
Betonin tiivistyksen optimointi

Väitöskirjatutkimus: “Evaluating Compaction Quality: A Multi-modal Approach”

Hassan Ahmed, Väitöskirjatutkija

20.11.2024 / Betonitutkimusseminaari, Tripla, Helsinki

Sisältö

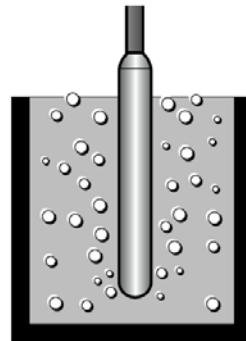
- Tiivistyksen hyödyt ja riskit
- Miksi tiivistystä kannattaa tutkia?
- Tutkimusmenetelmät ja tulokset
- Tutkimuksen johtopäätökset

Tiivistyksen hyödyt ja riskit

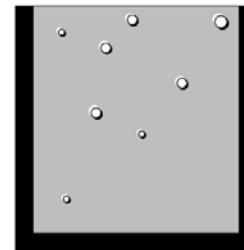
Hyödyt:

- Poistetaan tiivistyshuokokset, mikä:
 - Suurentaa tiheyttä
 - Parantaa lujuutta ja kestävyyttä
 - Parantaa tartuntaa teräksiin

Valun jälkeen:
5–20%



Tiivistyksen jälkeen:
1–2%



Riskit:

- Liian pitkä tiivistys voi johtaa erottumiseen, mikä:
 - Aiheuttaa epätasaisen tiheyden jakautumisen
 - Johtaa eroihin lujuudessa ja kloridien tunkeutumisessa



Miksi tiivistystä kannattaa tutkia?

Nykybetonit ovat alttiimpia erottumiselle, koska:

- Betonit ovat entistä notkeampia
- Tärysauvat ovat entistä tehokkaampia
- Betonin koostumus on herkempi; betoneissa enemmän seosaineita (kehitys jatkuu)

Miksi tiivistystä kannattaa tutkia?

Erottuminen
laboratorionäytteessä



Saksan liittovaltion vesiväylä- ja merenkulkuhallinnon
(BAW) sulkulaitos näytteenoton jälkeen



Lähde: Westendarp (2015), *Probleme mit der Mischungsstabilität von Beton*. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau

