



# Harjaterästen tartunta ja limijatkos

Eurokoodiseminaari 2022

18.10.2022

DI Jukka Haavisto

prof. TkT Anssi Laaksonen

1. Kertauksena nykyinen menettely (EN 1992-1-1:2004) ankkuroinnin ja limijatkosten mitoituksessa ja syyt uudistukselle
2. Suunnittelumalli ankkuroinnille toisen sukupolven Eurokoodissa
3. Suunnittelumalli limijatkokselle toisen sukupolven Eurokoodissa
4. Aiheeseen liittyvää tutkimusta Tampereen yliopistossa

*Eesitys perustuu toisen sukupolven Eurokoodin 14.9.2022 versioon prEN-1992-1-1 (N2034).*

*Eesitys on rajattu yksittäisten suorien tankojen ankkurointiin ja limijatkoksiin*

- Nykyisessä Eurokoodissa ankkurointi-/ limijatkospituuden määrittäminen tapahtuu kolmessa vaiheessa:

1. Tartuntalujuuden määrittäminen

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$$

2. Ankkurointipituuden perusarvon määrittäminen

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) (\sigma_{sd}/f_{bd})$$

3. Ankkurointi-/ limijatkospituuden suunnitteluarvon määrittäminen

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

veto  $l_{b,min} \geq \max \{0,3 l_{b,rqd}; 10\phi; 100 \text{ mm}\}$

puristus  $l_{b,min} \geq \max \{0,6 l_{b,rqd}; 10\phi; 100 \text{ mm}\}$

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

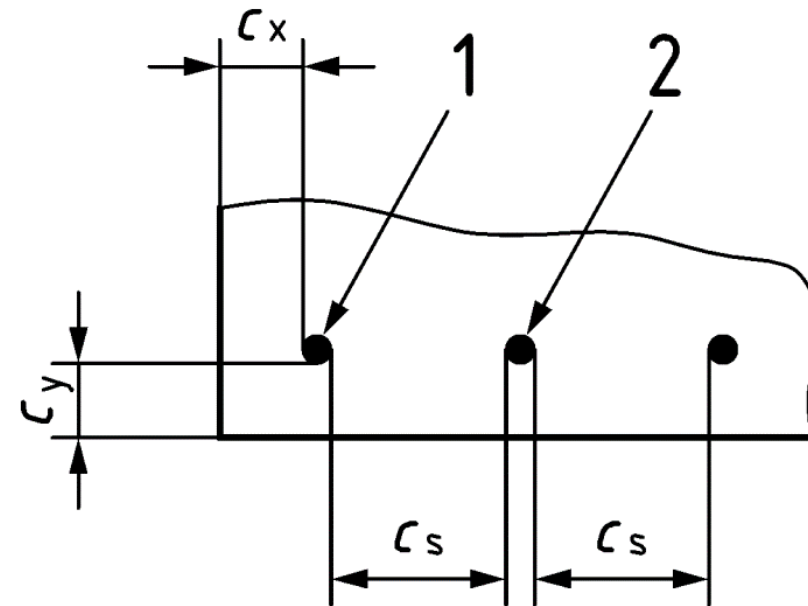
$$l_{0,min} \geq \max \{0,3 \alpha_6 l_{b,rqd}; 15\phi; 200 \text{ mm}\}$$

- Koko ankkurointi- ja limijatkospituutta käsittelevän kohdan uudistaminen päädyttiin aloittamaan Eurokoodin ‘systematic review’ – vaiheessa tulleiden lukuisten kommenttien perusteella
- Nykyiseen menettelyyn sisältyy useita välivaiheita, ja useita parametreja => Mitoitusprosessi on yksinkertaisimmissakin tapauksissa melko pitkä
- Päivitetyn mitoitusmallin tavoitteena on ollut, että
  - Malli mahdollistaa ankkurointipituuden nopean määrittämisen yleisimmissä tapauksissa
  - Tarkempi laskenta mahdollinen tarvittaessa tai mikäli lähtötiedot eivät sisälly ns. nopean laskennan rajauksiin
  - Suotuisia ominaisuuksia voi hyödyntää ankkurointipituuden määrittämisessä
    - *mm. “hyvät tartuntaolosuhteet”, siderauditus, poikittainen puristus*



