

Pakkasprojekti25

Webinaari 9.3.2026

09:00

Pakkasprojekti25:n esittely ja tavoitteet.
OP1: Olemassa olevien rakenteiden
pakkasenkestävyys

9:30

OP2: Laattatestin hajonnan pienentäminen

10:30

OP3: Pakkasenkestävyyden
laadunvarmistuksen kehittäminen

11:00

Jatkotoimenpiteet, yleisön kysymykset ja
keskustelu



Pakkasprojekti25

Webinaari 9.3.2026

Projektin esittely ja tavoitteet

OP1: Olemassa olevien
rakenteiden
pakkasenkestävyys

Prof. Jouni Punkki
Aalto-yliopisto



Pakkasprojekti25

Projektin esittely ja tavoitteet

Pakkasprojekti25

Lähtökohtia

- **Betonin pakkasenkestävyyden kanssa ei viime aikoina ole ollut varsinaisia ongelmia**
- **Haasteita testaamisen kanssa**
 - Testitulosten hajonta
 - Testien pitkä kesto aika
 - Epävarmuutta vaatimustasojen oikeellisuudesta
- **Säilyvyys (mm. pakkasenkestävyys) on erittäin tärkeä asia, mutta mahdollinen ylimitoitus aiheuttaa turhia kustannuksia ja CO₂-päästöjä**

A!

Pakkasprojekti25

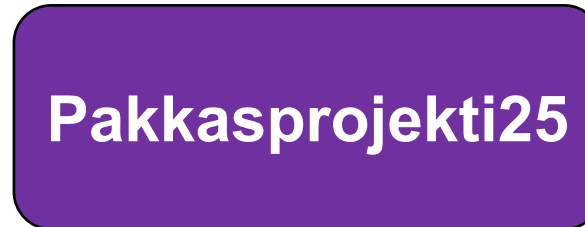
Kokonaisuus

2023 – 2024



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

2025



Osaprojekti 1

Olemassa olevien rakenteiden testaus

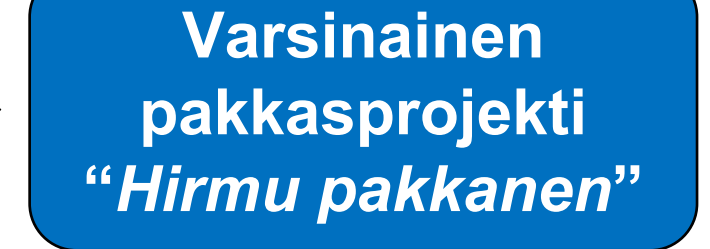
Osaprojekti 2

Laattatestin hajonnan pienentäminen

Osaprojekti 3

Pakkasenkestävyyden laadunvarmistuksen kehittäminen

Varsinaisen pakkasprojektiin sisältö muuttunut olennaisesti Pakkasprojekti25:n myötä



- Kattava koeohjelma
- Vaatimustasojen tarkistus ja mahdollinen päivittäminen

A!

Pakkasprojekti25

Osaprojektien lähtökohdat ja tavoitteet

OP1 Olemassa olevien rakenteiden testaus (esivaihe)	OP2 Laattatestin hajonnan pienentäminen	OP3 Pakkasenkestävyyden laadunvarmistuksen kehittäminen
• Arvioidaan rakenteiden rapaumaa laattakokeessa (huomioiden karbonatisoitumisen vaikutus) ➤ Kannattaako olemassa olevia rakenteita tutkia jatkossa enemmän ➤ Projektin perusteella ei kuitenkaan voida arvioida nykyisten vaatimustasojen oikeellisuutta	• Laattatestin hajonta on niin suuri, että sen soveltuvuus pakkasenkestävyyden laadunvarmistukseen kyseenalaista • Hajontaa erityisesti testausyksiköiden välillä ➤ Laattatestin testauskäytännön kartoitetaan ja yhtenäistetään niin, että hajonta saadaan kohtuulliselle tasolle ➤ Tehdään kansallinen ohjeistus	• Nykyinen järjestelmä pohjautuu sekä betonin koostumusvaatimuksiin että testaaminen • Nykyiset testimenetelmät eivät sovellu kovinkaan hyvin nykyisenkaltaiseen laadunvarmistukseen ➤ Pakkasenkestävyyden testauskäytäntöjen kehittäminen nykyistä tehokkaimmiksi

Pakkasprojekti25

Projektin rahoittajat

- Väylävirasto
- Betoniyhdistys ry
- Betoniteollisuus ry
- Finnsementti Oy
- Schwenk Suomi Oy
- XAMK, KymiLabs Oy
- Betonialan Ohuthiekeskus FCM Oy
- Mitta Group Oy
- Suomen GPS-Mittaus Oy
- Eurofins Contesta Oy

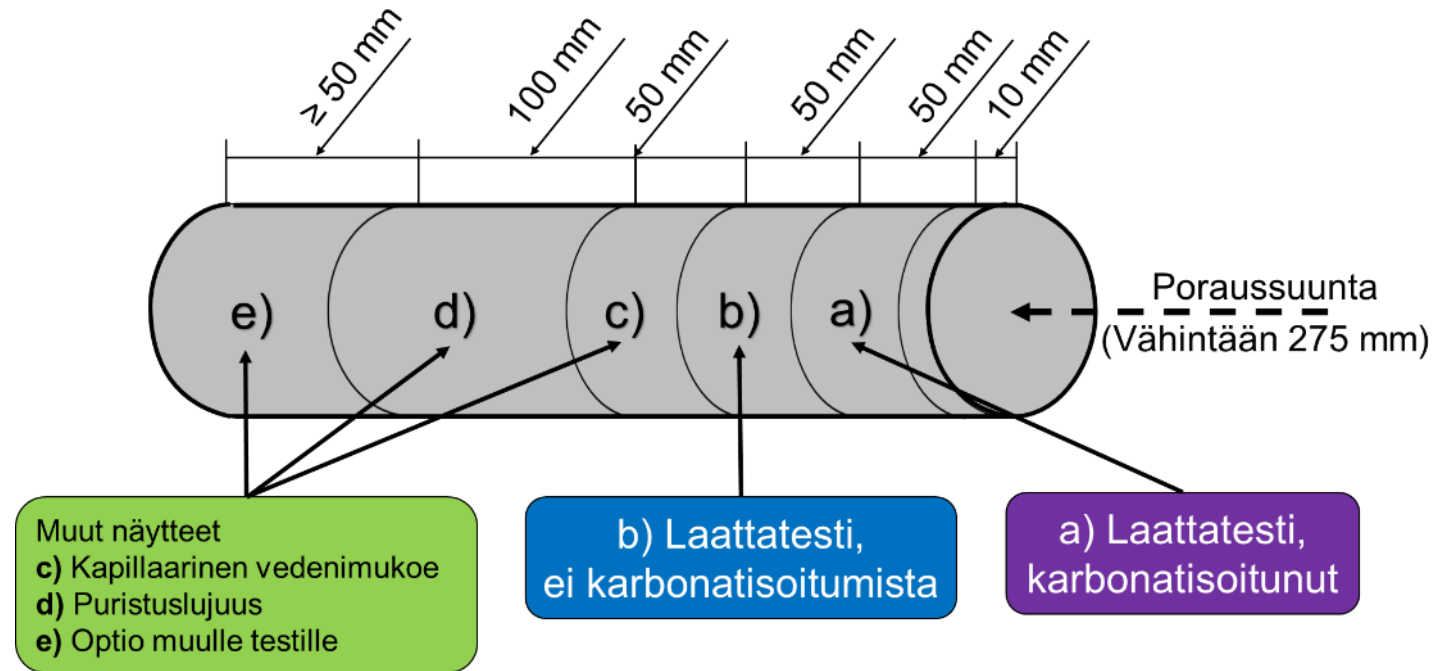
OP1 – Olemassa olevien rakenteiden testaus

A!

Pakkasprojekti25

– OP1 Tiivistelmä

- Selvitettiin, kuinka paljon todelliset infrarakenteet rapautuvat laattakokeessa
- Porattiin näytteet viidestä eri rakenteesta (yhteensä kolme siltaa)
- Yhden laattatestin tulos perustuu 6 näytteeseen
 - Poraliერიön halkaisija ~ 100 mm

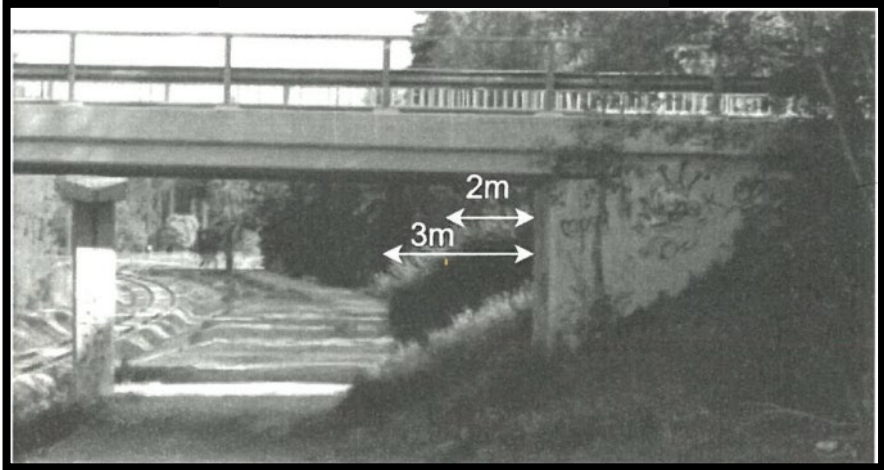


A!

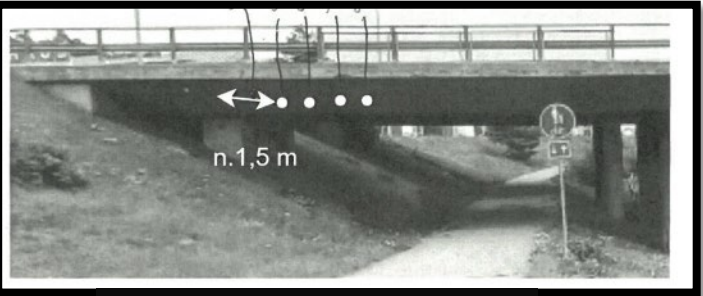
Pakkasprojekti25

– OP1 Rakenteet

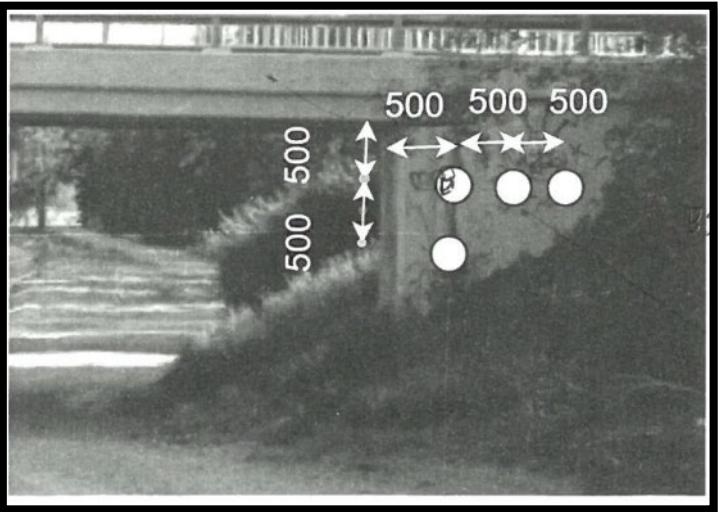
Rakenne B
(1960)



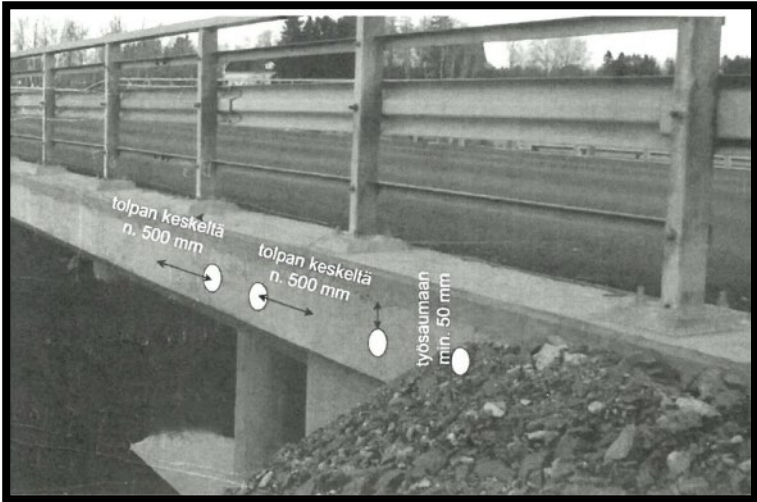
Rakenne C
(2001)



Rakenne A
(1991)



Rakenne BS
(1960)



Rakenne CR
(2001+2018)

A!

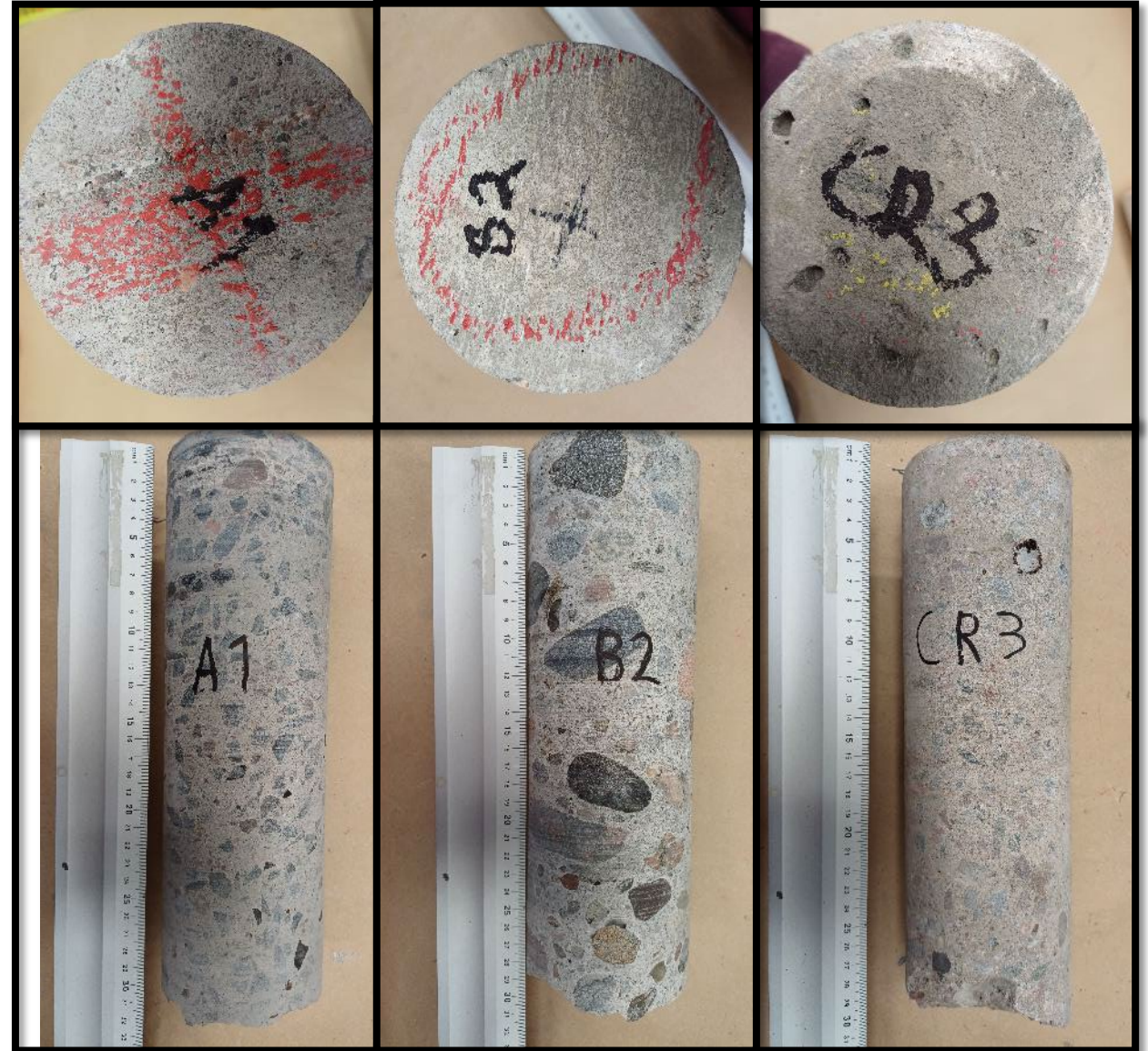
Pakkasprojekti25

– OP1 Kuvia näytteistä

Porakoe-kappaleita porattiin rakenteista yhteensä 41 kpl

- Jonkin verran haasteita terästen kanssa (rakenne CR)
- Tiheydet, puristuslujuudet ja rapaumat perustuvat aina 6 poralieriön tuloksiin
- Kapillaarisen vedenimun laskemiseen käytettiin 3 kpl poralieriöitä (2 näytettä / poralieriö)

