

---

# Betonin työstettävyyden automaattinen mittaaminen

Väitöskirjatutkimus: “Automated workability control in concrete production”

Teemu Ojala, Väitöskirjatutkija

20.11.2024 / Betonitutkimusseminaari, Tripla, Helsinki

# Haasteena betonin oikea notkeus

Osa-aineet	Trial 1	Trial 2
Sementti, kg/m <sup>3</sup>	425	425
Kiviaines, kg/m <sup>3</sup>	1770	1770
Vesi, kg/m <sup>3</sup>	140	140
Huokostin, massa-% sem.	0,035	0,035
Tehonotkistin, massa-% sem.	0,90	1,10
Painumatesti, mm	90	80



- Asiantuntija pystyy arvioimaan betonin työstettävyyden visuaalisesti.
- Voiko tietokone arvioida betonin työstettävyyden visuaalisesti?

# Sisällys

1. Mitä tarkoittaa betonin työstettävyys?
2. Betonin työstettävyyteen vaikuttavat tekijät
3. Painumaluokan ennustaminen syvyyskameralla

# 1. Mitä tarkoittaa betonin työstettävyys?

## Luokka 1: Laadullinen

- Työstettävyys, notkeus, tiivistettävyys, stabiliteetti, viimeisteltävyys, pumpattavuus

## Luokka 2: Kvantitatiivinen, empiirinen

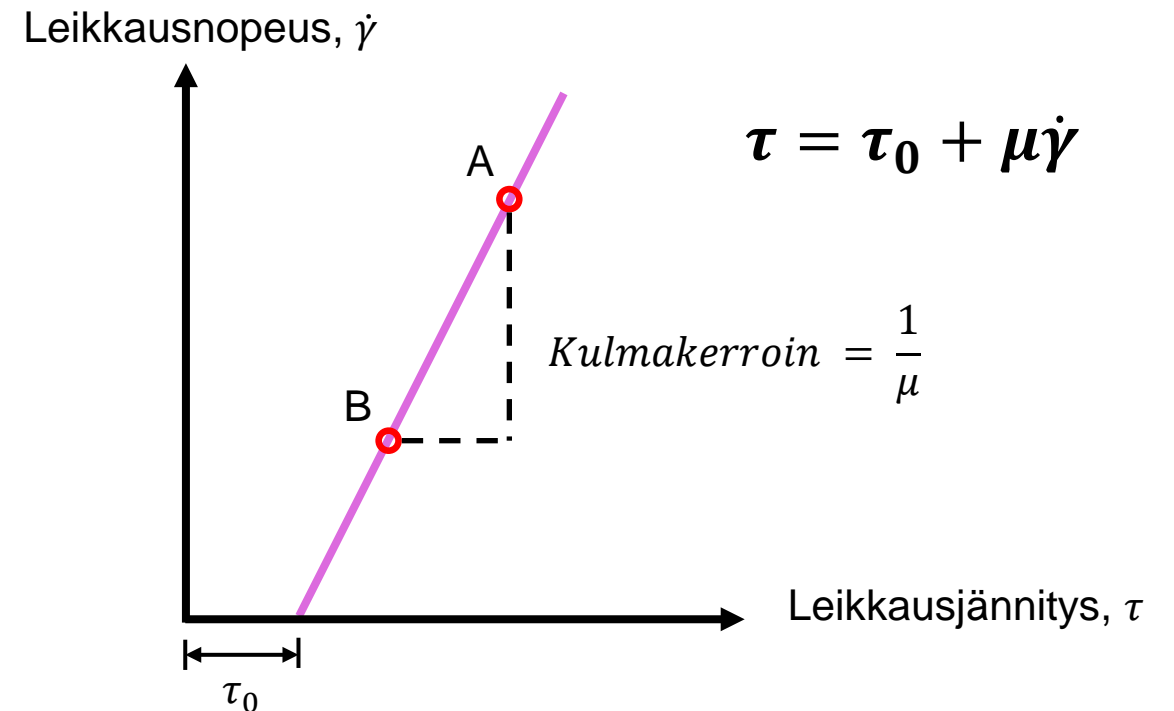
- Notkeusluokka, painuma, leviämä, tiivistysaste, leviämä-painuma

## Luokka 3: Kvantitatiivinen, perustavanlaatuinen (reologinen)

- Viskositeetti, myötöraja, mobiliteetti

Tattersall, G. H. *Workability and Quality Control of Concrete*. First edition. London ; Chapman and Hall, 1991. Web.

