

Rinnakkaiset stabiloituvuuskokeet viidessä eri laboratoriossa



22.8.2019 SGY,
POHJANVAHVISTUSPÄIVÄ

Johtopäätökset ja jatkotoimenpide-ehdotukset

- Lamellistabilointi on käyttökelpoinen ja kustannustehokas pohjanvahvistusvaihtoehto, kun tila on rajallinen
 - Kustannuksiltaan edullinen verrattuna ponttiseinään
- Lamellistabilointi työnaikaisen varmuuden kannalta on 'vainen' menetelmä lähtökohtaisesti varmuudeltaan. Massastabilointi ei ole samalla tavalla herkkään toteutettuna. Massastabilointi ei ole samalla tavalla herkkään paikkaan.
- Koestabilointi aina muuttamaan vasta tämän jälkeen lopulliset suunnitelmat.
- Pilarit ovat

Eri laboratorioiden välillä oli tuloksissa suuria eroja

– ...astossa hyvin
 – ...omia ei ole havaittu stabilointien jälkeen
 ...ittuminen ja työnaikainen stabiliteetti varmistetaan
 ...järjestyksellä
 kairaukset sisällytetään urakkaan. Tulokset pitäisi kuitenkin saada suoraan suunnittelijalle.

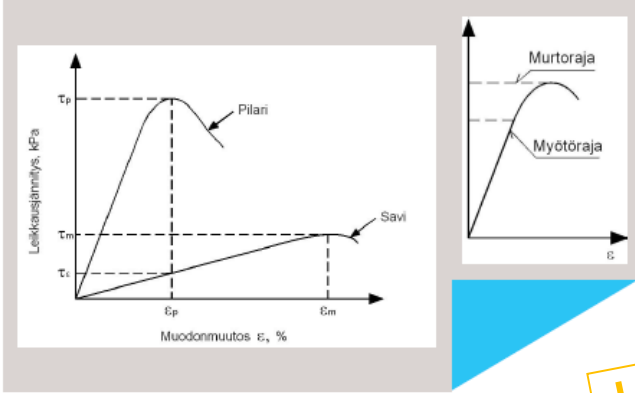
- Sekä mitoituskäytännöille että laboratoriokokeille pitäisi saada yhteinen ohjeistus.
- Pilarikairausten tulkintaa puristin-heijarikairauksen osalta tulisi tarkentaa ainakin heijarivaiheen osalta. Leikkauslujuuden määrittäminen epämääräistä lyönnin perusteella. Samoin esiporauksen vaikutus.

=> Stabilointiohjeen päivitys

Syvästabilointiohje ~~2017~~ 2018, Liikennevirasto

Liikennevirasto

11.2010
LIIKENNEVIRASTON
OHJEITA



Syvästabiloinnin suunnittelu
Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet

RAMBOLL


eurokoodi

Laboratorio-ohje

Liikennevirasto

Liikenneviraston ohjeita
17/2018

Syvästabiloinnin suunnittelu



24.8.2017 SGY,
POHJANVAHVISTUSPÄIVÄ

Juha Forsman
juha.forsman@ramboll.fi

Syvästabiloinnin laboratoriokokeiden ohjeistuksen taustaselvitys

Laboratorio-ohje



Stabiloitavuuskokeiden laboratorio-ohje

Sisältö:

1. Johdanto
2. Näytteenotto ja näytemäärä
3. Runkoainesten ja sideainesten säilytys
4. Runkoainesten sekoitus
5. Runkoainesten Indeksikokeet
6. Sekoittin ja sekoitusaika
7. Koekappaleiden määrä ja muotin koko
8. Tiivistystapa
9. Koekappaleiden säilytys ja varastointilämpötila
10. Puristusnopeus ja puristuksen kesto
11. Puristinlaitteiston valinta ja kalibrointi
12. Testausselostus

1 Johdanto

Tämä laboratorio-ohje on osa syvästabilointiohjeen päivitystä. Ohjeistus perustuu 2017 valmistuneeseen raporttiin Niemelin, T., Jyrävä, H. ja Kotvulahti, M., *Syvästabilointi. Laboratorio-ohje. Taustaselvitys*, jossa on esitetty taustatietoa ja perustelut tässä esitettävillä toimintatavoilla. Tästä ohjeesta voidaan poiketa perustellusta syytä, jolloin poikkeukset on merkittävä selvästi testausselostukseen.

2 Näytteenotto ja näytemäärä

Otettavat maanäytteet voivat olla häirityneitä, mutta eivät hapettuneita. Laboratoriotutkimuksia varten tarvittava näytemäärä voidaan arvioida seuraavalla periaatteella:

- 1 litra näytettä kolmea savikoekappaletta varten,
- 1 litra näytettä yhtä turvekoekappaletta varten ja

Lisäksi tarvitaan näytettä luokitusominaisuuksien määrittämistä varten sekä varanäytettä esimerkiksi tarkistusten tai virheseosten varalle. Ylijäävät näytteet tulee säilyttää viileässä, 8 ± 2 °C vähintään 3 kk tulosten valmistumisesta.

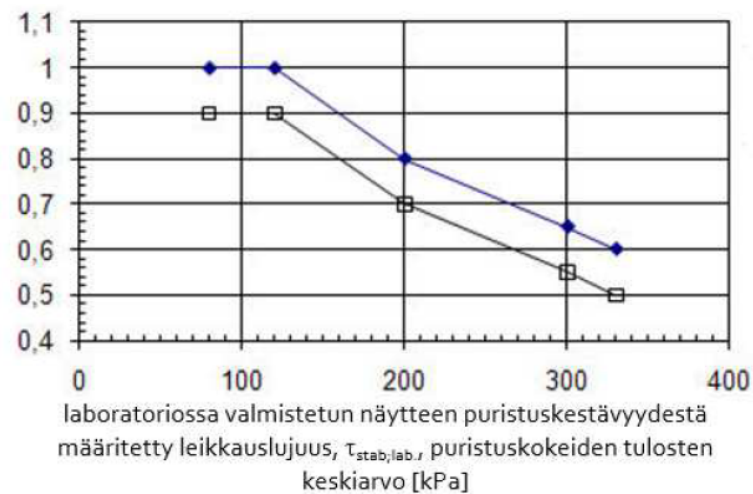
Sulfidimaanäytteet tulee jo näytteenotossa pakata ilmatittivasti, joko suoraan ilmatittiviin astioihin siten, ettei astiaan jää ylimääräistä ilmatilaa tai muovipussiin, josta ylimääräinen ilma poistetaan. Mikäli astia on suurempi kuin näytemäärä, pakataan näyte muovipussissa astiaan. Maanäytteet, joista sulfidimaan luokitteluominaisuudet (ei stabiloitavuusominaisuudet) tutkitaan, tulee pakata kylmälaukkuihin, joissa ne toimitetaan laboratorioon kylmäpatruunan varustettuna.

