Jari Ikävalko

Master's programme in Geoengineering

16.6.2023

Pilaristabiloinnin kenttä- ja laboratoriolujuuksien suhde koestabilointikohteissa

Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University

Työn valvoja:
Leena Korkiala-Tanttu

Työn ohjaajat:
Juha Forsman
Asko Aalto

Sisältö:

- Työn tavoitteet
- Menetelmät / teoria
- Tutkimuskohteet
- Tulokset ja johtopäätökset

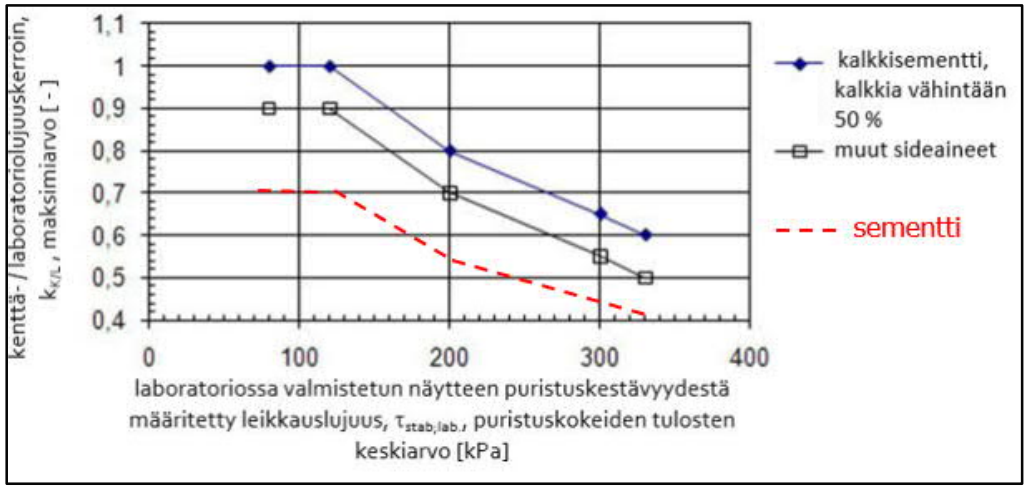
Työn tavoitteet:

- Päätavoite määrittää kenttä-/laboratoriolujuuskertoimia uusiosideaineille
- Tuottaa aineistoa Väyläviraston ohjeen kehittämiseen
- **Työn tuloksia on tarkoitus hyödyntää Väyläviraston Syvästabilointiohjeen päivityksessä**

Kenttä- / laboratoriolujuuskerroin $k_{K/L}$

- Syvästabiloinnin suunnittelussa stabiloidun maan puristuslujuuden määrittämiseen tarvitaan kenttä-/laboratoriolujuuskerrointa.

Liikenneviraston ohjeita
17/2018



$$\tau_{stab;k} = \tau_{stab} \times \boxed{k_{K/L}} \times k_{ed.} \times k_{Ts/Tt} \qquad (6.3a)$$

$\tau_{stab;k}$ stabiloidun maan leikkauslujuuden ominaisarvo mitoituslujittumisajan jälkeen (yleensä 28 tai 90 vrk)

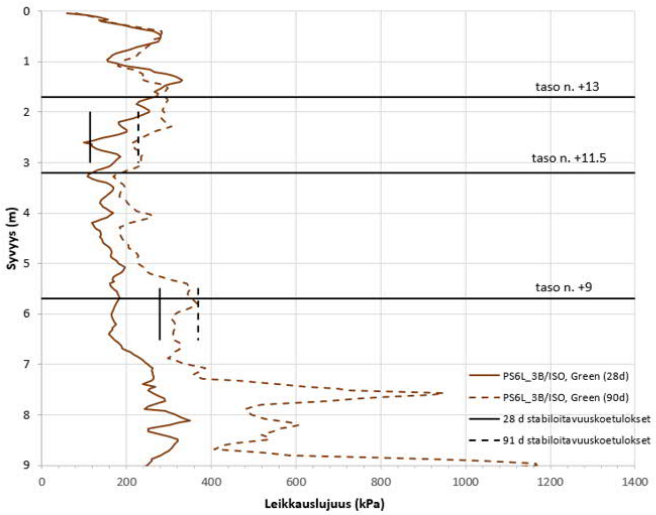
Kenttä-/laboratoriolujuuskerroin $k_{K/L}$

$$k_{K/L\ (\text{"tulospari"})} = \frac{\text{leikkauslujuus valvontakairausdiagrammissa (ka.)}}{\text{leikkauslujuus stabiloitavuuskokeissa (ka.)}}$$

Pilareiden valvontakairaustulosten ja stabiloitavuuskokeiden tulosten tulee olla samoilla sideaineresepteillä, samasta savikerroksesta ja samoilla lujittumisajoilla tehtyjä.