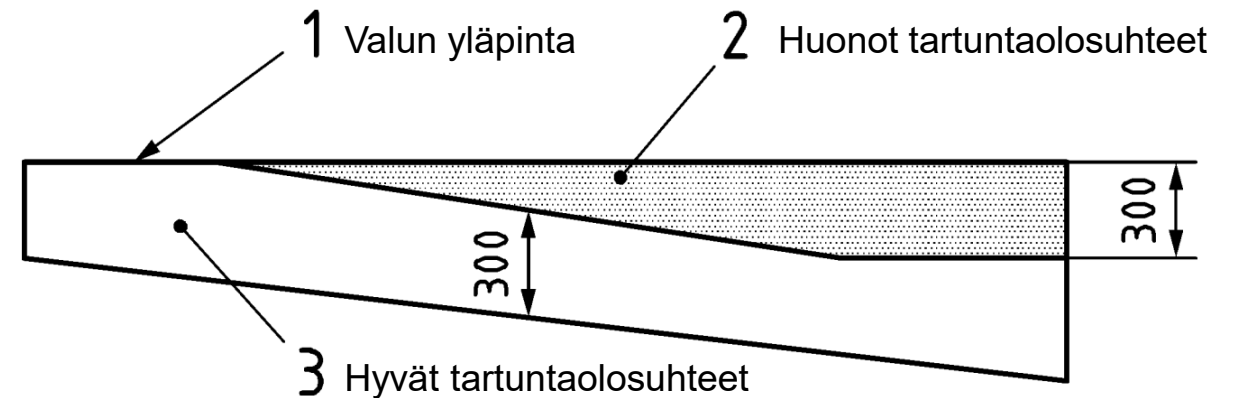
# Termien määrittelyt - $c_d$

- $c_d$  = Ankkurointipituuden laskennassa käytettävä betonipeitteen nimellinen arvo
- $c_d = \min(0,5c_s; c_x; c_y)$



# Termien määrittelyt – hyvät tartuntaolosuhteet

- Hyvät tartuntaolosuhteet voidaan otaksua:
  - a) Tangoille, jotka ovat valutilanteessa  $45^\circ$ - $90^\circ$  kulmassa vaakatasoon nähden
  - b) Tangoille, jotka ovat valutilanteessa alle  $45^\circ$  kulmassa vaakatasoon nähden, mutta ovat muotin pohjasta korkeintaan 300 mm etäisyydellä, tai valun yläpinnasta yli 300 mm etäisyydellä



Muutoin otaksutaan heikot tartuntaolosuhteet

# Taulukkomitoitus ankkurointipituudelle

- Eurokoodissa esitetään yksinkertaistettu menettely (mitoitustaulukko), jota voidaan käyttää yleisimmissä tapauksissa
- Käyttöalue:
  - $\phi \leq 32$  mm
  - $c_d \geq 1,5 \cdot \phi$
  - $\sigma_{sd} = 435$  MPa
  - Hyvät tartuntaolosuhteet
- Taulukkoa voidaan käyttää myös huonojen tartuntaolosuhteiden vallitessa, mutta tällöin taulukkoarvot tulee kertoa 1,2:lla
- Kattaa arviolta noin 80% suunnittelutapauksista

Table 11.1\_(NDP) — Anchorage length of straight bars divided by diameter  $l_{bd}/\phi$

$\phi$ [mm]	Anchorage length $l_{bd}/\phi$							
	$f_{ck}$							
	20	25	30	35	40	45	50	60
$\leq 12$	47	42	38	36	33	31	30	27
14	50	44	41	38	35	33	31	29
16	52	46	42	39	37	35	33	30
20	56	50	46	42	40	37	35	32
25	60	54	49	46	43	40	38	35
28	63	56	51	47	44	42	40	36
32	65	58	53	49	46	44	41	38

# Teräksen tartuntamalli

- Uuden Eurokoodin ankkurointimitoituksen perustana on MC2010:n yli 800 koetuloksen perusteella määritetty tartuntamalli teräsjännitykselle

$$f_{stm} = 54 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{25}\right)^{0.25} \left(\frac{l_b}{\phi}\right)^{0.55} \left(\frac{25}{\phi}\right)^{0.2} \left[ \left(\frac{c_{min}}{\phi}\right)^{0.25} \left(\frac{c_{max}}{c_{min}}\right)^{0.1} + k_m K_{tr} \right]$$

- Tästä saadaan johdettua ankkurointipituudelle lauseke:

$$l_b = \phi \cdot \left(\frac{25 \text{ MPa}}{f_c}\right)^{5/11} \left(\frac{\sigma_s}{54 \text{ MPa}}\right)^{20/11} \left(\frac{\phi}{25 \text{ mm}}\right)^{4/11} \left(\frac{\phi}{c_{min}}\right)^{5/11}$$

- Suunnittelukäyttöä varten eksponentit on pyöristetty, referenssiarvot muutettu vastaamaan yksinkertaistetun laskennan raja-arvoja, ja kalibrointikerroin lisätty:

$$l_{bd} = k_{lb} \cdot k_{cp} \cdot \phi \cdot \left(\frac{25 \text{ MPa}}{f_{ck}}\right)^{1/2} \left(\frac{\sigma_{sd}}{435 \text{ MPa}}\right)^{3/2} \left(\frac{\phi}{20 \text{ mm}}\right)^{1/3} \left(\frac{1.5\phi}{c_d}\right)^{1/2}$$



