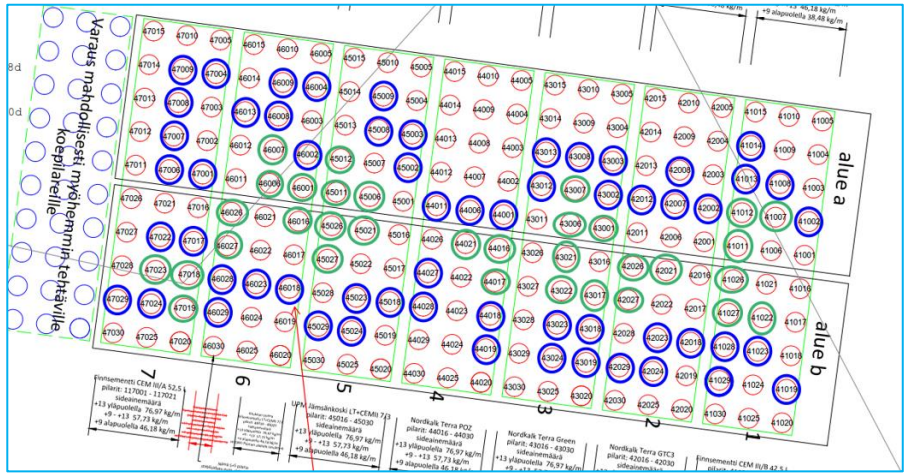
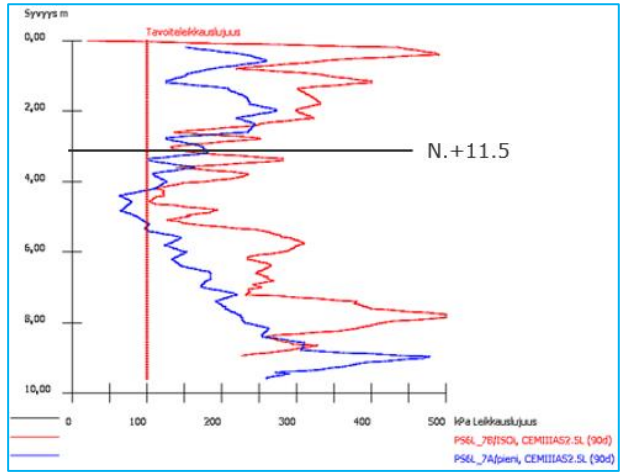




POHJANVAHVISTUSPÄIVÄ 2023

Koestabilointia uusiosideaineilla 2020-luvulla Turussa, Vantaalla, Tampereella, Porvoossa ja Helsingissä

24.8.2023, Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos

Juha Forsman

Ramboll Finland Oy

Koestabilointia uusiosideaineilla

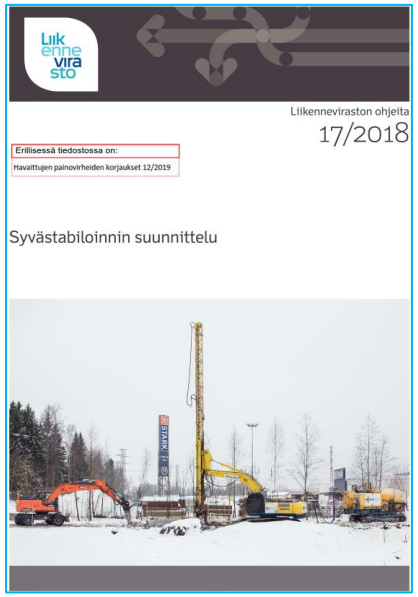
Sisältö:

- Syitä koestabilointiin
- Kohteiden sijainnit
- Sideaineet
- Laadunvalvontakairausmenetelmät
- Laadunvalvontakairaustulokset
- Johtopäätelmät

RAMBOLL

SYITÄ KOESYVÄSTABILOINTIIN

Tavoite	Tutkimusmenetelmät	Referenssejä ja kohteita
Sideainemäärän optimointi	Valvontakairaukset	Liikennevirasto 2018
Toteutettavuuden varmis-taminen	Stabilointi esim. kovien kerrosten läpi	Liikennevirasto 2018 Massastabilointikäsikirja 2014
Sekoituskärjen kehit-täminen	Pilareiden ylösnosto Kenttä- ja laboratoriotutkimukset	Aalto 2002 Larsson 2003
Pilareiden vedenläpäisevyys	Packer test (in situ vedenläpäisevyys)	Baker 2000
Sideaineen vaikutus pinta- tai pohjavesiin	Pohja- ja orsivesiputket, näytteenotto putkista ja pienvesistöistä, laboratorioanalyysit, …	Malminkenttä 2022, Topinpuisto 2022, Luhtitie 2021, Kuninkaantammi 2020, Länsiranta 2020, Hipunkulma 2020, Ejgstig 2012, Kungsbacka 2005,
Rakenteen geotekninen toimivuus	Kenttä- ja laboratoriotutkimukset, instrumentoinnit, seurantamittaukset	Malminkenttä 2022, Topinpuisto 2022, Kivikko 1998 ja 2000, Tolsa 1997, Kirkkojärvi 1982, Korso 1982, …
Uusiosideaineiden lujittuminen ja pitkäaikaistoimivuus	Valvontakairaukset, kenttä- ja laboratoriotutkimukset	Malminkenttä 2022, Luhtitie 2021, Kuninkaantammi 2020, Topinpuisto 2022, Länsiranta 2020, Ilokkaanrinne 2019, Kivikko 1998, Kirkkojärvi 1982, Korso 1982