Valvontakairaustulokset:

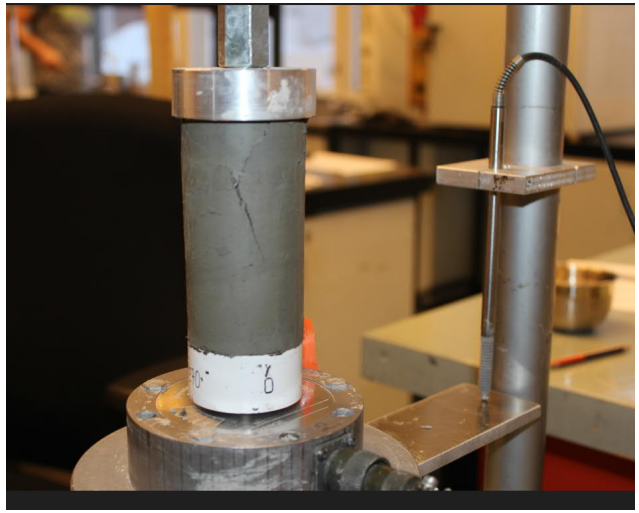
- Pilarikairausten keskiarvoleikkauslujuus
- Keskiarvoleikkauslujuus 3-6 kairaustulosta



Kuva 1. Valvontakairauksista tehty keskiarvoleikkauslujuuskäyrä ja stabiloitavuuskokeiden keskiarvoleikkauslujuudet. (Ikävalko 2023)

Stabiloitavuuskokeet:

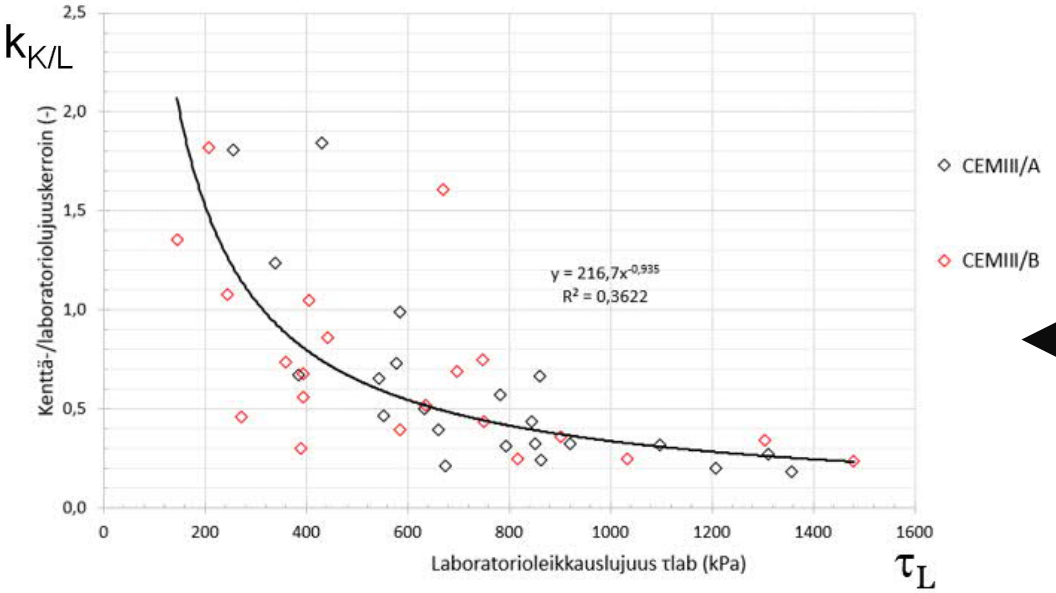
- Yksiaksiaalinen puristuskoetulos
- Puristuskokeiden keskiarvo 2 tai 3 koekappaletta



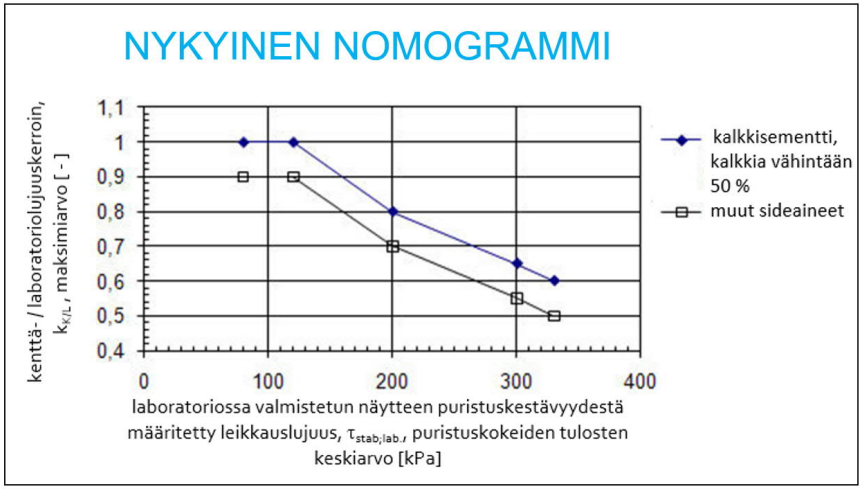
Kuva 2 Stabiloitavuuskokeiden yksiaksiaalinen puristuskoe. (Ikävalko 2023)