# Ankkurointipituuden määrittäminen Eurokoodissa

## Rajoitteet:

$$\phi / 20 \text{ mm} \geq 0,6$$

$$25 \text{ MPa} / f_{ck} \geq 0,3$$

$$c_d = \min(0,5c_s; c_x; c_y; 3,75\phi)$$

- Ankkurointipituus määritetään tulevassa Eurokoodissa

$$l_{bd} = k_{lb} \cdot k_{cp} \cdot \phi \cdot \left( \frac{\sigma_{sd}}{435 \text{ MPa}} \right)^{n_\sigma} \left( \frac{25 \text{ MPa}}{f_{ck}} \right)^{1/2} \left( \frac{\phi}{20 \text{ mm}} \right)^{1/3} \left( \frac{1,5\phi}{c_d} \right)^{1/2} \geq 10\phi$$

- $k_{lb}$  –kalibrointikertoimina käytetään luotettavuusanalyysin perusteella määritettyjä (NDP):

- $k_{lb} = 50$  tavallisessa mitoituksessa ( $\beta=3.8$ )
- $k_{lb} = 35$  onnettomuusmitoituksessa (ominaisarvo)
- ( $k_{lb} = 22$  keskiarvo ankkurointikokeille)

- $k_{cp}$  -termillä otetaan huomioon terästen tartuntaolosuhteet

- $k_{cp} = 1,0$ , kun hyvät tartuntaolosuhteet
- $k_{cp} = 1,2$ , kun heikot tartuntaolosuhteet
- Lisäksi erityisehtoja liukuvalukohteissa, käytettäessä bentoniittimassaa tai vastaavaa

- $n_\sigma = 1,5$  (NDP)

# Side- ja poikittaisraudoituksen tai tukipaineen edullinen vaikutus tartuntapituuteen

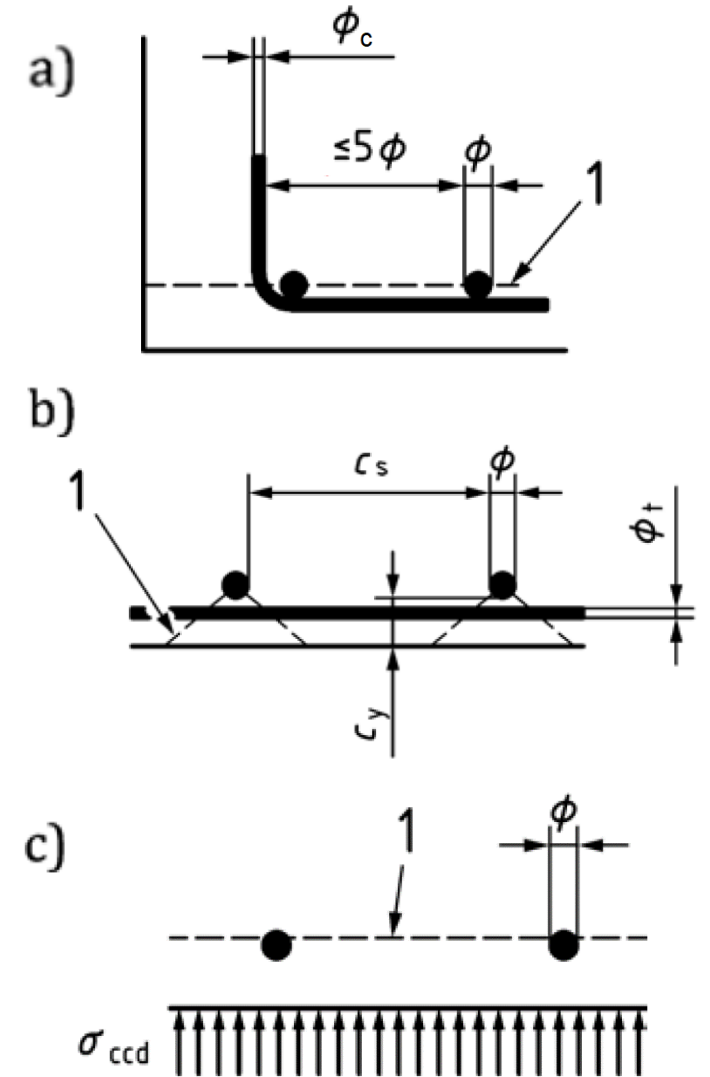
- Viereisten kuvien mukaisissa tilanteissa side- (a) ja poikittaisraudoituksen (b) tai poikittaisen paineen (c) edullista vaikutusta tartuntapituuteen hyödyntää laskennassa käytettävää betonipeitteen arvoa korottamalla