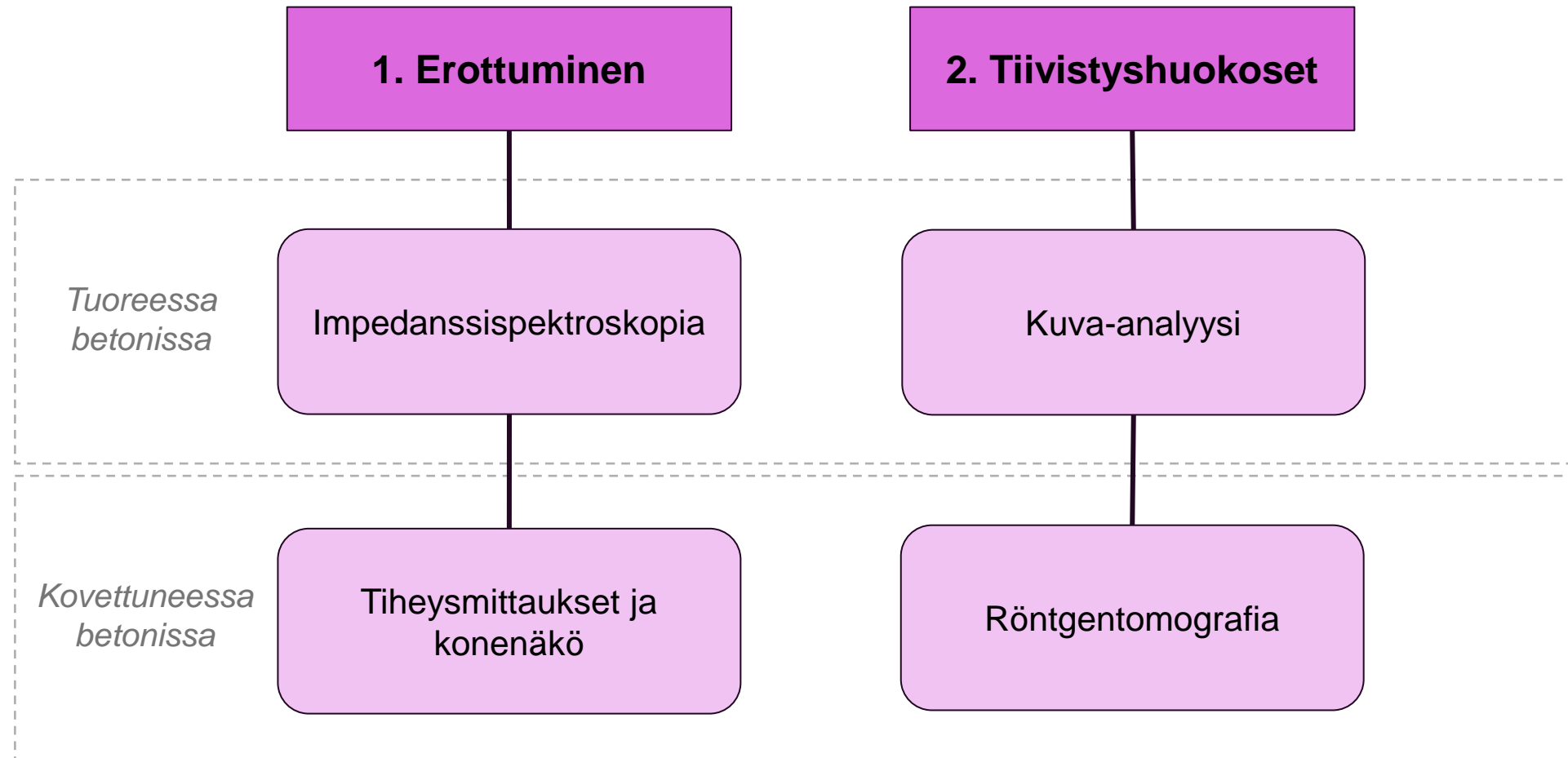
Vakava erottuminen
sulkulaitoksessa



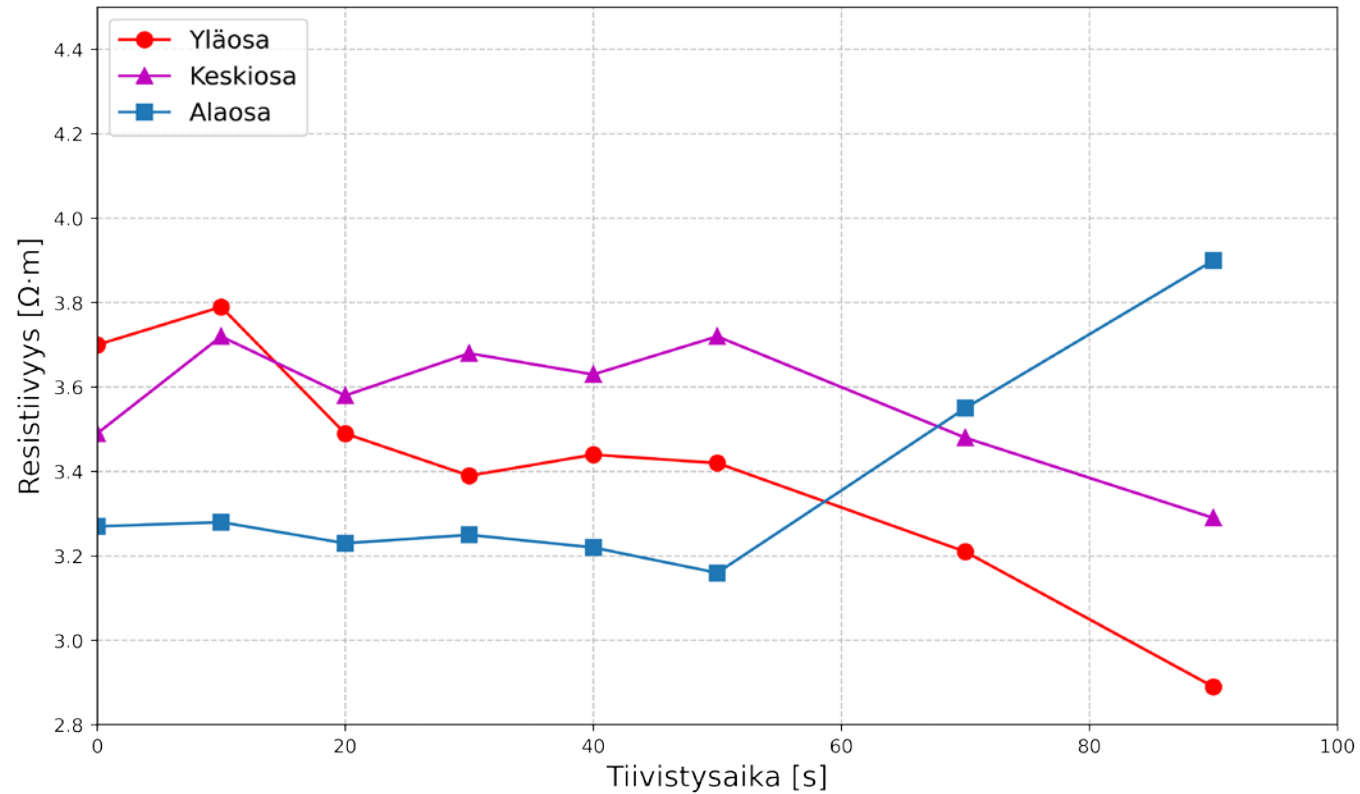
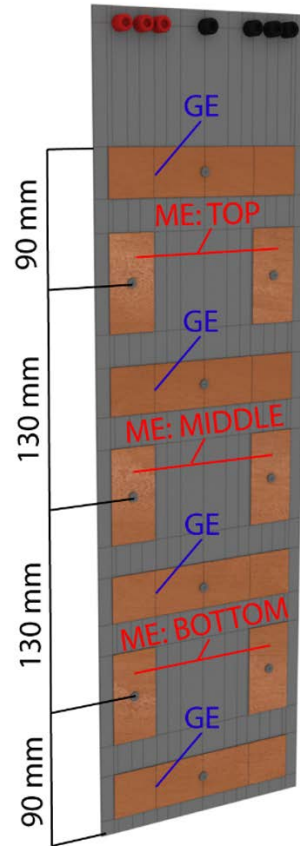
Lähde: Westendarp (2015), *Probleme mit der Mischungsstabilität von Beton*. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau