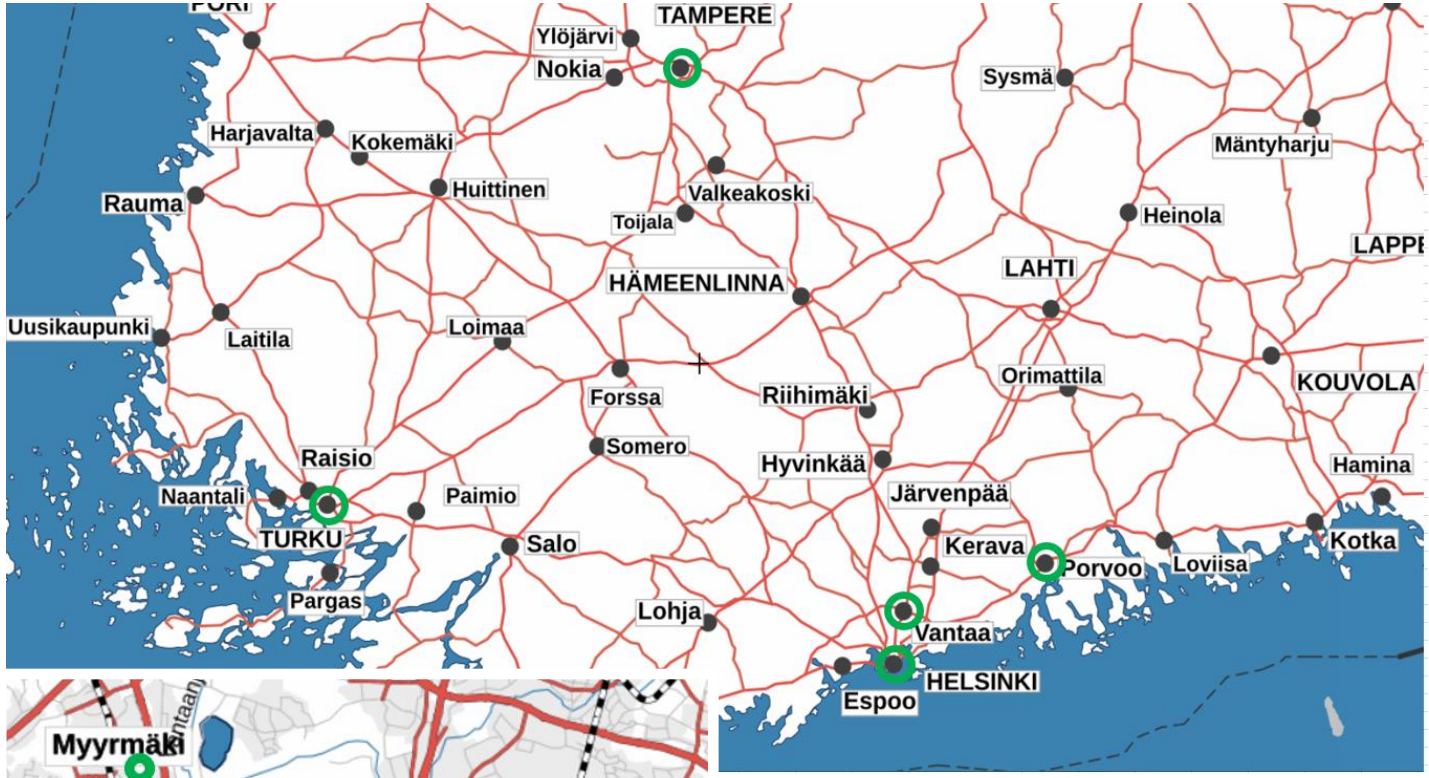
=> Merja

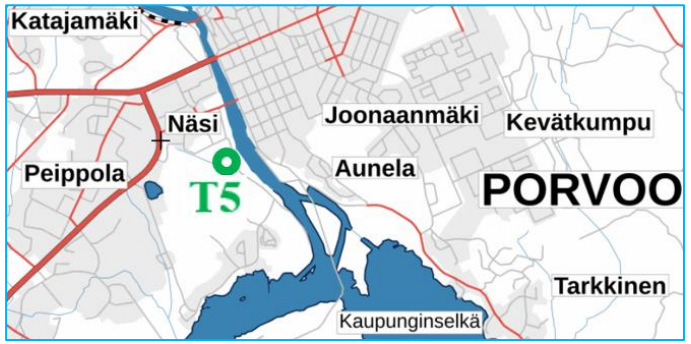
=> Juha, Jari

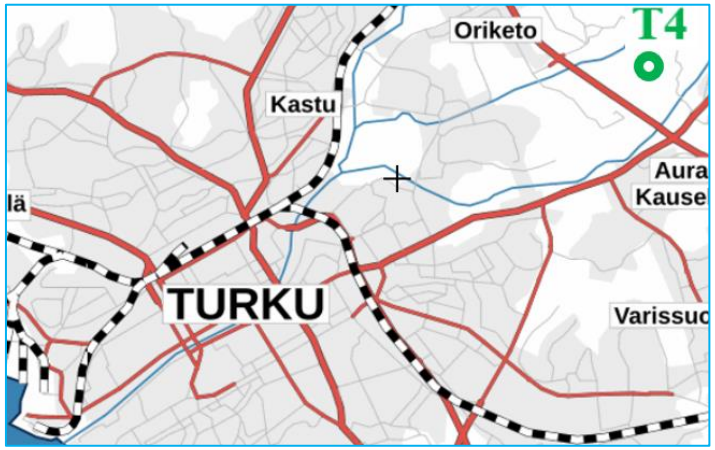
Larsson, S. 2003. Mixing Processes for Ground Improvement by Deep Mixing. Doctoral thesis.
Aalto, A. 2002. SYVÄSTABILOINTITUTKIMUS – yhteenveto projektin III vaiheesta. Raportti.
Baker. S. 2000. Deformation Behaviour of Lime/Cement Column Stabilized Clay. Doctoral thesis.

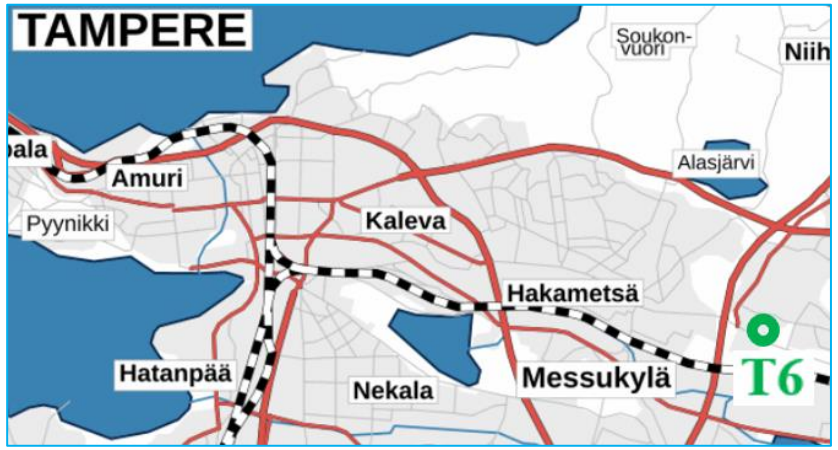
Kohteiden sijainnit

T1 = Malminkenttä, Helsinki, 2022
T2 = Luhtitie, Vantaa, 2021
T3 = Kuninkaantammi, Helsinki, 2020
T4 = Topinpuisto, Turku, 2022
T5 = Länsiranta, Porvoo, 2020
T6 = Ilokkaanrinne, Tampere, 2019









Koestabiloinneissa käytetyt sideaineet

	Sideaineen komponentti				
Sideaine	sementti	kipsi	kalkki	lentotuhka	masuunikuona
Nordkalk Terra: GTC2[a] (1:1:1)	II	33 %	$Ca(OH)_2$	-	-
Nordkalk Terra: GTC3[b] (1:1:1)	III	33 %	$Ca(OH)_2$	-	-
Nordkalk Terra: Green (1:1)	III	-	LKD	-	-
Nordkalk Terra: POZ (1:1:1)	III	-	CaO + LKD	-	-
Nordkalk Terra: KC20 (1:4)	II	-	CaO	-	-
Nordkalk Terra: KC30 (3:7)	II	-	CaO	-	-
Finnsementti: CEMIII/A [c]	III	-	-	-	36-65 %
Finnsementti: CEMIII/B [d]	III	-	-	-	65-80 %
UPM: KAI+CEM (7:3)	II	-	-	70 %	-
UPM: JAM+CEM (7:3)	II	-	-	70 %	-
PVO: KAU+CEM (7:3)	II	-	-	70 %	-
Ecolan: Stabi65	II	-	-	65 %	-
Ecolan: Stabi80	II	-	-	80 %	-

