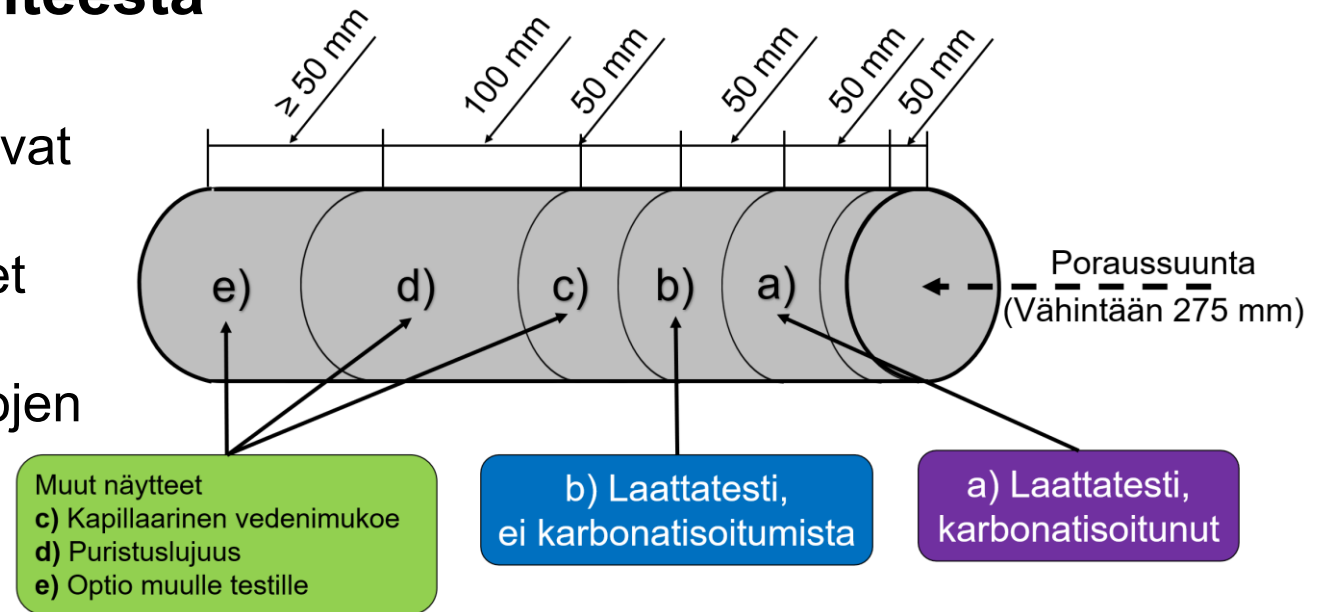
- Ennakkokokeet Suomessa kattavat ja vaatimustasot tiukat
- Jatkuva laadunvalvonta
  - Työmaakoekappaleet
- Kuitenkin ilmamäärän mittaustaajuus keskimääräistä tasoa

# Pakkasprojekti25

## – OP1 Olemassa olevien rakenteiden testaus

- Selvitetään, kuinka paljon hyvin säilyneet rakenteet rapautuvat laattakokeessa
- Porattiin näytteet viidestä eri rakenteesta (yhteensä kolme siltaa)

- Tutkittavien betonien sideaineet poikkeavat nykyisistä
- Betonien koostumustiedot ja alkuperäiset rapaumat eivät ole tiedossa
- Ei voida arvioida nykyisten vaatimustasojen oikeellisuutta