Tutkimusmenetelmät

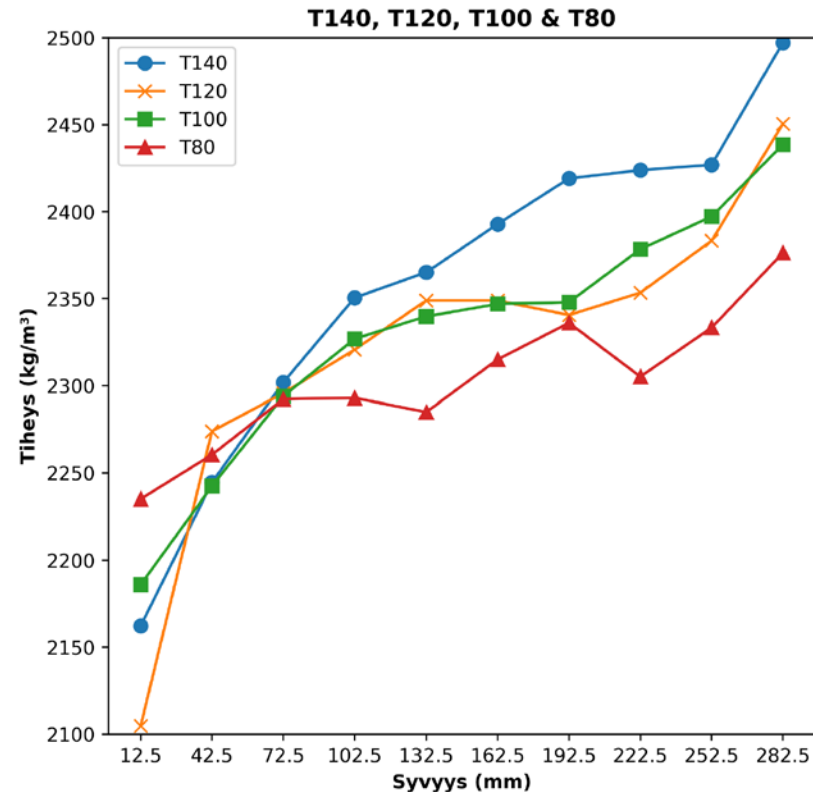
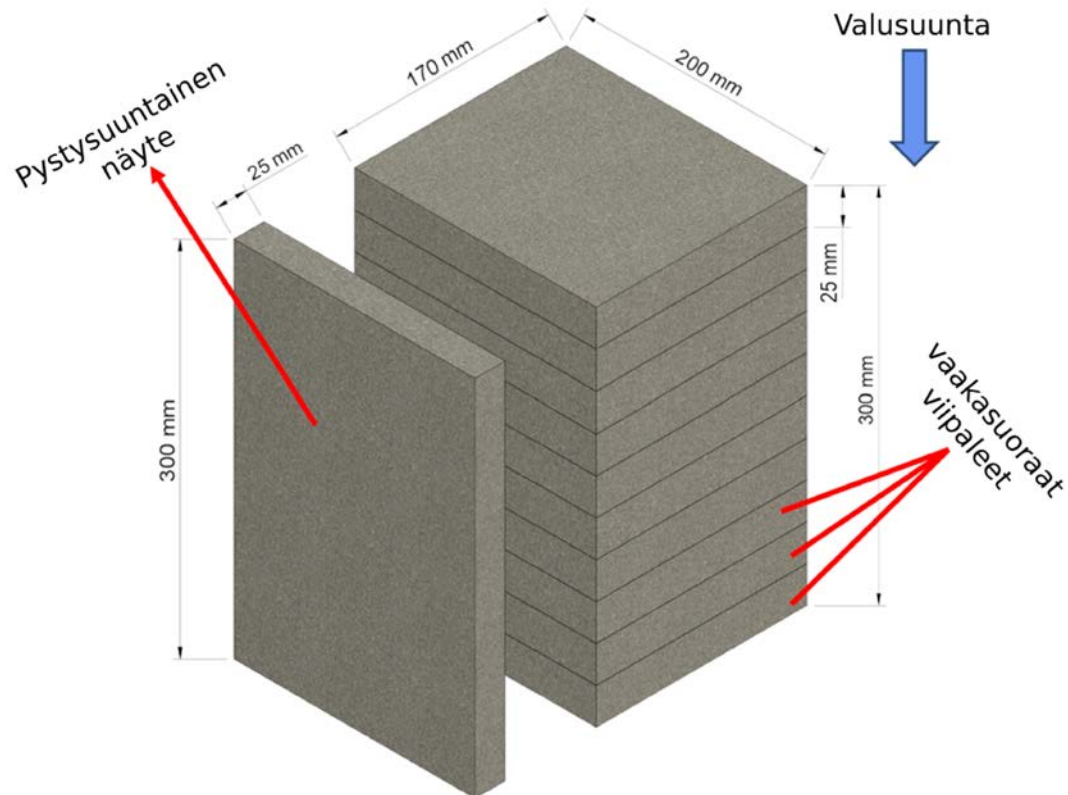
“Tärkeimmät tiivistyslaatuun vaikuttajat”