LKD = Lime Kiln Dust = sähköuunin kalkkisuodinpöly

KAI = Kaipola, JAM = Jämsäkoski, KAU = Kaukaa

[a] CEMII 04/2022 saakka [b] CEMIII 04/2023 alkaen

RAMBOLL

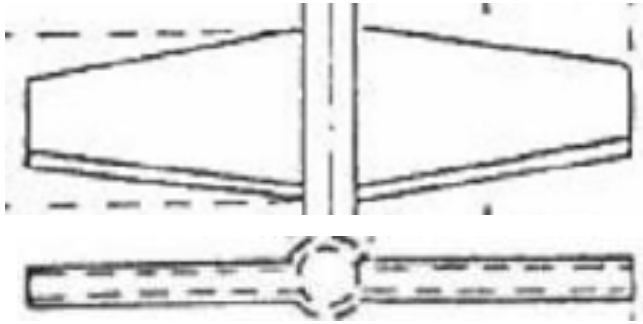
= tuotteistettu, ei ympäristölupaa

KÄYTETYT LAADUNVALVONTAKAIRAUSMENETELMÄT

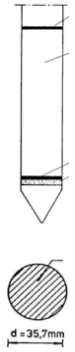
- **Pilarikaira** (A)
- Pilarisiipikaira (B)
- CPTU-kairaus
- Puristinheijarikairaus (A=50 cm^2)

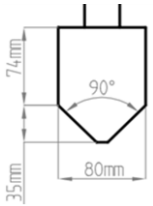
  (Syvästabiloinnin suunnittelu, Väylävirasto 2018)

Pilarikaira
(PK2/100)

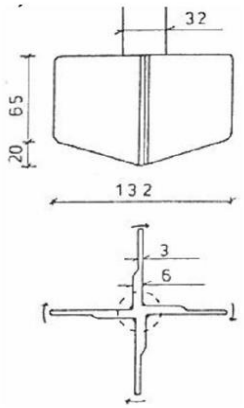


CPTU





PH50



Pilarisiipi-
kaira

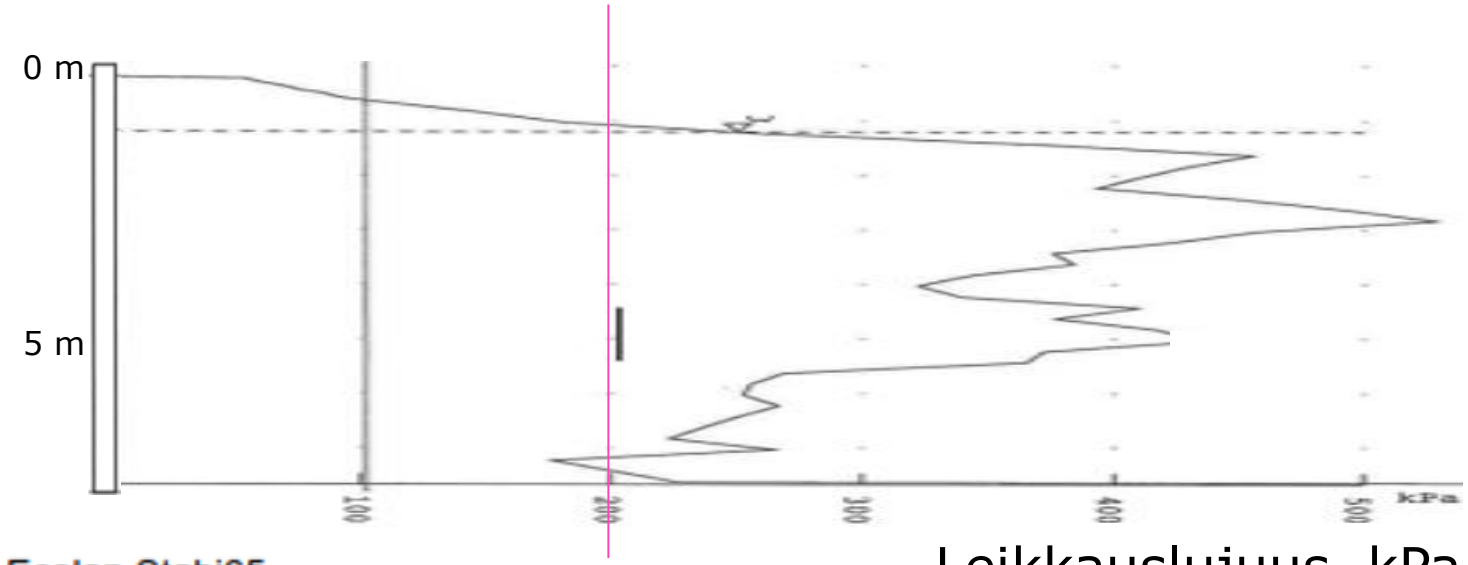
Koepilareiden pilarikairaustyö käynnissä

RAMBOLL

PILARIKAIRAUSTEN TULOKSIA (KESKIARVOKUVAAJIA) 1/6

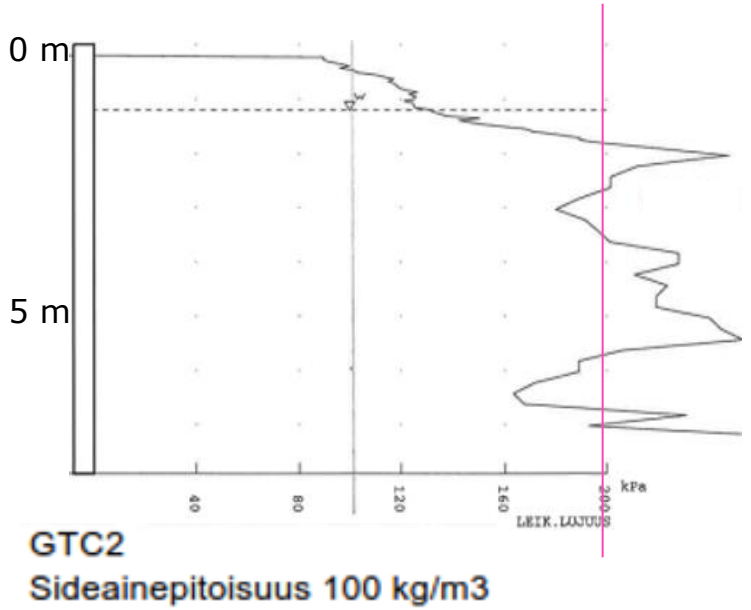
T6. Ilokkaanrinne 2019, 28 d kairaustulokset