Stabiloitavuuskokeiden laboratorio-ohje

MIKSI TARVITAAN LABORATORIO-OHJE?



kenttä- / laboratoriolujuuskertoimen
 $k_{K/L}$, maksimiarvo [-]



$\tau_{stab;lab.}$

x

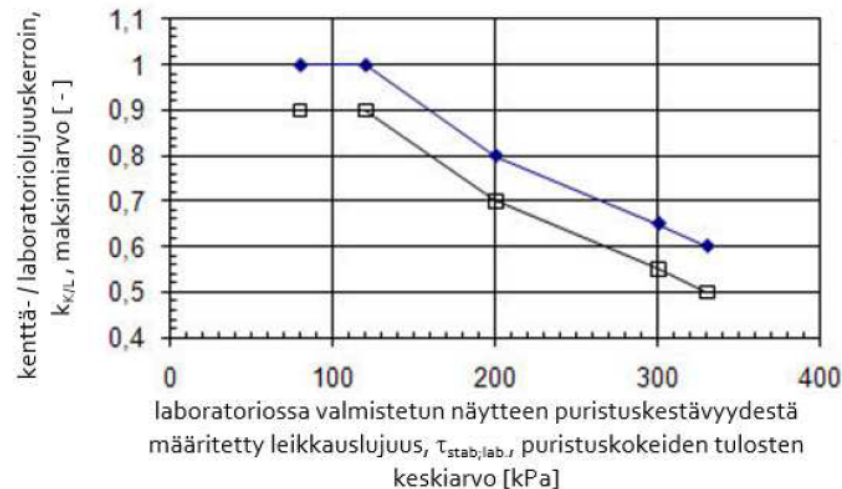
$k_{K/L}$

=

$\tau_{stab;tuot.stab}$

Stabiloitavuuskokeiden laboratorio-ohje

MIKSI TARVITAAN LABORATORIO-OHJE?

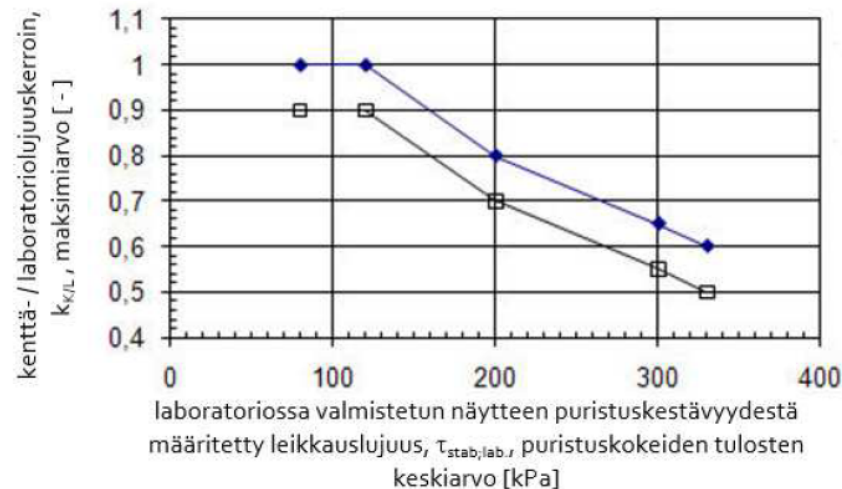


$$\tau_{stab;lab.} \times k_{laboratorio} \times k_{K/L} = \tau_{stab;tuot.stab}$$

Mikäli eri laboratoriot tuottaisivat eri tuloksia samoilla runko- ja sideaineilla, tarvittaisiin kokemusperäisiä "laboratoriokertoimia"

Stabiloitavuuskokeiden laboratorio-ohje

MIKSI TARVITAAN LABORATORIO-OHJE?



$$\tau_{stab;lab.} \times \cancel{K_{laboratorio}} \times k_{K/L} = \tau_{stab;tuot.stab}$$

Mikäli eri laboratoriot tuottaisivat eri tuloksia samoilla runko- ja sideaineilla, tarvittaisiin kokemusperäisiä "laboratorikertoimia"

⇒ Ei mielekästä

⇒ **Eri laboratorioden tulokset oltava vertailukelpoisia**

Stabiloitavuuskokeiden laboratorio-ohje

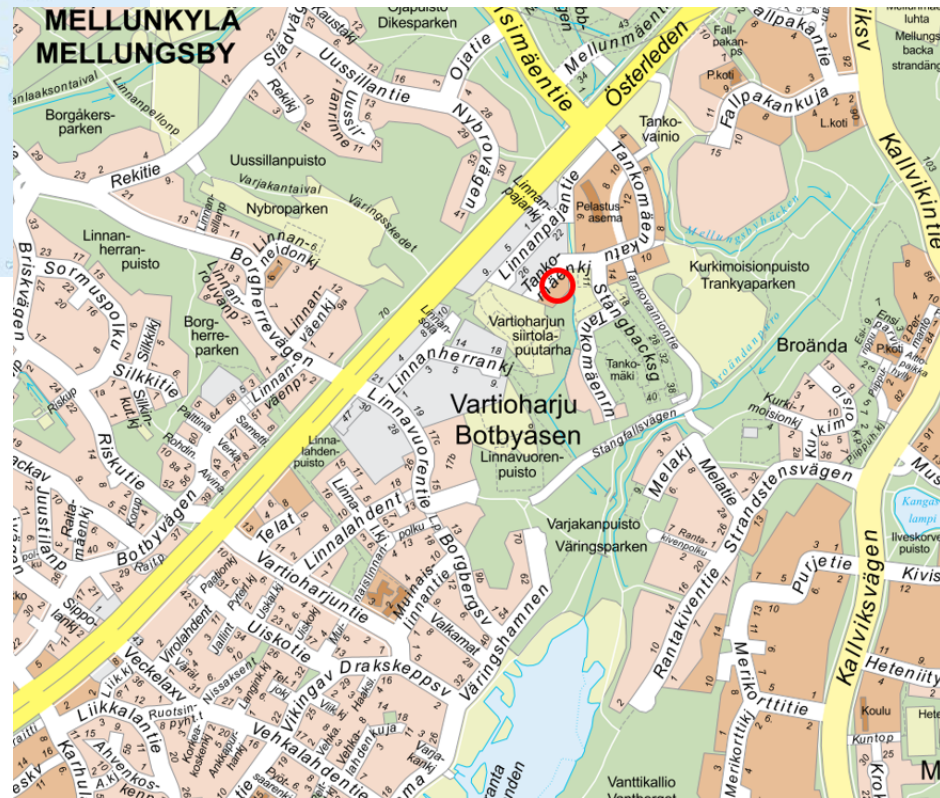
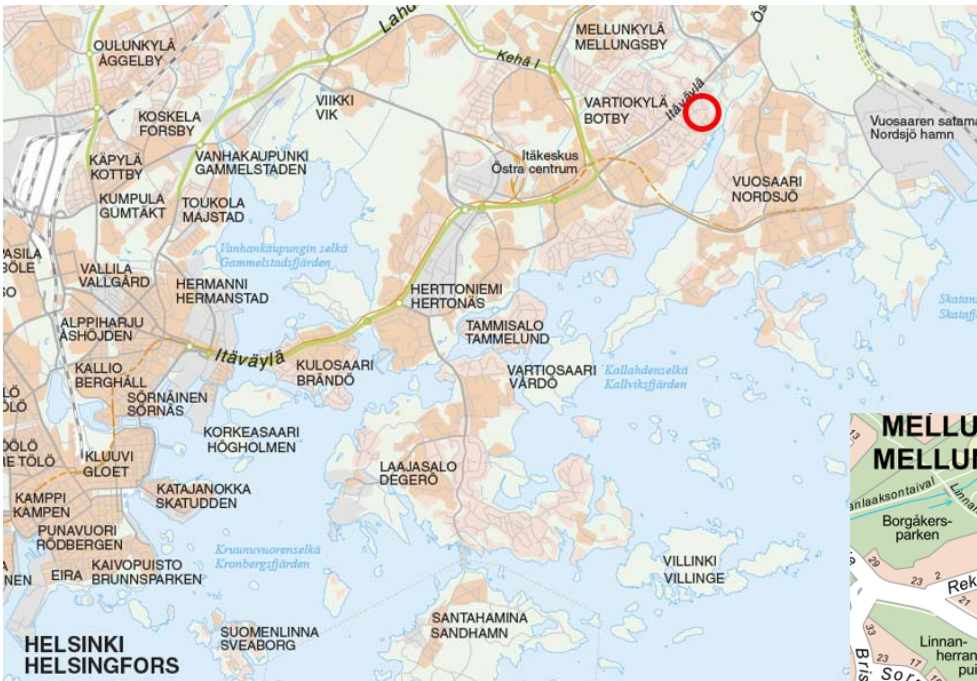
Sisältö:

1. Johdanto
2. Näytteenotto ja näytemäärä
3. Runkoaineiden ja sideaineiden säilytys
4. Runkoaineiden sekoitus
5. Runkoaineen indeksikokeet
6. Sekoitin ja sekoitusaika
7. Koekappaleiden määrä ja muotin koko
8. Tiivistystapa
9. Koekappaleiden säilytys ja varastointilämpötila
10. Puristusnopeus ja puristuksen kesto
11. Puristinlaitteiston valinta ja kalibrointi
12. Testausselostus

ensisijaisesti ohjeistettavat!