Erottumisen seuranta AC-impedanssispektroskopian (ACIS:n) avulla



Erottumisen arviointi kovettuneessa betonissa (Tiheysmittaukset)



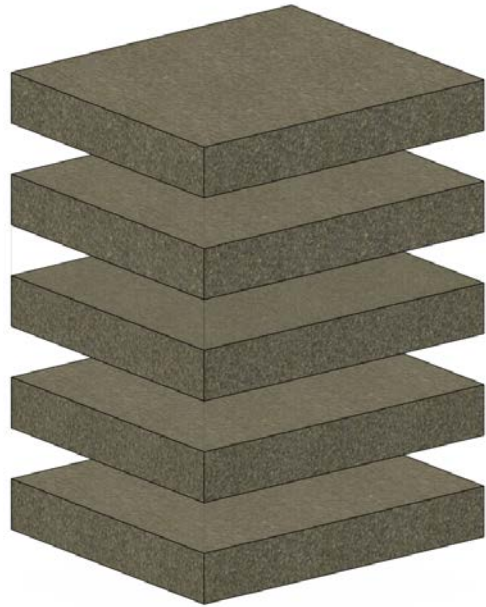
Viipaleiden tiheyksien
keskihajonta:
 SI_{slice_DEN}

**Ehdotetut
erottumistasot**

- SL1: $<30 \text{ kg/m}^3$
- SL2: $30\text{--}60 \text{ kg/m}^3$
- SL3: $60\text{--}90 \text{ kg/m}^3$
- SL4: $>90 \text{ kg/m}^3$.

Erottumisen arviointi kovettuneessa betonissa (Konenäön avulla)

Indeksit perustuvat karkean kiviainesten (> 5 mm) jakautuman määrittämiseen

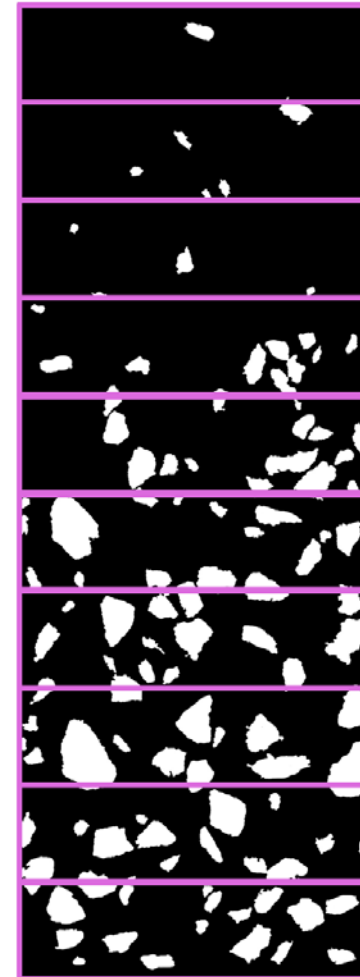


Kiviainesten osuuden keskihajonta viidessä vaakasuorassa näytteessä: SI_{AGG_H}

U-Netin koneoppimismallin avulla



Kiviainesten osuuden keskihajontaa kymmenessä digitaalisesti jaetussa viipaleessa: SI_{AGG_V}