Syvyys, m

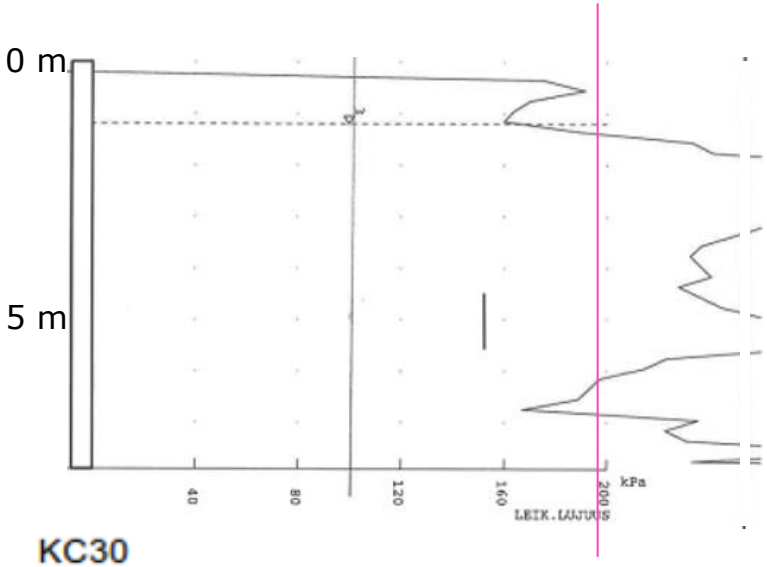


Ecolan Stabi65
Sideainepitoisuus 100 kg/m3

Leikkauslujuus, kPa



GTC2
Sideainepitoisuus 100 kg/m3



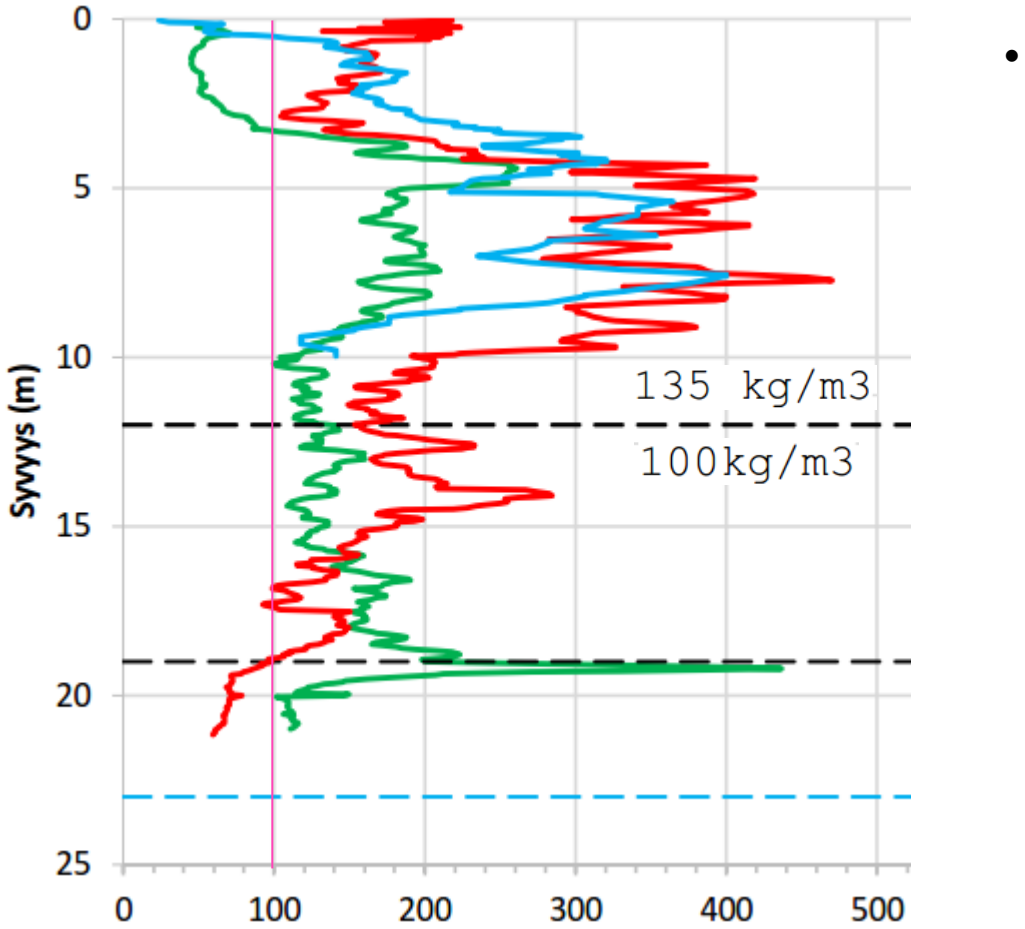
KC30
Sideainepitoisuus 100 kg/m3

$$\Rightarrow \tau_{InfraStabi} > \tau_{KC30} \approx \tau_{GTC}$$

RAMBOLL

PILARIKAIRAUSTEN TULOKSIA (KESKIARVOKUVAAJIA) 2/6

T5. Länsiranta 2020, 3 kk, alue **P01**



Leikkauslujuus, kPa

- syvyydellä 0-10 m ljSa…Lj (+HaSu)
- syvemmällä liSa

Lujittuminen 3 kk => 18 kk

KC30: $\tau_{18\ kk} \approx 1…1{,}5 \times \tau_{3\ kk}$

GTC: $\tau_{18\ kk} \approx 1…1{,}5 \times \tau_{3\ kk}$

InfraStabi80: $\tau_{18\ kk} \approx 2 \times \tau_{3\ kk}$

=> $\tau_{GTC} \approx \tau_{KC30} > \tau_{InfraStabi}$

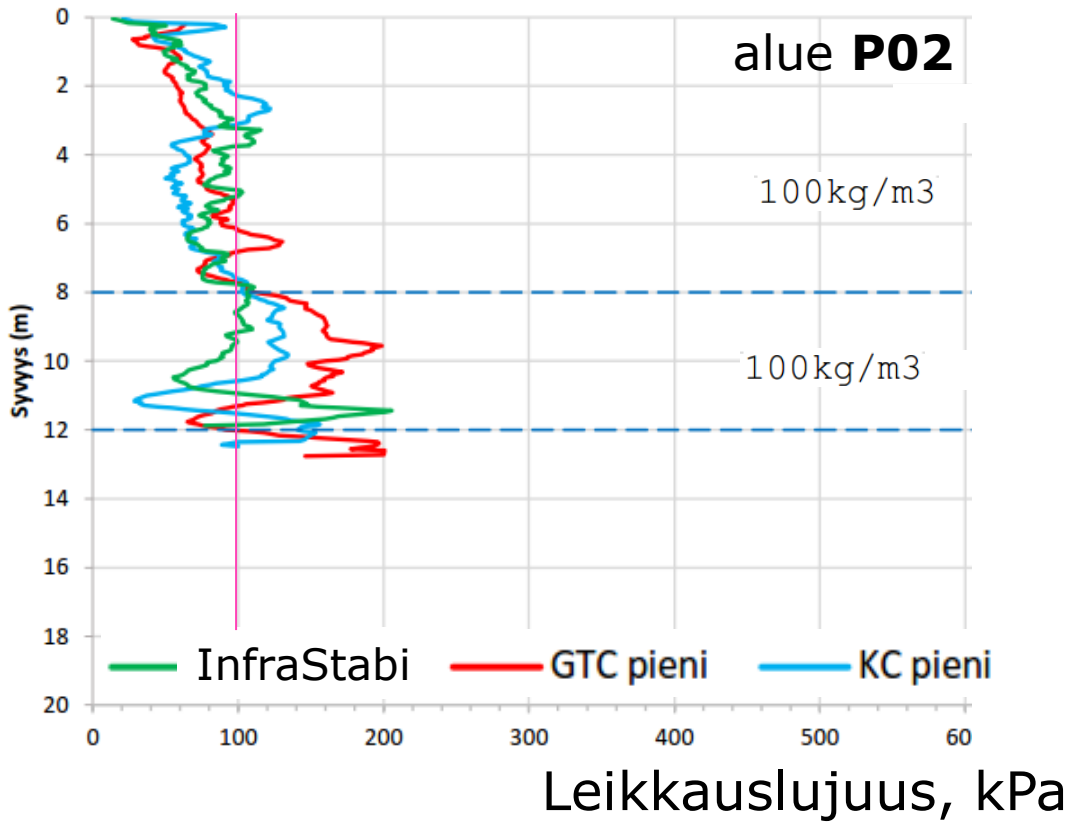
RAMBOLL