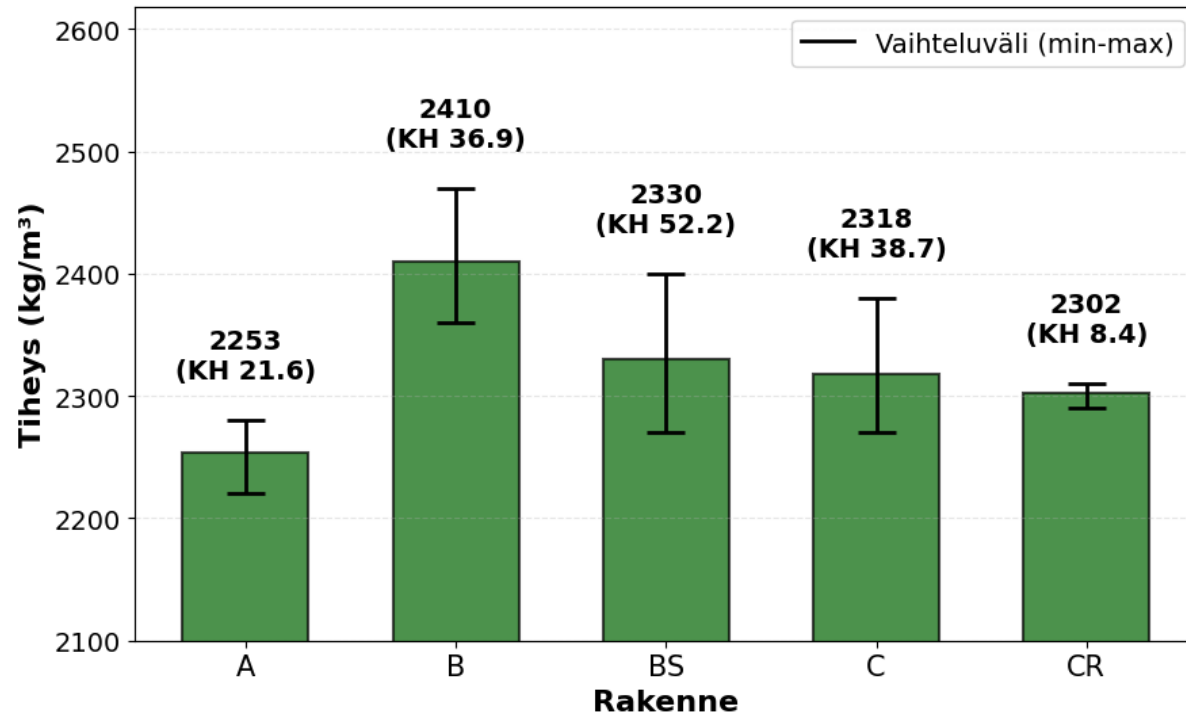
A!



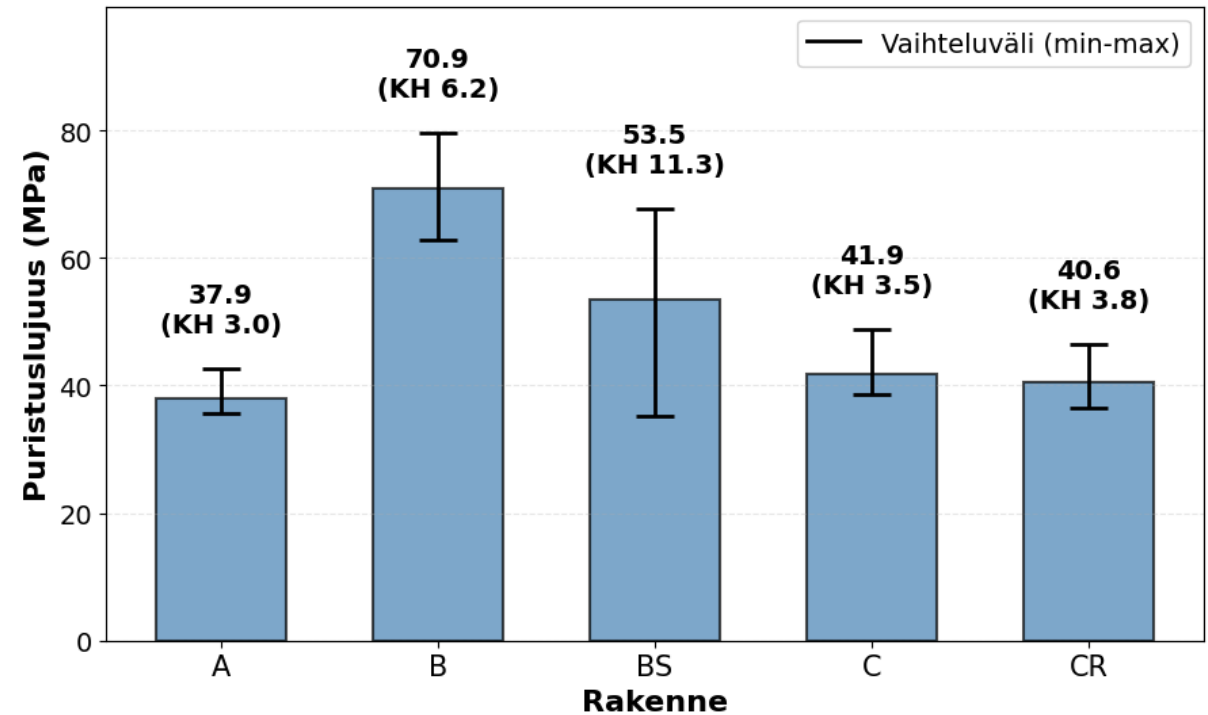
Pakkasprojekti25

– OP1 Poralieriöiden tiheydet ja lujuudet

Poralieriöiden tiheys rakenteittain

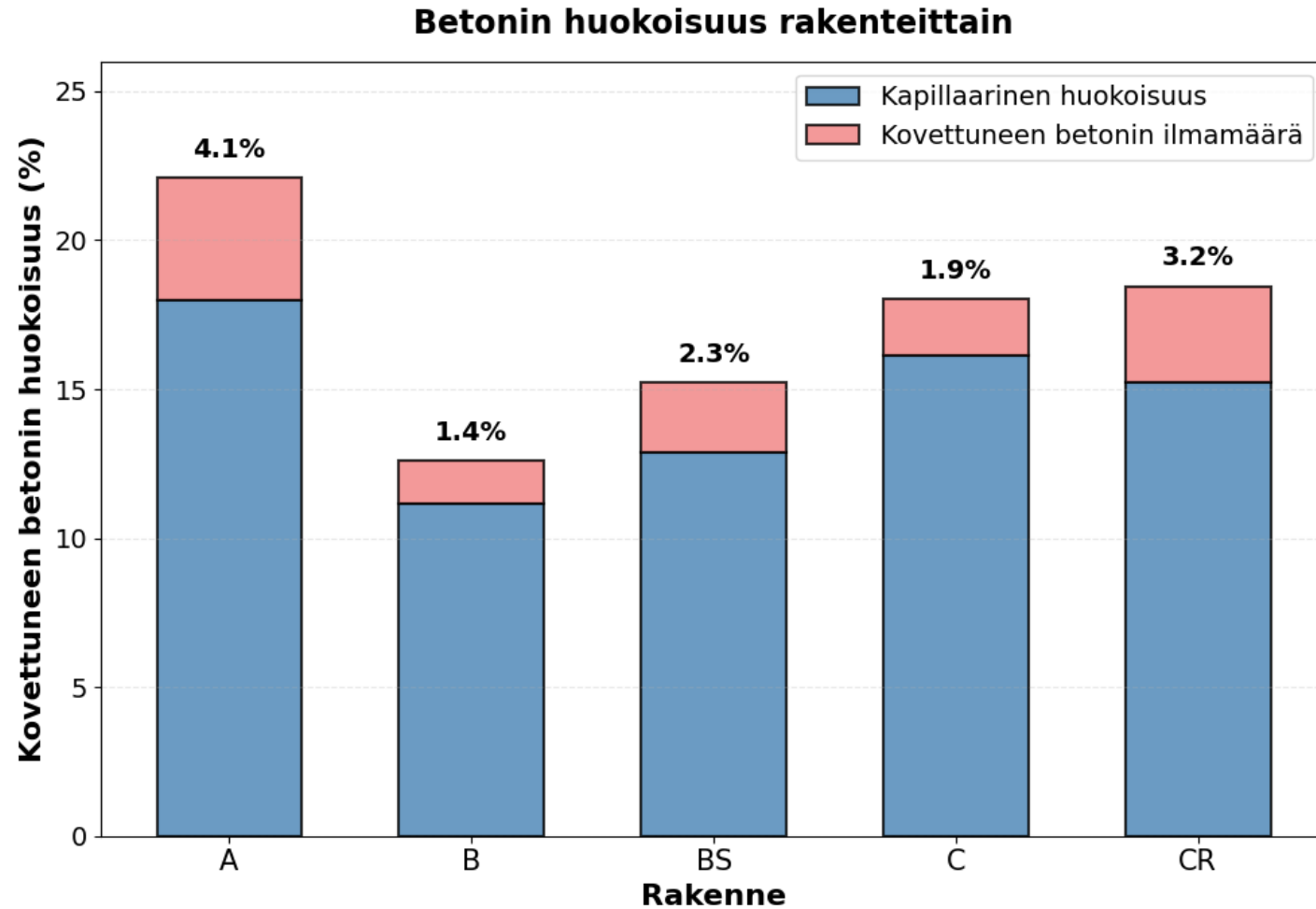


Poralieriöiden puristuslujuus rakenteittain



Pakkasprojekti25

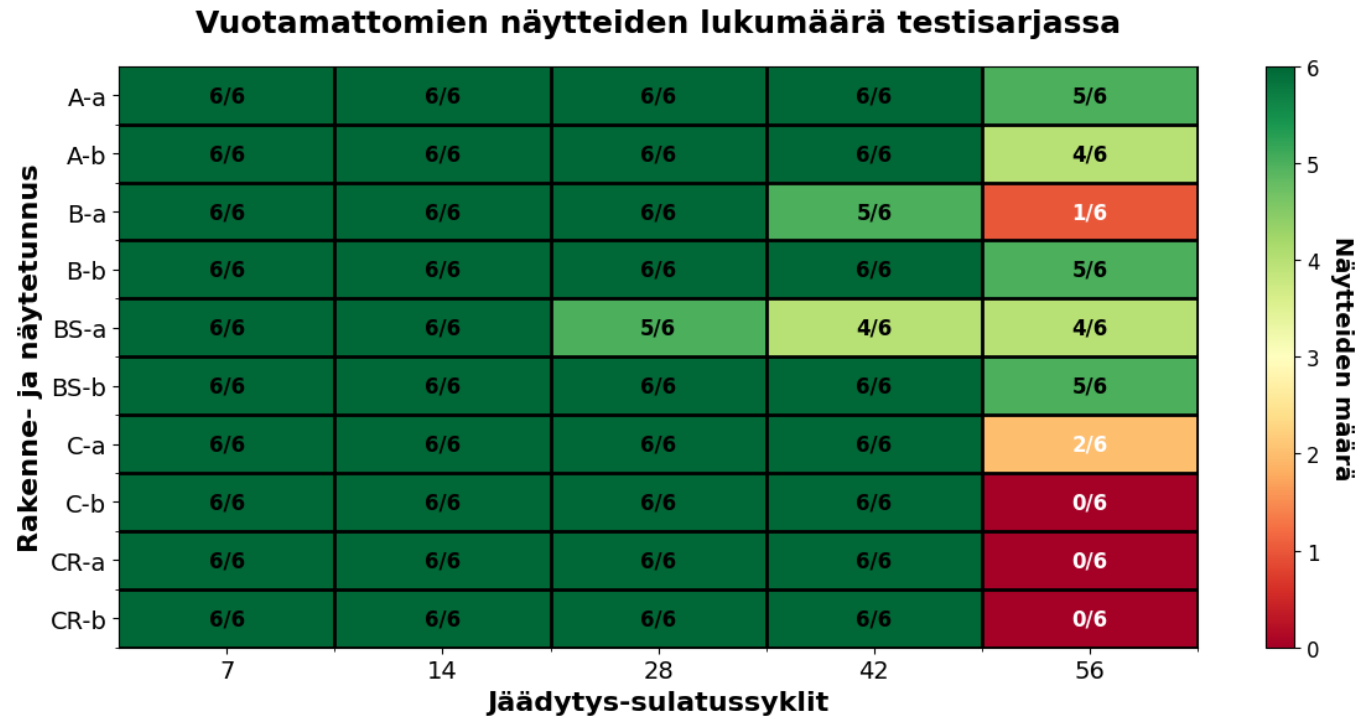
– OP1 Poralieriöiden huokoisuudet



A!

Pakkasprojekti25

– OP1 Koekappaleiden vuoto laattatestissä



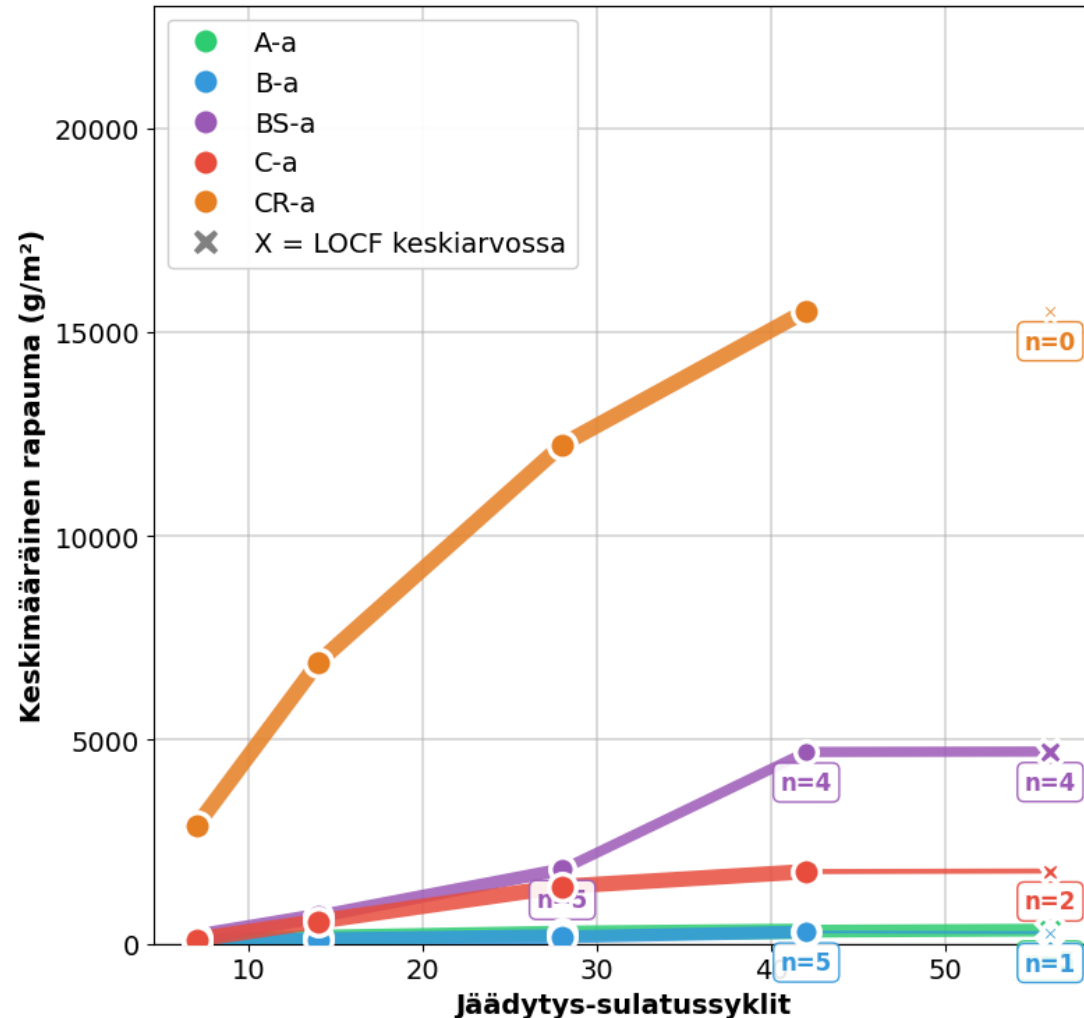
A!