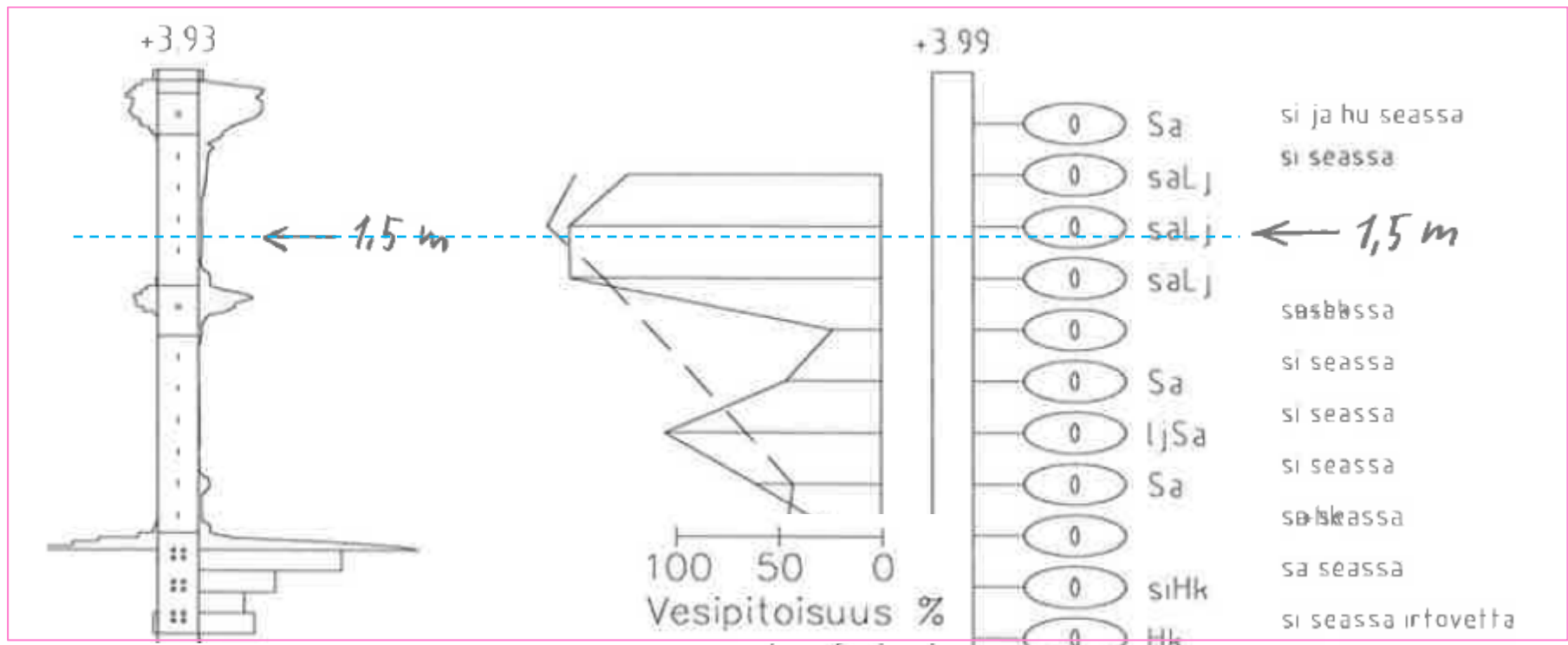
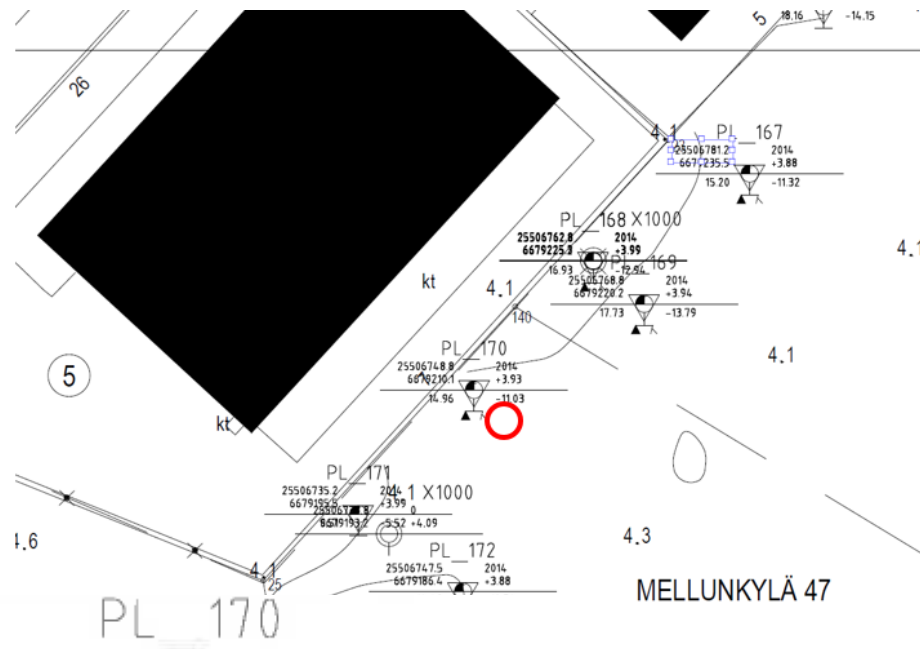
VERTAILUTUTKIMUKSEN NÄYTTÄIDENOTTOPAIKKA