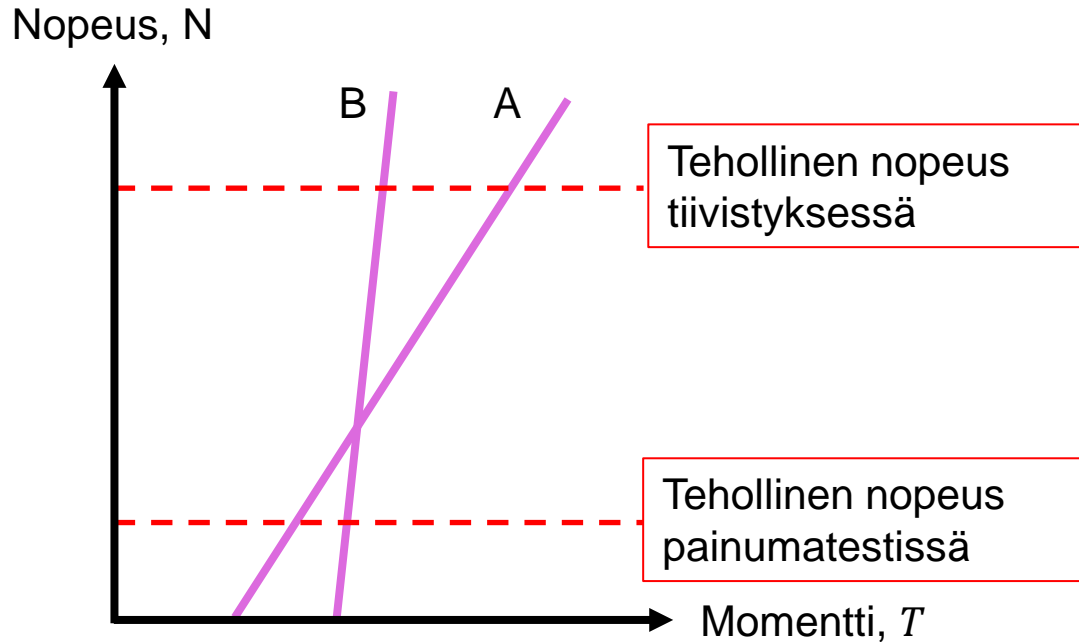
## Binghamin malli



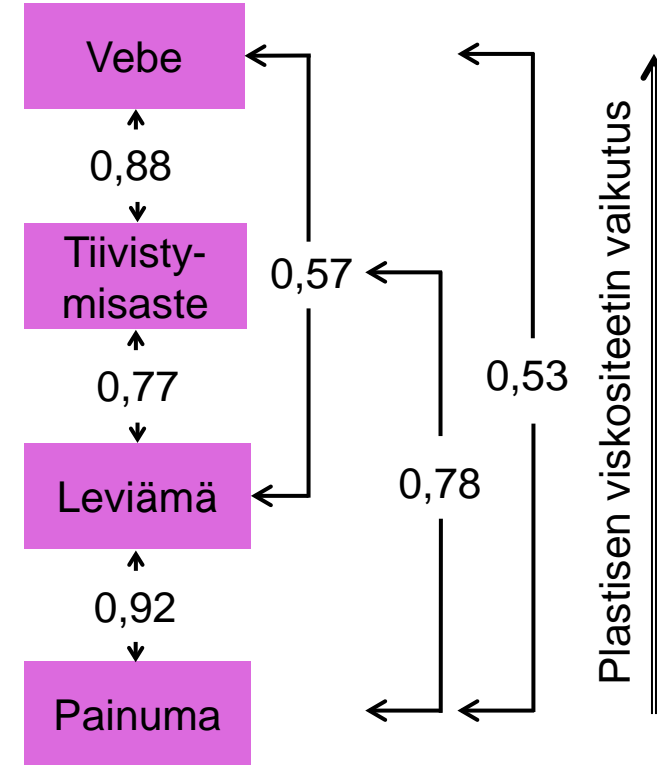
Tattersall, G., & Banfill, P. F. G. (1983). *The Rheology of Fresh Concrete* (1st ed.). Pitman Books Limited.