Kenttä-/laboratoriolujuuskerroin $k_{K/L}$

$$k_{K/L\ (\text{"tulospari"})} = \frac{\text{leikkauslujuus valvontakairausdiagrammissa (ka.)}}{\text{leikkauslujuus stabiloitavuuskokeissa (ka.)}}$$



Kuva 3. Kenttä-/laboratoriolujuuskertoimen tulospareista määritetty trend- käyrä. (Ikävalko 2023)



Tutkimuskohteet ja sideaineet

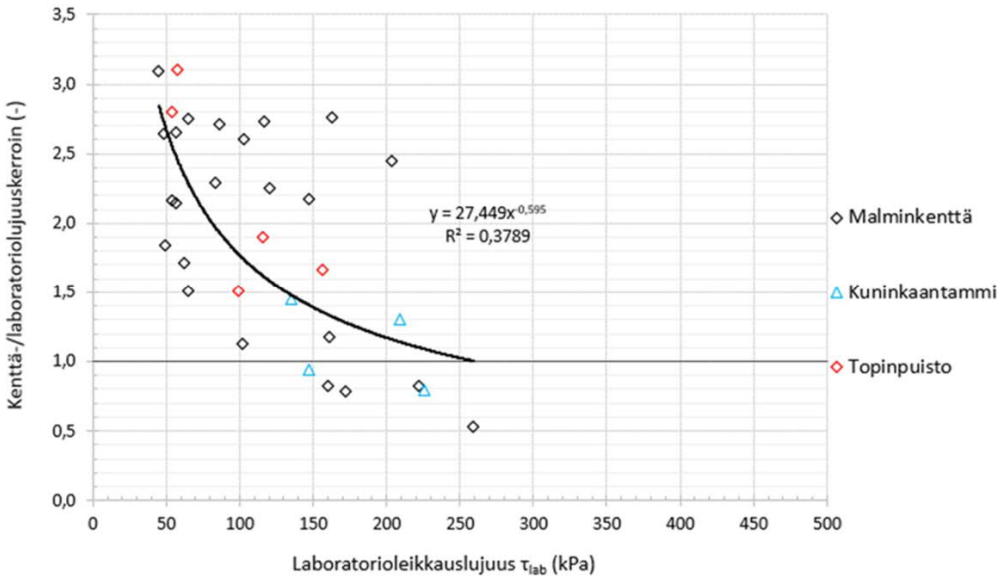
Sideaineet:

- Nordkalk Terra GTC2 ja GTC3
- Nordkalk Terra Green
- Nordkalk Terra POZ
- Nordkalk Terra KC20 ja KC30
- LT+CEMII (PVO ja UPM lentotuhka)
- Ecolan InfraStabi 65 ja 80
- Finnsementti CEMIII/A ja CEMIII/B

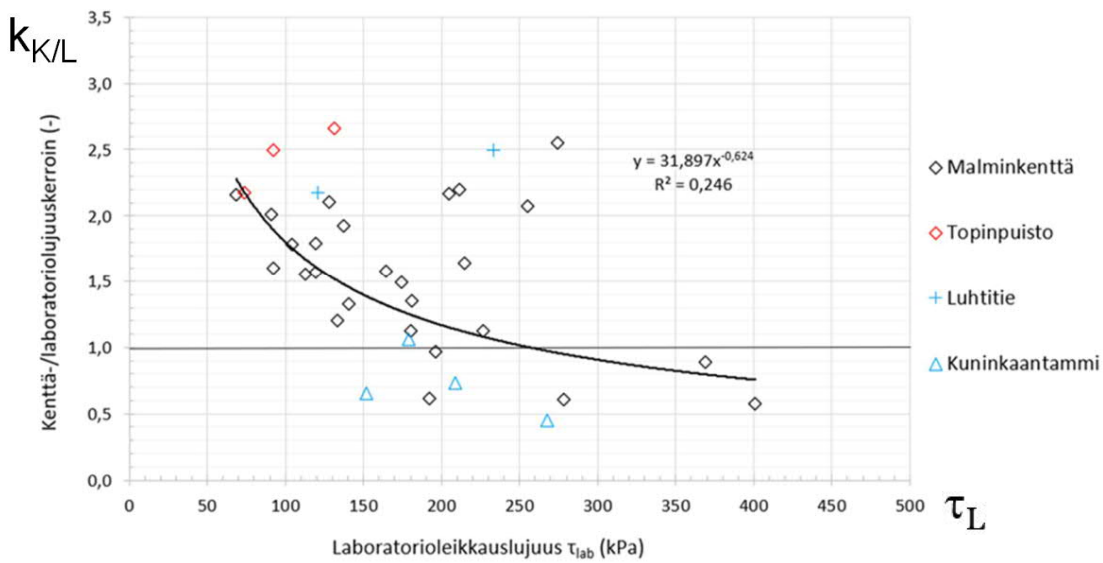
Taulukko 1. Tutkimuskohteet ja tulosparimäärät. Tulospareja on taulukossa kaikkiaan 274 kpl.