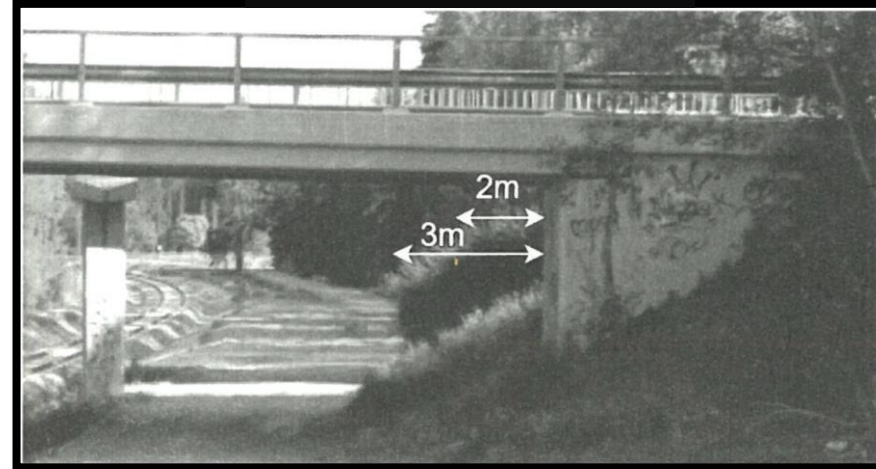
# Pakkasprojekti25

## – OP1 Rakenteet

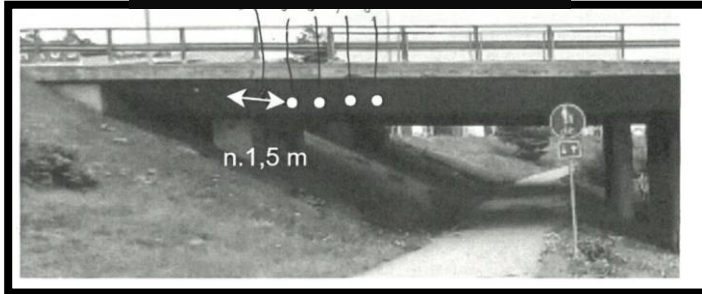
Rakenne C (2001)



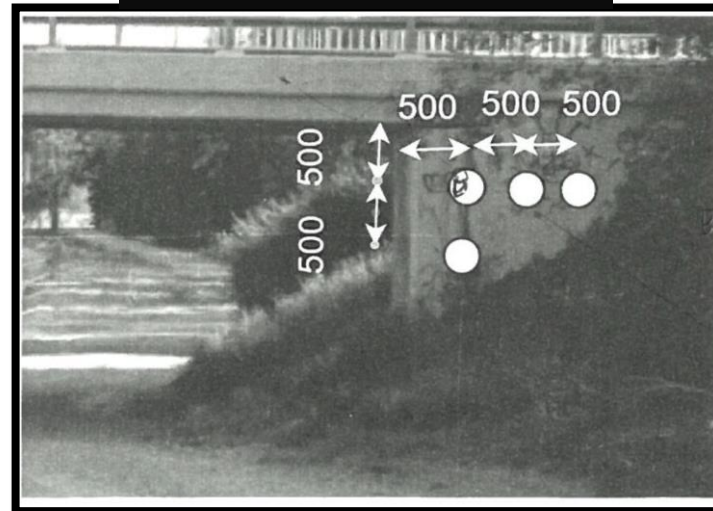
Rakenne B (1960)



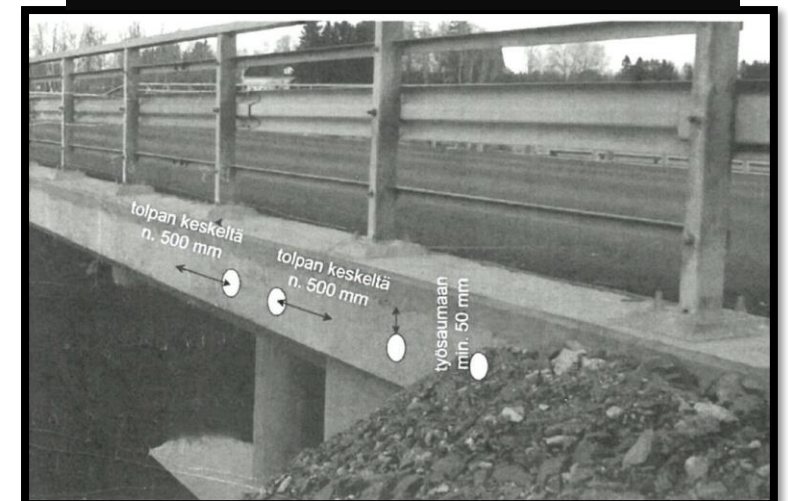
Rakenne A (1991)



Rakenne BS (1960)



Rakenne CR (2001+2018)



A!

