

# Diplomityö:

# Paalutus pudotustiivistettyyn betonimurskeeseen

Joonatan Seppänen 1.4.2026

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Sisältö

1. Tausta
2. Koepaalutus
3. Tulokset
4. Yhteenveto

# Työn taustaa

- ~1,5 – 2,5 miljoonaa tonnia betonijätettä vuodessa
- EU tavoite kierrättää 70 % kaikesta rakennusjätteestä vuoteen 2020 mennessä
- Betonin uusiokäyttö useimmiten murskana
- Käytetään luonnonkiviaineksen tavoin
  - Väylien pohjat
  - Kenttärakenteet
  - Täytöt
- Betonimurskeen uudelleenlujittuminen
- Epäselvää miten paalut uppoavat betonimurskeeseen

# Työn tavoitteet

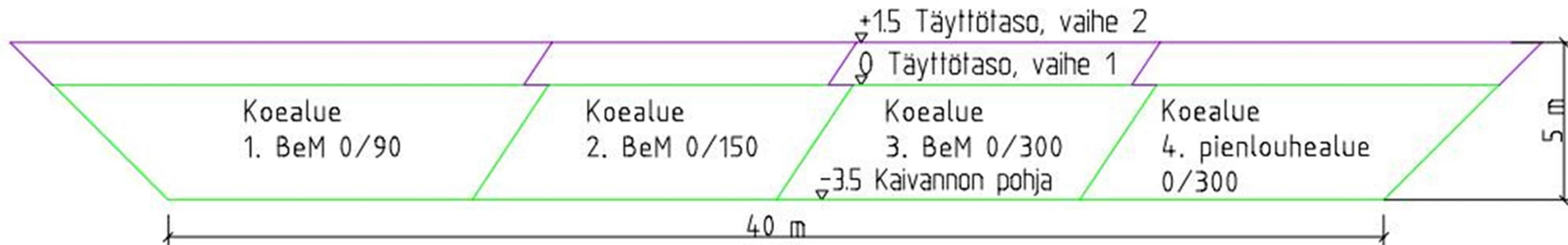
- Miten paalutyypin valinta vaikuttaa asennettavuuteen
- Miten betonimurskeen raekoko asennusnopeuteen
- Aiheutuuko betonimurskeesta vaurioita paaluille tai ponteille
- Minkälaisia asennusvastuksia murskeesta koituu paaluille
- Eroaako betonimurske paalutettavuudeltaan pienlouheesta