Ehdotetut erottumistasot

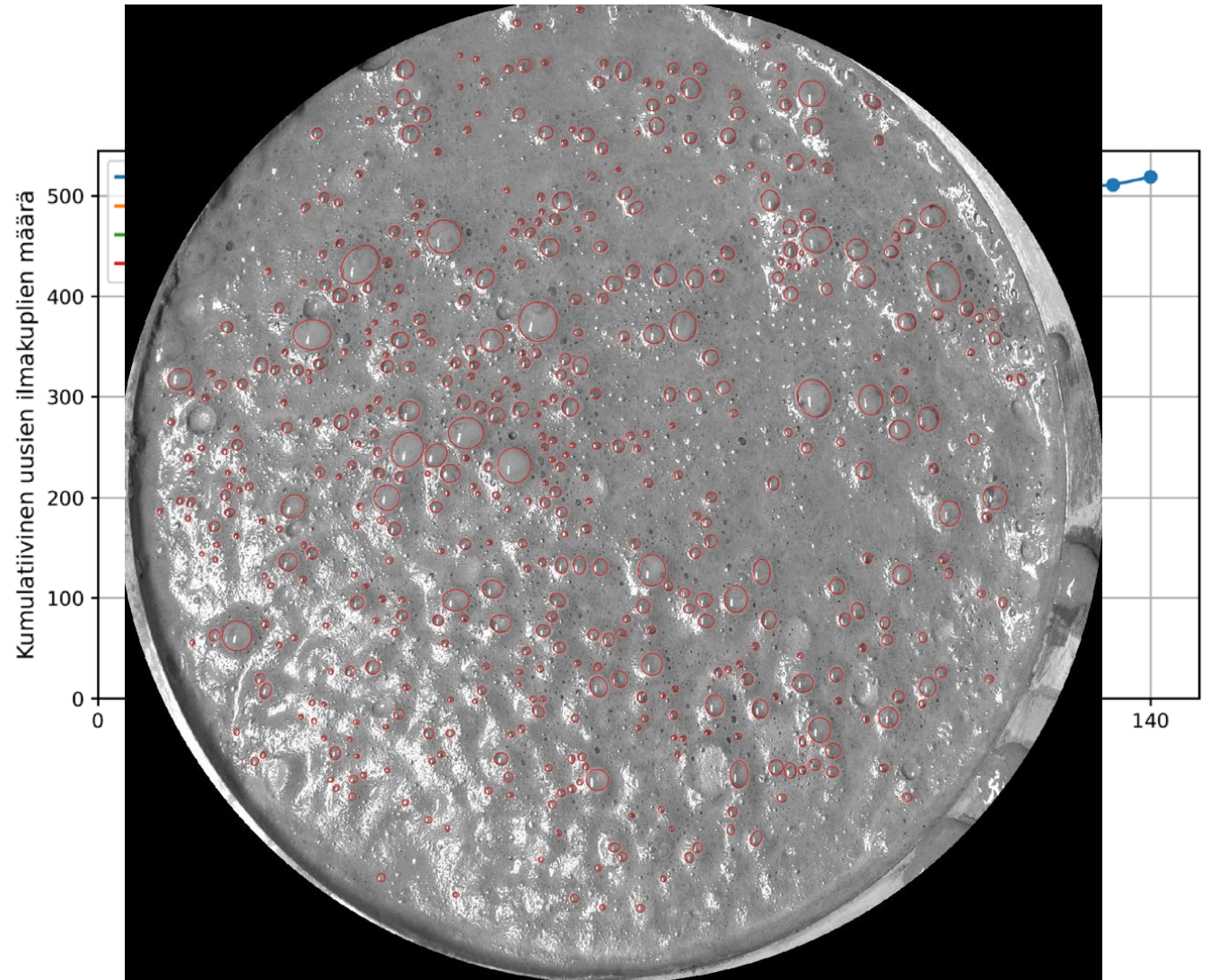
- SL1: < 3 %
- SL2: 3–4,5 %
- SL3: 4,5–6 %
- SL4: > 6 %

Pintakuplien analysointi tiivistyksen aikana

Perinteisesti tiivistystä kehoitetaan jatkamaan, kunnes ilmakuplia ei enää nouse pinnalle

- Betonin pintaa kuvattiin tiivistyksen aikana 4k-kameralla
- Valittiin MATLAB-sovelluksen avulla kuvissa olevat ilmakuplat
- Uusien ilmakuplien kumulatiivinen määrä arvoitiin tiivistysajan funktiona