# Pakkasprojekti25

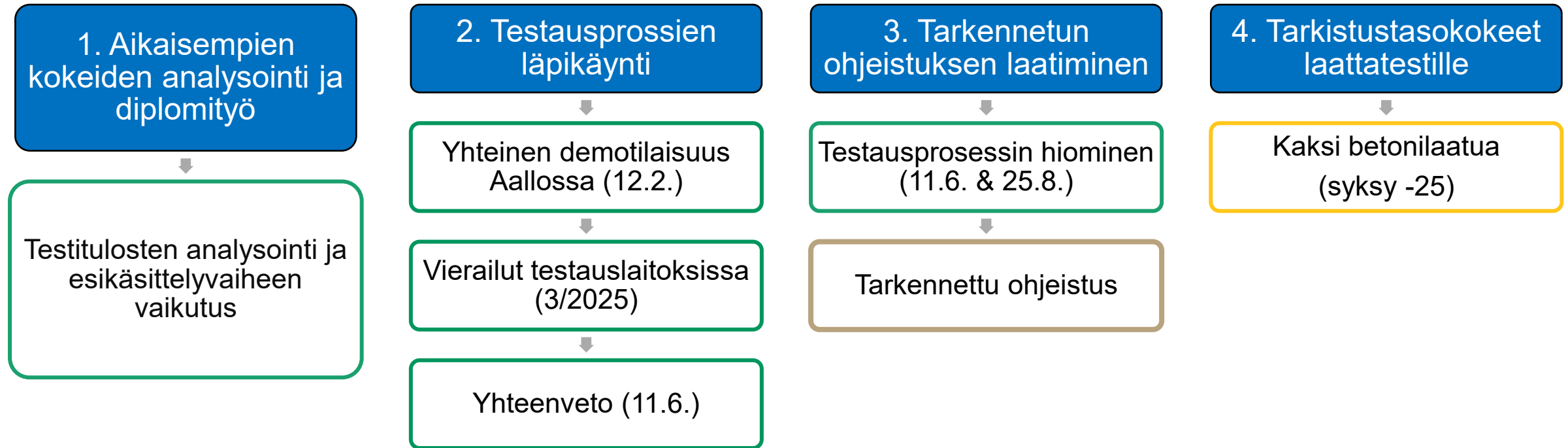
## – OP1 Tulosten alustavaa analyysia

| Paras               |      |    |    |        | Huonoin |                            |
|---------------------|------|----|----|--------|---------|----------------------------|
| Puristuslujuus      | B    | BS | C  | CR     | A       | Indikoivat<br>v/s-suhdetta |
| Kap.huokoisuus      | B    | BS | CR | C      | A       |                            |
| m-arvo              | B    | CR | BS | C      | A       |                            |
| Tiheys              | A    | CR | C  | BS     | B       | Indikoivat<br>ilmamäärää   |
| Ilmamäärä (kap)     | A    | CR | BS | C      | B       |                            |
| Karb.syvyys         | B,CR |    |    | A,BS,C |         |                            |
| Rapauma a), 56 syk. | B    | A  | C  | BS     | CR      |                            |
| Rapauma b), 56 syk. | A    | B  | BS | C      | CR      |                            |