Tutkimuskohde	GTC	Green	POZ	LT+CEMII	KC	Stabi	CEMIII	Yht:
Malminkenttä 2022	23	26	23	48	-	-	44	**164**
Topinpuisto 2022	3	3	5	6	-	-	-	**17**
Luhtitie 2021	3	2	-	-	2	-	-	**7**
Länsiranta 2020	15	-	-	-	12	17	-	**44**
Kuninkaantammi 2020	9	4	4	14	-	8	-	**39**
Ilokkaanrinne 2019	1	-	-	-	1	1	-	**3**
Yht:	**54**	**35**	**32**	**68**	**15**	**26**	**44**	**274**

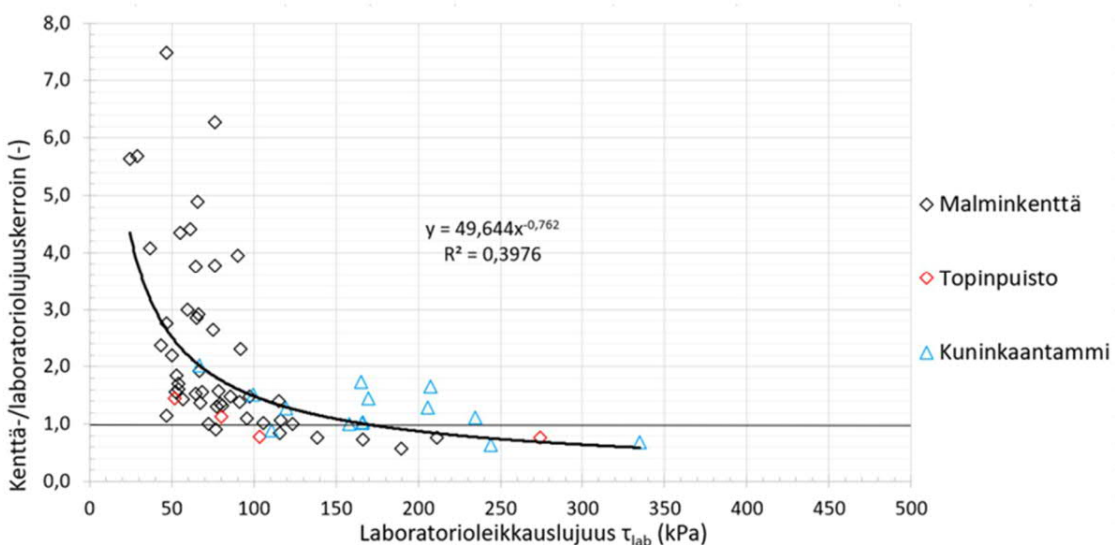
Tutkimustulokset



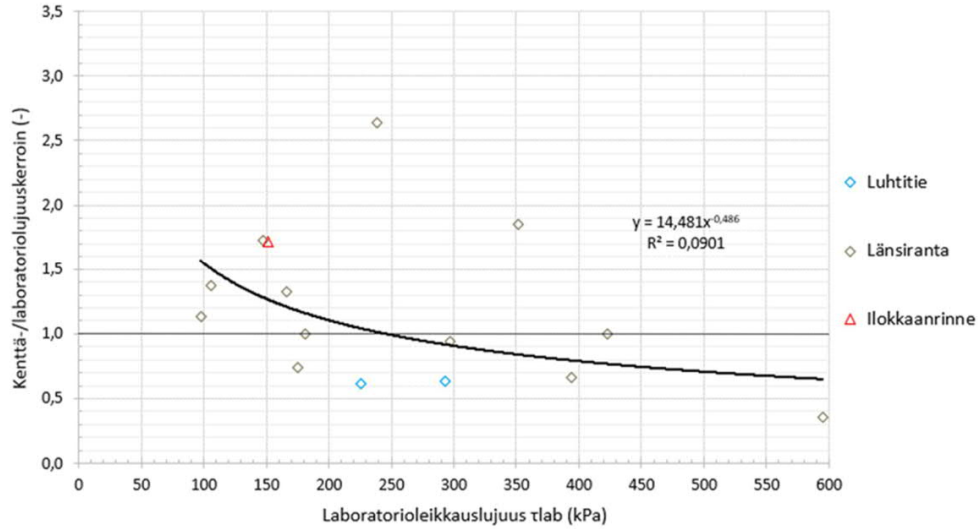
Kuva 4. Kenttä-/laboratoriolujuuskerroin ja trend- kuvaaja sideaineella Terra POZ.