$$c_{d,conf} = \min \left( c_x; c_y + 25 \frac{\phi_t^2}{s_t}; \frac{c_s}{2}; 3,75\phi \right) + \Delta c_d \leq 6\phi$$

$$\Delta c_d = \left( 70\rho_{conf} + \frac{12\sigma_{ccd}}{\sqrt{f_{ck}}} \right) \phi$$

$$\rho_{conf} = \frac{n_c \cdot \pi \cdot \phi_c^2}{4 \cdot n_b \cdot \phi \cdot s_c}$$

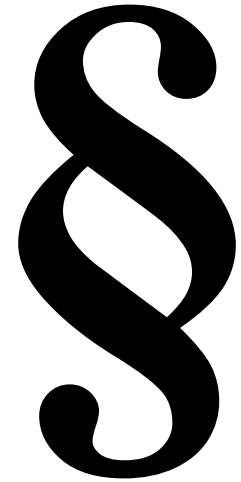
- $n_c$  = Haan pystyjalkojen lkm potentiaalisessa halkeamapinnassa
- $n_b$  = Ankkuroitavien tankojen tai limijatkosten lkm potentiaalisessa halkeamapinnassa
- $s_c$  = Sideraudoituksen k-jako ankkuroitavan tangon matkalla



# Ankkurointi - lisäsääntöjä

- Puristettujen tankojen ankkurointipituutta voidaan lyhentää  $15\phi$ , mikäli tangon pään etäisyys betonipinnasta (tangon suuntaisesti) on suurempi kuin  $5\phi$ 
  - Edelleen  $10\phi$  on vähimmäisvaatimus
- Yli 32 mm tangoille edellytetään erillinen ankkuroinnin kautta määräytyvä poikittais- (tai side-) raudoitus, mikäli niihin ei kohdistu poikittaista painetta
  - $\phi \leq 32$  mm tangoilla Eurokoodin muiden osien kautta määräytyvä poikittainen vähimmäisraudoitus katsotaan yleisesti riittäväksi myös ankkuroinnin osalta
- Tankonippujen osalta ankkurointipituuden määrittämisessä käytetään vastaavia kaavoja, mutta tangon halkaisijan sijaan kaavoissa käytetään tankonipun ekvivalenttia halkaisijaa

$$\phi_b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot A_s}$$



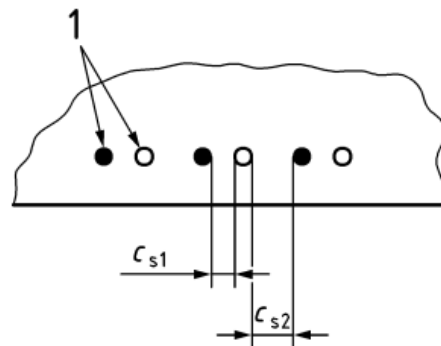
# Raudoitteiden limijatkokset

- Limijatkospituuden määrittämisessä käytetään aiemmin esitettyä ankkurointikaavaa, johon lisätty limijatkoskerroin  $k_{ls}$

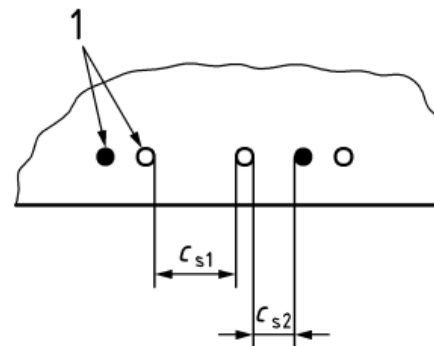
$$l_{bd} = k_{ls} \cdot k_{lb} \cdot k_{cp} \cdot \phi \cdot \left( \frac{\sigma_{sd}}{435 \text{ MPa}} \right)^{n_\sigma} \left( \frac{25 \text{ MPa}}{f_{ck}} \right)^{1/2} \left( \frac{\phi}{20 \text{ mm}} \right)^{1/3} \left( \frac{1.5\phi}{c_d} \right)^{1/2} \geq 15\phi$$