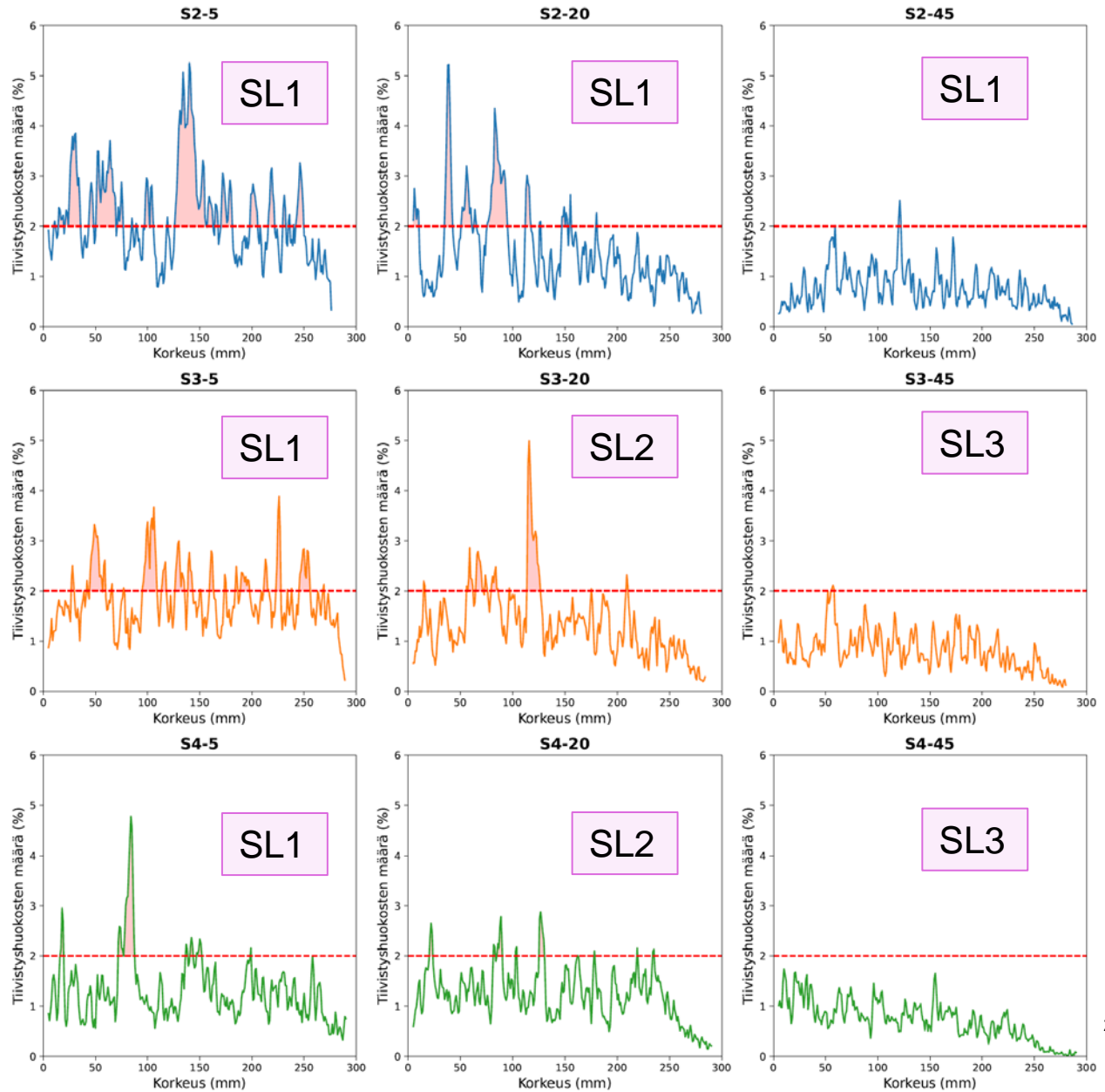
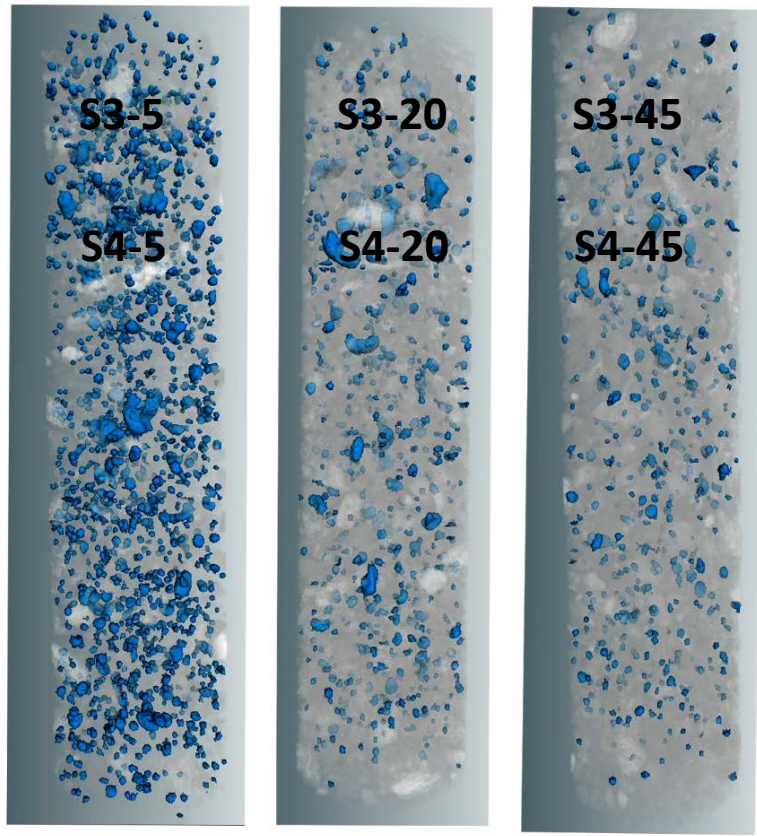
Koekappale	Erottumistaso
T80	SL2
T100	SL3
T120	SL3
T140	SL4