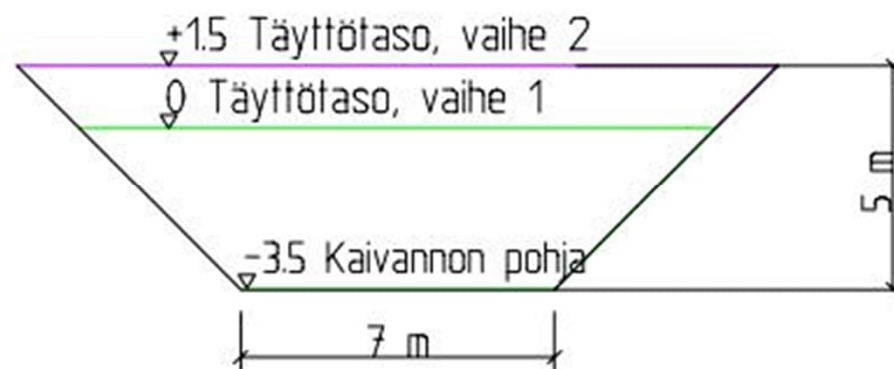


# Koerakenne

PITUUSLEIKKAUS



POIKKILEIKKAUS



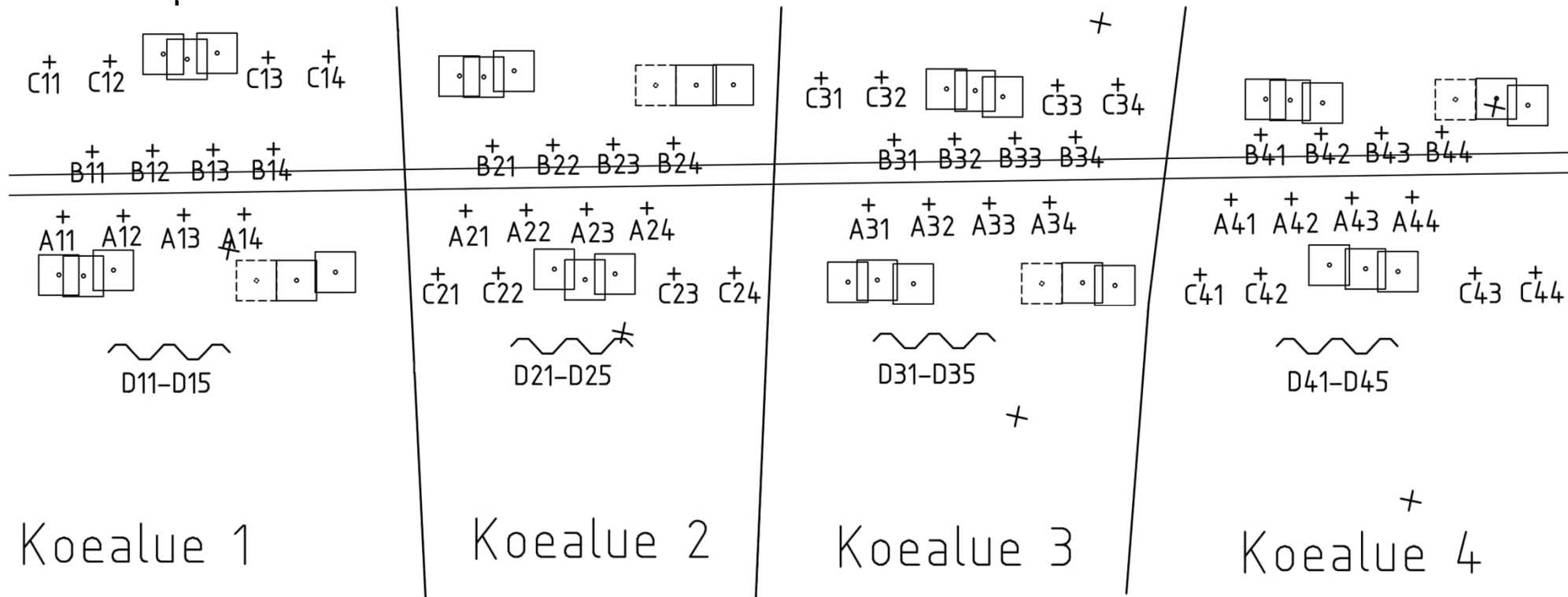
- Rakenne pudotustiivistetty
- Suoritettu heijarikairaukset

(Kuva: Anttila, Sanna, 2020)

# Koepaalutussuunnitelma

- A. Teräsbetonipaalu 300x300 mm<sup>2</sup>
- B. Lyötävä teräsputkipaalu 170/12,5 mm
- C. Porattava teräsputkipaalu 170/12,5 mm
- D. Tärytettävä teräspontti PU12