Analyyseissä käytetään viimeisintä hyväksyttävää tulosta

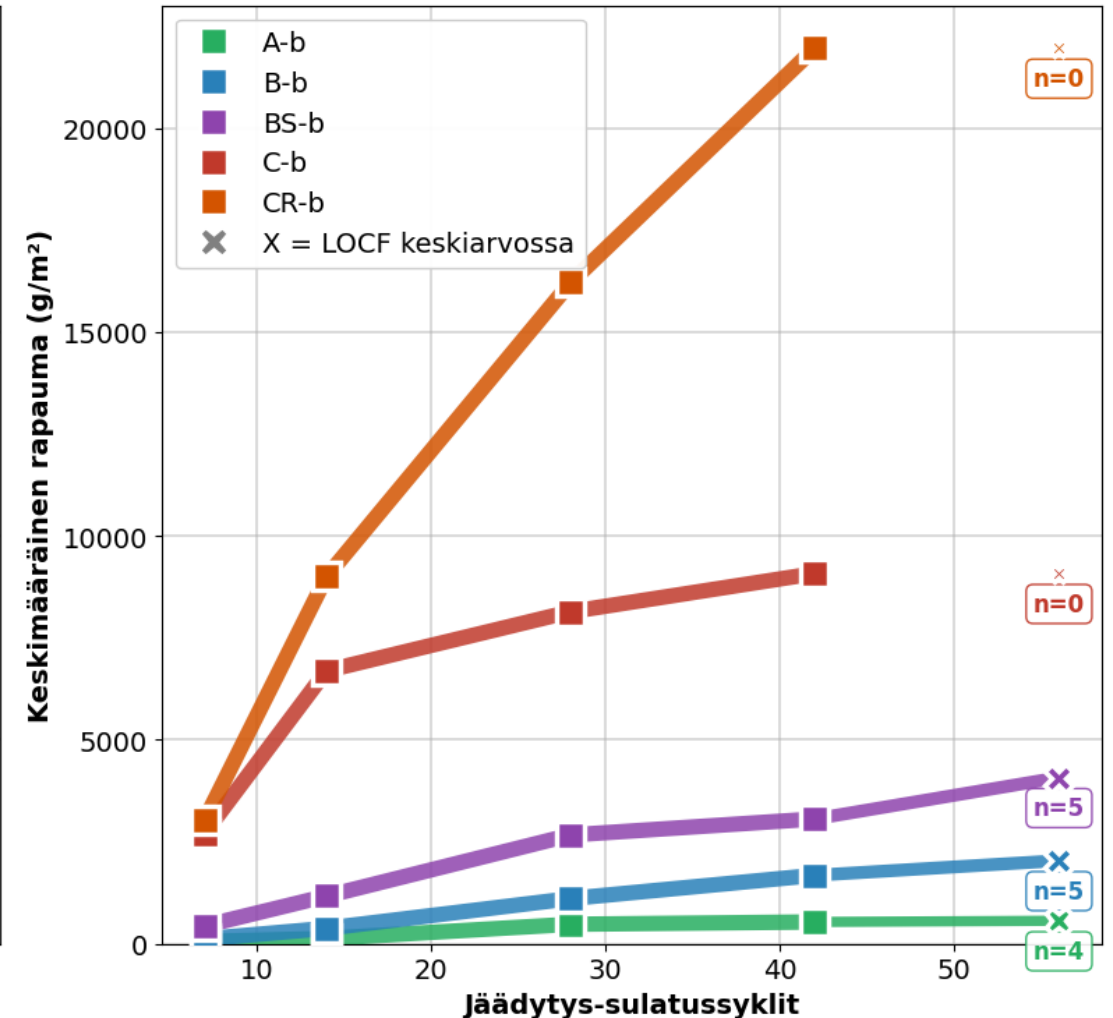
Pakkasprojekti25

– OP1 Karbonatisoitumisen vaikutus

Rapauman kehitys - Karbonatisoituneet a)-näytteet



Rapauman kehitys - Karbonatisoitumattomat b)-näytteet

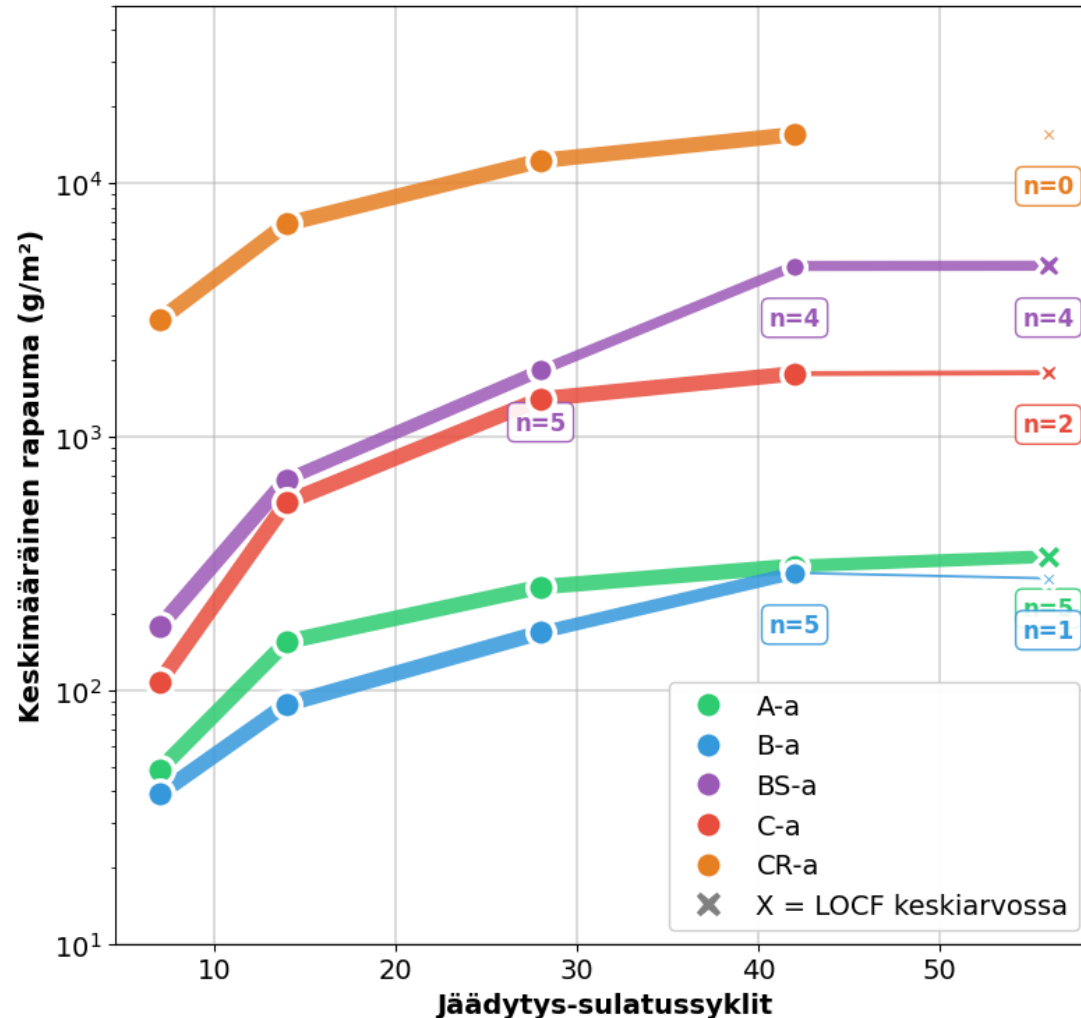


A!

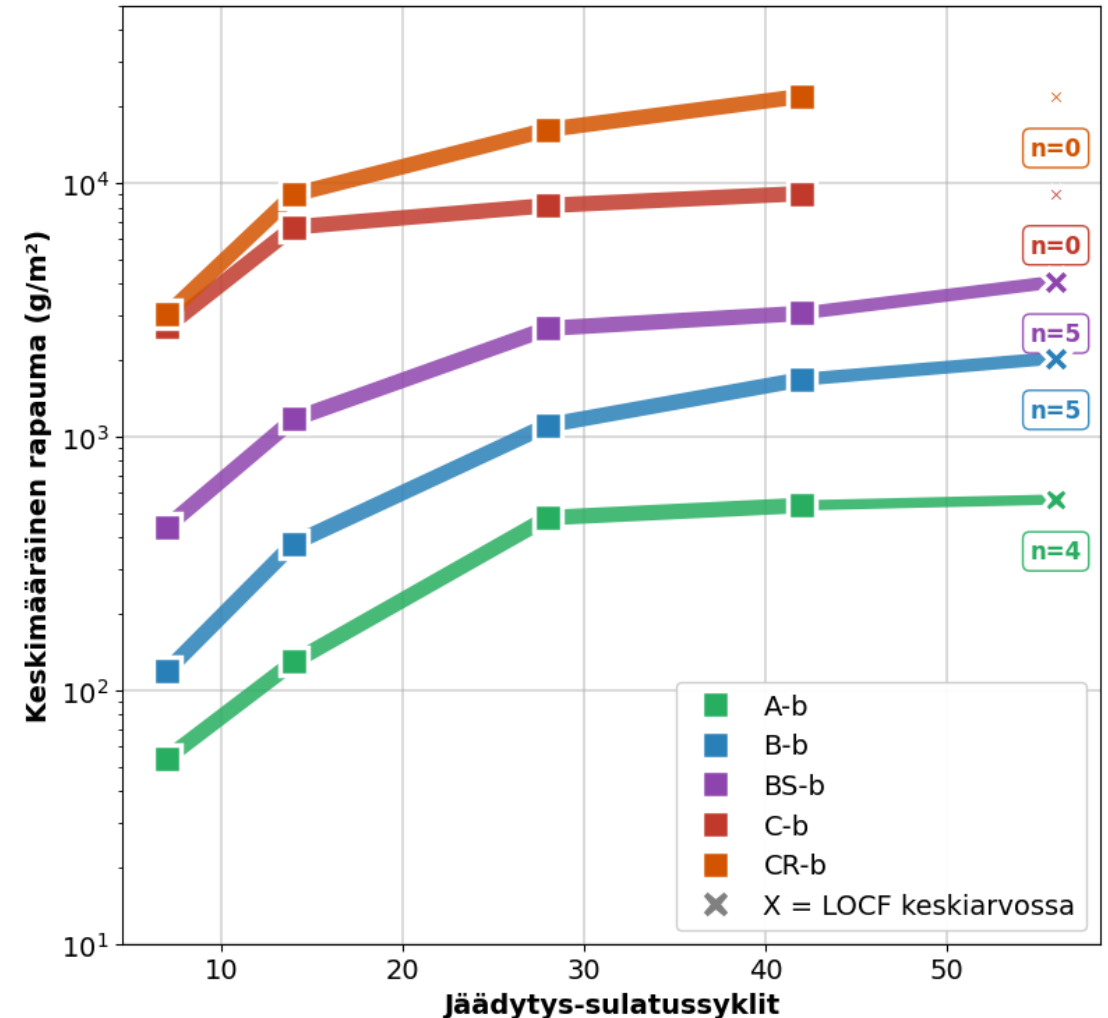
Pakkasprojekti25

– OP1 Karbonatisoitumisen vaikutus

Rapauman kehitys - Karbonatisoituneet a)-näytteet



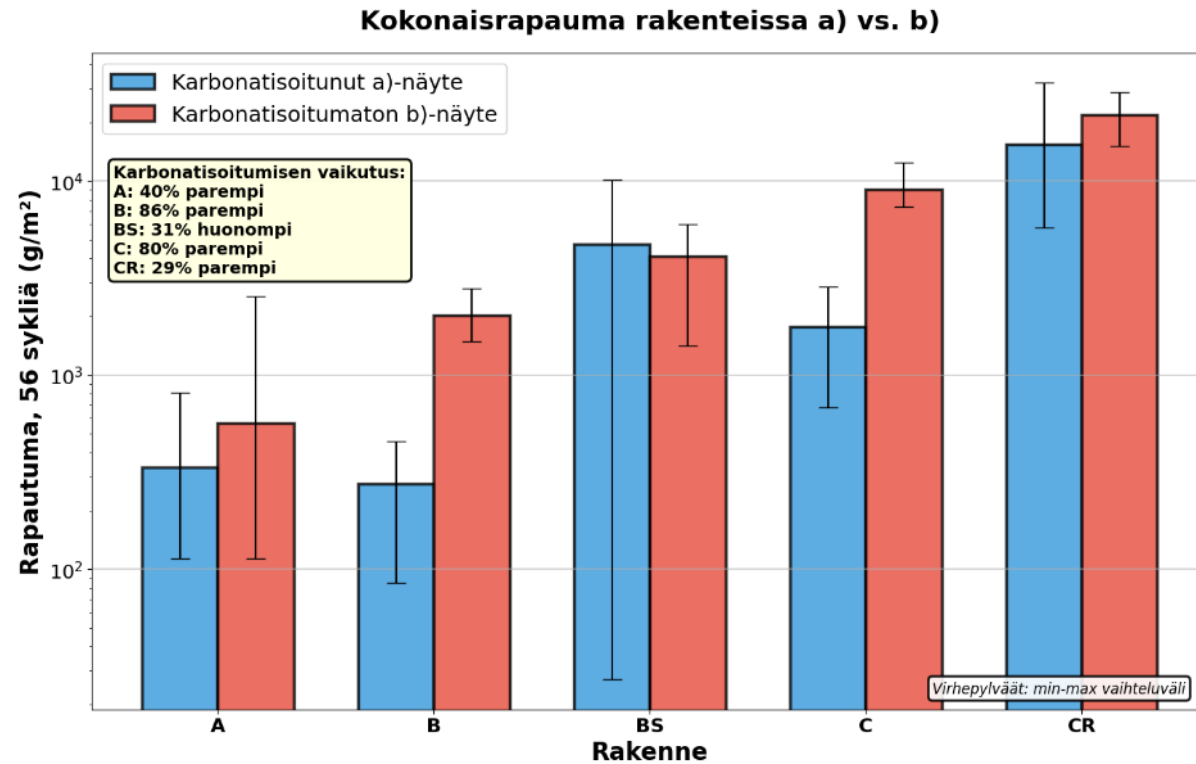
Rapauman kehitys - Karbonatisoitumattomat b)-näytteet



A!

Pakkasprojekti25

– OP1 Kokonaisrapauma



A!

Pakkasprojekti25

– OP1 Rakenteiden luokittelu tulosten perusteella

	Paras				Huonoin		
Puristuslujuus	B	BS	C	CR	A	Indikoivat v/s-suhdetta	
Kap.huokoisuus	B	BS	CR	C	A		
Res.(m)-arvo	A	B	BS	CR	C		
Tiheys	A	CR	C	BS	B	Indikoivat ilmamäärää	
Ilmamäärä (kap.testi)	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

– OP1 Yhteenvedo (1/2)

Kuinka hyvin laattatesti kertoo rakenteen todellisesta pakkasenkestävyydestä?

- Kokeissa saatiin hieman ristiriitaisia tuloksia
 - Huonokuntoinen (korjattu) CR antoi suurimmat rapaumat
 - Visuaalisesti samantasoiset rakenteet antoivat erilaisia tuloksia (esim. A, B vs. C)
 - Joko alhainen v/s-suhde (B) tai korkea ilmamäärä (A) antoi alhaisimmat rapaumat
- Vain rakenteet BS ja CR ovat olleet alttiina kloridirasitukselle
- Betonin koostumus / rapaumataso valmistuksen jälkeen ei ole tiedossa

Pakkasprojekti25

– OP1 Yhteenvedo (2/2)

Onko karbonatisoitumisen vaikutus vastaava todellisissa rakenteissa verrattuna laattakokeeseen (28 vrk ikäisenä)?

- Tutkitut rakenteet olivat karbonatisoituneet yllättävän vähän
- Pintaosassa a)-näyte yleensä pienempi rapauma kuin sisäosassa b)-näyte
- Tutkitut betonit tehty vähän seostetuilla sementeillä, siten karbonatisoitumisen vaikutus pienempi kuin seossementeillä
- Korostuuko karbonatisoitumisen vaikutus liikaa kun testataan nuorta betonia. Vaikuttaako testiolosuhteet (65 %RH) vaikutukseen?

A!