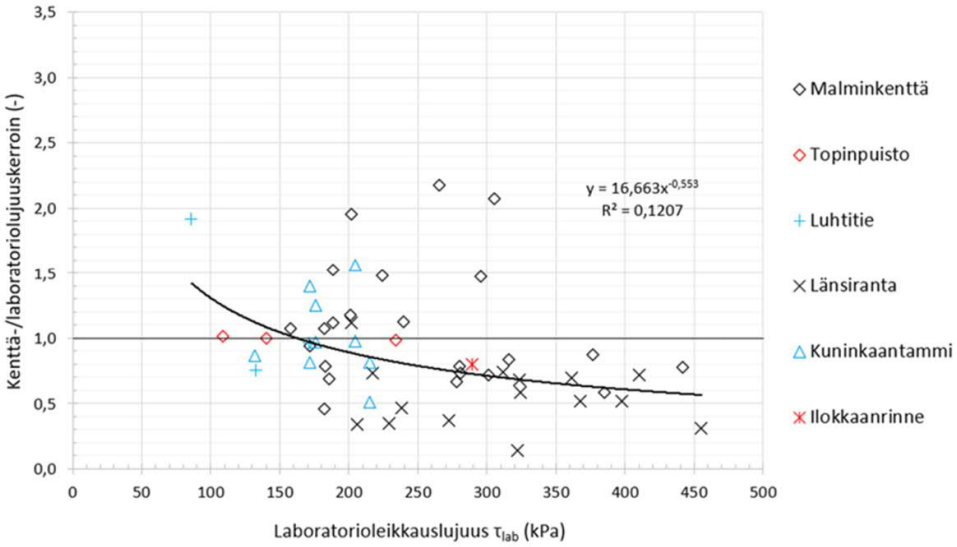
Kuva 5. Kenttä-/laboratoriolujuuskerroin ja trend- kuvaaja sideaineella Terra Green.



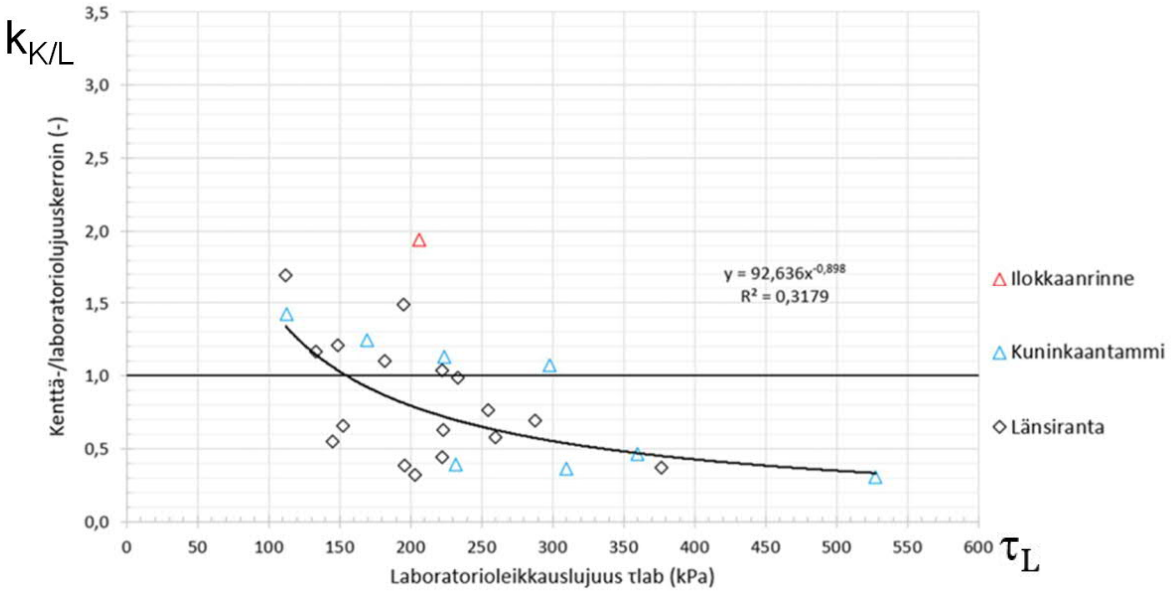
Kuva 6. Kenttä-/laboratoriolujuuskerroin ja trend- kuvaaja sideaineella LT+CEMII.



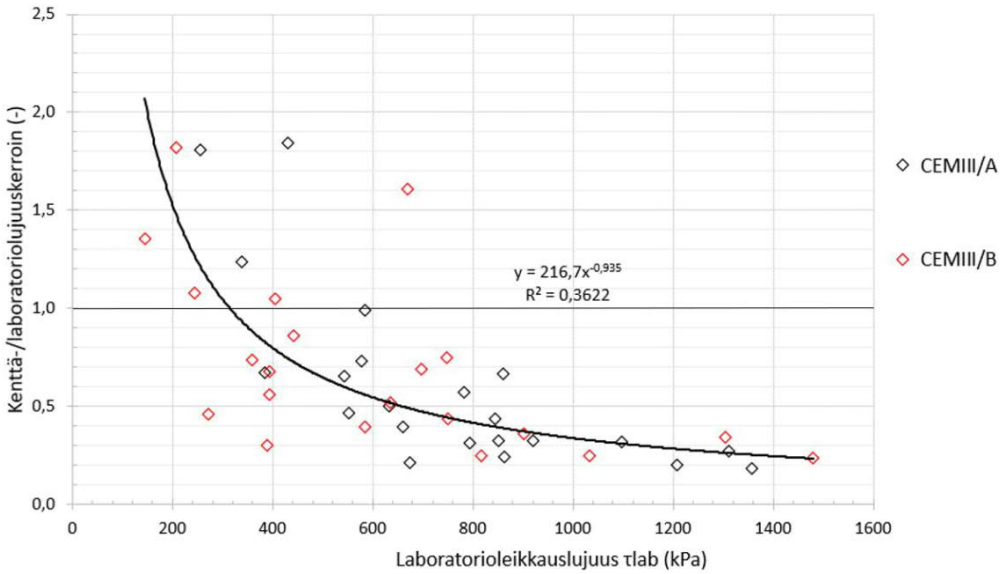
Kuva 7. Kenttä-/laboratoriolujuuskerroin ja trend- kuvaaja sideaineella Terra KC20 ja KC30.