- $k_{ls} = 1,2$  (NDP)
- Lisäksi betonipeitteen laskennassa käytettävä  $c_s$  määritetään seuraavasti:

$$c_s = c_{s1} + c_{s2}$$



a) adjacent laps



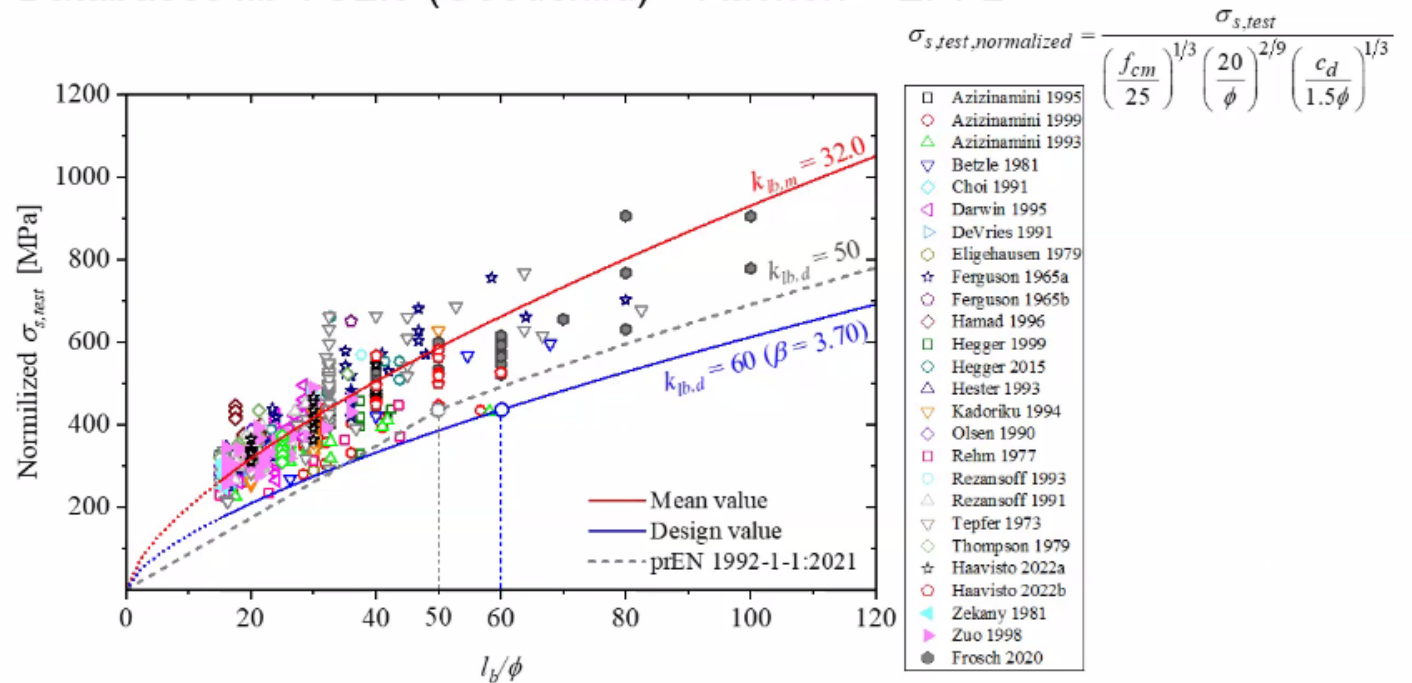
b) staggered laps

- Limijatkoskertoimen  $k_{ls} = 1,2$  valinnassa on yhtenä oleellisena tutkimuksena otettu huomioon Tampereen yliopistossa v. 2020 tehdyt koekuormitukset

## 2. Changes to 11.5

### Laps – Test results

Databases *fib* TG2.5 (Goodchild) + Aachen + EPFL



See also CEN-TC250-SC2-WG1\_N1200\_Mr\_Hegger\_-\_2021-11-04\_Anchorage\_and\_Laps

EPFL Joint SC 2/WG 1 Meeting 2022-06-27 : Latest developments Clauses 11.4 & 11.5  
X. Wang, A. Muttoni, statistical and reliability analysis of Formulae (11.2-3) in prEN 1992-1-1:2021, 2022.06.21

17

Lähde: [3]