**A!**

# Pakkasprojekti25

## – OP2 Laattatestin hajonnan pienentäminen



# Pakkasprojekti25

## – OP2 Havaintoja



Valu, erottuminen



Valu, sauvan jälki



Preparointi

**A!**

# Pakkasprojekti25

## – OP2 Havaintoja



Olosuhdesäilytys



Jäädytyskammio

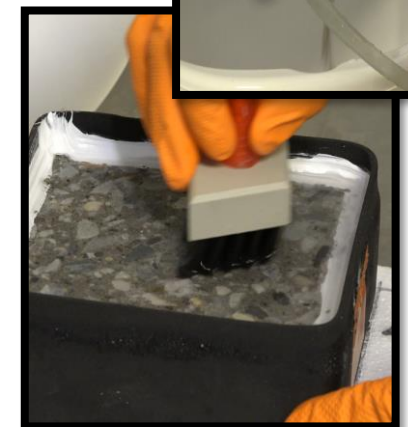
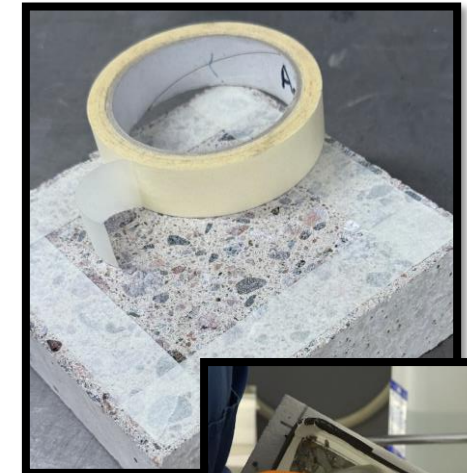
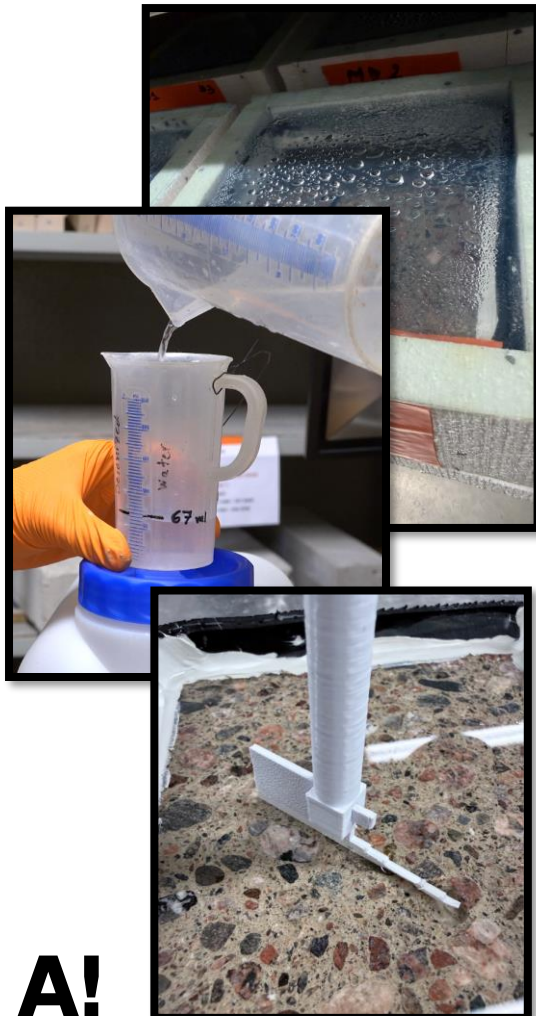
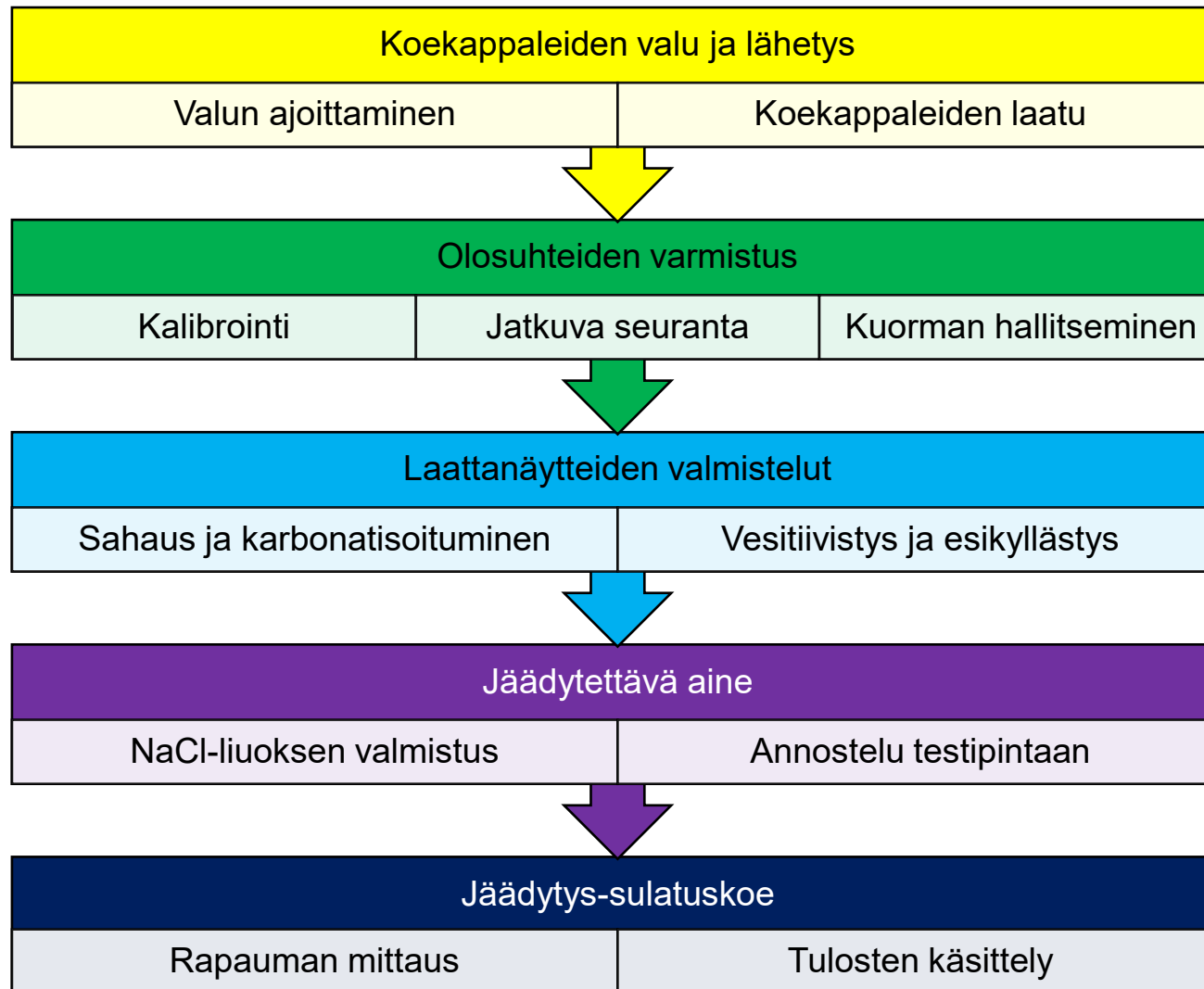