Kuva 8. Kenttä-/laboratoriolujuuskerroin ja trend- kuvaaja sideaineella Terra GTC2 ja GTC3.

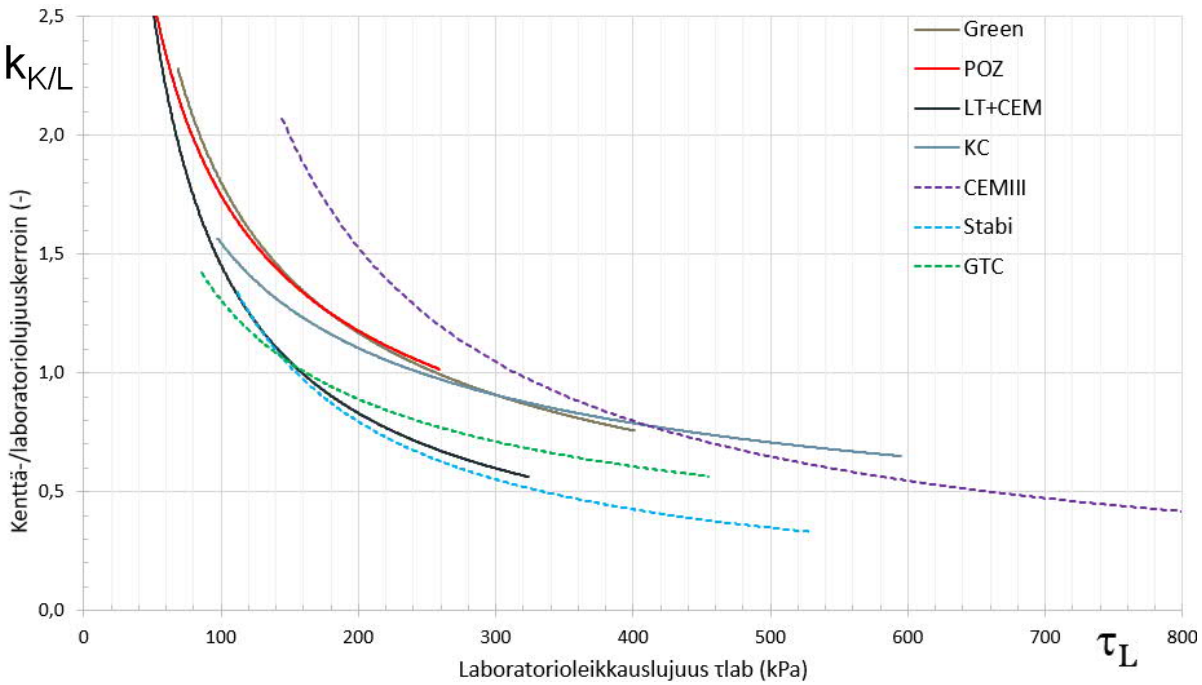


Kuva 9. Kenttä-/laboratoriolujuuskerroin ja trend- kuvaaja sideaineella InfraStabi65 ja InfraStabi80.



Kuva 10. Malminkenttä, kenttä-/laboratoriolujuuskerroin ja trend- kuvaaja sideaineella CEMIII (CEMIII/A ja CEMIII/B).