Tiivistyshuokosten analyysi röntgentomografialla

Notkeusluokka
Tiivistysaika (s)

S2-5 S2-20 S2-45



A!

Tutkimuksen johtopäätökset

1) Voidaanko erottumista seurata tiivistyksen aikana?

- Kyllä, ACIS-mittauksilla. Erottuneet näytteet näyttävät suurempia resistiivisyseroja.

2) Miten arvioida betonin erottumista?

- Kolmella eri indeksillä: SI_{slice_DEN} (tiheyden jakautuminen), SI_{AGG_H} (kiviainesten vaakasuora jakautuminen), SI_{AGG_V} (kiviainesten pystysuora jakautuminen).

3) Voidaanko tiivistyslaatua arvioida pintakuplien nousun kautta?

- Ei. Pintakuplien nousu on epäluotettava tiivistyslaadun mittari. Erottuminen voi alkaa ennen kuin kuplien nousu loppuu.

4) Miten tiivistysaika ja betonin työstettävyys vaikuttavat tiivistyslaatuun?

- Korkeita tiivistyshuokosten keskittymiä löydettiin sekä jäykistä että työstettävistä betoneista. Pidempi tiivistys poistaa näitä keskittymiä, mutta voi helposti johtaa erottumiseen S3- ja S4-luokan betoneissa.

5) Miten parantaa tiivistyksen laadunvalvontaa?

- On tasapainoiltava erottumisriskin ja jäljelle jäävien tiivistyshuokosten välillä, sillä erottuminen voi alkaa kesken ilman poistumista. Perinteisen pintakuplien tarkkailun sijaan kannattaa käyttää uusia reaaliaikaisia mittausmenetelmiä (kuten ACIS).

Kiitos ja tervetuloa väitöstilaisuuteeni!

29. Marraskuuta 2024
Klo 12:00

Sali M1, Otakaari 1
Aalto-yliopisto



Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden
korkeakoulu

Yhteystiedot

Hassan Ahmed

Väitöskirjatutkija

Rakennustekniikan laitos, Aalto-yliopisto

Hassan.ahmed@aalto.fi