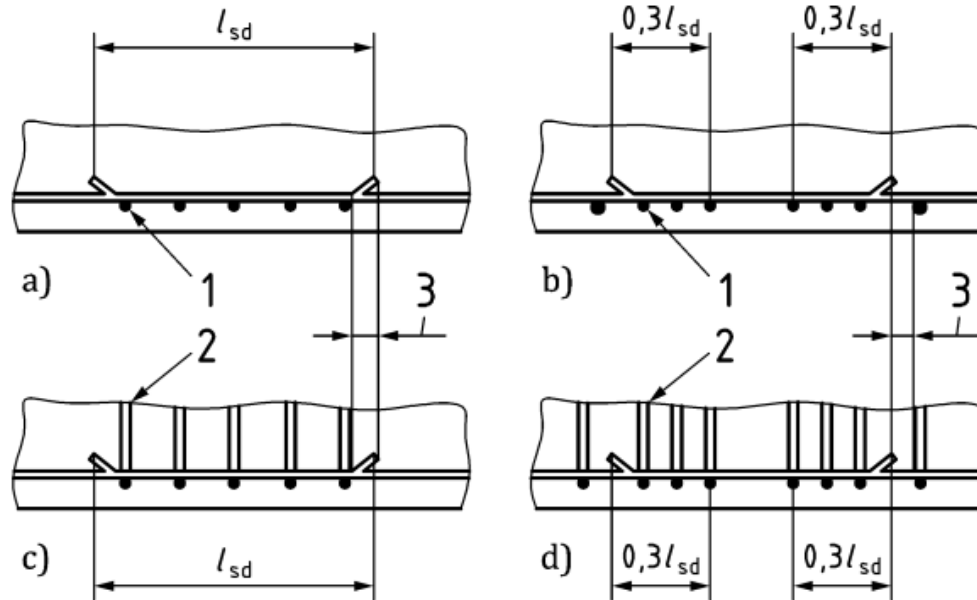
# Poikittais- ja sideraudoituksen vähimmäisarvo limijatkoksissa

- $\phi < 20$  mm tangoilla Eurokoodin muiden osien kautta määräytyvä vähimmäispoikittaisraudoitus katsotaan yleisesti riittäväksi myös limijatkosten osalta
  - $\phi \geq 20$  mm tankojen osalta tämä vähimmäispoikittaisraudoitus katsotaan riittäväksi vain, jos limijatkettavien tankojen osuus tietyssä poikkileikkauksessa on alle 25%
- Muutoin poikittaisraudoituksen yhteen laskettu pinta-ala tulee olla vähintään yhtä suuri kuin yhden limijatkettavan tangon pinta-ala:

$$\sum A_{st} \geq A_s$$

# Poikittais- ja sideraudoituksen sijoittelu

- Jos poikittais- ja sideraudoitusta hyödynnetään limijatkoksen pituuden mitoituksessa, on poikittaisia tankoja oltava vähintään 5 kpl tasavälein limijatkoksen matkalla, tai 3+3kpl limijatkoksen päissä:



a) transverse reinforcement, tension laps

b) transverse reinforcement, compression laps

c) confinement reinforcement, tension laps

d) confinement reinforcement, compression laps

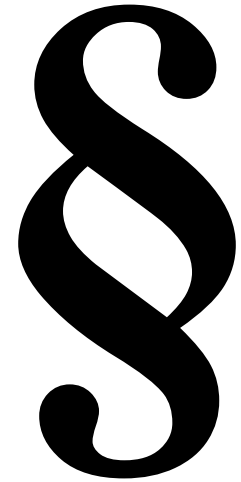
### Key

- 1 transverse reinforcement
- 2 confinement reinforcement
- 3 clear distance to lap end:  $\leq \max\{2\phi, 50 \text{ mm}\}$

- Poikittais- ja sideraudoituksen vähimmäismäärä tässä tapauksessa siten, että  $c_{d,conf} \geq 3\phi$