# 1. Työstettävyyden mittaaminen eri testimenetelmillä

Muokattu lähteestä Tattersall, G. H. *Workability and Quality Control of Concrete*. First edition. London ; Chapman and Hall, 1991. Web.



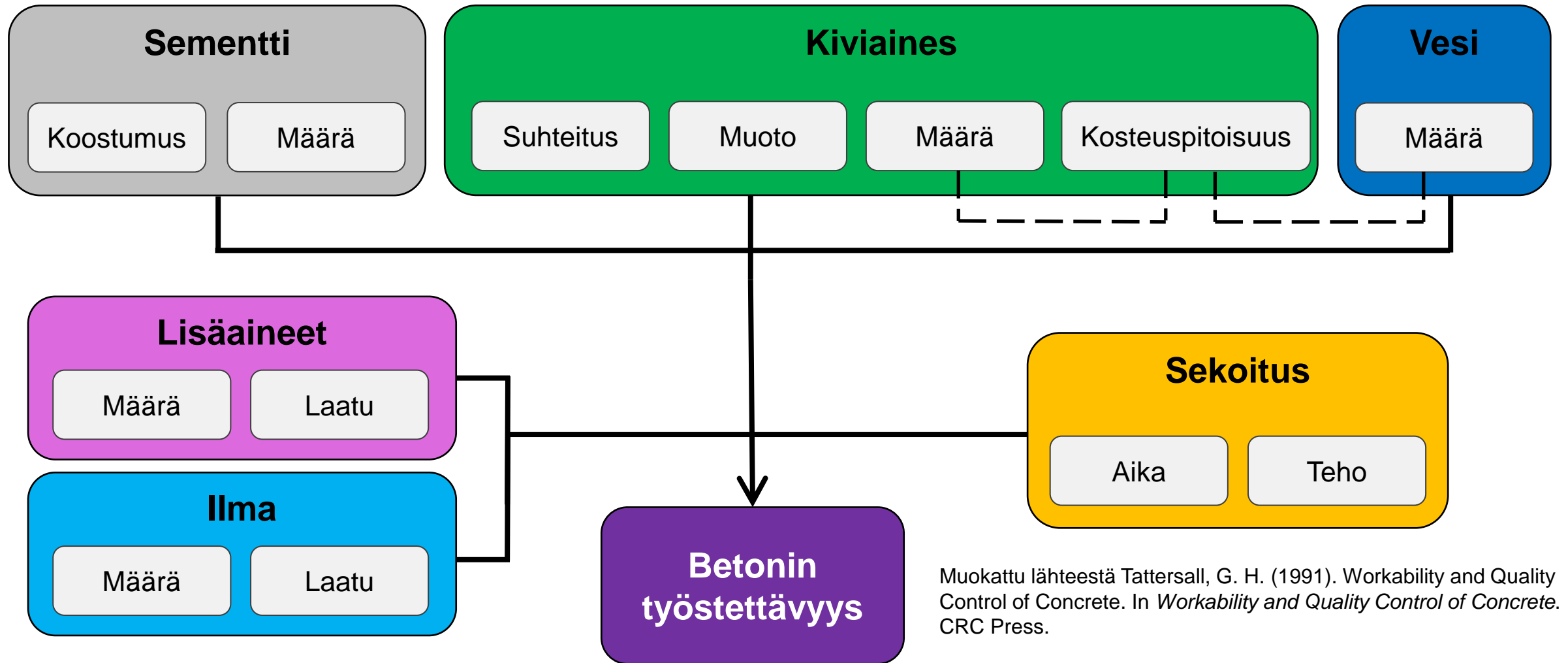
- Standarditestimenetelmät hyödyllisiä vain jos,
  - tehollinen nopeus on samanlainen molemmissa tilanteissa
  - betonien kulmakertoimet (viskositeetit) ovat riittävän samanlaisia



Toisaalta työläitä ja riippuvaisia tekijästä!