Pakkasprojekti25

Webinaari 9.3.2026

OP2: Laattatestin hajonnan vähentäminen

Postdoc-tutkija Teemu Ojala
Aalto-yliopisto



Sisältöä

1

Yleistä
osaprojektiin
liittyen

2

Aikaisempi
tasokoe 2024

3

Ohje betonin
laattatestin
suorittamiseen

4

Uuden
tasokokeen 2025
järjestelyt ja
tulokset

1. Yleistä osaprojektiin liittyen

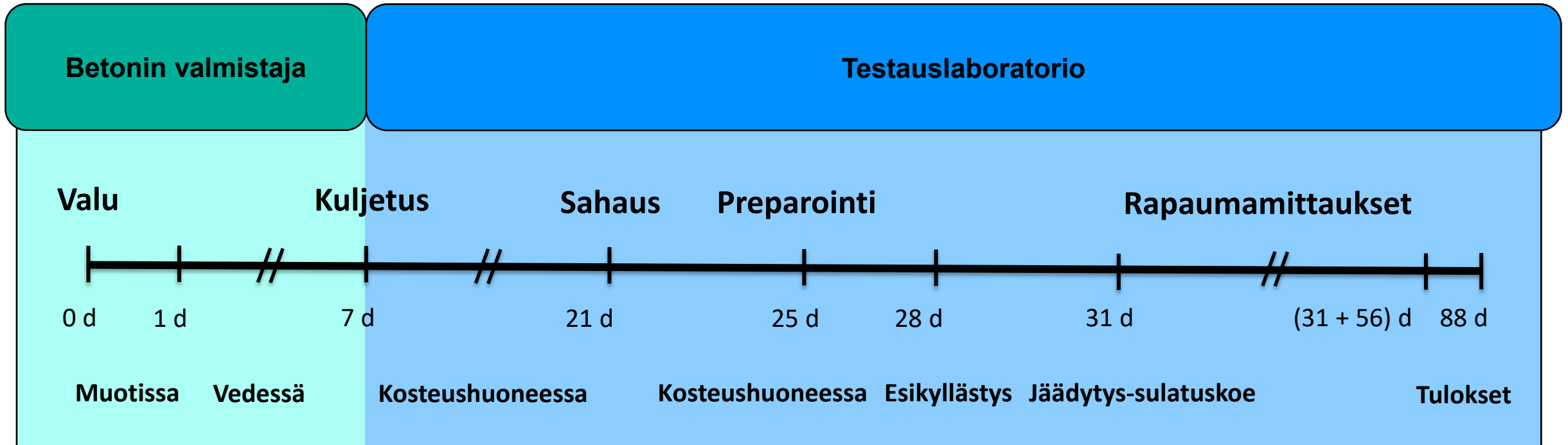
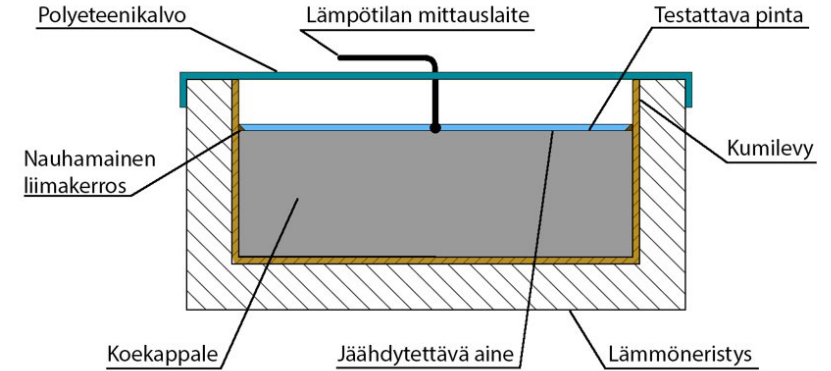
A!



Pakkasprojekti25

– OP2 Yleistä laattatestistä

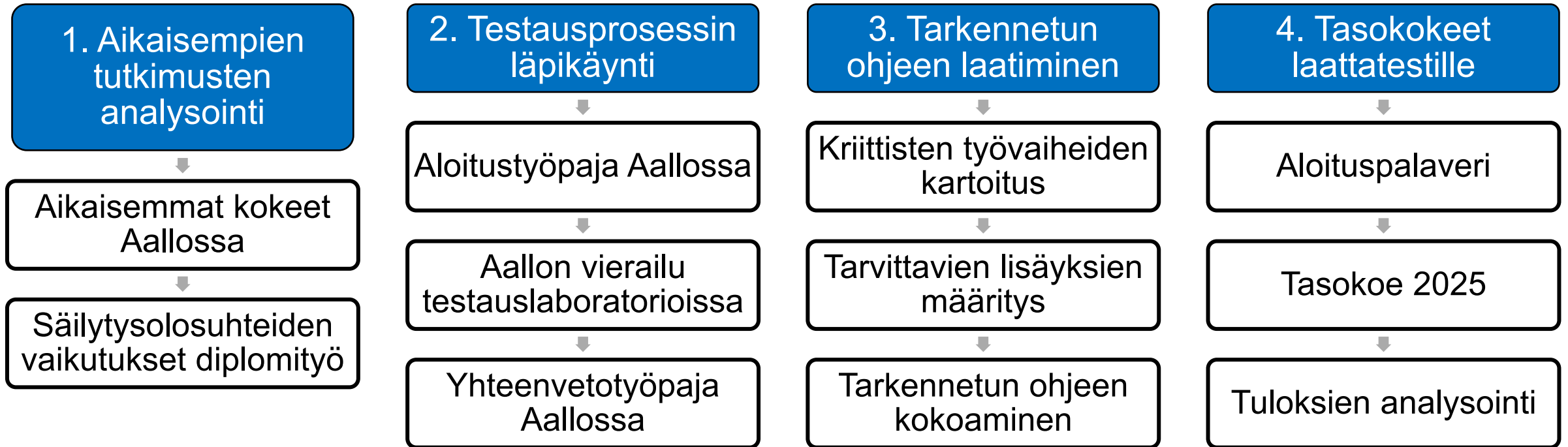
- Laattatestissä mitataan betonin pintarapautumista
- Kokeelle ei ole massa Eurooppalaista standardia vaan noudatetaan teknistä spesifikaatiota (CEN/TS 12390-9)



A!

Pakkasprojekti25

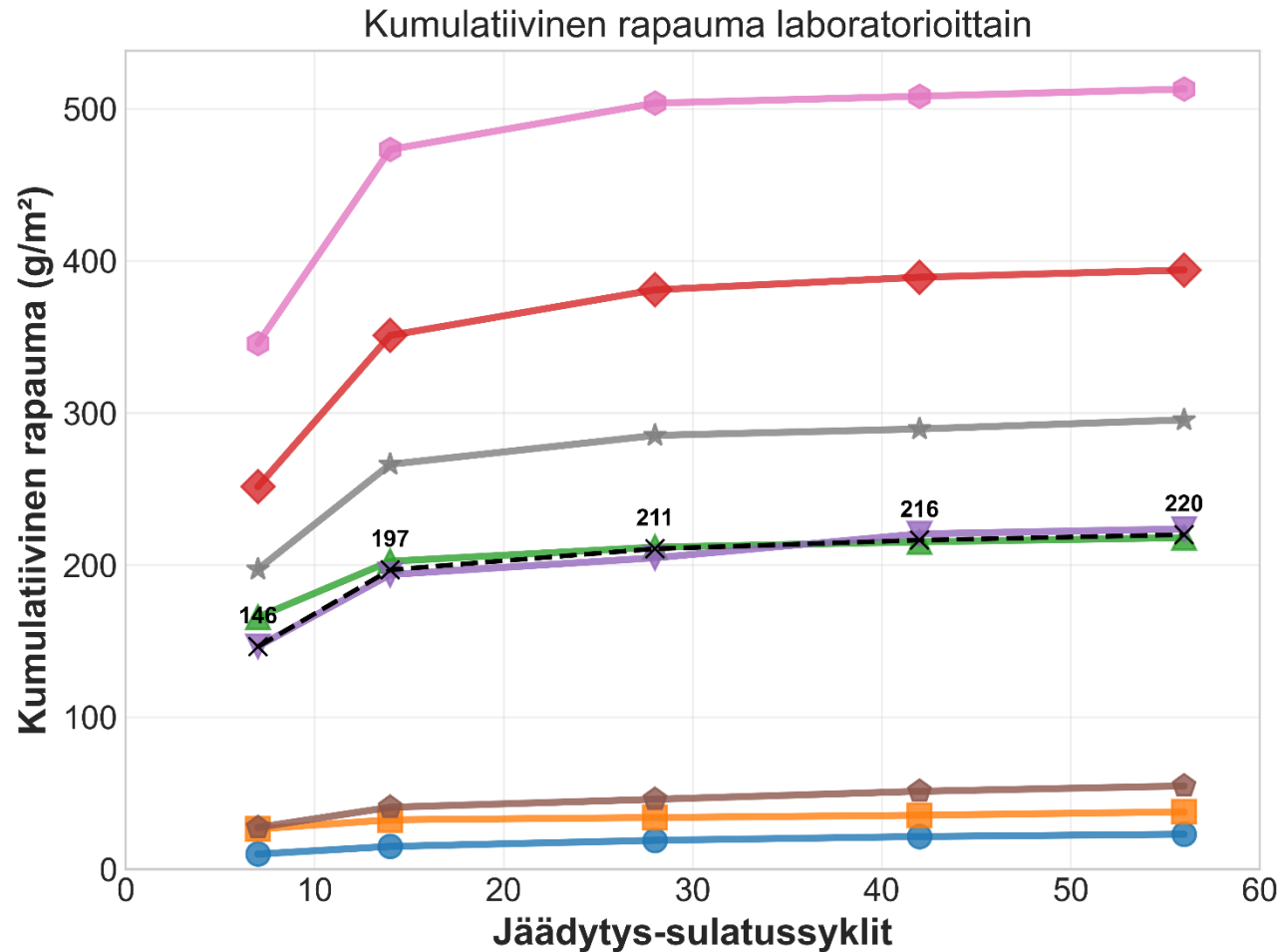
– OP2 Miten toimittiin?



2. Aikaisempi tasokoe 2024

Pakkasprojekti25

– OP2 Aikaisempi tasokoe 2024 – Rapauman kehitys



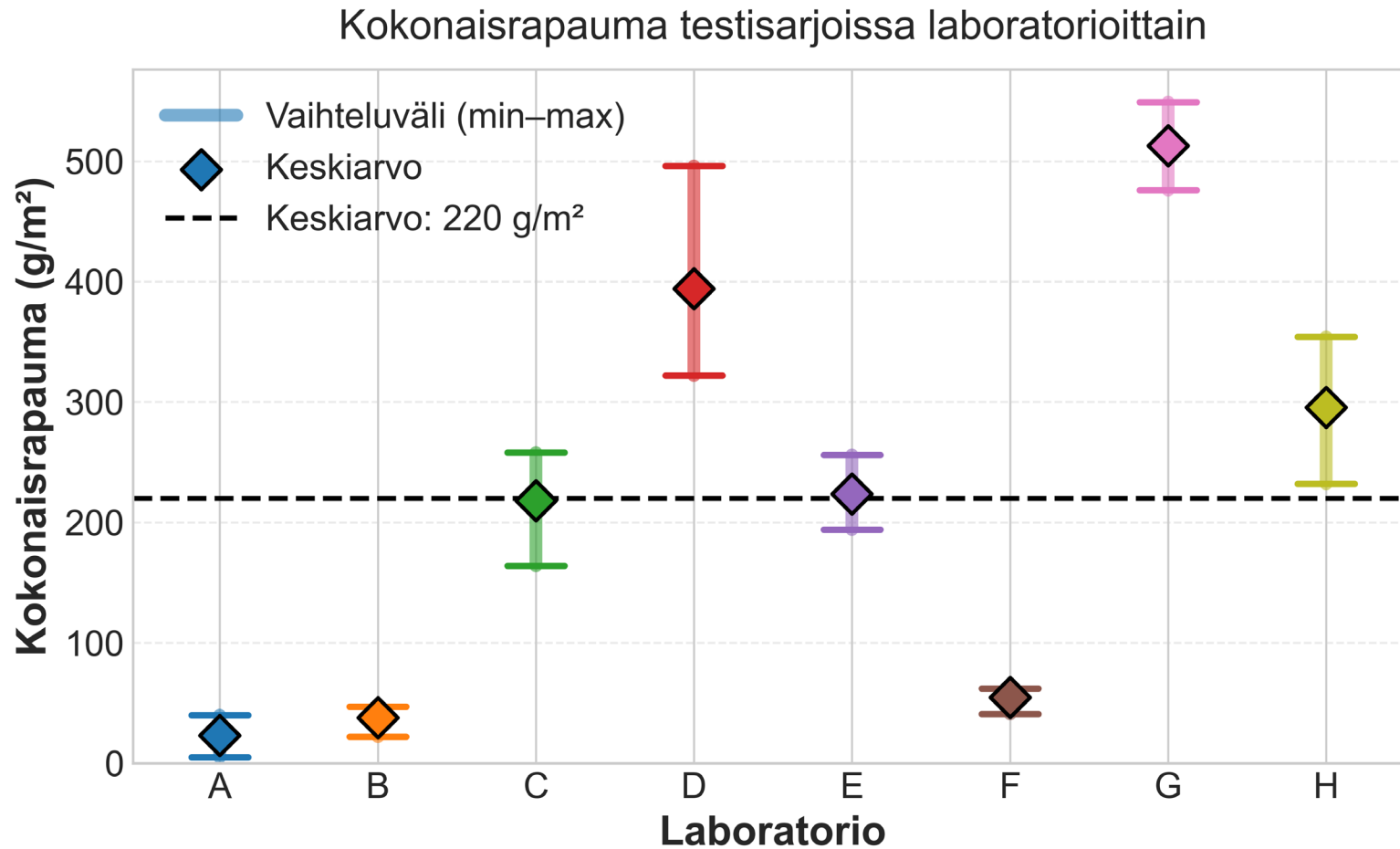
- Lab A
- Lab B
- Lab C
- Lab D
- Lab E
- Lab F
- Lab G
- Lab H
- Kokonaiskeskiarvo

- **Lujuus C30/37**
- **CEM I 52,5 N & CEM II/B-M (S-LL) 52,5 N**
- **Raekoko #18 mm, notkeus S3**
- **Ilmamäärä 4,6 %**
- **Toteutunut P-luku 38**

- **Keskimääräinen kokonaisrapauma 220 g/m²**
- **Kolmella laboratoriollla selkeästi alempi tulos**
- **Suurin osa rapaumasta ensimmäisen kahden viikon aikana**

Pakkasprojekti25

– OP2 Aikaisempi tasokoe 2024 – Testisarjojen hajonta



- **Vaihtelua suurella välillä 23...513 g/m²**
- **Toistettavuus oli 39 g/m²**
- **Uusittavuus oli 181 g/m² eli lähes yhtä suuri kuin keskiarvoinen rapauma tasokokeessa**

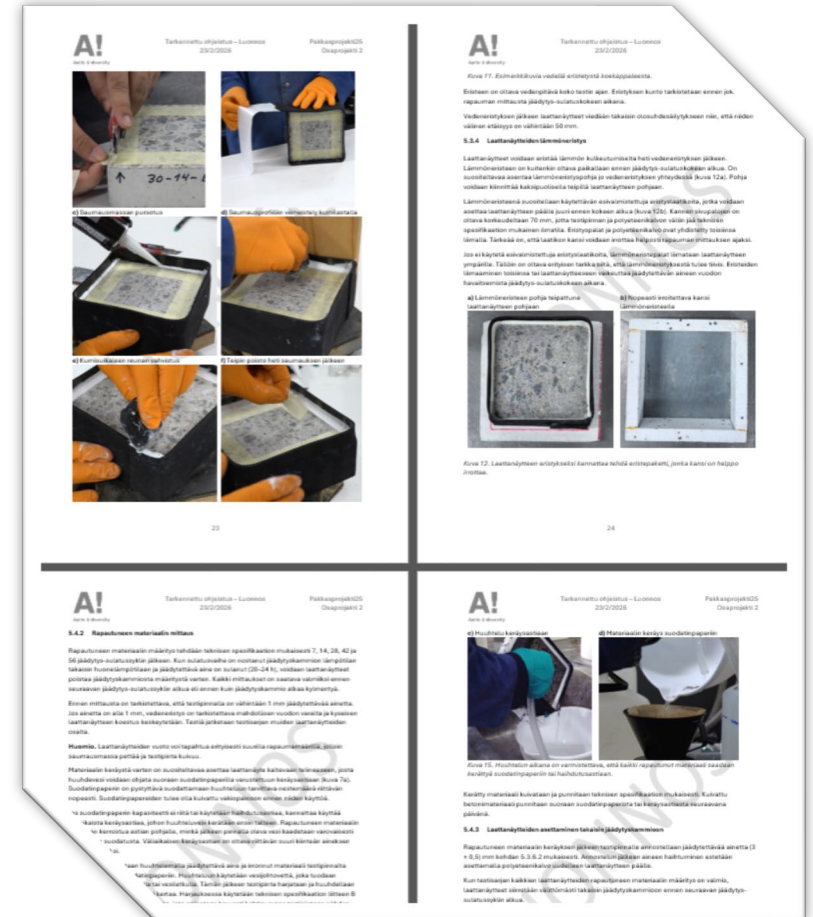
3. Ohje betonin laattatestin suorittamiseen

A!