- Paaluja (A-C) 4 kpl / koealue (1-4)
- Pontteja (D) 5 kpl / koealue



# Mitä mitattiin?

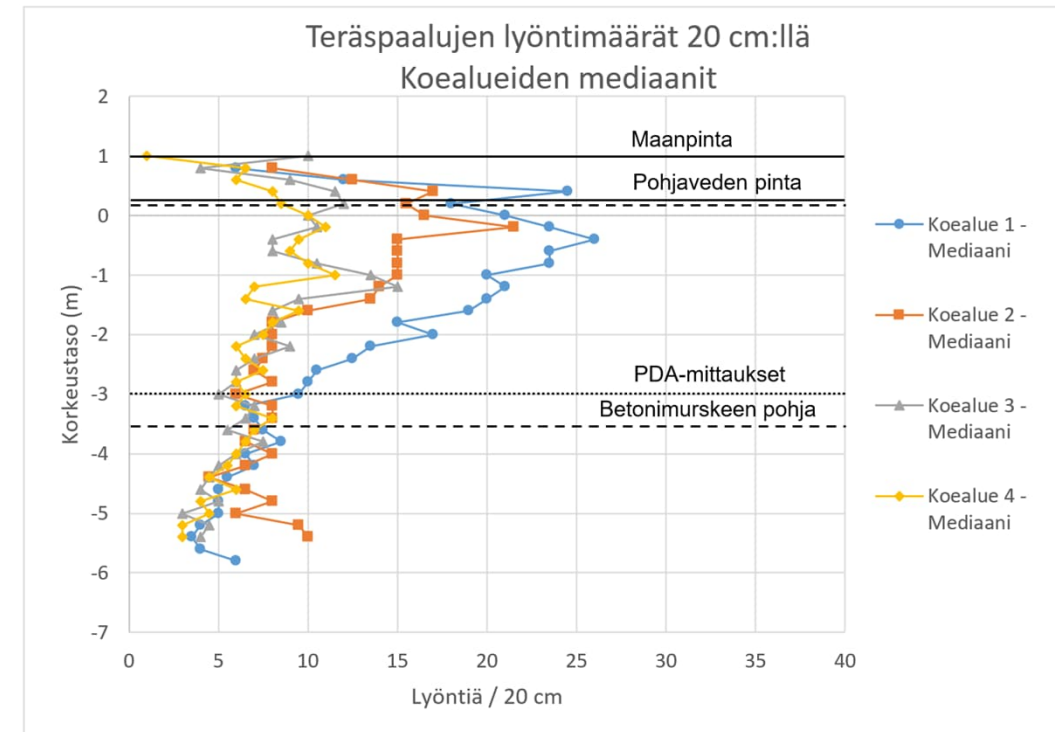
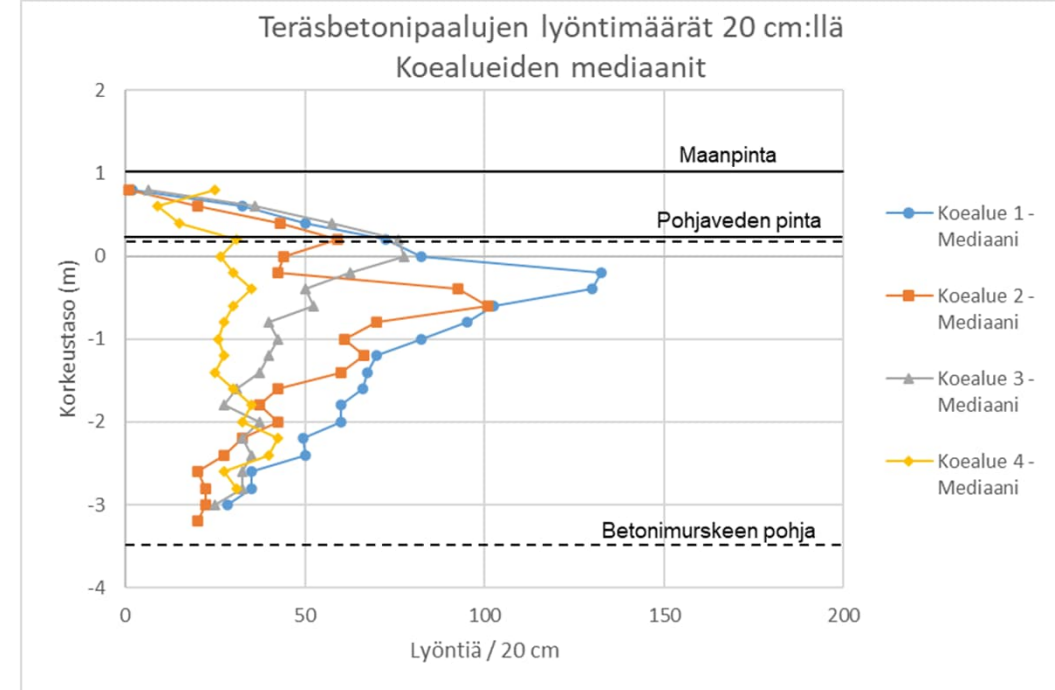
- Keskityttiin asennettavuuteen
  - Lyöntipaaluilla lyöntimäärä / 20 cm
  - Porapaaluilla ja ponteilla aika / 20 cm (1 m)
- Lisäksi
  - Paalutuspöytäkirja
  - PDA ja CAPWAP-mittaukset
- Tutkittiin käyttäytymistä betonimurskeessa, ei niinkään alapuolisessa täytössä