Rapauman mittaus

**A!**

# Pakkasprojekti25

## – OP2 Tarkennettu kansallinen ohjeistus



**A!**

# Pakkasprojekti25

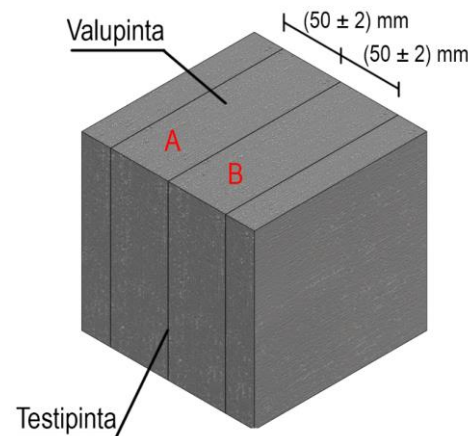
## – OP2 Tasokoe 2025

### Tavoitteet

- Tutkia tarkennetun ohjeistuksen soveltuvuutta
- Arvioida ohjeistuksen vaikutusta testin tarkkuuteen (erityisesti uusittavuus)
- Täsmentää kosteushuoneen ja jäädytyskammion olosuhteiden vaikutuksia
- Selvittää koekappaleiden kuivumista ja vedenimua testin aikana

### Järjestelyt

- Mukana 7 testilaboratoriota
- Kaksi betonia P30 & P50 valmisbetonina valettu Aallossa 21.10.2025
- Jokainen laboratorio tekee 4 testisarjaa



### Ohjeistus

- Noudatetaan CEN/TS 12390-9 ja tarkennettua ohjeistusta
- Mitataan lisäksi koekappaleiden massaa ja säilytysolosuhteita kosteushuoneessa
  - CO<sub>2</sub>-pitoisuus
  - RH
  - Lämpötila
  - Haihtumisnopeus
- ... ja kammion lämpötilakäyriä

# Pakkasprojekti25

## – OP3 Pakkasenkestävyyden laadunvarmistuksen kehittäminen

### Lähtökohdat

- Nykyinen järjestelmä pohjautuu sekä betonin koostumusvaatimukseen että testaaminen
- P-luku ja F-luku huomioivat betonin koostumuksen hyvin
- Betonin valmistajalla rajalliset keinot vaikuttaa pakkasenkestävyyteen
- Testaaminen raskasta ja palaute tulee pitkällä viiveellä → huono soveltuvuus laadunvarmistukseen