Pakkasprojekti25

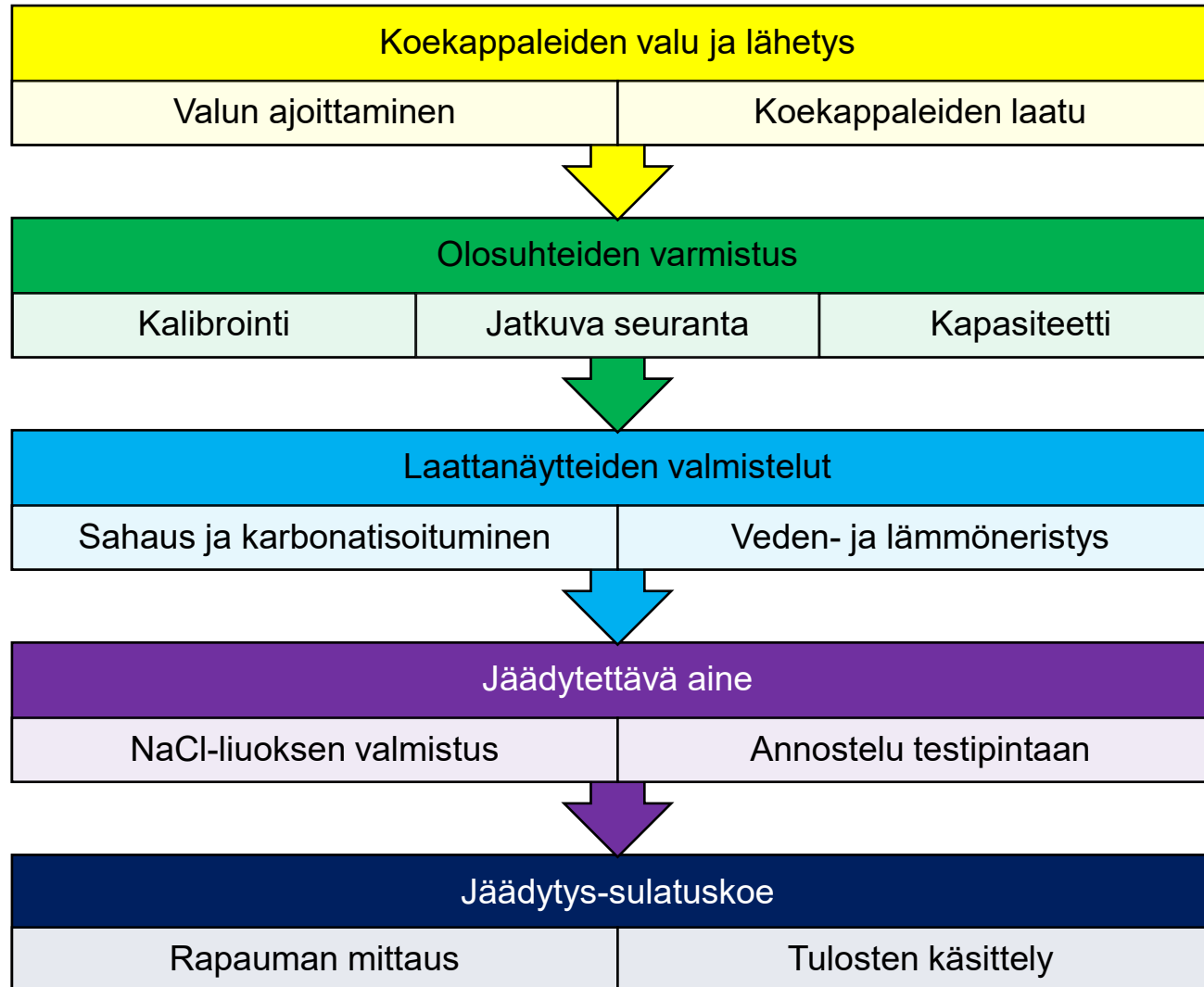
– OP2 Yleistä ohjeesta

- Tehty testauslaboratorioiden kanssa tiiviissä yhteistyössä
- Noin 30-sivuinen dokumentti joka noudattaa teknisen spesifikaation (CEN/TS 12390-9:2016) numerointia
 - Julkaistaan pian suomeksi ja sen jälkeen englanniksi
- Ohje **EI KORVAA** teknistä spesifikaatiota, vaan molempia dokumentteja tulee käyttää rinnakkain
- Pyyrkii poistamaan laboratorioiden välisiä eroavaisuuksia ja yhtenäistämään testausta
 - Lisävaatimuksia erityisesti olosuhteiden seurantaan, mutta myös suosituksia käytettäviin välineisiin ja menettelytapoihin
- Sisältää runsaasti esimerkkikuvia kriittisiin työvaiheisiin



Pakkasprojekti25

– OP2 Ohjeessa tarkennettua sisältöä



A!

Pakkasprojekti25

– OP2 Koekappaleiden erottuminen

Hyvin tiivistetty koekappale



Huonosti tiivistetty koekappale



A!

Pakkasprojekti25

– OP2 Koekappaleiden väärä tiivistystapa

Osa-aineet jakautuneet epätasaisesti



Epätasainen rapautuminen



A!

Pakkasprojekti25

– OP2 Lisämateriaalia ohjeeseen

Laattatestin aikataulutus –websovellus

Laattatestin aikataulutus

Versio 1.2 © Teemu Ojala 2025

Tekninen spesifikaatio CEN 12390-9:2016 - Pintarapautuminen

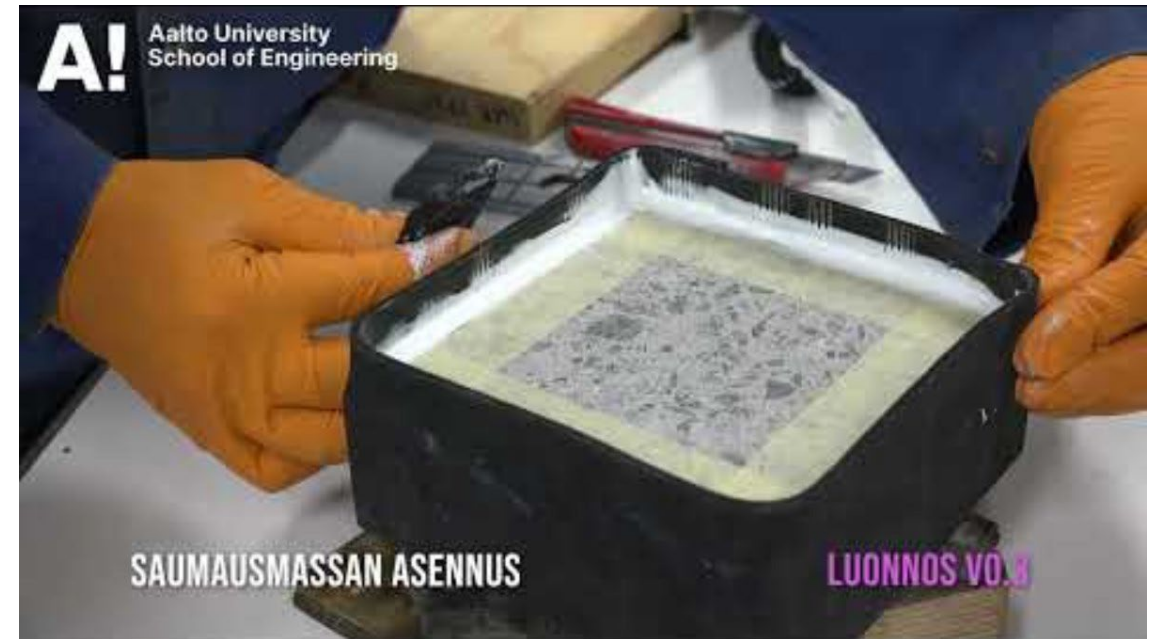
Toleranssit ja kriittiset ajat:

- **Valupäivä:** Vain ma-pe, ei pyhäpäiviä (perjantai-valut vaativat viikonlopputyötä)<
- **Lähetys/vastaanotto:** Suositeltavasti 14-19 päivää valusta (ei pyhät/viikonloput)
- **Sahaus:** 21 ± 1 päivää valusta (kriittinen, viivästettävissä jos osuu pyhille tai viikonlopuille)
- **Olosuhdesäilytys:** Aloitetaan aina 7 päivää toteutuneesta sahauspäivämäärästä
- **Preparointi:** 25 ± 1 päivää valusta tai 4 ± 1 päivää olosuhdesäilytyksen aloittamisesta, mikäli sahaus myöhästynyt
- **Esikyllästys:** Vähintään 28 päivää valusta tai 7 päivää olosuhdesäilytyksen aloittamisesta (myöhempi näistä)
- **Jäädytys-sulatustesti:** Aina kolme päivää esikyllästyksen aloittamisen jälkeen (56 sykliä)
- **Rapauman mittaukset:** 7, 14, 28, 42 ja 56 päivää testin aloituksesta (± 1 päivä jos osuu viikonloppuun tai pyhään)
- **Tulosten valmistuminen:** Ensimmäinen työpäivä testin jälkeen
- **Huom:** Viikonloppuisin ja pyhisin toimintoja ei suoriteta

Valitse valupäivämäärä:

Valupäivä:

Video laattatestin suorituksesta



<https://youtu.be/kssKydMrsZ0>

4. Uuden tasokokeen 2025 järjestelyt ja tulokset

Pakkasprojekti25

– OP2 Tasokoe 2025 tavoitteet ja ohjeistus

- Noudatetaan TS, tarkennettua ohjetta ja tasokokeen lisäohjeistusta
- Tasokokeessa pyrittiin:
 - 1) Arvioimaan uuden ohjeen vaikutusta tarkkuuteen (erityisesti uusittavuus)
 - 2) Tutkia tarkennetun ohjeen soveltuvuutta
 - 3) Täsmentää sääolosuhteiden vaikutusta tuloksiin



Kosteushuoneen koko



Sääolosuhteet
kosteushuoneessa



Haihtumisnopeus
kosteushuoneessa



Lämpötila
jäädytyskammiassa



Välineiden käyttö

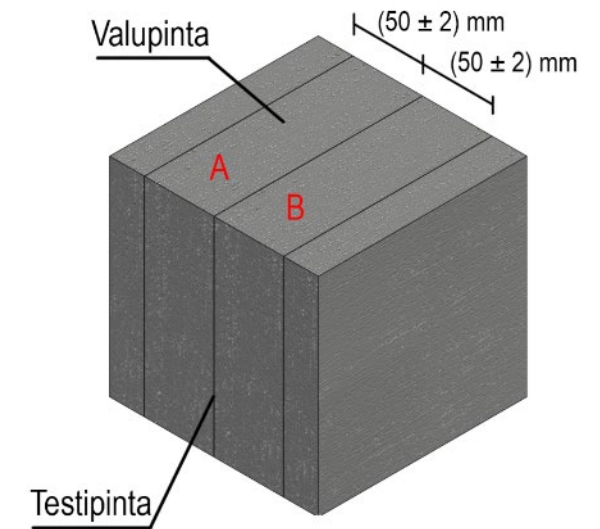
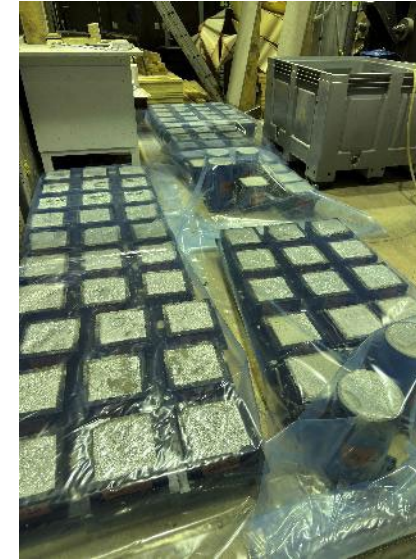


Kosteuden siirtyminen
kokeen aikana

Pakkasprojekti25

– OP2 Tasokoe 2025 järjestelyt

- **Kaksi betonia C30/37 P30 & C35/45 P50 valmisbetonina valettu Aallossa 21.10.2025**
 - Oiva-sementti, #16 mm, S3
- **Mukana 7 testauslaboratoriota (yksi Ruotsista)**
- **Testataan jokaisesta koekappaleesta A ja B puoli**
 - Jokainen laboratorio testaa 4 testisarjaa

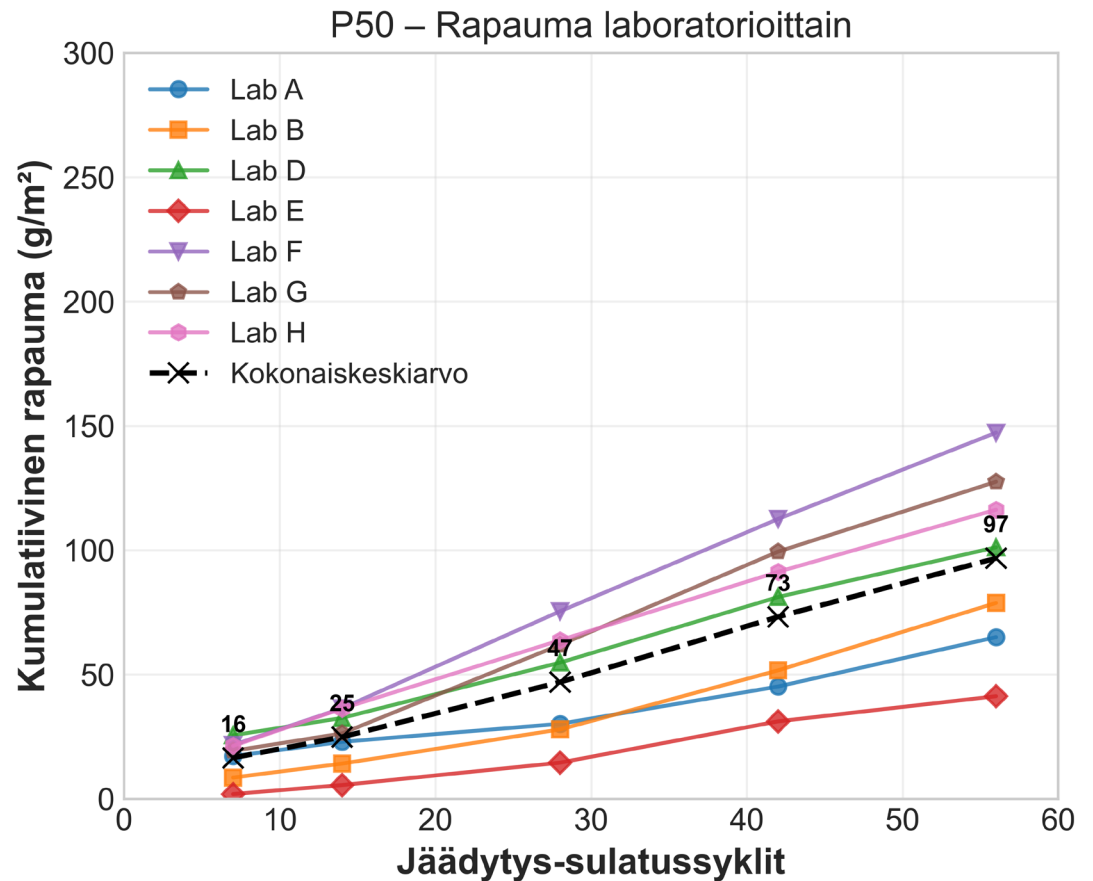
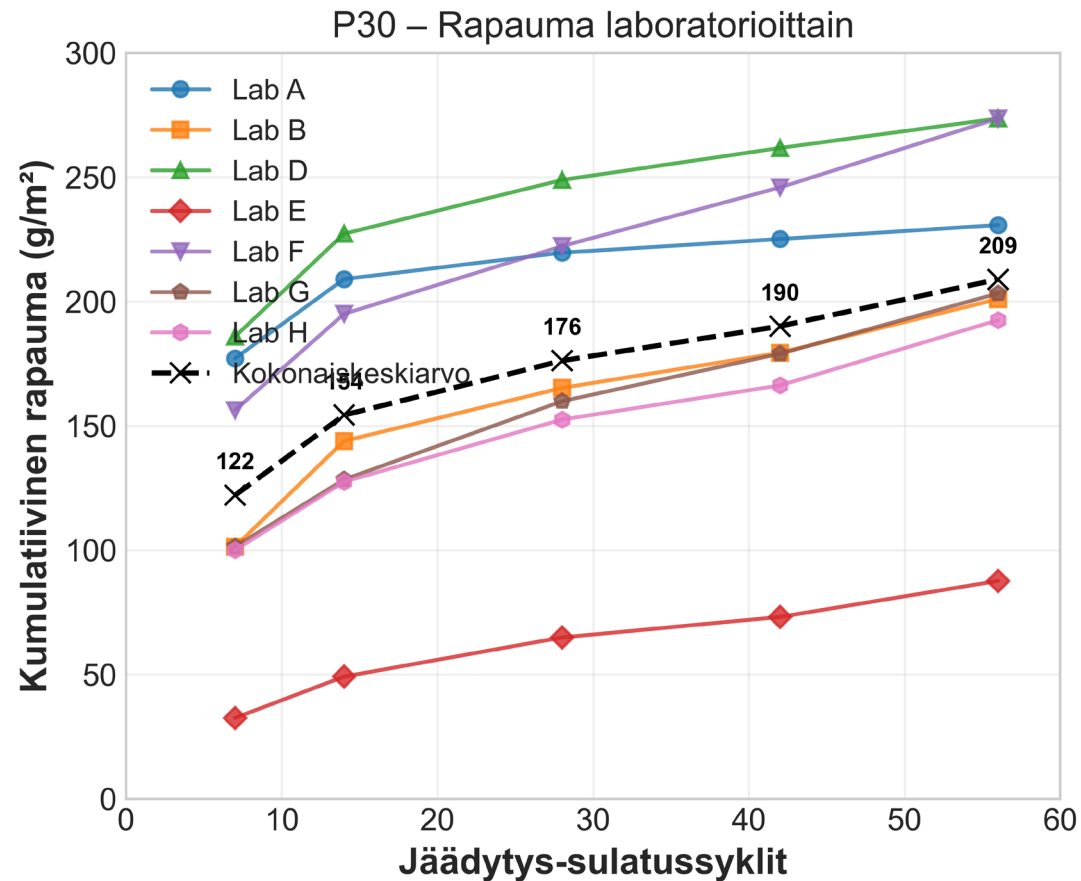


Betoni	Toteutu nut v/s- suhde	Toteutu nut P- luku	Tiheys (kg/m ³)	Ilma- määrä (%)	Painu- ma (mm)	F _c (MPa)	150 mm KA (kg/m ³)	150 mm KH (kg/m ³)	150 mm VAR (%)
P30	0,40	P41	2371	4,5	150	58,8	2406	20,9	0,9
P50	0,36	P60	2342	6,3	160	61,1	2333	18,5	0,8

A!