# Limijatkokset - lisäsääntöjä

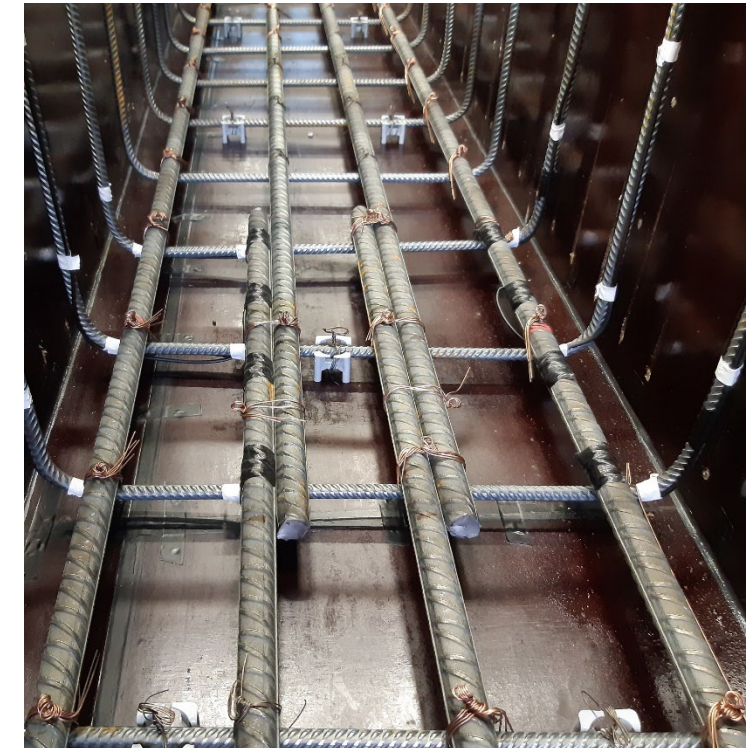
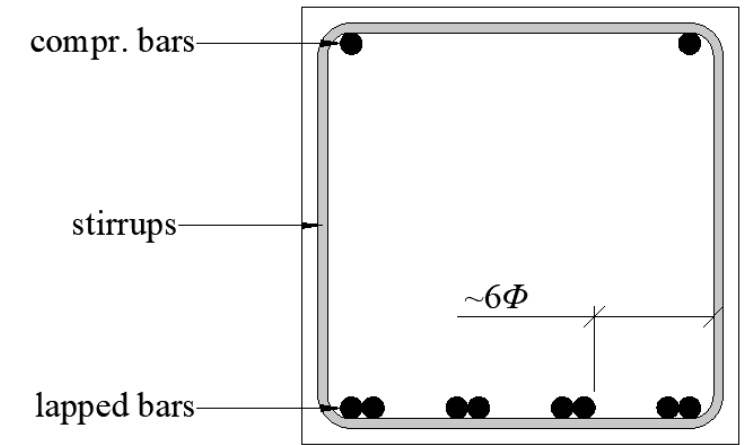
- Kaikki puristettuna olevat tangot voidaan jatkaa samassa poikkileikkauksessa
- Kaikki vedolla olevat tangot voidaan jatkaa samassa poikkileikkauksessa, elleivät ne sijaitse alueilla mihin on murtorajatilassa odotettavissa plastisia muodonmuutoksia
  - Plastisten nivelten läheisyydessä limijatkokset tulee mitoittaa 20% suuremmalle teräsännitykselle, tulee käyttää edellisen dian mukaista poikittaisraudoituksen sijoittelua, tai riittävää limijatkosten porrastamista
- Limijatkettavien tankojen etäisyys tulee olla mahdollisimman pieni. Tankojen etäisyyden ylittäessä 50mm tai  $4\phi$ , tulee limijatkospituutta kasvattaa ja tarkistaa poikittaisraudoituksen määrä



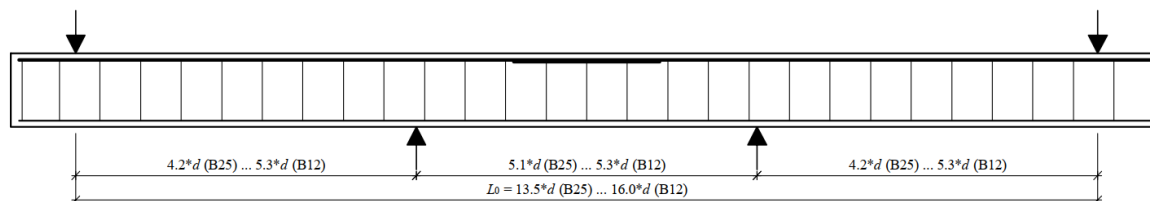


# Koeohjelma Tampereen yliopistossa

$\phi$	Jatkettuja tankoja	$l_s / \phi$					
		Ref.	20	30	40	50	60
12 mm	50 %	X	X	X	X	X	
	100 %		X	X	X	X	X
16 mm	50 %	X	X	X	X	X	
	100 %		X	X	X	X	
20 mm	50 %	X	X	X	X	X	
	100 %		X	X	X	X	X
25 mm	50 %	X	X	X	X	X	
	100 %		X	X	X	X	



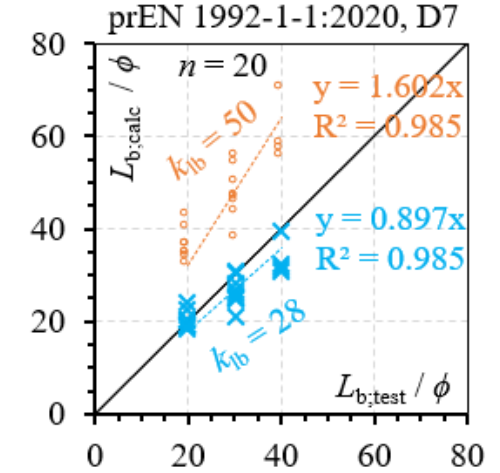
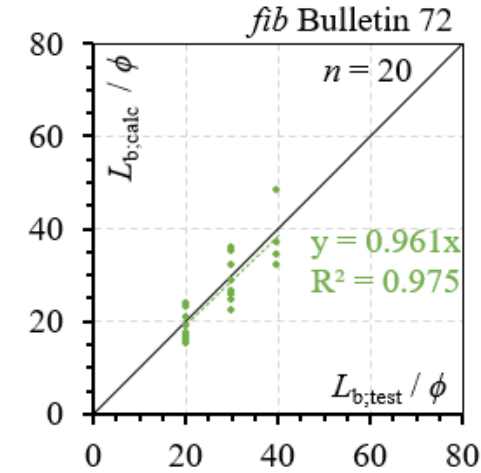
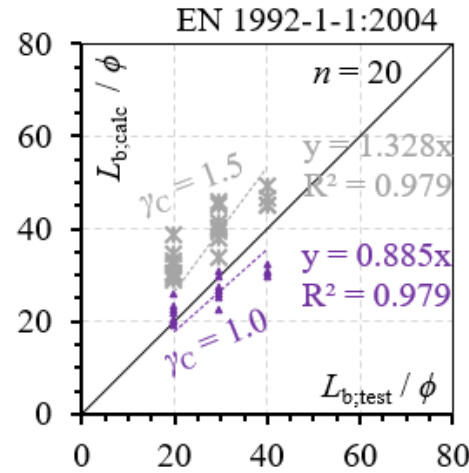
=> 38 koekappaletta yhteensä