Tankovainio, Helsinki
07-08/2018

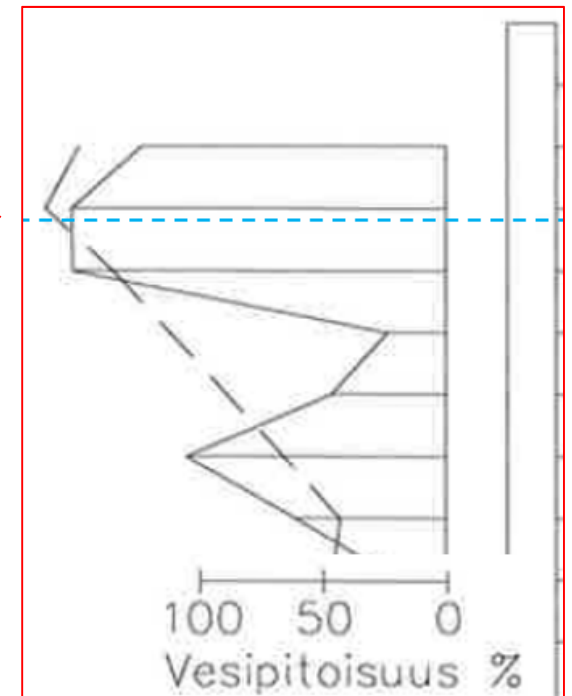
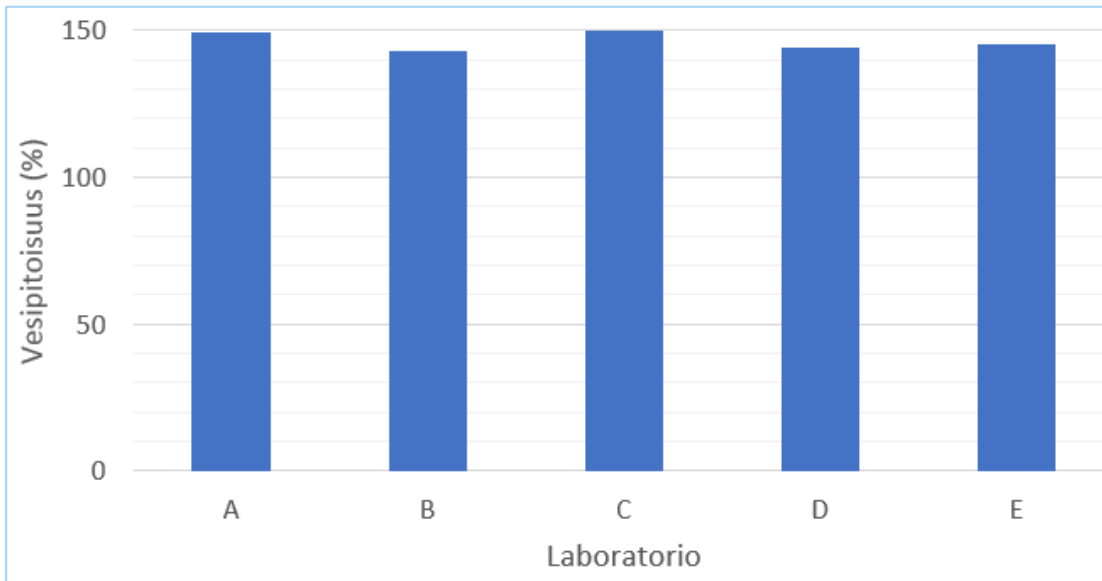


VERTAILUTUTKIMUKSEN NÄYTTEIDENOTTOPAIKKA

Tankovainio, Helsinki
07-08/2018



MAANÄYTTEISTÄ VIIDESSÄ LABORATORIOSA MÄÄRITETTY VESIPITOISUUS



VERTAILUTUT- KIMUKSEN OHJEISTUS (1/2)

Stabiloitavuuskoeohjeen vertailututkimus (ohje Livi LO17/2018)				20.9.2018
				Juha Forsman
Tutkimusohjelma				Marjo Koivulahti
				Harri Jyrävä
Tavoite:				
- Livi:n uuden laboratorio-ohjeen testaaminen				
- vertailukokeet samalla runkoaineella ja sideaineseoksella				
- tulosten raportointi ja mahdollisten ohjeen kehitystarpeiden tunnistaminen				
Lähtökohdat:				
- laboratoriot: STARA, Mitta Oy, Nordkalk Oy Ab, Aalto yo ja Ramboll				
- runkoaine Tankovainion savi				
- runkoainetta 2 x 10 litran ämpäriä jokaiseen laboratorioon				
Sideaineet ja lujittumisajat:				
- kaksi erilaista sideainetta: kalkkisementti 30:70 ja Plussementti				
- kalkkisementissä Plussementti ja CaO Nordkalk QL90T				
- kaksi sideainemäärää: KS 100 ja 150 kg/m ³ ja Plussementti 70 ja 120 kg/m ³				
- kalkkisementillä kaksi lujittumisaikaa 28 vrk ja 90 vrk				
- sementillä kaksi lujittumisaikaa: 7 vrk ja 28 vrk				
- taulukossa (alla) on esitetty tutkimusohjelma tarkemmin				
Koejärjestely:				
- koejärjestely, näytteiden valmistus, säilytys ja puristuskoe Livi:n ohjeen LO17/2018 mukaisesti				
- kaikilla sideaineyhdistelmillä ja lujittumisajoilla valmistetaan ja puristetaan 3 rinnakkaista koekappaletta				
Indeksikokeet:				
- savinäytteestä tutkitaan: silm.arvio, w, LOI, pH				
- molemmista näyteämpäreistä w, muut riittää yhdestä homogenoidusta seoksesta				
Raportointi:				
- laboratoriot tulostavat ja raportoivat tulokset ohjeen LO17/2018 mukaisesti , tämän lisäksi ilmoitetaan tutkimuksissa käytettyjen sideaineiden ja savinäytteiden saapumispäivämäärä				
- raportit toimitetaan Rambolliin, jossa niistä kootaan yhteisraportti				

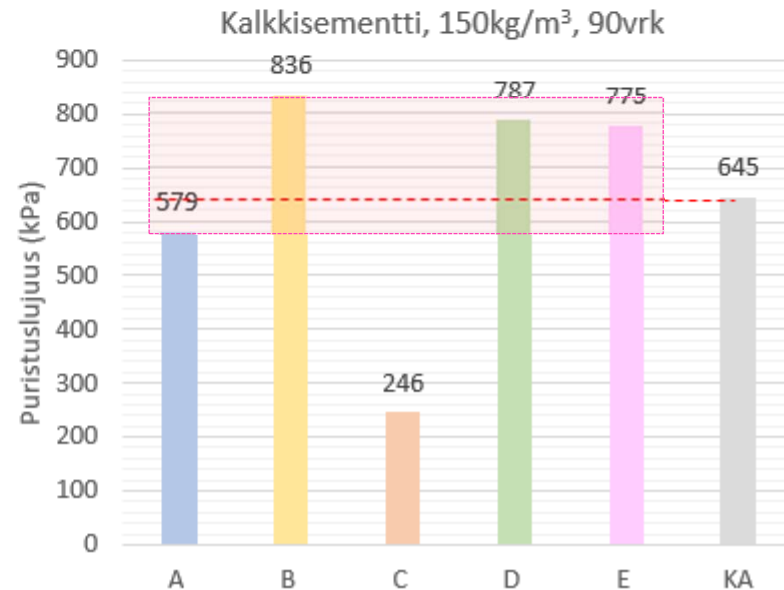
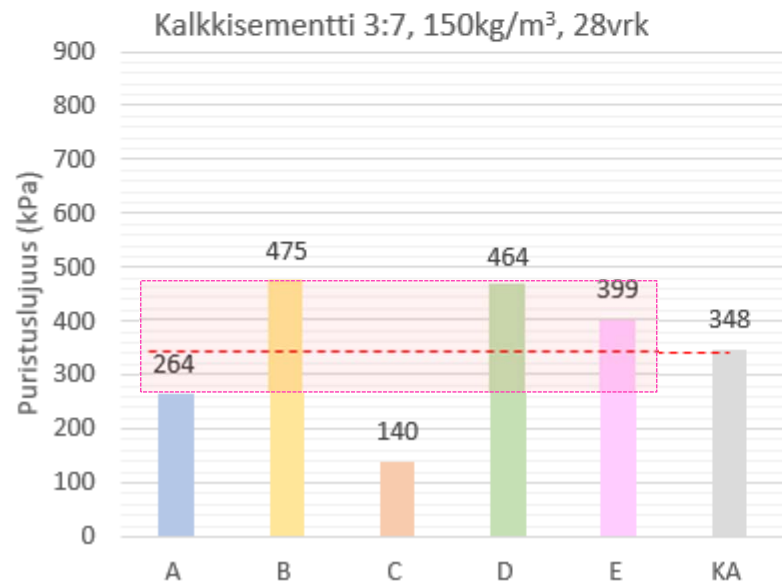
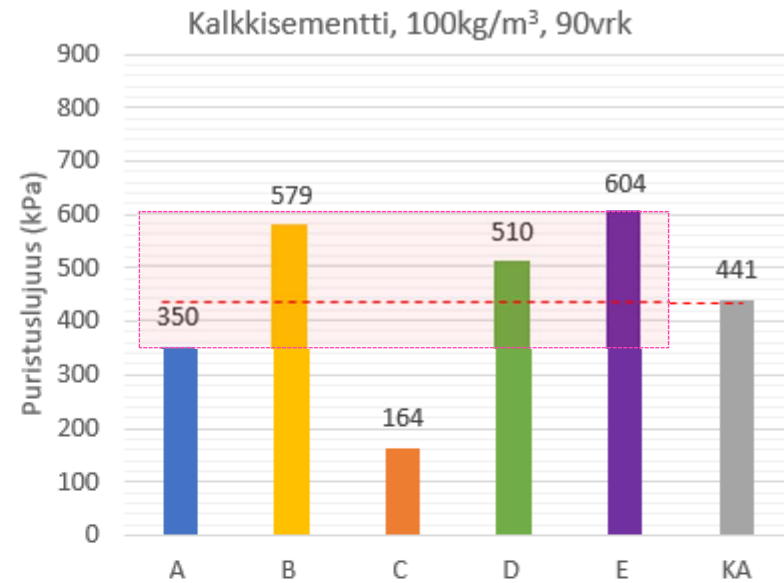
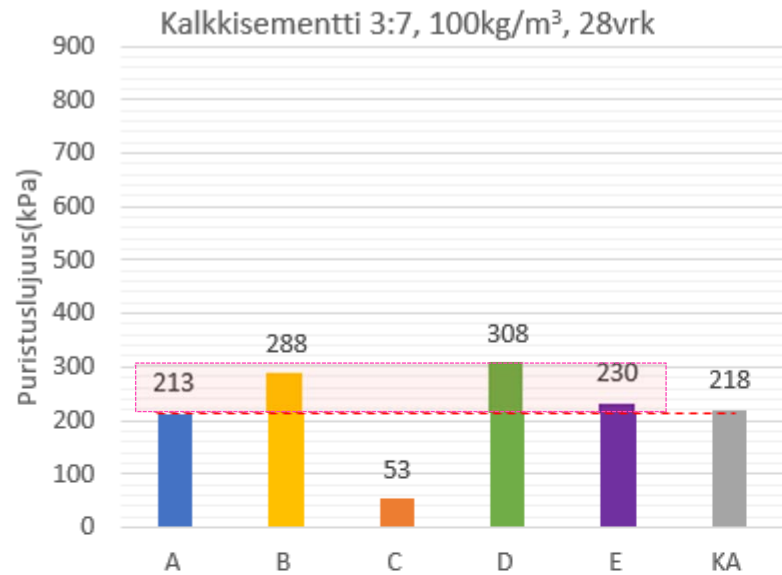
VERTAILUTUTKIMUKSEN OHJEISTUS 2/2