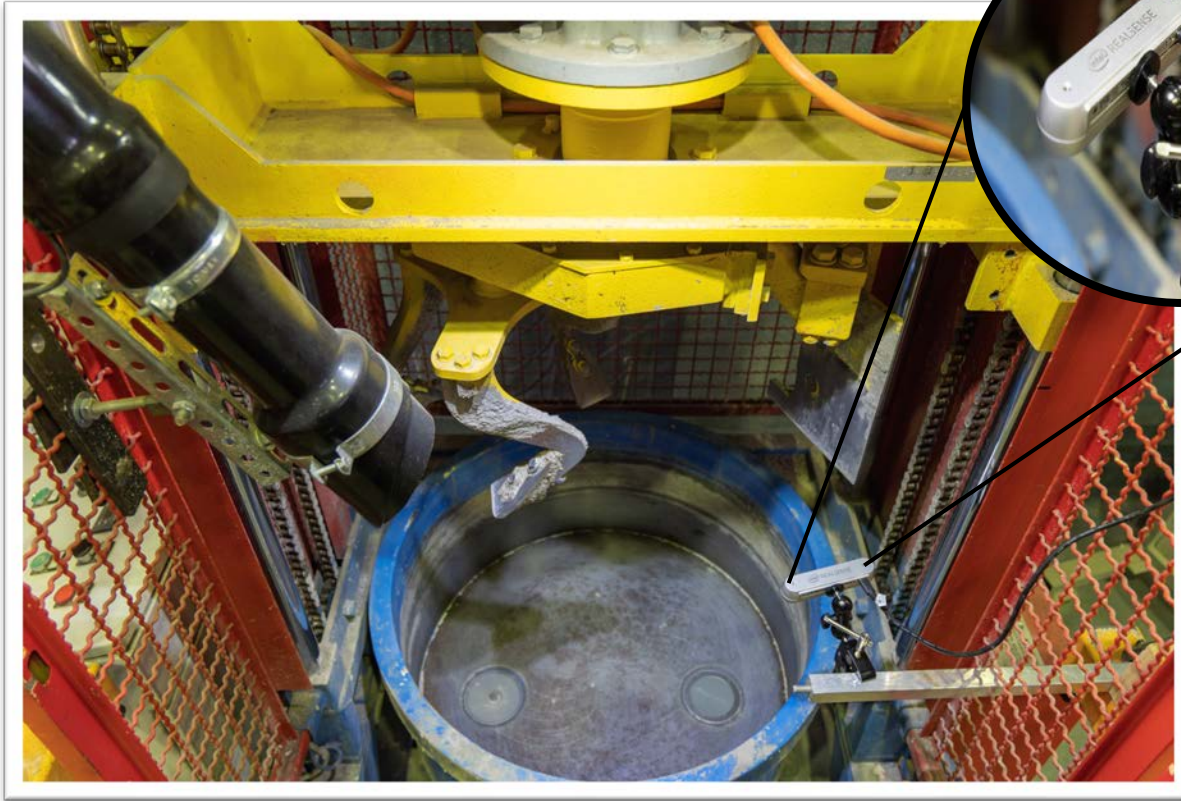
**A!**

## 2. Betonin työstettävyyteen vaikuttavat tekijät



Muokattu lähteestä Tattersall, G. H. (1991). *Workability and Quality Control of Concrete*. In *Workability and Quality Control of Concrete*. CRC Press.