# Tulokset

# Lyöntipaalujen lyöntimäärät

- Betonipaalujen ajoittain korkeat lyöntimäärät
  - Yksittäisillä paaluilla jopa 200-600 L / 20 cm
  - Tällöin tulisi ohjeiden mukaan keskeyttää tai pienentää lyöntikorkeutta
  - Huomaa vaihteleva pudotuskorkeus
- Kerrokset tiiveimpiä heti pohjavedenpinnan alapuolella
- Teräspaalut upposivat kohtalaisen helposti



# Lyöntivastus

$$R = \frac{G * h}{s}$$

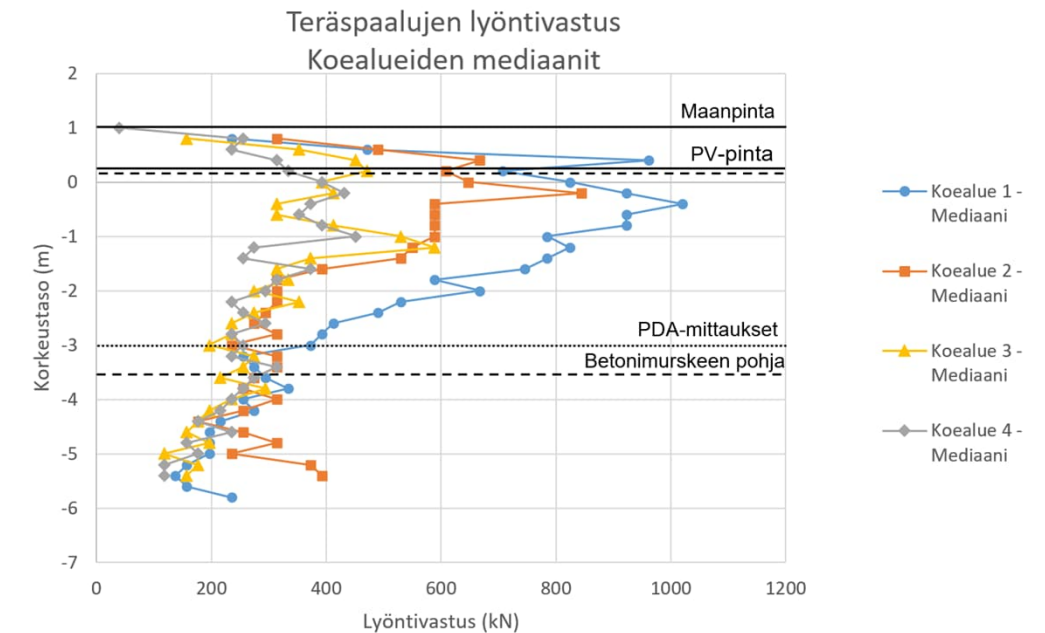
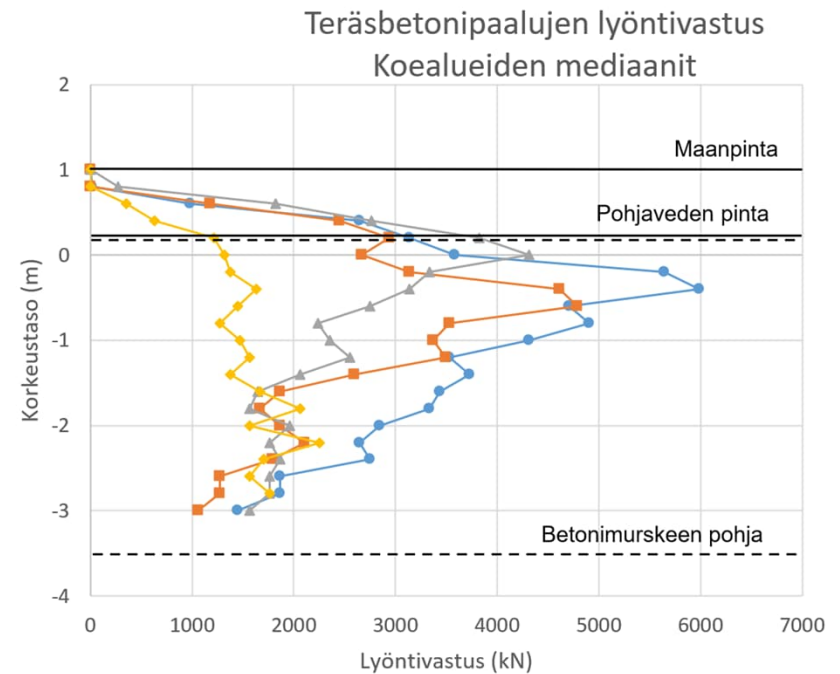
R = Paalun tunkeutumisvastus