Stabiloitavuustutkimukset, taulukossa koekappaleiden lukumäärä					
Runkomateriaali	Sideaine		Puristuslujuus [kPa]		
	laatu	määrä [kg/m ³]	28 vrk	90 vrk	vara
Tankovainion savi	KS 30:70	100	3	3	1
		150	3	3	1
	koekappaleet yhteensä:		6	6	2
Runkomateriaali	Sideaine		Puristuslujuus [kPa]		
	laatu	määrä [kg/m ³]	7 vrk	28 vrk	vara
Tankovainion savi	Plussementti	70	3	3	1
		120	3	3	1
	koekappaleet yhteensä:		6	6	2
		YHTEENSÄ:	28	koekappaletta	

Yhteyshenkilöt:

organisaatio	yhteyshenkilö	s-posti
Mitta Oy	Minna Löytynoja	minna.loytynoja@mitta.fi
Nordkalk Oy	Ossi Lindstedt	ossi.lindstedt@nordkalk.com
Ramboll Oy	Marjo Koivulahti	marjo.koivulahti@ramboll.fi
STARA	Jukka Naukkarinen	jukka.naukkarinen@hel.fi
Aalto yliopisto	Leena Korkiala-Tanttu	leena.korkiala-tanttu@aalto.fi

VERTAILUTUTKIMUKSEN TULOKSET, kalkkisementti



VERTAILUTUTKIMUKSEN TULOKSET, kalkkisementti

Sideaine KS 3:7, määrä 100 kg/m³

Laboratorio	Puristuslujuus (kPa)		28 d	90 d
	28 d	90 d		
A	213	350	213	350
B	288	579	288	579
C	53	164	<i>ign.</i>	<i>ign.</i>
D	308	510	308	510
E	230	604	230	604
keskiarvo=	218	441	260	511
keskihajonta=	90	165	39	99
variaatiokerroin=	41 %	37 %	15 %	19 %

COV [%]

0

A B C D E KA

Kalkkisementti, 100kg/m³, 90vrk



Sideaine KS 3:7, määrä 150 kg/m³

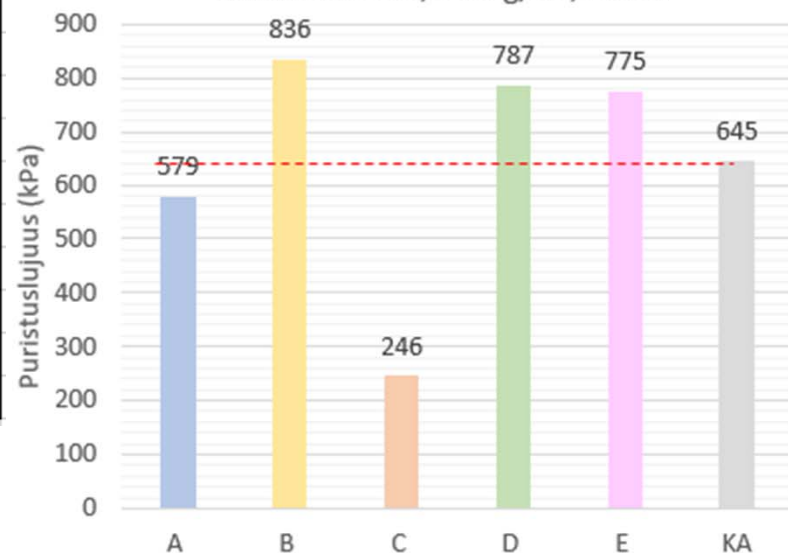
Laboratorio	Puristuslujuus (kPa)		28 d	90 d
	28 d	90 d		
A	264	579	264	579
B	475	836	475	836
C	140	246	<i>ign.</i>	<i>ign.</i>
D	464	787	464	787
E	399	775	399	775
keskiarvo=	348	645	401	744
keskihajonta=	128	218	84	98
variaatiokerroin=	37 %	34 %	21 %	13 %

100

0

A B C D E KA

Kalkkisementti, 150kg/m³, 90vrk



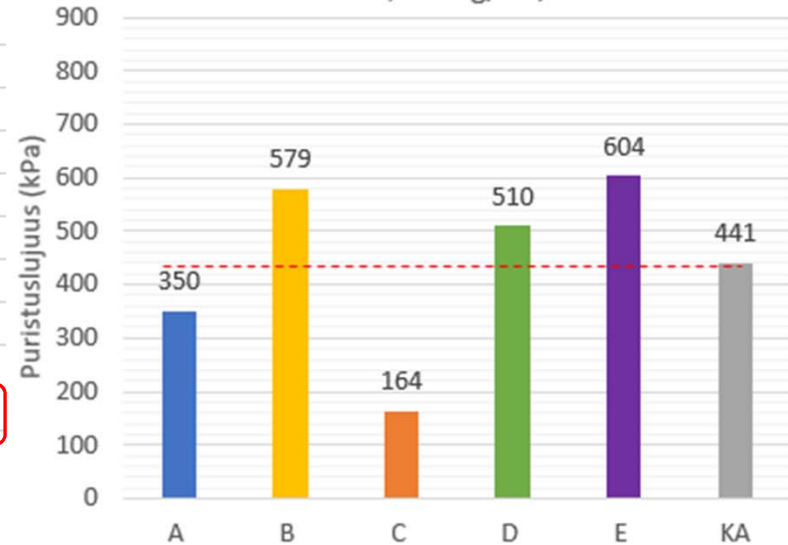
VERTAILUTUTKIMUKSEN TULOKSET, kalkkisementti