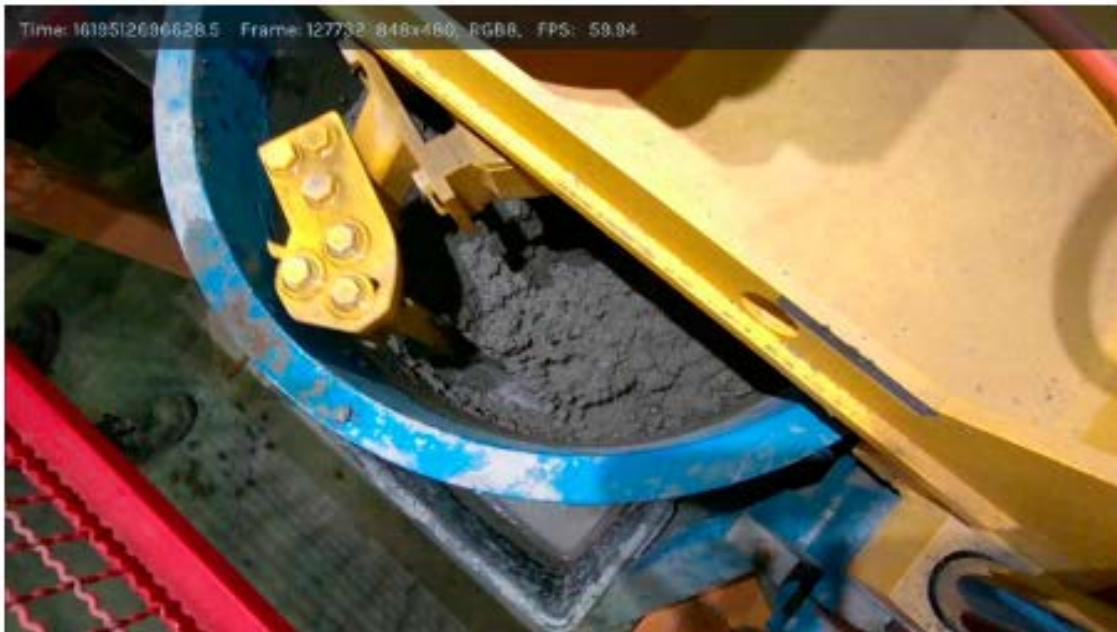
### 3. Painumaluokan ennustaminen syvyyskameralla



- **Tavoitteet**
  - Painumaluokan arviointi syvyyskameran avulla
  - Läpinäkyvä ja selitettävä konenäköratkaisu
- **Koejärjestelyt**
  - Sekoitetaan betonimassaa laboratoriosekoittimessa
  - Notkistetaan vaiheittain vedellä (S1...S5)
  - Testattiin painuma sekoitusten välissä