Pakkasprojekti25

– OP2 Tasokoe 2025 rapauman kehittyminen



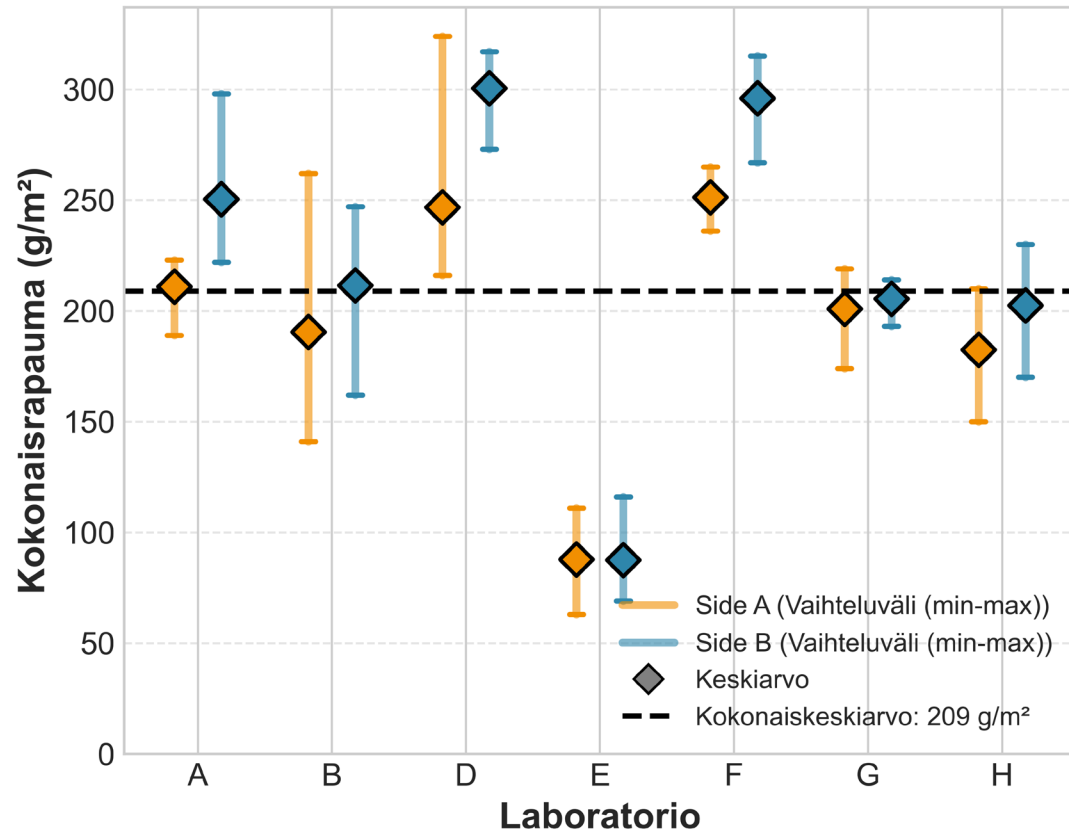
- P30-betonilla yhtä labraa lukuunottamatta tulokset samanlaisia
- P50-betonilla mikään labra ei erotu joukosta

A!

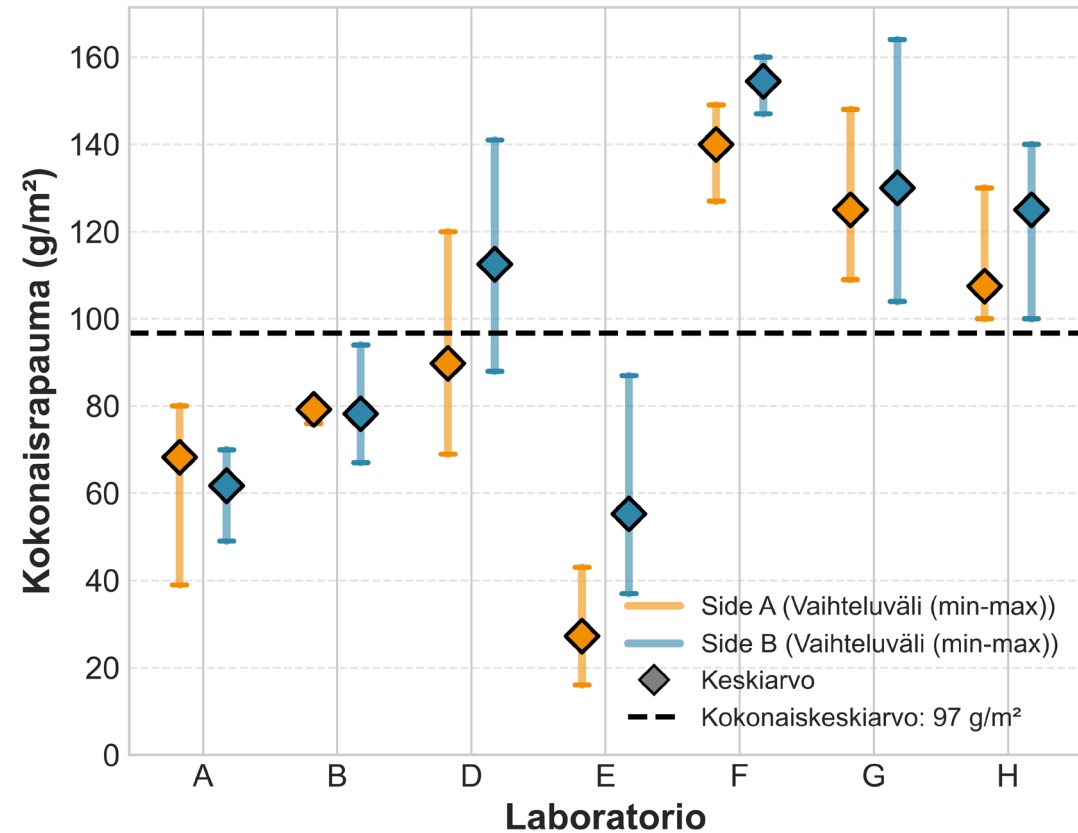
Pakkasprojekti25

– OP2 Tasokoe 2025 testisarjojen hajonta

P30 – Testisarjojen välinen vertailu laboratorioittain



P50 – Testisarjojen välinen vertailu laboratorioittain



- Laboratorioiden välinen yhdenmukaisuus OK paitsi lab. E (Mandel h)
- Laboratorioiden sisäinen yhdenmukaisuus aika OK (Mandel k)

A!

Pakkasprojekti25

– OP2 Tasokoe 2025 tarkkuus

Perustuu ISO 5725 laskentaan

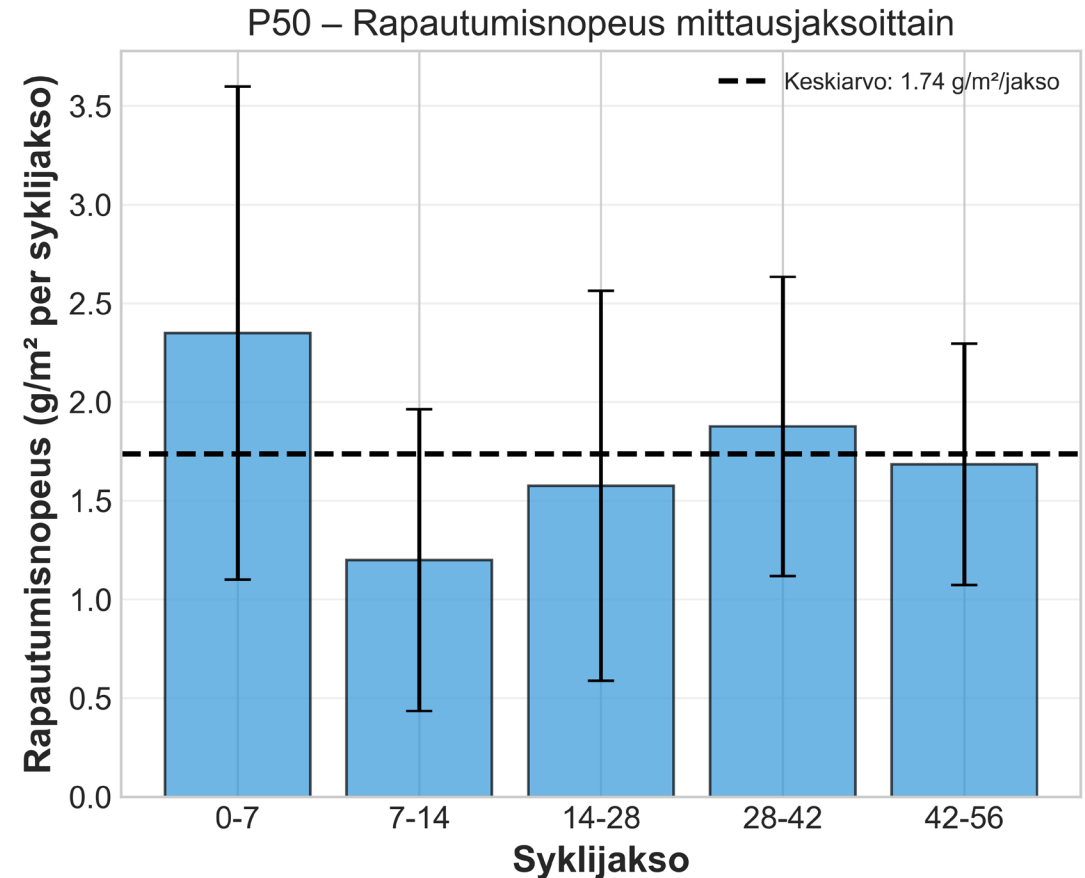
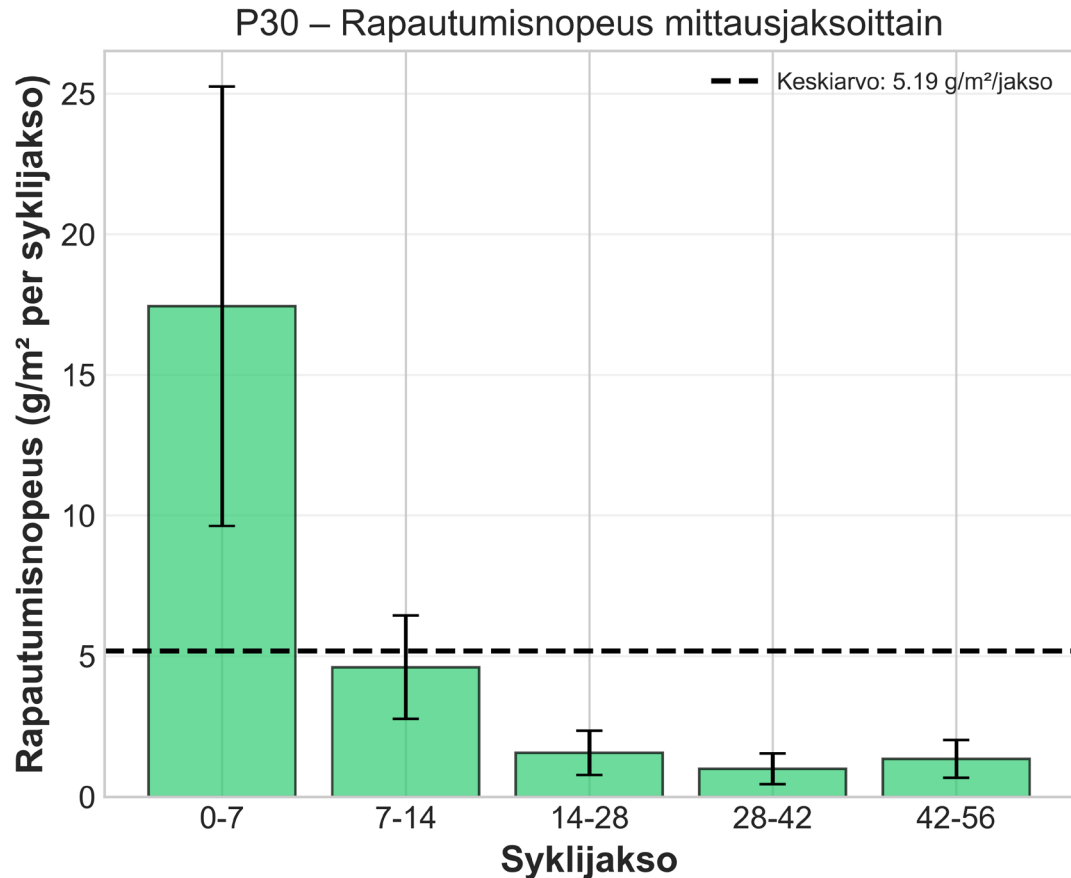
Tunnusluku	Yksikkö	P30	P50	CEN/TS	Tasokoe 2024
Yleiskeskisarvo $\overline{x}_{tot}$	(g/m ²)	209	97	200	220
Toistettavuus s_r	(g/m ²)	32	18	–	39
Uusittavuus s_R	(g/m ²)	70	41	–	181
CV(s_r)	(%)	15	19	25	18
CV(s_R)	(%)	34	42	45	82
$r = 2,8 \cdot s_r$	(g/m ²)	89	50	–	110
$R = 2,8 \cdot s_R$	(g/m ²)	196	114	–	507

A!

Verrattuna P30, laattatestin uusittavuus parantui 48 %-yks eli
laski 58 % aikaisemmasta

Pakkasprojekti25

– OP2 Tasokoe 2025 rapautumisnopeus



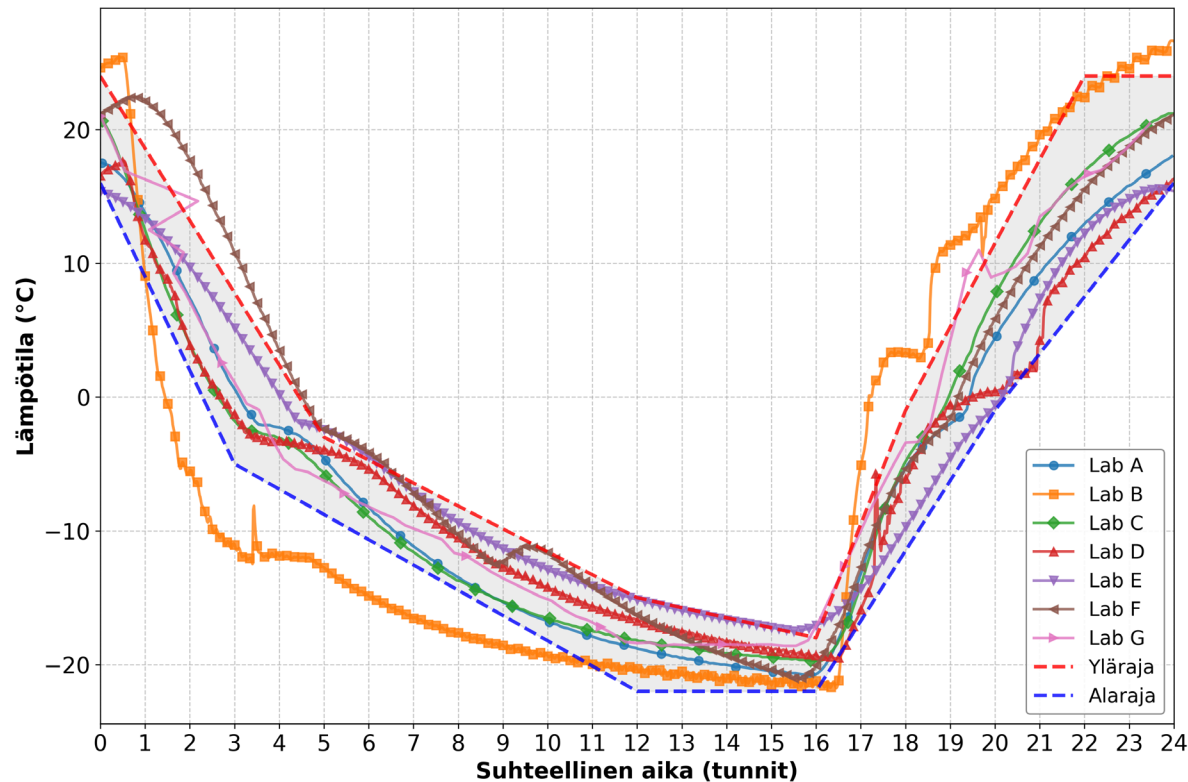
- **P30-betonilla rapauma suurempi ensimmäisen 14 syklin aikana**
- **Molemmilla betoneilla rapautumisnopeus samanlaista 14 syklin jälkeen**

A!