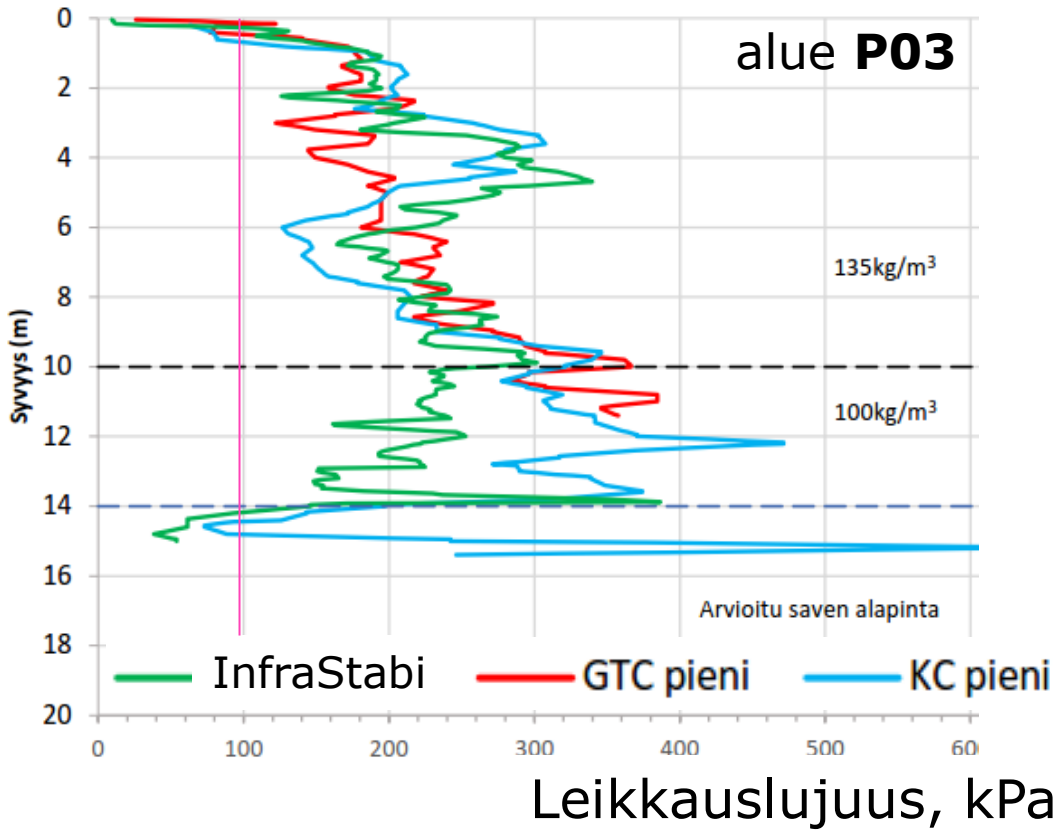
InfraStabi80 GTC pieni KC pieni

PILARIKAIRAUSTEN TULOKSIA (KESKIARVOKUVAAJIA) 2/6

=> $\tau_{GTC} \approx \tau_{KC30} \approx \tau_{InfraStabi80}$

T5. Länsiranta 2020, 3 kk





Lujittuminen 3 kk => 18 kk

KC30: $\tau_{18\ kk} \approx 1{,}5...2 \times \tau_{3\ kk}$

GTC: $\tau_{18\ kk} \approx 1{,}5...2 \times \tau_{3\ kk}$

InfraStabi80: $\tau_{18\ kk} \approx 1{,}5 \times \tau_{3\ kk}$

Lujittuminen 3 kk => 18 kk

KC30: $\tau_{18\ kk} \approx 1...1{,}5 \times \tau_{3\ kk}$

GTC: $\tau_{18\ kk} \approx 1...1{,}5 \times \tau_{3\ kk}$

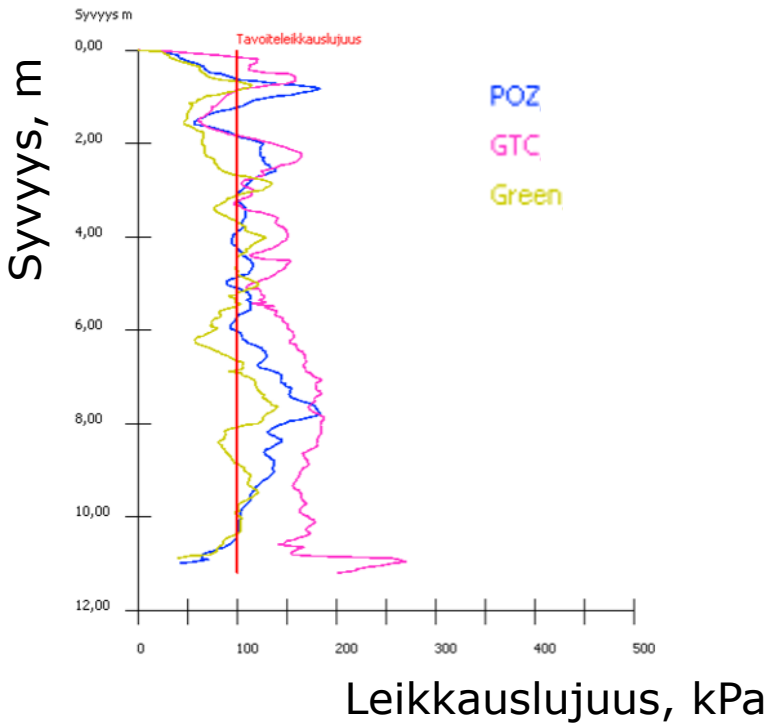
InfraStabi80: $\tau_{18\ kk} \approx 1...1{,}5 \times \tau_{3\ kk}$

PILARIKAIRAUSTEN TULOKSIA (KESKIARVOKUVAAJIA) 3/6

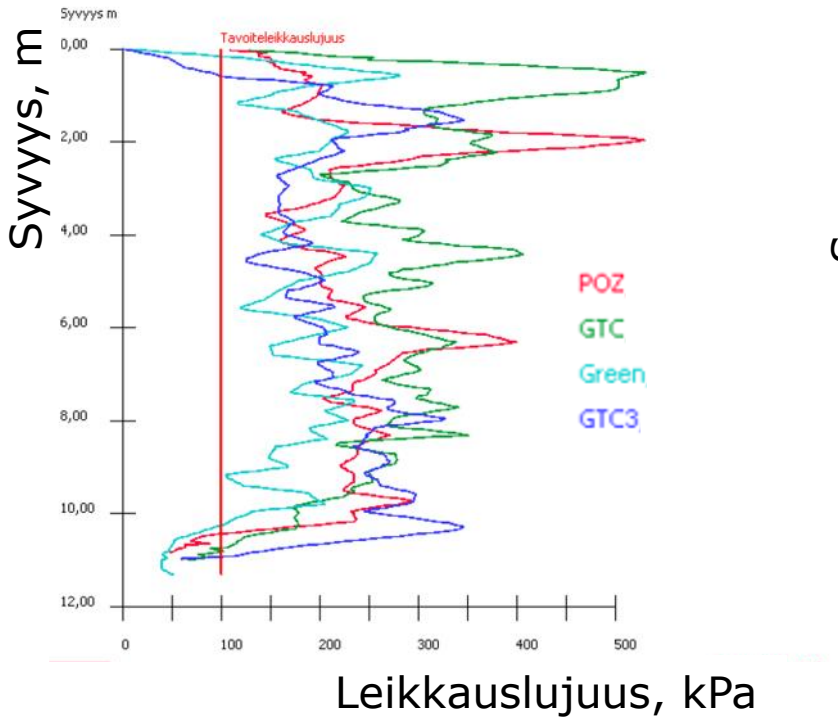
T4. Topinpuisto 2022, 90 d kairaustulokset