Sideaine KS 3:7, määrä 100 kg/m³

Laboratorio	Puristuslujuus (kPa)		28 d	90 d
	28 d	90 d		
A	213	350	213	350
B	288	579	288	579
C	53	164	<i>ign.</i>	<i>ign.</i>
D	308	510	308	510
E	230	604	230	604
keskiarvo=	218	441	260	511
keskihajonta=	90	165	39	99
variaatiokerroin=	41 %	37 %	15 %	19 %



Kalkkisementti, 100kg/m³, 90vrk

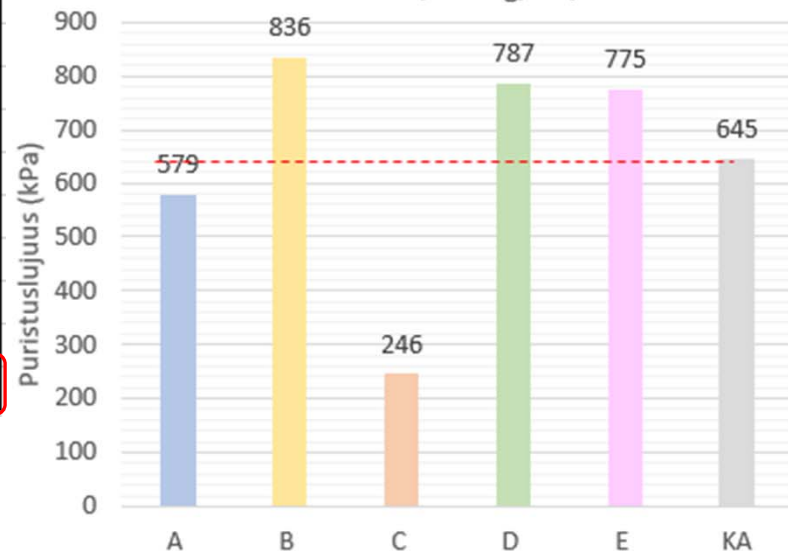


Sideaine KS 3:7, määrä 150 kg/m³

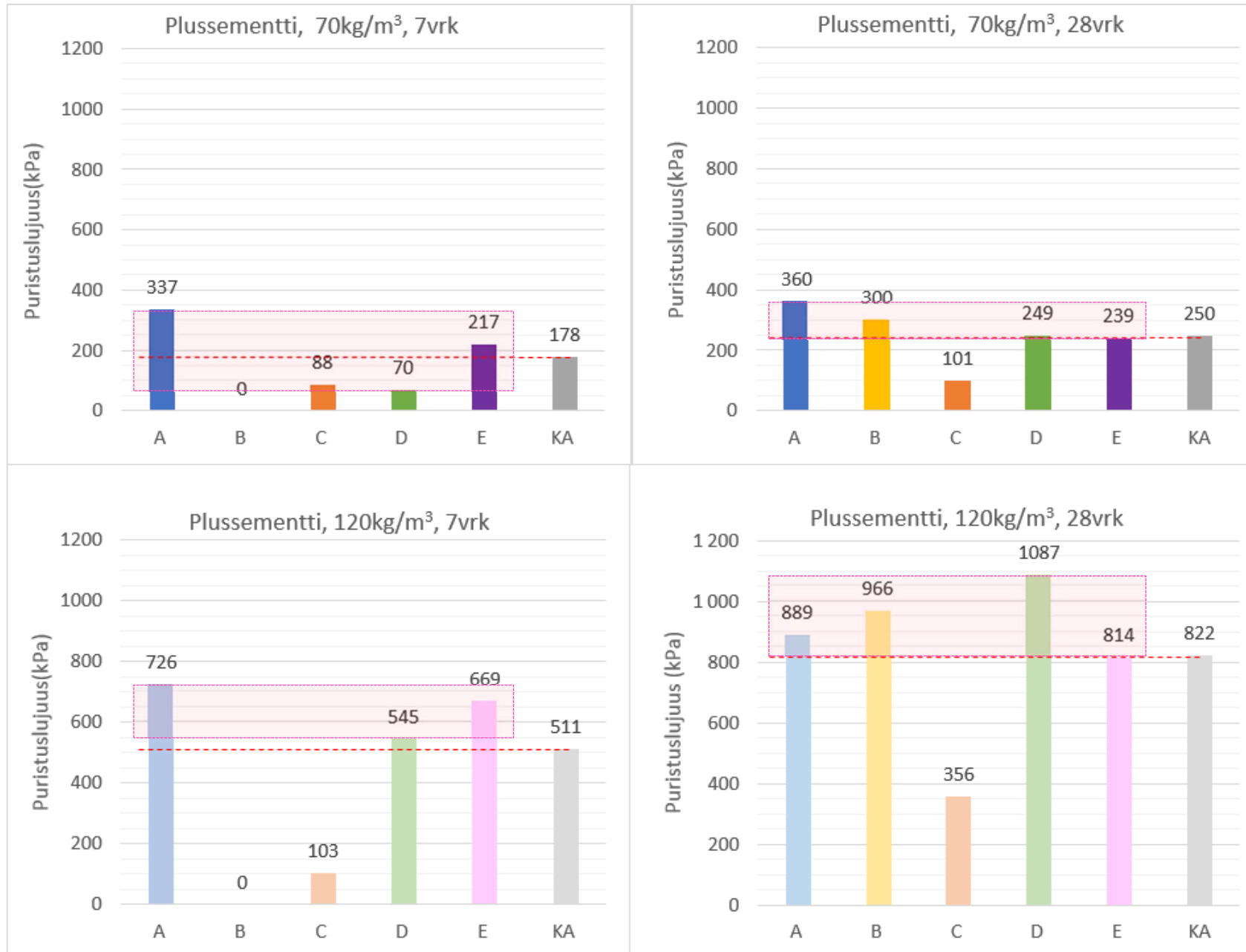
Laboratorio	Puristuslujuus (kPa)		28 d	90 d
	28 d	90 d		
A	264	579	264	579
B	475	836	475	836
C	140	246	<i>ign.</i>	<i>ign.</i>
D	464	787	464	787
E	399	775	399	775
keskiarvo=	348	645	401	744
keskihajonta=	128	218	84	98
variaatiokerroin=	37 %	34 %	21 %	13 %



Kalkkisementti, 150kg/m³, 90vrk



VERTAILUTUTKIMUKSEN TULOKSET, sementti



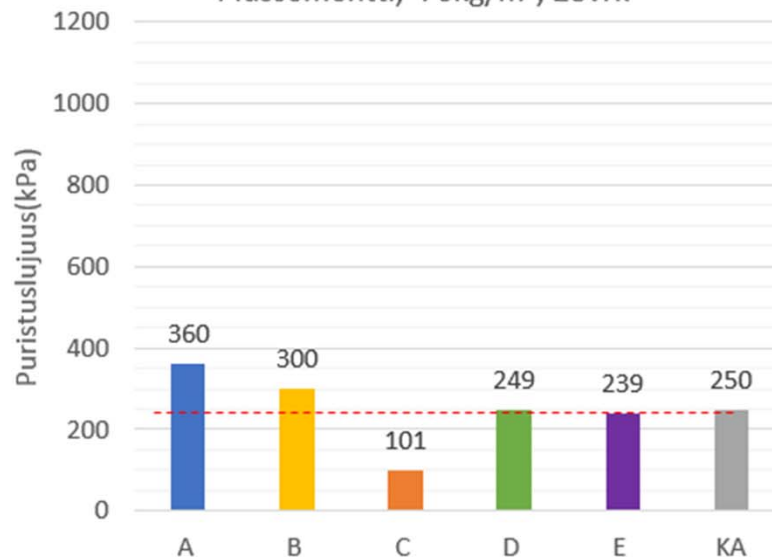
VERTAILUTUTKIMUKSEN TULOKSET, sementti

Sideaine plussementti, määrä 70kg/m³

Laboratorio	Puristuslujuus (kPa)		7 d	28 d
	7 d	28 d		
A	337	360	337	360
B	-	300	-	300
C	88	101	88	ign.
D	70	249	70	249
E	217	239	217	239
keskiarvo=	178	250	178	287
keskihajonta=	108	86	108	48
variaatiokerroin=	61 %	34 %	61 %	17 %