G = Järkäleen paino

h = Järkäleen pudouskorkeus

s = Paalun pysyvä painuma

- Kuvaajien muodot eivät juurikaan muutu
- Betonipaalujen vastukset ovat suuria, vrt. kuormat, joita paalu kantaa (>2000 kN)
- Edelleen yksittäisillä paaluilla huomattavia eroja
- Lähestyttäessä rakenteen pohjaa, vastus ja erot koealueiden välillä pienee



# Porapaalutuksen tulokset

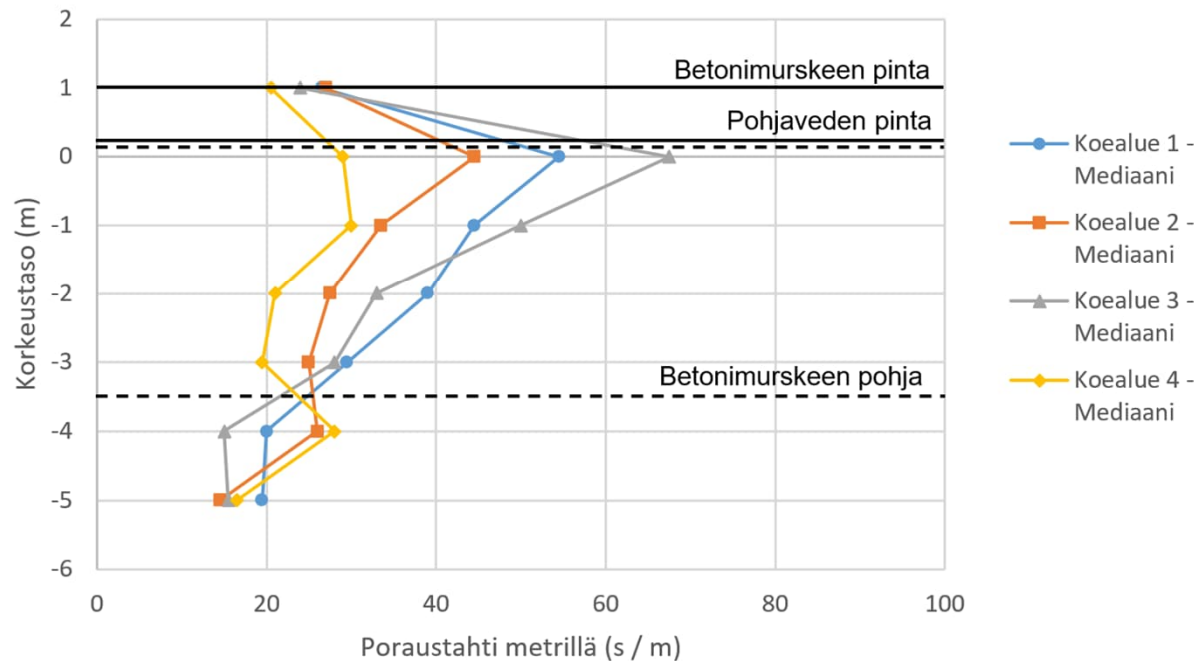
- Poraustyö nopeaa → ajan kirjaus metrin välein
- Käyrien muoto pysyy samankaltaisena
- Korkeimmat porausajat koealue 3:lla
  - Raudoituksen kappaleet BeM:in seassa