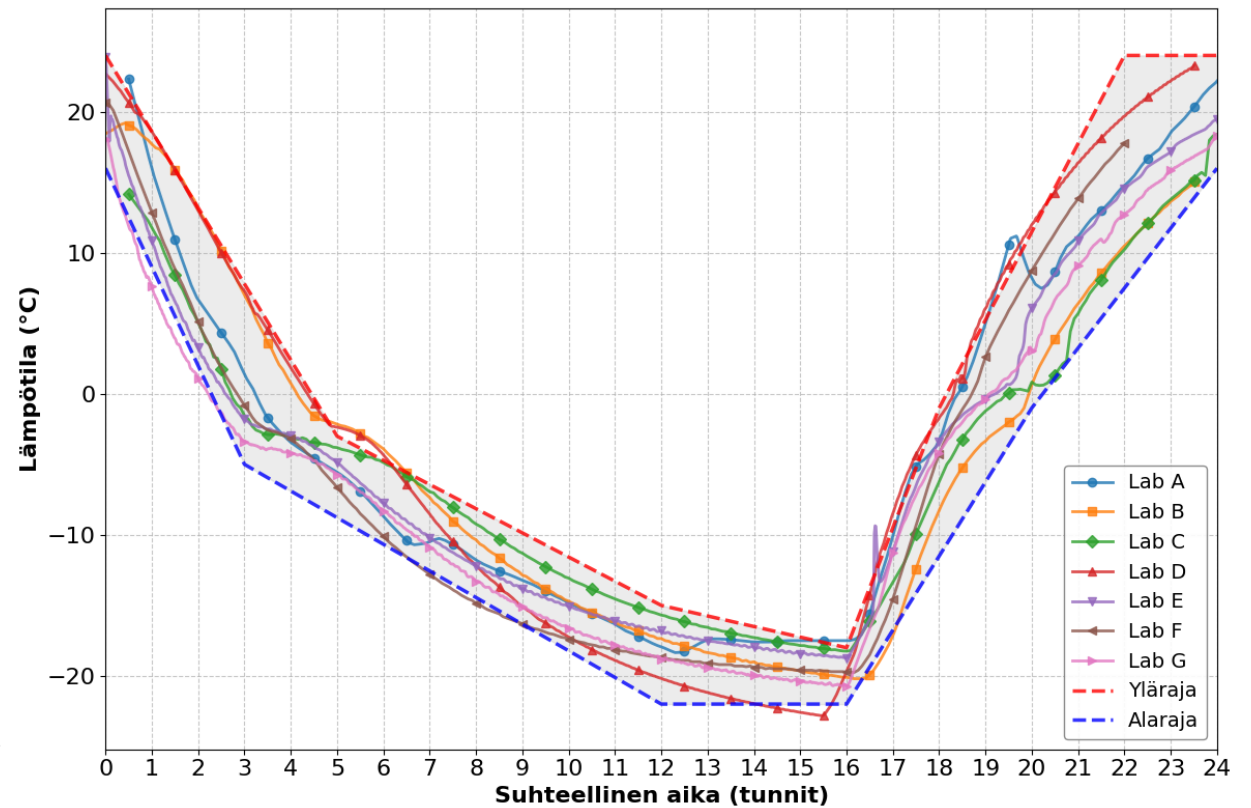
Pakkasprojekti25

– OP2 Tasokoe 2025 jäädytyskammion lämpötila

Projektin alussa



Tasokokeen 2025 aikana

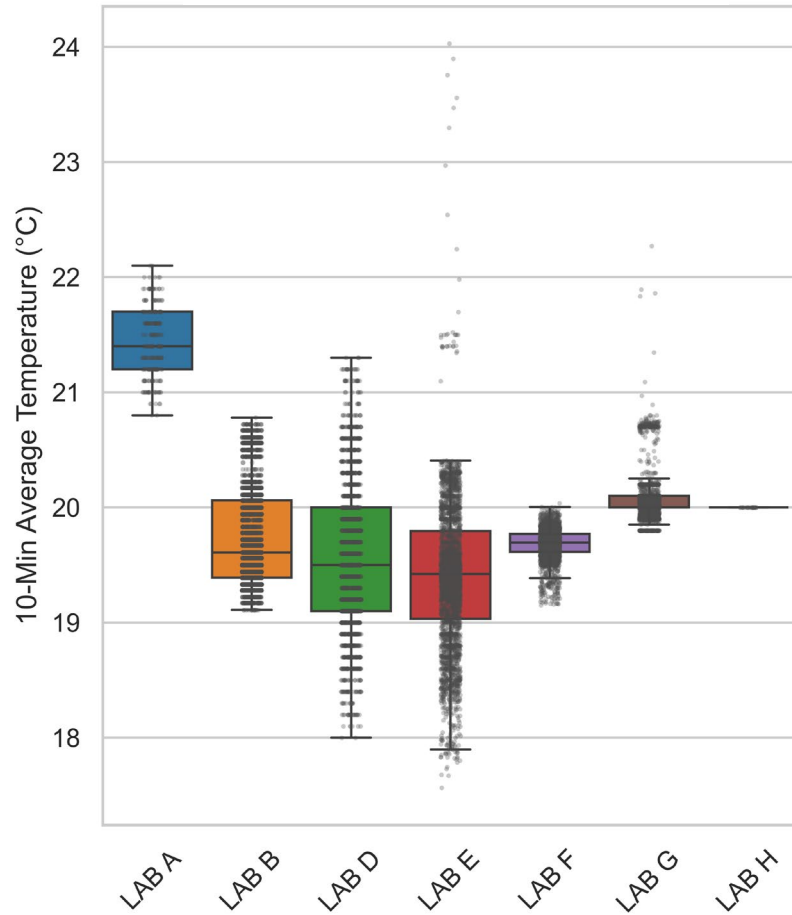


- Projektin jälkeen aika-lämpötilasyklit pitkälti teknisen spesifikaation mukaisia

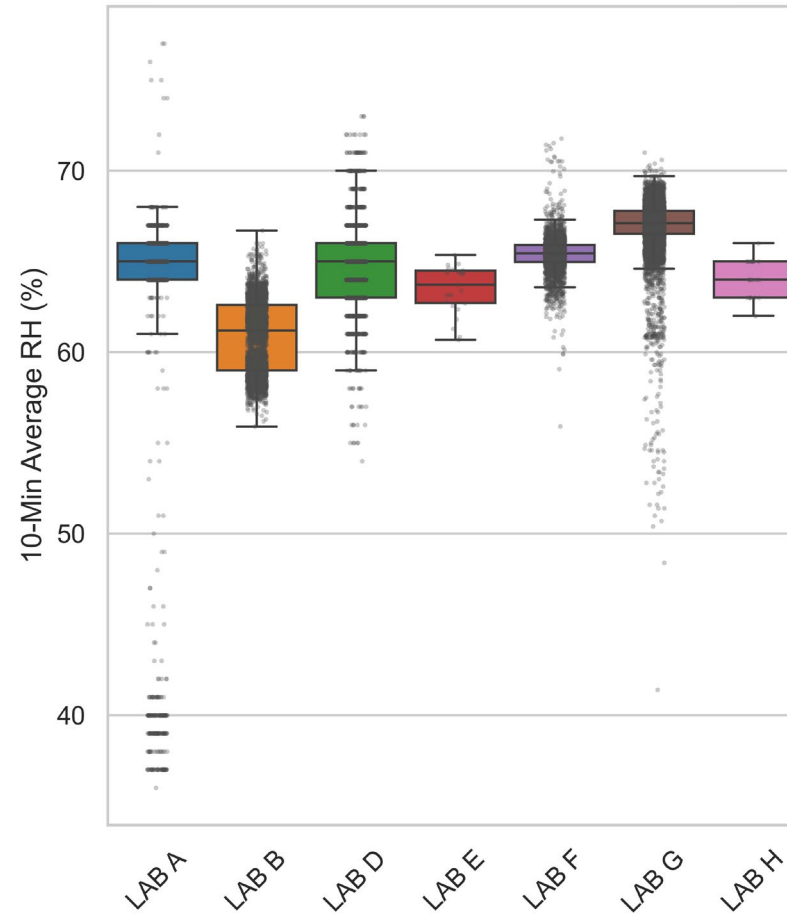
Pakkasprojekti25

– OP2 Tasokoe 2025 sääolosuhteet kosteushuoneessa

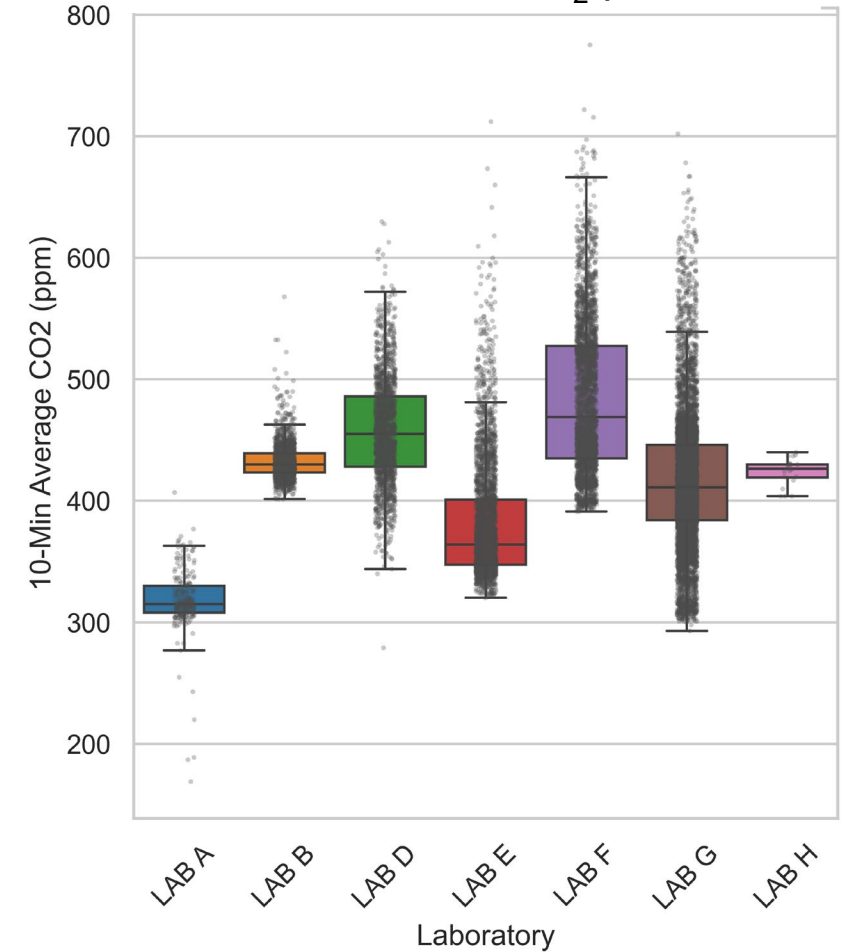
Kosteushuoneen lämpötila



Kosteushuoneen RH



Kosteushuoneen CO₂-pitoisuus

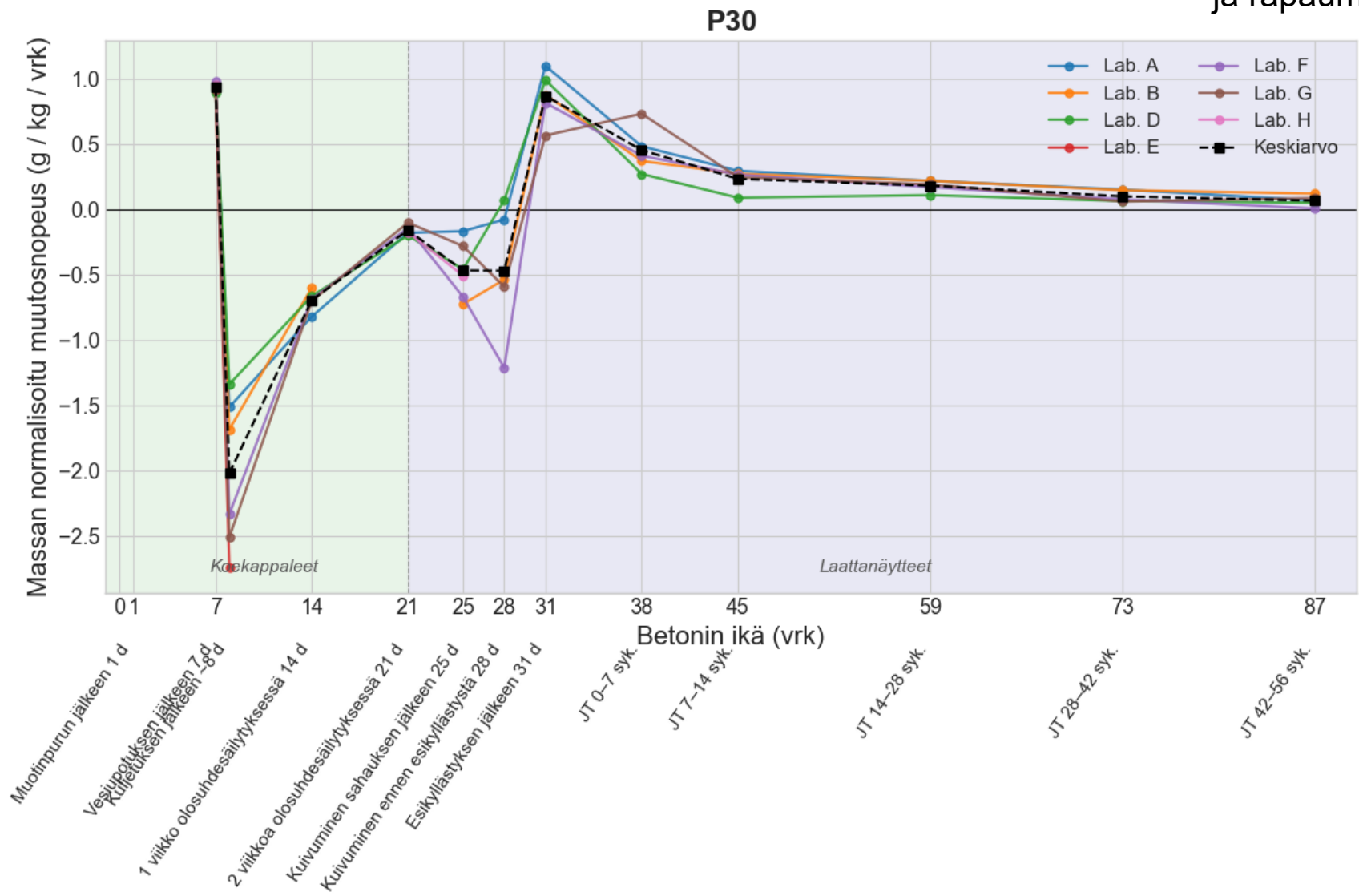


A!

Pakkasprojekti25

– OP2 Tasokoe 2025 vedenliike kokeen aikana

Muutokset ovat massa- ja rapaumakorjattuja



A!

Pakkasprojekti25

Webinaari 9.3.2026

OP3: Pakkasenkestävyyden
laadunvarmistuksen kehittäminen

Prof. Jouni Punkki
Aalto-yliopisto



Pakkasprojekti25 – OP3

– Pakkasenkestävyyden laadunvarmistuksen kehittäminen

Betonin pakkasenkestävyyden laadunvarmistuksen haasteet tällä hetkellä:

- **Ongelmat testausmenetelmissä (laattatesti, huokosanalyysit)**
 - Kokeet hitaita
 - Kokeissa runsaasti hajontaa
 - Vaatimustasojen oikeellisuus
- **Uusien betonilaatujen käyttöönotto hidasta (erityisesti infrabetonit)**
- **Betonivalmistajalla rajalliset säätömahdollisuudet**
 - Mitä tehdään jos P-luku täyttyy, mutta laattakoe ei mene läpi
- **Vaatimusten monimutkaisuus**

A!