Plussementti, 70kg/m³, 28vrk

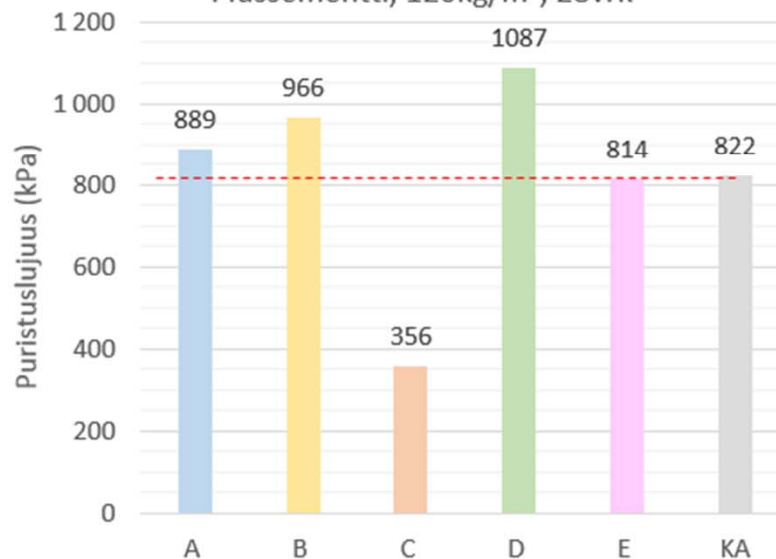


Sideaine plussementti, määrä 120kg/m³

Laboratorio	Puristuslujuus (kPa)		7 d	28 d
	7 d	28 d		
A	726	889	726	889
B	-	966	-	966
C	103	356	ign.	ign.
D	545	1087	545	1087
E	669	814	669	814
keskiarvo=	511	822	647	939
keskihajonta=	244	250	76	101
variaatiokerroin=	48 %	30 %	12 %	11 %