(Kuva: Seppänen, Joonatan, 2025)

Ramboll

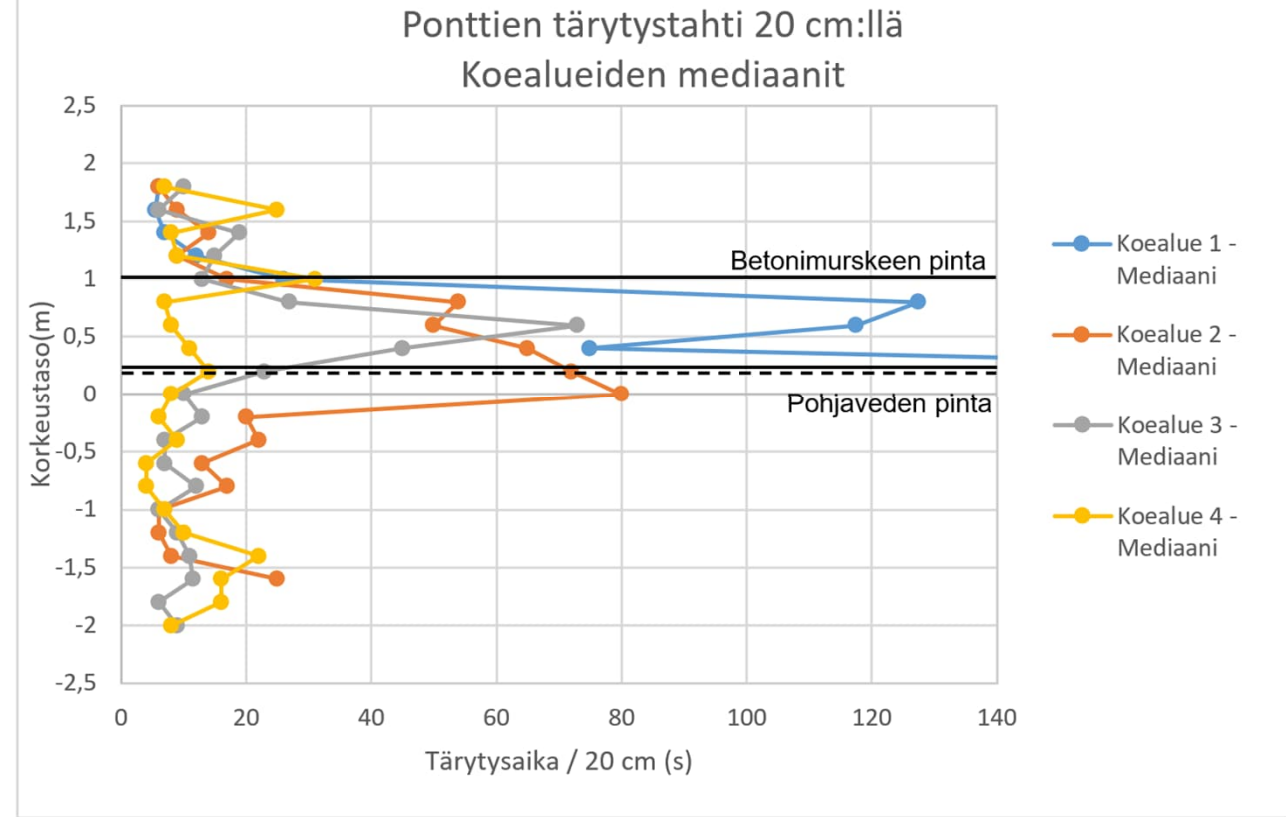
Porapaalujen poraustahti metrillä  
Koealueiden mediaanit