=> $\tau_{GTC} \approx \tau_{POZ} \approx \tau_{GREEN} \approx \tau_{LT+CEM}$

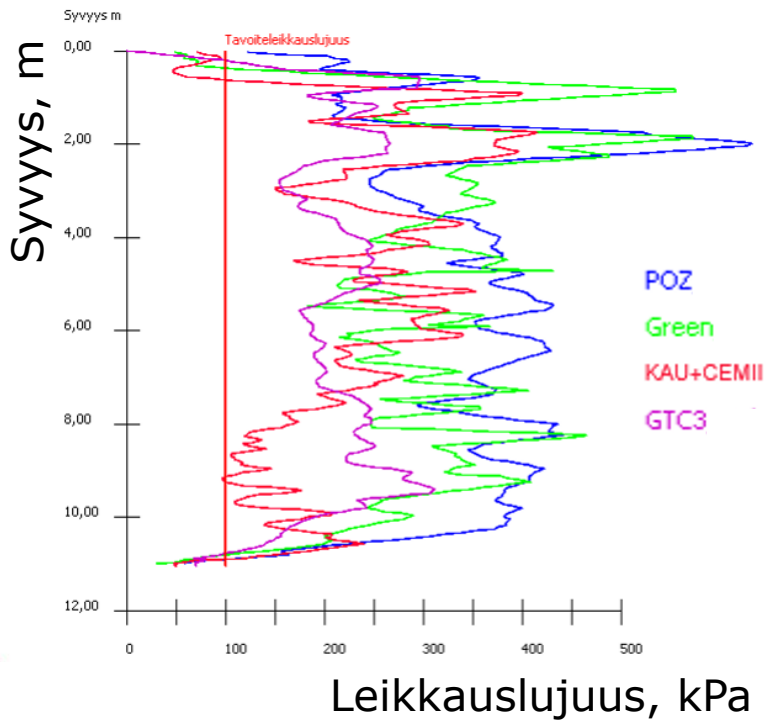
Sideainemäärä 80 kg/m³



Sideainemäärä 120 kg/m³



Sideainemäärä 160 kg/m³

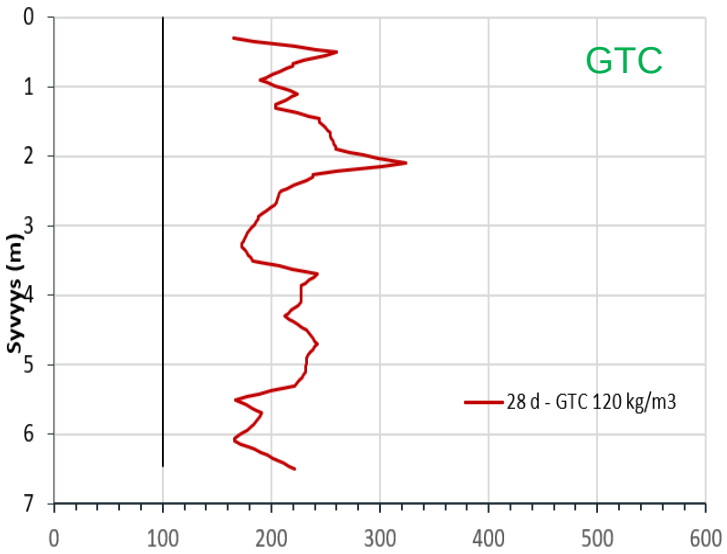


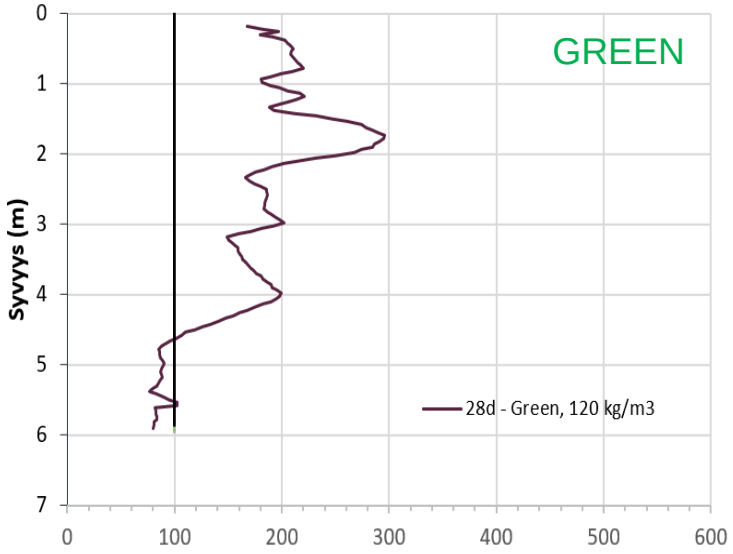
- n. 18 kk lujittumisajan valvontakairaukset ovat tulossa syksyllä 2023 (=> pitkäaikaistoimivuus)
- Alueella tehtiin myös koepilareita alueilla, joissa savikerroksen rikkipitoisuus vaihteli (HaSu:n vaikutus)

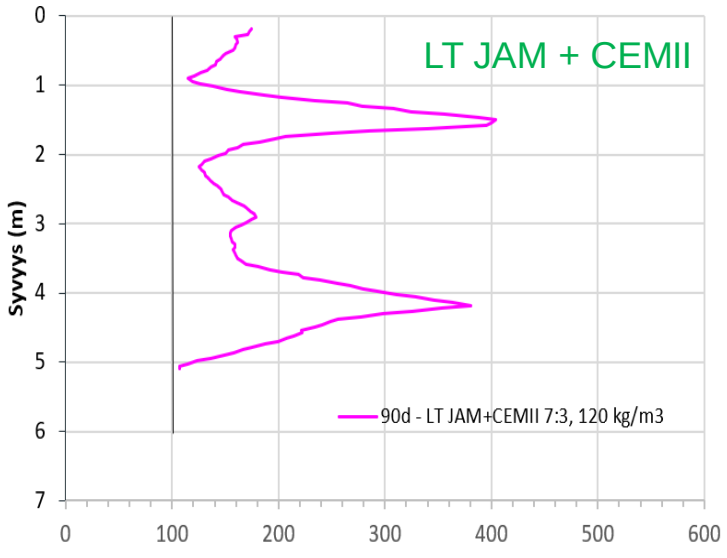
PILARIKAIRAUSTEN TULOKSIA (KESKIARVOKUVAAJIA) 4/6