Pakkasprojekti25 – OP3

– Pakkasenkestävyyden laadunvarmistuksen kehittäminen

Osaprojektissa ehdotetaan muutoksia, jotta betonin pakkasenkestävyyden laadunvarmistus voidaan tehdä nykyistä tehokkaammin, kuitenkin tinkimättä luetettavuudesta

- **Pääkohdat**
 - **Infrarakentamisen betonit**
 - **Rasitusluokkien XF1 ja XF3 betonit**
 - **Talo- ja infrapuolen yhtenäistämismahdollisuudet**
 - **Säilyvyysluokat**

Ehdotukset infrabetonien osalta

Pakkasprojekti25 – OP3

– Infrabetonit, keskeisiä muutosehdotuksia (1/3)

- **Siirretään painopistettä enemmän laskennalliseen P-lukuun ja testaamisen rooli pienenee**
- **Vähennetään betonien testaamisesta ja lisätään sideaineiden testaamista**
- **Muodostetaan arvosteluerät infrabeteille, uusien betonilaatujen käyttöönotto helpottuu. Arvosteluerät sideainekohtaisia.**
- **Tuodaan myös ei-kloridirasitetut betonit infrarakentamiseen (F-lukubetonit)**

Pakkasprojekti25 – OP3

– Infrabetonit, keskeisiä muutosehdotuksia (2/3)

- **Päivitetään nykyinen erillishyväksyntäkäytäntö**
 - Erillishyväksyntä edellyttää kattavaa sementin testaamista huomioiden myös karbonatisoitumisen vaikutukset
 - Sementtien ennakkotestaaminen erityisen tärkeää uusien sementtilaatujen osalta
- **Mikäli sementillä on erillishyväksyntä, ennakkokokeet tehdään arvosteluerittäin ja erillishyväksynnästä saadaan hyötyä P-lukulaskennassa**
 - Uuden betonilaadun toiminen olemassa olevaan arvosteluerään ei edellytä laattakoetta
 - Mikäli erillishyväksyntää ei ole, arvostelueriä ei voida hyödyntää

Pakkasprojekti25 – OP3

– Infrabetonit, keskeisiä muutosehdotuksia (3/3)

- **P-luvun laskentaan ei tässä vaiheessa muutoksia**
 - Jatkossa seosaineiden vaikutukset tulee tarkistaa
 - Samoin laattakokeen vaatimustasot tulee tarkistaa
- **Pieni yksikertaistus laattakokeen vaatimustasoihin**
 - P50: 200 → 250 g/m², raja-arvot riippumattomia sideainekoostumuksesta
- **Työmaalla tehtäviin testauksiin pieniä muutoksia**
 - Ilmamäärän mittaustaajuudet
 - Tunnistuskoe-kappaleet → Työmaakoe-kappaleet
 - Tunnistuskokeiden koekplmäärä puolittuu 600 m³ jälkeen

A!

Ehdotukset rasitusluokkien XF1 ja XF3 osalta

Pakkasprojekti25 – OP3

– Rasitusluokan XF1 betonit, muutosehdotuksia

- Koostumusvaatimukseen ei tehdä muutoksia
- Poistetaan vaatimus huokosjaolle, mutta huokostusvaatimus säilyy edelleen
 - Merkittävä muutos, mutta edelleen tiukempi vaatimus kuin esim. Ruotsissa
 - Aiheuttaa hieman muutoksia testaamiseen, tulee osoittaa että betoni on huokostettua

Käytännössä rasitusluokan XF1 betonit valmistettaisiin kuten nykyäänkin, mutta huokosjakotestauksia ei tarvittaisi.

– Rasitusluokan XF3 betonit ja huokosanalyysit

- **Rasitusluokan XF3 osalta ei ehdoteta muutoksia koostumusvaatimukseen ja myös huokosjakovaatimus säilyy**
 - Huokosjakovaatimuksen poistamista voidaan harkita myöhemmin XF1:n kokemusten perusteella
 - XF3:n huokosjakovaatimukset ovat tiukat, harkitaan voitaisiinko lieventää esim. 0,27 mm tasolle
- **Huokosanalyyseissa ongelmia erityisesti pintahieiden osalta (käytössä eri menetelmiä, tuloksissa runsaasti hajontaa)**
 - BY72 tulee päivittää pintahieiden osalta ja jatkossa vain BY72 mukaista menetelmää voitaisiin käyttää (ei voida käyttää soveltaen)

Talo- ja infrapuolen yhtenäistämismahdollisuudet

Pakkasprojekti25 – OP3

– Talo- ja infrapuolen yhtenäistämismahdollisuudet

- **Yhtenäistämisellä saavutettaisiin selkeitä etuja, mutta samalla myös haittoja**
 - Toisaalta sekaantumismahdollisuudet kasvavat
- **Kaksi potentiaalista vaihtoehtoa yhtenäistämiseen**
 - A. Yhtenäiset käytännöt betoniasemalla**
 - Samat koostumusvaatimukset sekä talo- että infrapuolella (Säilyvyysluokat)
 - Testaukset betoniasemalla olisivat samat
 - Testaukset työmaalla voisivat poiketa edelleen toisistaan
 - B. Puristuslujuuden laadunvarmistuksen yhtenäistäminen**
 - Edelleen erilaiset koostumusvaatimukset betoneille
 - Yhtenäistetään vain puristuslujuuden testaus betoniasemalla
 - Testaukset työmaalla poikkeavat toisistaan

A!

Pakkasprojekti25 – OP3

– Talo- ja infrapuolen yhtenäistämismahdollisuudet

- **Yhtenäistäminen helpottuisi merkittäisi mikäli infrapuolen P-lukumenettelystä luovuttaisiin**
- **P-lukumenettelystä varsin hyvät kokemukset**
 - Olennaiset asiat mukana P-luvussa (v/s-suhde, ilmamäärä, sideaineen koostumus)
 - Mahdollistaa v/s-suhteen ja ilmamäärän säätämisen
- **Käytännössä päädytään kuitenkin varsin samoihin v/s-suhteisiin**
 - Ilmamäärän vaihtelualuetta on rajoitettu
- **Päästäisiin hyvin samalaiseen lopputulokseen ja varmuustasoon, jos asetettaisiin v/s-suhde ja ilmamäärävaatimukset sementtityypeittäin**
 - Esim. CEM I: P30: $\leq 0,50$ ja P50: $\leq 0,40$, ilmamäärä 4...6%

Säilyvyysluokat

Pakkasprojekti25 – OP3

– Säilyvyysluokat

- **Pakkasenkestävyyden osalta ei voida mennä pelkästään testaamiseen, vaan tarvitaan myös koostumusvaatimukset**
- Ei ole riittävän luotettavia testausmenetelmiä jotta voitaisiin mennä pelkästään testaamiseen pohjautuvaan luokitteluun
- **Pakkasenkestävyyden säilyvyysluokkien osalta 2 ehdotusta**
 - a) Sekä talo- että infrapuolen betonit mukana. **Oletus: P-luvusta luovuttaisiin**
 - Kytkeytyy olennaisesti talo- ja infrapuolen yhtenäistämiseen
 - b) Koskevat vain talopuolen betoneita
- **Tarvitaan joitakin tarkistuksia**
 - Sementtityyppien vaikutukset tulee tarkistaa kokeellisesti

A!

Pakkasprojekti25 – OP3

– Säilyvyysluokat

a) Talo- ja infrarakentaminen yhdessä (P-luvusta luovuttu)

Säilyvyysluokka	Nykyiset vaatimukset		Koostumusvaatimukset							
			CEM I		CEM II/A, CEM II/B		CEM II/C, CEM III/A		CEM III/B	
	Talopuoli	Infrapuoli	v/Steh.	Ilma, %	v/Steh.	Ilma, %	v/Steh.	Ilma, %	v/Steh.	Ilma, %
XRF1	XF4 - 100 v	P50	0,40	5,0	0,39	5,0	0,37	5,0	-	-
XRF2	XF4 - 50 v, XF2 - 100 v	P40	0,45	5,0	0,43	5,0	0,40	5,0	-	-
XRF3	XF2 - 50 v	P30	0,50	5,0	0,47	5,0	0,43	5,0	-	-
XRF4	XF3 - 100 v		0,50	5,5	0,50	5,5	0,50	5,5	0,50	5,5
XRF5	XF1 - 100 v		0,55	5,5	0,55	5,5	0,55	5,5	0,55	5,5
XRF6	XF3 - 50 v		0,50	4,0	0,50	4,0	0,50	4,0	0,50	4,0
XRF7	XF1 - 50 v		0,60	6,0	0,60	6,0	0,60	6,0	0,60	6,0

Taulukkoon voidaan sisällyttää myös infrarakentamisen P0 ja F-betonit.

Vaatimukset eri sementtityypeillä eivät ole lopulliset, perustuisivat testaamiseen.

Vaatimukset ennakoikeiden osalta voisivat olla erilaiset säilyvyysluokissa XRF1...3 verrattuna muihin säilyvyysluokkiin.

Pakkasprojekti25 – OP3

– Säilyvyysluokat

b) Vain talonrakentaminen

			Koostumusvaatimukset							
			CEM I		CEM II/A, CEM II/B		CEM II/C, CEM III/A		CEM III/B	
Säilyvyysluokka	Selite	F-luku	v/Steh.	Ilma, %	v/Steh.	Ilma, %	v/Steh.	Ilma, %	v/Steh.	Ilma, %
XRF1	XF4 - 100 v		0,40	5,0	0,39	5,0	0,37	5,0	-	-
XRF2	XF4 - 50 v		0,45	5,0	0,43	5,0	0,40	5,0	-	-
	XF2 - 100 v		0,45	5,0	0,43	5,0	0,40	5,0	-	-
XRF3	XF2 - 50 v		0,50	5,0	0,47	5,0	0,43	5,0	-	-
XRF4	XF3 - 100 v	3,0	0,50	5,5	0,50	5,5	0,50	5,5	0,50	5,5
XRF5	XF1 - 100 v	2,0	0,55	5,5	0,55	5,5	0,55	5,5	0,55	5,5
XRF6	XF3 - 50 v	1,5	0,50	4,0	0,50	4,0	0,50	4,0	0,50	4,0
XRF7	XF1 - 50 v	1,0	0,60	6,0	0,60	6,0	0,60	6,0	0,60	6,0

Betonin on täytettävä joko F-luku tai koostumusvaatimus, XF2 ja XF4 F-luku ei ole käytössä

Lisäksi testattaessa täytyy asetetut testivaatimukset täyttyä, testivaatimukset (menetelmät, testaustaajuudet, vaatimustasot) esitetään erikseen.

- XF1 ja XF3 rasitusluokissa sementtityypillä ei nykykäytännön mukaisesti ole vaikutusta pakkasenkestävyyteen. Tulisi varmaan tarkistaa.
- XF2 ja XF4 rasitusluokissa v/s-suhteet on laskettu niin, että saavutetaan sama P-luku kuin CEM I:llä

A!

Pakkasprojekti25

Webinaari 9.3.2026

Jatkotoimenpiteet

- Jatkotestaukset
- Julkaisut

Prof. Jouni Punkki
Aalto-yliopisto



Pakkasprojekti25 – Jatkotestaukset

– Lähtökohtia

- **Pakkasprojekti25 on antanut hyvää tietoa betonin pakkasenkestävyydestä**
- **Tarvitaan kuitenkin vielä lisätietoa**
 - Todellisten rakenteiden pakkasenkestävyydestä suhteessa nuoren betonin laattakokeeseen
 - Karbonatisoitumisesta todellisissa rakenteissa ja sen vaikutuksesta pakkasenkestävyyteen (verrattu nuorella betonilla tehtyihin kokeisiin)
 - Laattakokeen vaatimustasoista, myös karbonatisoituminen huomioiden

Pakkasprojekti25 – Jatkotestaukset

– Testisarjat

- **Ehdotetaan seuraavia testisarjoja**
 - A. Sideainekohtaiset laattakokeet vaatimustasojen päivittämistä varten
 - B. Olemassa olevien rakenteiden testaus
 - C. Pakkassuolakestävyyden kenttäkokeiden käynnistämien

Testausten suunnittelu on käynnistynyt, mutta vielä ei ole tehty mitään päätöksiä testisarjoista

Pakkasprojekti25 – Jatkotestaukset

– A. Sideainekohtaiset kokeet

Periaatteet

- Kokeiden perusteella voidaan päivittää laattakokeiden vaatimustasot ja kehittää uudistettu erillishyväksyntämenettely
- Normaali hajonta kokeissa mukana
 - Kokeita eri ajankohtina (eri sementtierät)
 - Eri betonin valmistajat valmistavat koekappaleet vakioresepteillä
 - 2 testauslaitosta testaa betoneita
- Karbonatisoitumisen sekä hydrataatioajan vaikutukset mukana kokeissa

Pakkasprojekti25 – Jatkotestaukset

– A. Sideainekohtaiset kokeet

- **Testit**

- a) TS:n mukainen normaali laattakoe
- b) TS:n mukainen koe, mutta aloitus 91 vrk iässä
- c) Pidentetty testi: vesisäilytys 91 vrk + 10 vk karbonatisoitumisjakso ennen koetta

- **Betonit**

- P30 ja P50 (tai P35 ja P55)
- Vaihtoehtoisesti v/s-suhde ja sementtimäärä sovitaan etukäteen

Pakkasprojekti25 – Jatkotestaukset

– A. Sideainekohtaiset kokeet

- **Sementit / sideaineet: n. 5 kpl**
- **2 betonia (P30 ja P50)**
- **6 toistoa kullakin betonilla**
 - Esim. 2 kuukauden välein uudet kokeet
- **Yhteensä kokeita: $5 \cdot 2 \cdot 6 = 60$ kpl**

Pakkasprojekti25 – Jatkotestaukset

– B. Olemassa olevien rakenteiden testaukset

- **Periaatteet**
 - Jatketaan OP1 testauksia
 - Kuitenkin keskittyen:
 - Kloridirasitettuja rakenteisiin
 - Kuonamassoihin
- **Tavoitteena saada tarkempaa tietoa kuonabetonilla valmistettujen rakenteiden toimivuudesta pakkassuolakestävyyden osalta**
- **Olennainen kysymys: Mikä on karbonatisoitumisen vaikutus pakkassuolakestävyyteen todellisissa rakenteissa**
 - Voidaan arvioida pintaosan (a) ja sisäosan (b) näytteiden avulla.

Pakkasprojekti25 – Jatkotestaukset

– B. Olemassa olevien rakenteiden testaukset

- **Testattavat rakenteet**
 - Min. 6 kpl selkeästi kloridirasitettua rakennetta
 - Min. 3 kpl rakennetta kuonabetonilla
 - Kuonabetonirakenteet tuskin kloridirasitettuja?
- **Testit**
 - Pitkälti OP1 periaatteiden mukaisesti
- **Pohjoismainen yhteistyö**
 - Keskusteltu alustavasti ruotsalaisten kanssa yhteistyöstä
 - Saataisiin synergiaetuja, jos vastaavia testauksia tehtäisiin useammassa maassa (testaukset koordinoitusti)

Pakkasprojekti25 – Jatkotestaukset

– C. Pakkassuolakestävyyden kenttäkokeet

- **Periaatteet:**

- Tarvittaisiin tarkempaa tietoa pakkassuolakestävyydestä rakenteissa
- Valmistaan törmäyskaiteita, jotka sijoitetaan tien varteen (valitulle testialueelle, Väylävirasto)
- Tarkkaillaan rapaumaa vuosittain ja porataan näytteet laattakokeita + muita kokeita varten esim. 5 vuoden välein

- **Nykyiset koekentät**

- Kotka
 - Aika kaukana ajoradasta, ei mahdollisuutta laattakokeiden tekemiseen
- Borås, SWE
 - Vanhin koekenttä, 30 v tuloksia analysoidaan parhaillaan, betonien alkurapaumat tiedossa

Pakkasprojekti25 – Jatkotestaukset

– C. Pakkassuolakestävyyden kenttäkokeet

- **Tutkittavat betonit:**

- Simuloidaan voimakasta (reunapalkki) sekä lievempää kloridirasitusta
- Vakio v/s-suhde (esim. 0,40)
- Useita eri sementtejä/sideaineita, myös CEM III/B & uudet sideaineet
- Vähintään 2 kaidetta / sideaine, sijoitetaan satunnaiseen järjestykseen

- **Testaukset (ajoradan puoli / takapuoli):**

- Laattakokeet + muut tarvittavat kokeet betonille ennen testijaksoa
- Visuaalinen rapauman arviointi (vuosittain)
- Laattakokeet poranäytteistä (esim. 5 vuoden välein)
 - a ja b-näytteet
- Kloridien tunkeutuminen (esim. 5 vuoden välein)
- Karbonatisoituminen (esim. 5 vuoden välein)

Pakkasprojekti25

– Pakkasprojektin julkaisut

1. Esiselvityksen raportti

- Itsenäinen dokumentti, jossa kirjallisuuskatsaus aiheeseen
- Päivitetään julkaistavaksi Pakkasprojekti25:n tiedoilla

2. Pakkasprojekti25 raportti

- Osaprojektien 1–3 sisältöjen kuvaus, johtopäätökset sekä mahdolliset ehdotukset

3. Tarkennettu ohjeistus laattakokeeseen

- Erilleen julkaistava ohjeistus, joka toimii teknisen raportin CEN/TS 12390-9 rinnalla

4. Artikkelit Betoni-lehteen

5. Artikkelit tasokokeen analysoinneista

A!

A!

Kiitos
aalto.fi