# 3. Syvyysdatan tutkiminen

Näkyvä valo



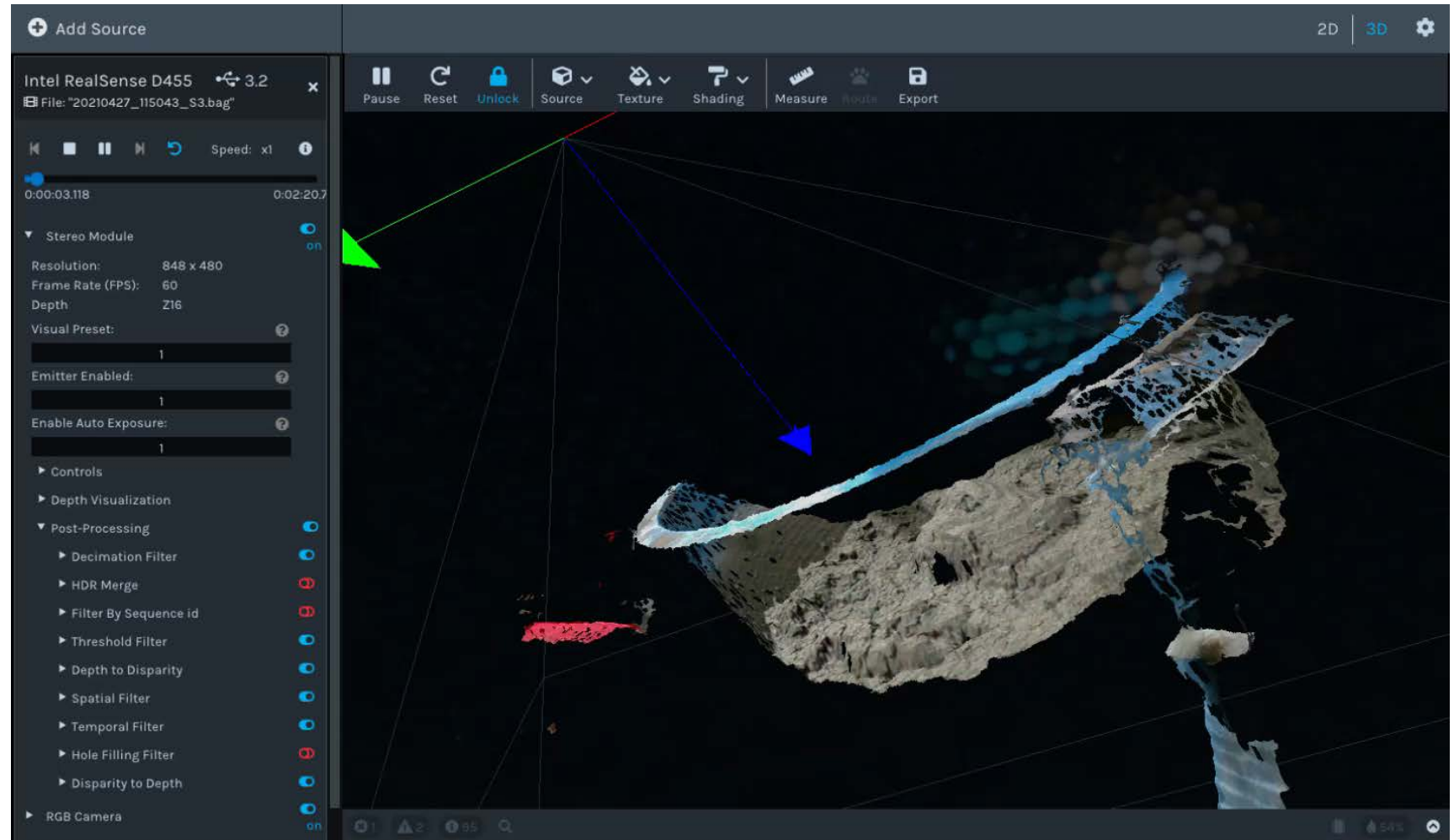
Syvyysdata





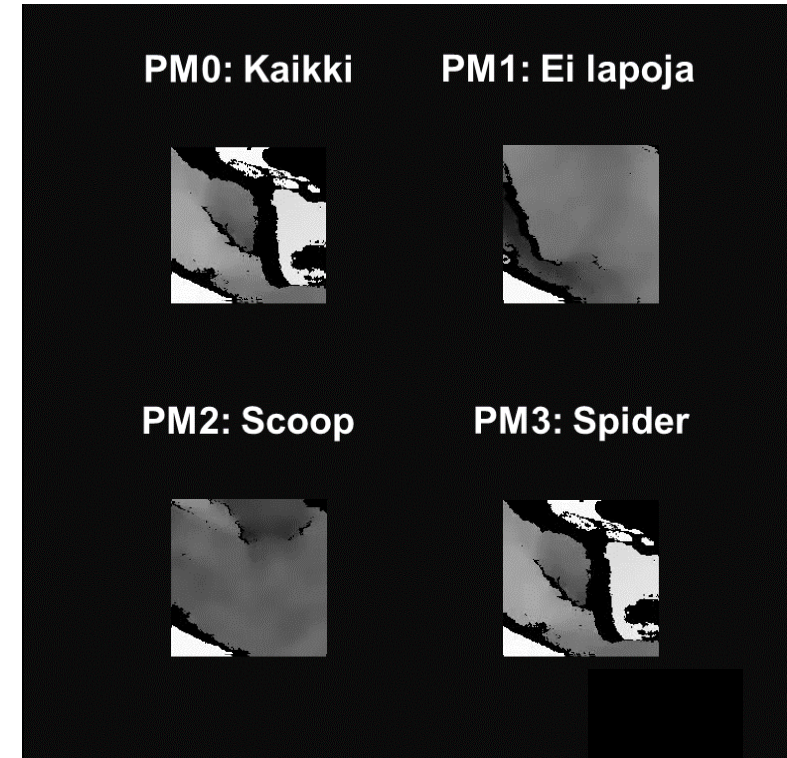
# 3. Syvyysdatan tutkiminen

## 3D-näkymä



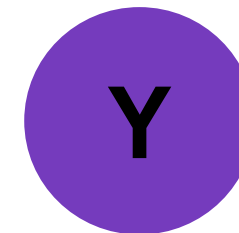
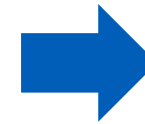
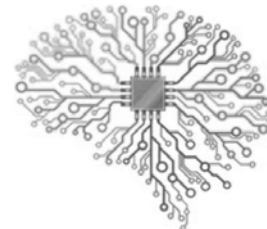
### 3. Syvyysdatan esikäsittely ja mallin koulutus

- **Syvyysdatan prosessointi**
  - Kohinanpoisto
  - Syvyyden värikoodaus
- **Ominaispiirteiden valinta**
  - Sekoittimen lapojen suodatus
  - Kuvaruudun muuttaminen Haralickin ominaispiirteiksi
- **Koneoppimismallin koulutus**
  - 9 eri mallia (paras XGBoost)