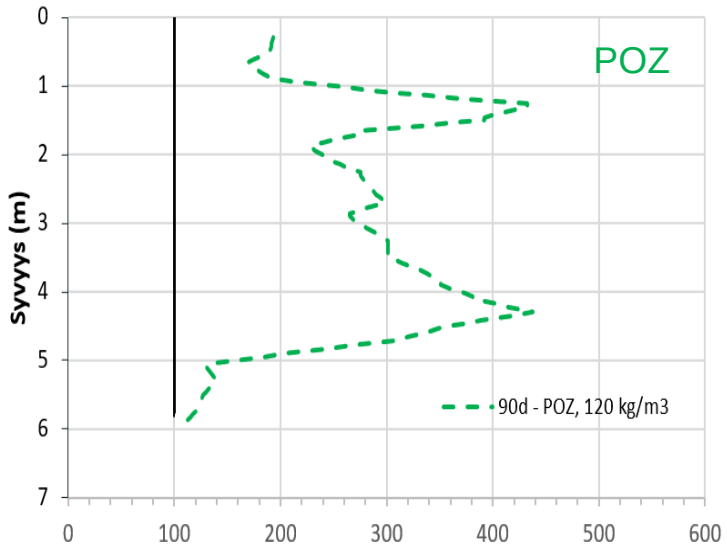
T3. Kuninkaantammi 2020

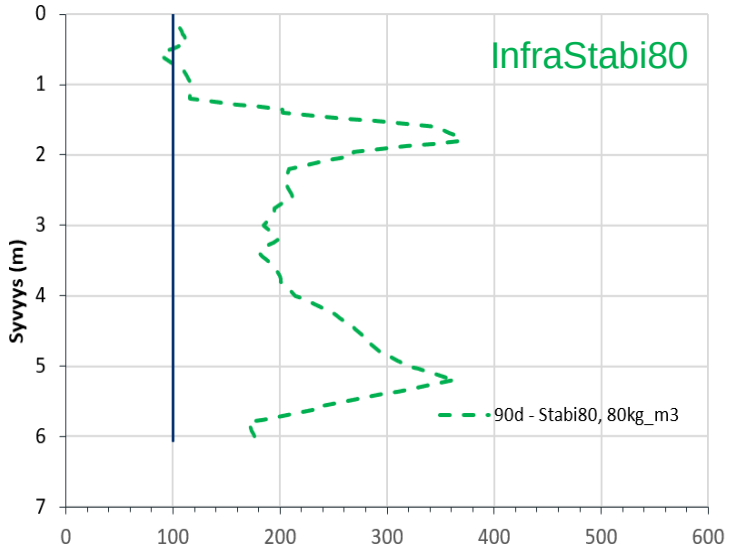
=> $\tau_{POZ} > \tau_{GTC} \approx \tau_{GREEN} \approx \tau_{LT+CEM} \approx \tau_{InfraStabi}$

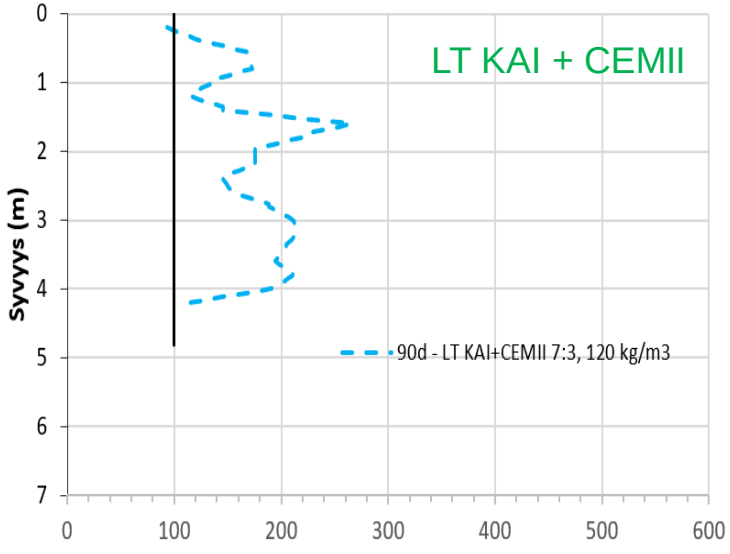






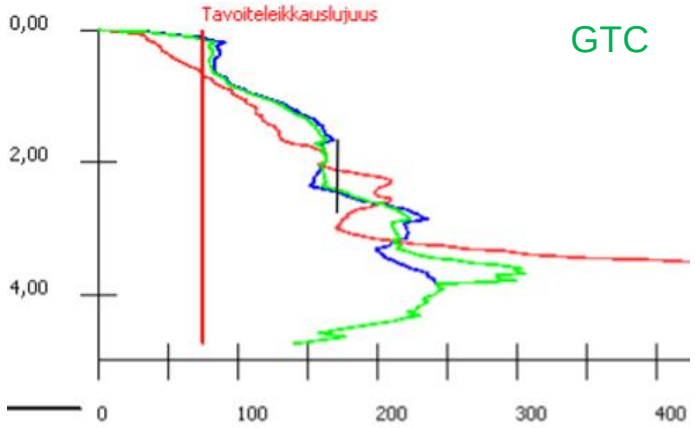


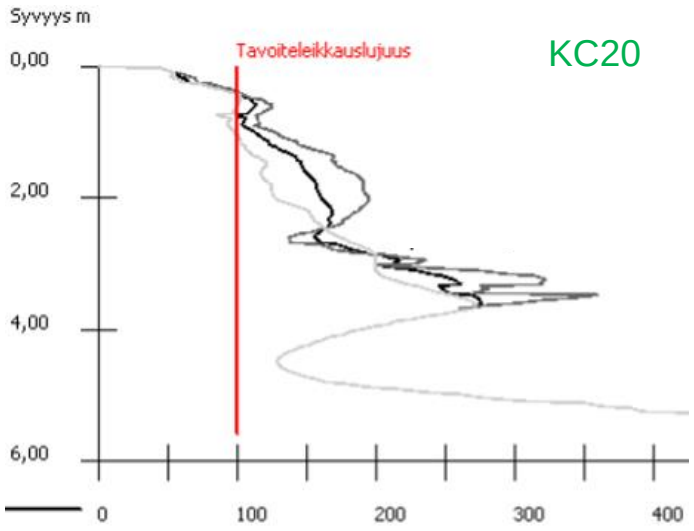


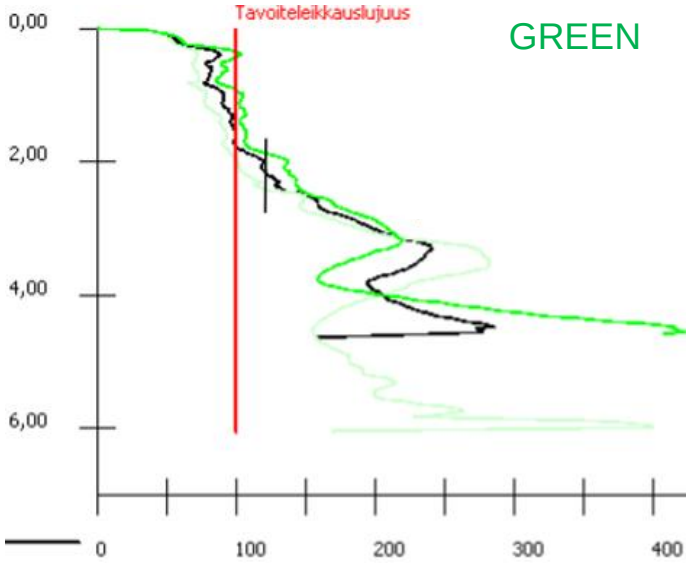


PILARIKAIRAUSTEN TULOKSIA (KESKIARVOKUVAAJIA) 5/6

T2. Luhtitie 2021, 28 d pilarikairaustulokset







$$\Rightarrow \tau_{GTC} \approx \tau_{KC20} \approx \tau_{GREEN}$$

RAMBOLL

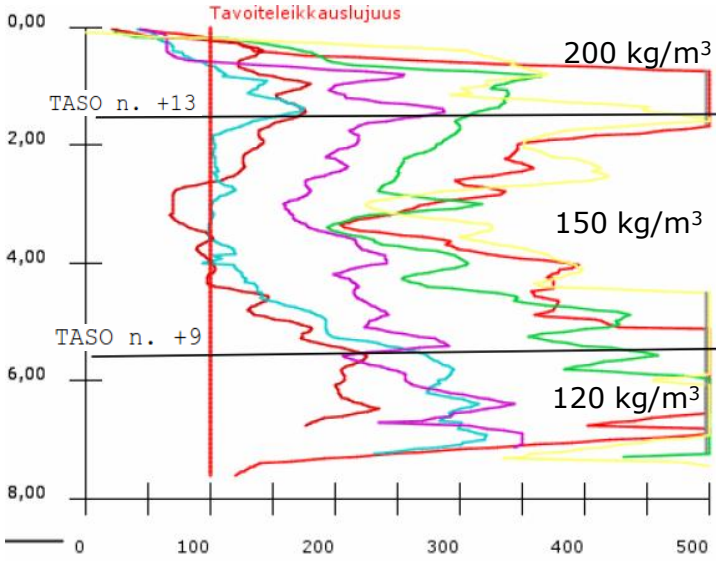
PILARIKAIRAUSTEN TULOKSIA (KESKIARVOKUVAAJIA) 6/6