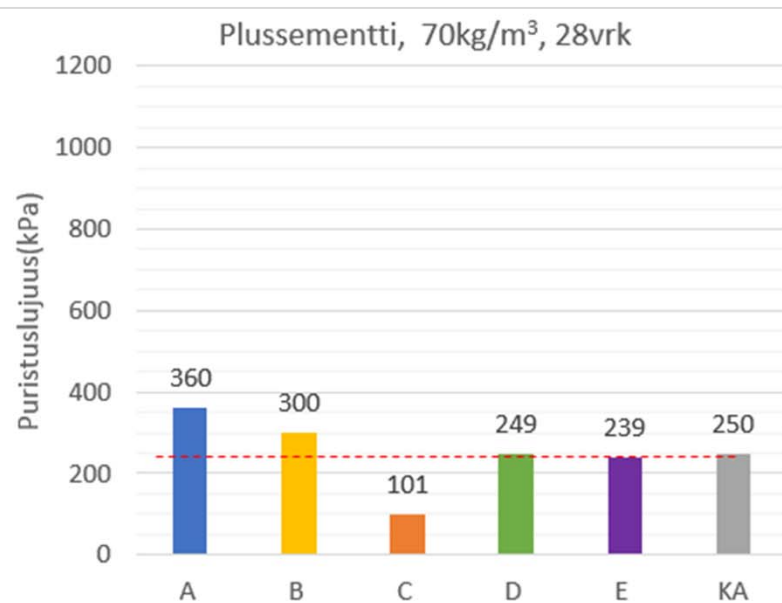


Plussementti, 120kg/m³, 28vrk

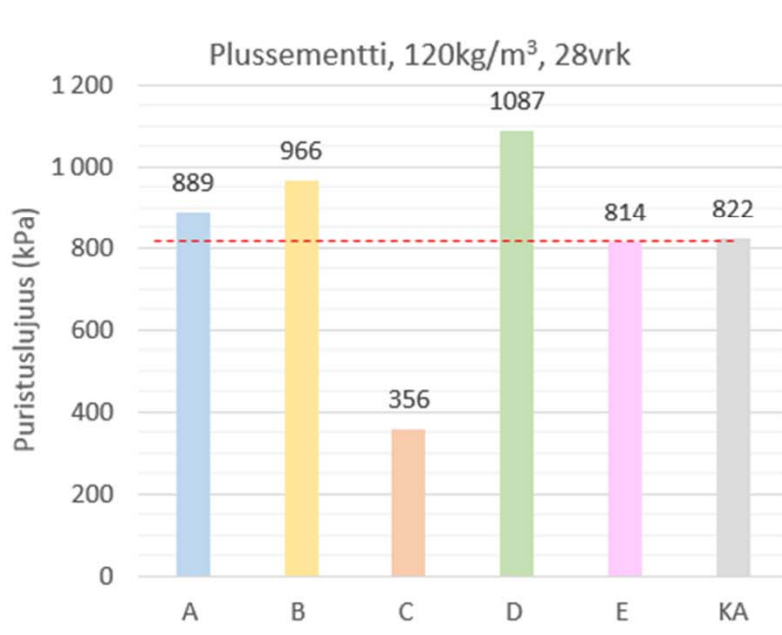


VERTAILUTUTKIMUKSEN TULOKSET, sementti

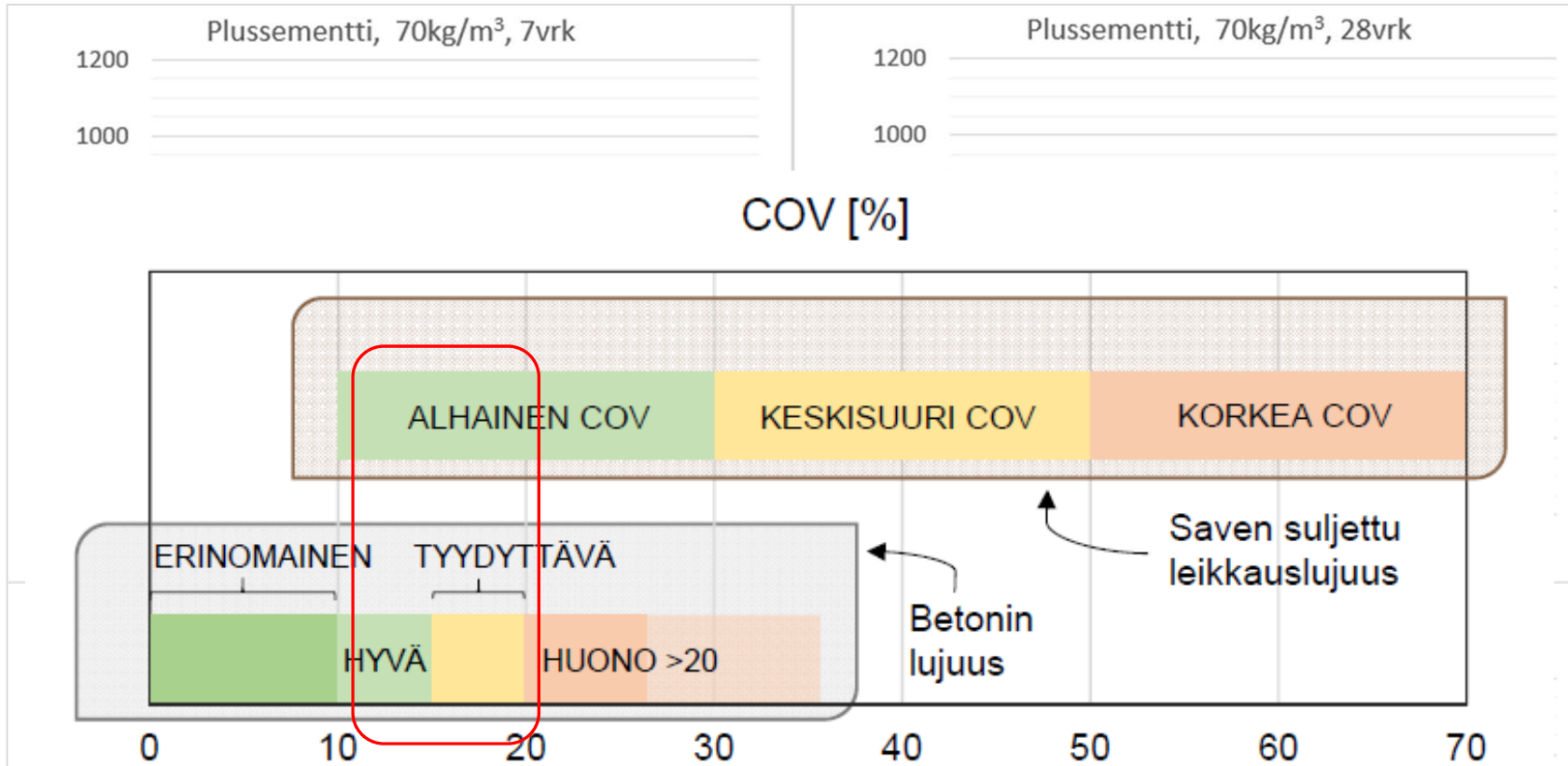
Sideaine plussementti, määrä 70kg/m ³				
Laboratorio	Puristuslujuus (kPa)		7 d	28 d
	7 d	28 d		
A	337	360	337	360
B	-	300	-	300
C	88	101	88	ign.
D	70	249	70	249
E	217	239	217	239
keskiarvo=	178	250	178	287
keskihajonta=	108	86	108	48
variaatiokerroin=	61 %	34 %	61 %	17 %



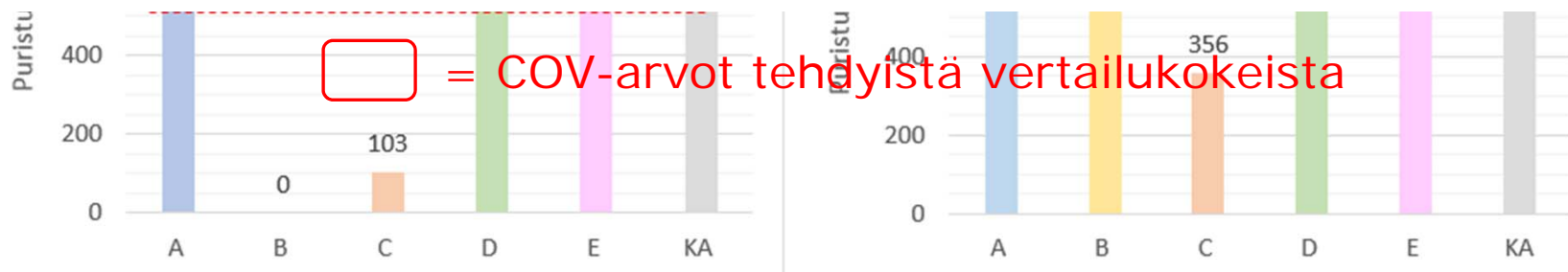
Sideaine plussementti, määrä 120kg/m ³				
Laboratorio	Puristuslujuus (kPa)		7 d	28 d
	7 d	28 d		
A	726	889	726	889
B	-	966	-	966
C	103	356	ign.	ign.
D	545	1087	545	1087
E	669	814	669	814
keskiarvo=	511	822	647	939
keskihajonta=	244	250	76	101
variaatiokerroin=	48 %	30 %	12 %	11 %



VERTAILUTUTKIMUKSEN TULOKSET, KS ja S



Kuva 11. Saven ja betonin lujuuden vaihtelun (COV) luokitukset (Löfman 2016b, Luku 1.1).



YHTEENVETO

- Stabiloitavuuskokeiden laboratorio-ohje ilmestynyt 2018 – vastaavaa ei ole ollut Suomessa aiemmin
- Syksyn 2018 - talven 2019 aikana toteutettu vertailukokeet 5:ssä laboratoriossa
- Runkoaine ljsa ja sideaineet kalkkisementti ja sementti
- "Onnistuneiden" puristuskokeiden tulokset lähellä toisiaan – varianssi 10-20 %
- Yhden laboratorion tulokset poikkeavat kautta linjan selvästi alempia – syy?
- Pidempi lujittumisaika pääsääntöisesti vähentää tulosten hajontaa
- Vastaavia vertailututkimuksia on syytä jatkaa ja tarvittaessa kehittää ohjeistusta

KIITOS!

Mitta Oy	Minna Löytynoja
Nordkalk Oy	Ossi Lindstedt
	Kari Kuusipuro
Ramboll Oy	Marjo Koivulahti
	Harri Jyrävä
STARA	Jukka Naukkarinen
	Hannu Halkola
Aalto yliopisto	Leena Korkiala-Tanttu
	Henry Gustavsson

Stabiloidun maan leikkauslujuuden ominaisarvo määritetään kaavalla 6.3.

$$\tau_{\text{stab};k} = \tau_{\text{stab}} \times k_{K/L} \times k_{\text{ed.}} \times k_{T_s/T_t} \quad (6.3a)$$

$$\tau_{\text{stab};\text{lab.}} = \sigma_{\text{murto, lab.}} / 2 \quad (6.3b)$$

$\tau_{\text{stab};k}$	stabiloidun maan leikkauslujuuden ominaisarvo mitoituslujittumisajan jälkeen (yleensä 28 tai 90 vrk)
τ_{stab}	$\tau_{\text{stab};\text{lab.}}$ laboratoriossa valmistetun näytteen puristuskestävyydestä määritetty leikkauslujuus (kaava 6.3b)
	$\tau_{\text{stab};\text{koestab.}}$ koestabiloinnin laadunvalvontakairaustuloksista määritetty stabiloidun maan leikkauslujuus
	$\tau_{\text{stab};\text{tuot.stab}}$ tuotantostabiloinnin laadunvalvontakairaustuloksista määritetty stabiloidun maan leikkauslujuus
	$\tau_{\text{stab};\text{emp.}}$ kokemusperäisesti määritetty stabiloidun maan leikkauslujuus
$k_{K/L}$	kenttä- / laboratoriolujuuskerroin
$k_{\text{ed.}}$	koetulosten edustavuuskerroin
k_{T_s/T_t}	aikalujittumiskerroin (= $\tau_{\text{stab};s} / \tau_{\text{stab};t}$, jossa $\tau_{\text{stab};s}$ =leikkauslujuus suunnittelulujittumisajan jälkeen, $\tau_{\text{stab};T}$ =leikkauslujuus ennakkotutkimusten lujittumisajan jälkeen)
$\sigma_{\text{murto, lab.}}$	laboratoriossa valmistetun stabiloidun näytteen puristuskestävyys, 1-akσιαalinen