Tutkimustulokset

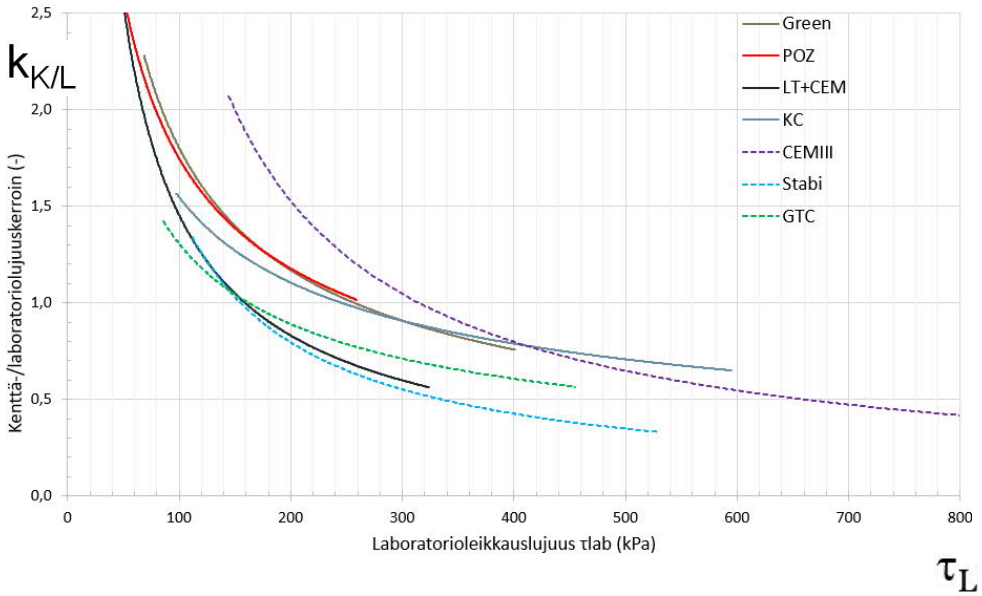


Kuva 11. Sideaineiden GTC, Green, POZ, LT+CEM, KC, Stabi ja CEMIII -trend- kuvaajat.

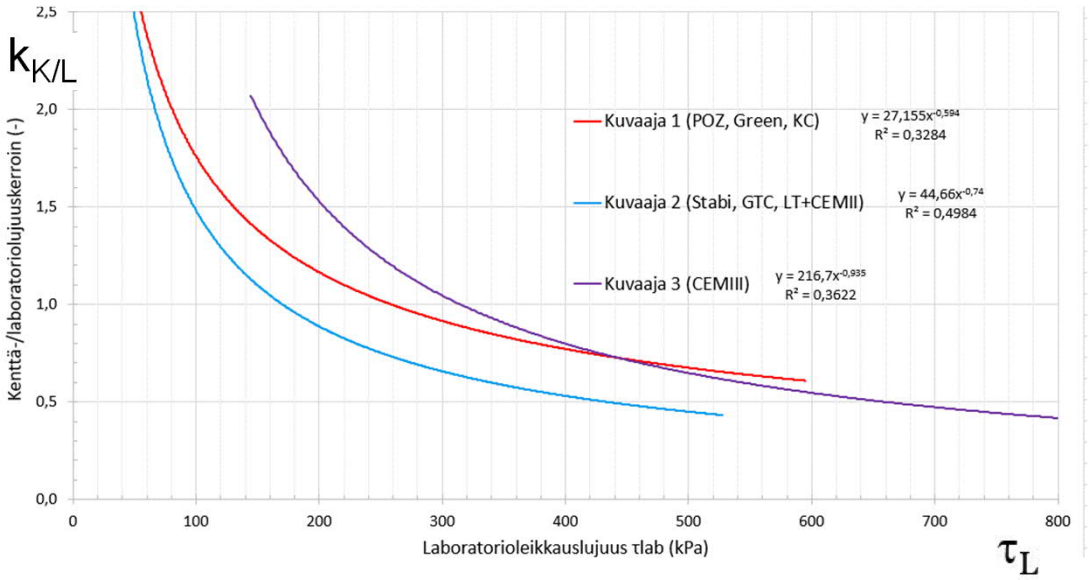
Taulukko 2. Sideaineiden kenttä-/laboratoriolujuuskertoimien yhtälöt, R^2-arvot ja tulosparimäärät.

Sideaine	Kaava	R^2	Tulosparimäärä
GTC	$y = 16{,}663x^{-0{,}553}$	0,1207	54
Green	$y = 31{,}897x^{-0{,}624}$	0,2460	35
POZ	$y = 27{,}449x^{-0{,}595}$	0,3789	32
LT+CEMII	$y = 49{,}644x^{-0{,}762}$	0,3976	68
KC	$y = 14{,}481x^{-0{,}486}$	0,0901	15
Stabi	$y = 92{,}636x^{-0{,}898}$	0,3179	26
CEMIII	$y = 216{,}700x^{-0{,}935}$	0,3622	44
Kuvaaja 1	$y = 27{,}155x^{-0{,}594}$	0,3284	80
Kuvaaja 2	$y = 44{,}660x^{-0{,}740}$	0,4984	148

Tutkimustulokset



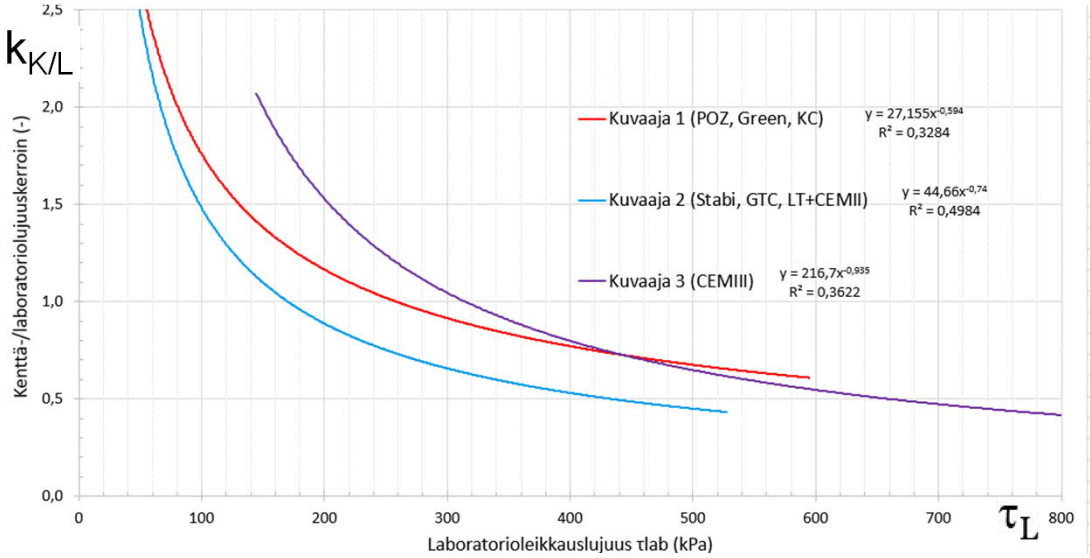
Kuva 12. Sideaineiden GTC, Green, POZ, LT+CEM, KC, Stabi ja CEMIII -trend- kuvaajat.