### Tavoitteet laadunvarmistukselle

- Pakkasenkestävyyden testauskäytäntöjen kehittäminen nykyistä tehokkaimmiksi
- Kustannustehokas laadunvarmistus ilman, että tingitään luotettavuudesta
  - Testaaminen paremmin kohdennettua
- Mahdollisuuksien mukaan yhdistetään talon- ja infrarakentamisen käytäntöjä

# Pakkasprojekti25

## – OP3 Mahdollisuuksia tulevaisuuden laadunvarmistukseen

Pitäisikö betonin testausta kohdistaa tarkemmin?

Koostumusvaatimuksia ja P-lukua voitaisiin hyödyntää jatkossa enemmän

Betonin valmistaja voisi kohdistaa testausta uusien arvosteluerien perustamisen tai raaka-ainemuutoksien yhteyteen

Sementtejä voitaisiin testata laattatestillä keskitetysti (korvaisi erillishyväksynnän)

Ovatko nykyiset vaatimustasot järkevällä tasolla?

Vaitimustasoja tulisi tarkistaa ja todennäköisesti päivittää

XF1: Tarvitaanko vaatimusta huokostuksen laadulle?

XF3: Huokosjaon vaatimukset varsin tiukkoja

XF2, XF4 ja Infra: Laattatestin vaatimustasot päivitettävä (+ sideainekohtaiset raja-arvot)

Voimmeko luottaa pakkaskokeisiin?

Tulisi pienentää laattatestin ja huokosanalyysin hajontaa

Suorien testien toimivuus varsinkin seostetuilla betoneilla epävarmaa

XF1 ja XF3: Ionivaihdetulla vedellä tehtävää laattatestiä ei käytetä muualla

XF2 ja XF4: Karbonatisoituneen betonin testaus laattatestissä?

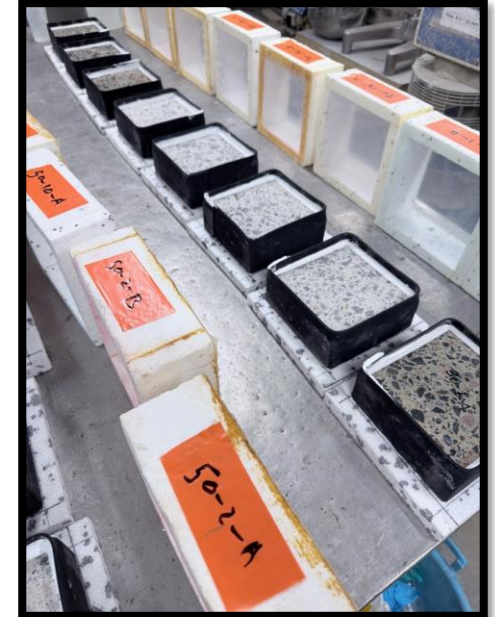
### **3. Mitä seuraavaksi?**

**A!**

# Pakkasprojekti25

## – Seuraavat askeleet kohti varsinaista pakkasprojektiä

- **Pakkasenkestävyyden toteamiseksi on olemassa käytännössä vain kaksi testimenetelmää: laattatesti ja huokosanalyysi**
  - Molempien testien hajonta on saatava ensin järkevälle tasolle
  - Laattatestin tarkennetun ohjeistuksen julkaisu ja käyttöönotto
  - By72:n päivittäminen pintahien huokosanalyysin osalta
- **Vaurioitumismekanismien ymmärtäminen ja niiden hyödyntäminen pakkasenkestävyyden arvioimisessa**
  - Karbonatisoitumisen vaikutukset on selvitettävä varsinkin masuunikuonabetoneille
  - Rapaumatulosten merkitys rakenteen todelliseen käyttöikään





---

# Kiitos **aalto.fi**

**Teemu Ojala, Postdoctoral Researcher**  
Rakennustekniikan laitos, Aalto-yliopisto  
Rakentajanaukio 4, 02150, Espoo  
[teemu.ojala@aalto.fi](mailto:teemu.ojala@aalto.fi)