- syvyydellä 0-5…6 m ljSa…Lj
- syvemmällä liSa

T1. Malminkenttä 2022, 90 d pilarikairaustulokset

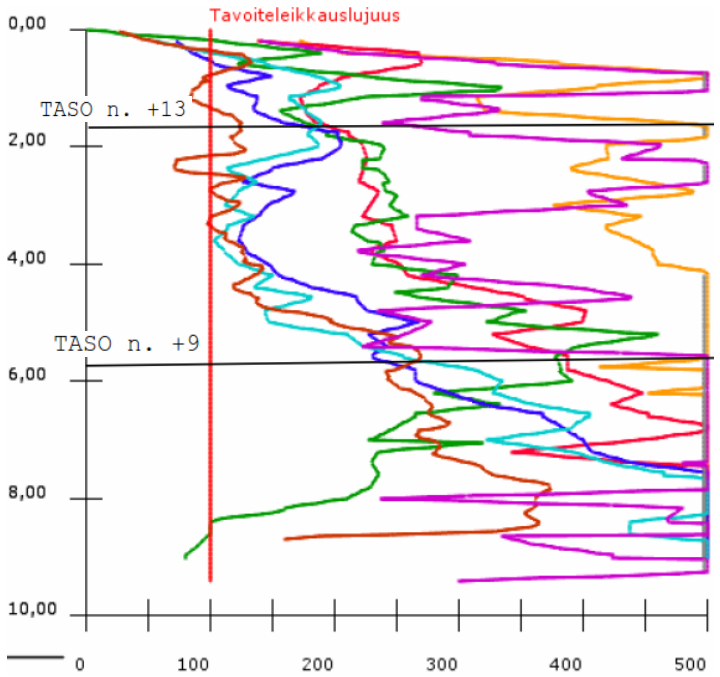
=> $\tau_{CEMIII} > \tau_{GTC} \approx \tau_{GREEN} > \tau_{POZ} > \tau_{LT+CEM}$

Alue PS1



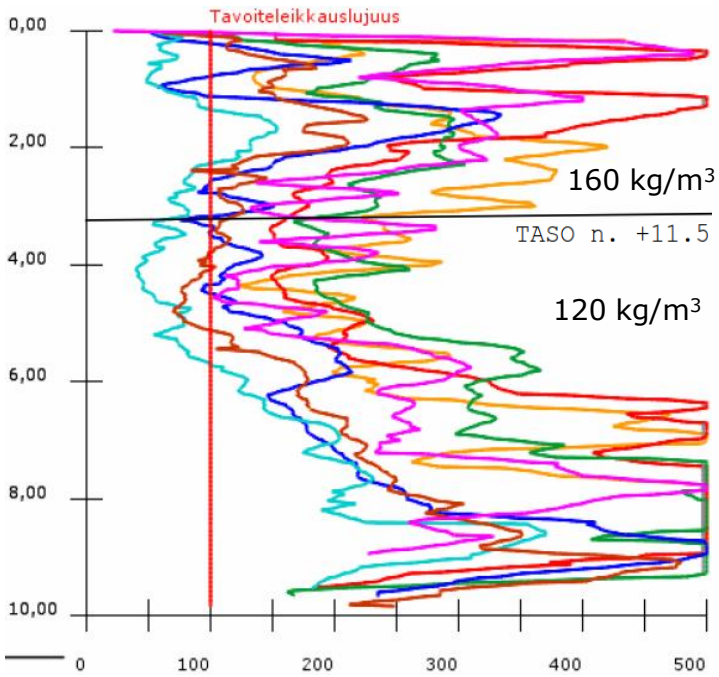
CEMIIIA
CEMIII/B
Green
POZ
UPM LT+CEMII
PVO LT+CEMII

Alue PS4



CEMIIIA
CEMIIIB
GTC
Green
POZ
UPM LT+CEMII
PVO LT+CEMII

Alue PS6



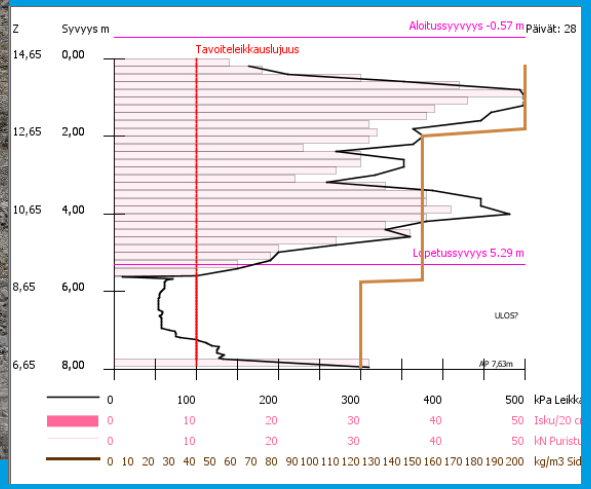
CEMIIIA
CEMIIIB
GTC
Green
POZ
UPM LT+CEMII
PVO LT+CEMII

(Malminkentän koestabiloinnit 2022, 28d ja 90d laadunvalvontakairausten yhteenvetoraportti, 20.4.2023, 453 s.)

Koestabilointia uusiosideaineilla

Johtopäätelmät

1. Kaikilla tutkituilla sideaineilla on saavutettu käyttökelpoisia lujuuksia.
2. "Tavanomaisessa" savessa ero eri sideaineilla saavutetuissa lujuuksissa vaihtelee merkityksettömästä kohtuulliseen => "Tavanomaisessa" savessa parhaita lujuuksia on kohteesta riippuen saavutettu sideaineilla: GTC, POZ, Green ja LT+CEM.
3. Liejuisessa savessa (myös HaSu) suurimpia lujuuksia on saavutettu GTC:llä ja CEMIII:lla (jossa suuri osuus masuunikuonaa) => Liejuisessa savessa "tuhkasideaineilla" sideainemäärän on oltava suuri.
4. Jatko:
   - pitkäaikaistoimivuuden seuraamiseksi 12-18 kk lujittumisajalla kairauksia
   - pilareiden ylösnostoja Malminkentällä 09/2023
   - tuloskäsittelyä: pilareiden lujuuden variaatiokerroin (COV)
   - tuloskäsittelyä: pilareiden CO_2e-päästöt (kg CO_2e/kPa/m-pilari)
   - uusia koestabilointeja uusilla sideaineseoksilla
   - artikkeleita ja opinnäytetöitä tulosaineistosta



KIITOS!

RAMBOLL