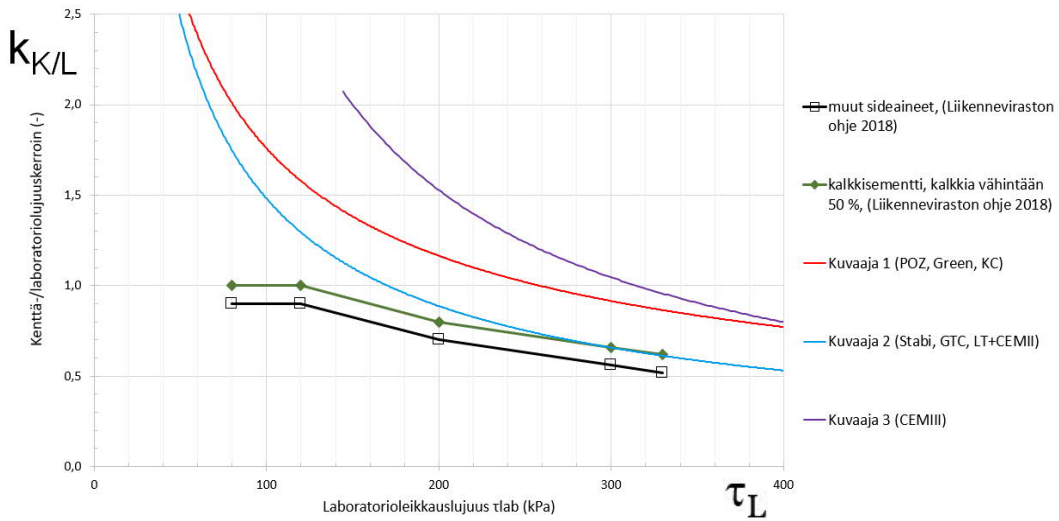
Kuva 13. Yhdistetyt trend- kuvaajat sideaineille POZ, Green ja KC (kuvaaja 1), sideaineille Stabi, LT+CEMII ja GTC (kuvaaja 2) ja sideaineille CEMIII/A ja CEMIII/B (kuvaaja 3).

Johtopäätökset

- Tutkimuksessa todettiin sideaineilla POZ, Green ja KC kenttä-/laboratoriolujuuskertoimen vastaavan toisiaan. Vastaavasti sideaineilla Stabi, LT+CEMII ja GTC todettiin kenttä-/laboratoriolujuuskertoimen vastaavan toisiaan.
- Sideaineilla havaittiin pienemmillä laboratoriolujuuksilla kenttä-/laboratoriolujuuskertoimen olevan suurempi kuin suuremmilla laboratoriolujuuksilla.
- CEMIII, Terra GTC ja InfraStabi stabiloitavuuskokeilla suurempia lujuuksia kuin koepilareissa
- Terra Green, POZ ja LT+CEM koepilareissa suurempia lujuuksia kuin stabiloitavuuskokeilla
- Uusiosideaineilla kenttä-/laboratoriokertoimet suurempia kuin 2018 Liikenneviraston ohjeessa



Kuva 14. Yhdistetyt trend- kuvaajat sideaineille POZ, Green ja KC (kuvaaja 1), sideaineille Stabi, LT+CEMII ja GTC (kuvaaja 2) ja sideaineille CEMIII/A ja CEMIII/B (kuvaaja 3).



Kuva 15. Kuvaajat 1-3 yhdistettyinä Liikenneviraston ohjeen 2018 Syvästabiloinnin suunnittelu kuvaan 6.5.

Kiitos!

Työn ja työssä tehtyjen sekä käsiteltyjen laboratorio- ja kenttätutkimusten rahoittajina toimivat:

- Helsingin kaupunki
- Väylävirasto
- Ramboll Finland Oy
- Nordkalk Oy
- UPM-Kymmenen
- Pohjolan Voima Oyj
- Finnsementti

Kiitos kaikille rahoittajille ja yhteistyökumppaneille työn mahdollistamisesta! On ollut opettavaista ja inspiroivaa tehdä tätä työtä.