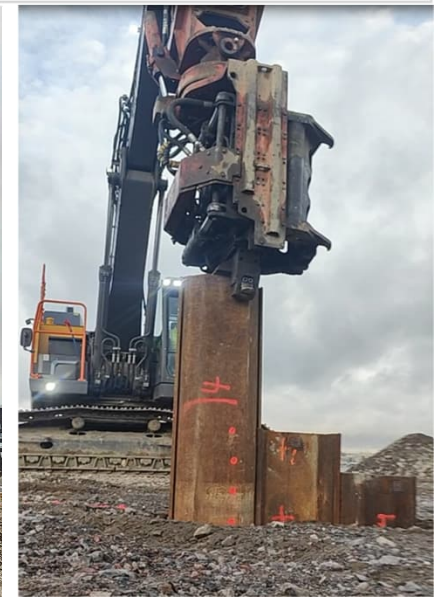
- Koealue 3 (BeM # 0/300) murskeen valmistustavasta johtuen paljon raudoituksen kappaleita.
- Yksi kysymys oli, voiko murskeen seassa oleva rauta rikkoa porauslaitteistoa
- Todettiin, että sekä pilotti, että avarrinkruunut selvisivät vaurioitumattomina murskekerroksen läpäisemisestä

# Tulokset ponteista

- Koealueella 1 (BeM # 0/90) ponttien asentaminen ei onnistunut yläpään murtumisen takia
- Muilla koealueilla asennus onnistui
- Osassa pontteja pieniä vaurioita



(Kuvat: Seppänen, Joonatan, 2025)



# Yhteenveto

## Jatkokysymyksiä:

- Kevyemmät tiivistysratkaisut
- Ohuemmat kerrokset
- Pohjatutkimusten soveltuvuus paalutettavuuden arviointiin
- Esireiän teko

- Kaikki paalut saatiin asennettua ehjinä
  - Betonipaalut tiukassa, mutta menivät
  - Teräspaalut upposivat helposti
  - Ponteista muut paitsi koealue 1:n
- Murskekerrokset sitä tiiviimpiä, mitä pienempi raekoko
- Syvyys suunnassa tiiveimmät kerrokset heti pohjavedenpinnan alapuolella
  - Pohjavedenpinta meriveden tasolla → vaihtelee n.  $\pm 0,5$  m
  - Vaikutus betonimurskeen uudelleenlujittumiseen



# Lähteet

Anttila, Sanna, 2020, Betonimurskeen geotekninen soveltuvuus meritäyttömateriaaliksi, Opinnäytetyö (YAMK), Turun ammattikorkeakoulu, 98+15 s.

Betoniteollisuus Ry, 2025, Betonin kierrätys ja uudelleenkäyttö, luettu: 5.12.2025, saatavissa: <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/kiertotalous/>

Ollikainen, Suvi, Dettenborn, Taavi ja Forsman, Juha, 2024, Betonimurske kaupunkien julkisessa maarakentamisessa, Ramboll Finland Oy, 26+8 s.

Repo, Teemu, 2025, PDA Raportti, Tritoninpuiston koepaalutus, 251001TRE, Junttan Oy, 11+54 s.

Bright  
ideas.  
Sustainable  
change.

RAMBOLL