**Syöte:**

- 13 Haralickin ominaispiirrettä



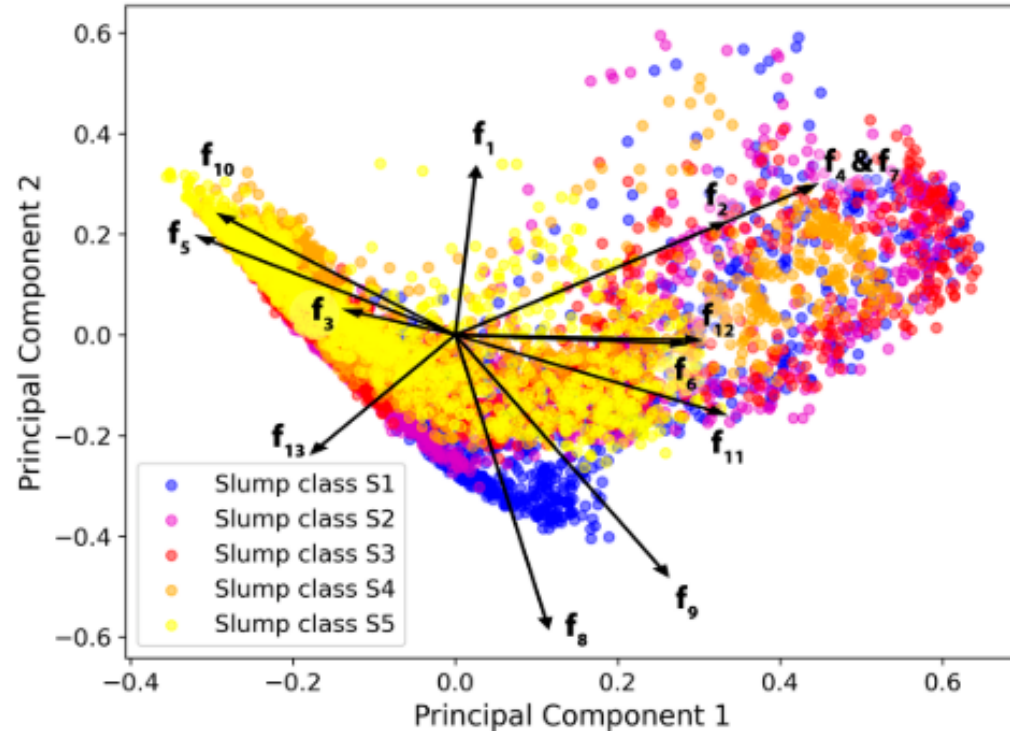
**Ennuste:**

- Painumaluokka

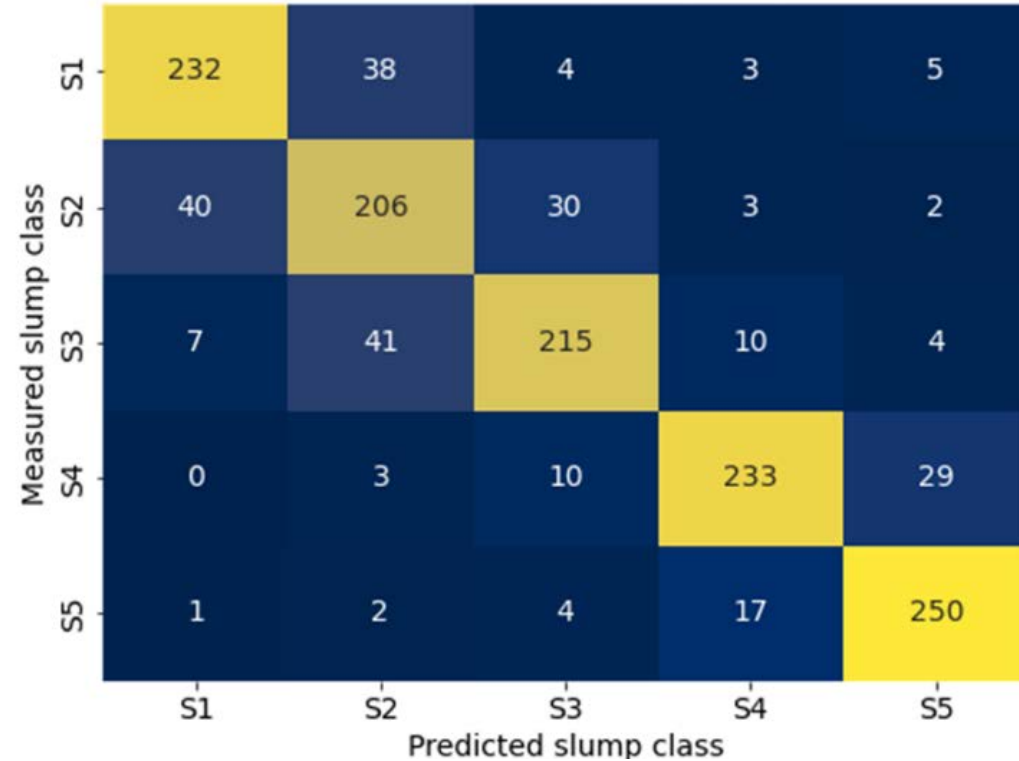
**A!**

# 3. Painumaluokan ennustaminen syvyyskameralla

Pääkomponenttianalyysi



Sekaannusmatriisi parhaalle mallille (XGBoost)



Luokittelutarkkuus = 0.82

### 3. Johtopäätökset

- **Syvyyskameran hyödyt**
  - Ei käytä näkyvää valoa (varjot, betonin ulkomuoto)
- **Konenäkömallin suorituskyky**
  - Syvyysdatalla selkeä yhteys fyysisiin ilmiöihin
    - Haralickin ominaispiirteet kuvaavat pinnan epätasaisuutta
  - Mallit ovat varsin keveitä ja helposti koulutettavia
  - Erinomainen luokittelukyky varsinkin notkeammilla betoneilla
- **Verrattuna muihin testeihin**
  - Malli voi ennustaa myös Luokan 3 ominaisuuksia
  - Voidaan mitata jokainen betoniannos reaaliaikaisesti



### 3. Mitä seuraavaksi?

- Regressiivinen konenäkömalli
- Vaihtoehdot syötteelle ja ennusteelle
- Koostumusdatan yhdistäminen malliin
- Siirrettävän ja optimoidun arkkitehtuurin kehittäminen
- Syvyysinformaation hyödyntäminen sekoittimen ulkopuolella

**A!**





---

# Kiitos aalto.fi

**Teemu Ojala, Väitöskirjatutkija**  
Rakennustekniikan laitos, Aalto-yliopisto  
Rakentajanaukio 4, 02150, Espoo  
teemu.ojala@aalto.fi