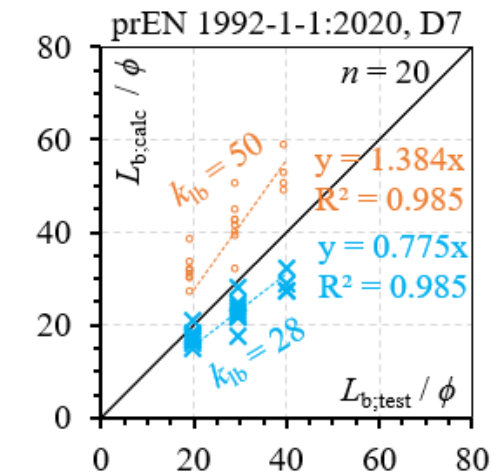
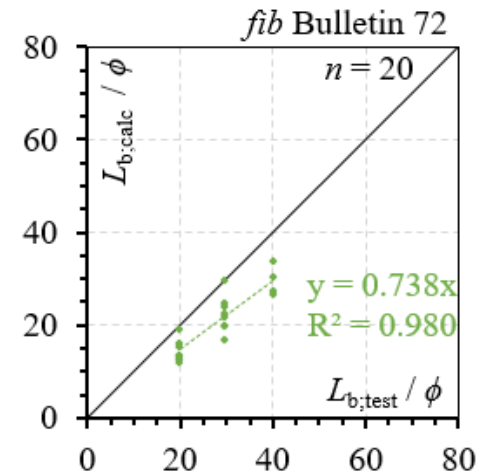
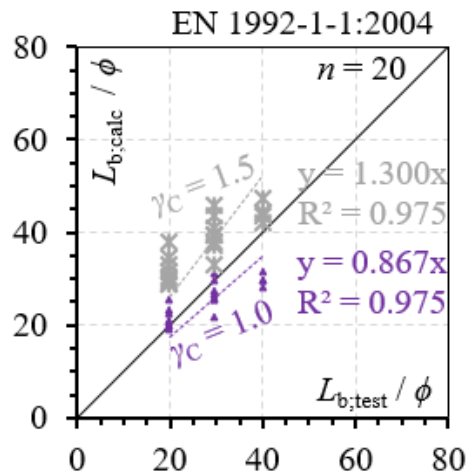
# Koetulosten vertaaminen malleihin

- Limijatkoksen lujuus määritettiin taivutuskokeiden maksimimomentin perusteella sisäisten voimien tasapainoehdolla
- Kaikki tarkastellut mallit vastasivat hyvin koetuloksia, kun sideraudoitusten vaikutusta ei malleissa otettu huomioon
- Tulokset antoivat viitteitä siitä, että sideraudoitteiden vaikutuksen hyödyntämistä koskevat rajoitukset raudoitteiden sijoitteluun eivät olisi fib Bulletin 72:n ja tulevan Eurokoodin osalta riittäviä

## Ilman sideraudoituksen vaikutusta:



## Sideraudoituksen vaikutus malleissa mukana:



- Lyhyiden limijatkosten tulokset ja kapasiteettien vertailu malleihin julkaistu ja esitelty *fib* Symposium 2021:ssa

- [Haavisto, J., & Laaksonen, A. \(2021\). Test Results and Comparison to Code Equations on Lap Splice Strength of Reinforcement in RC beams](#)

- Pitkien limijatkosten tuloksiin ja analysointiin painottuva artikkeli *fib*:n Structural Concrete –lehden vertaisarviointiprosessissa

- Haavisto, J., Alho, H. & Laaksonen, A. (2022, forthcoming). Behaviour of lap splices in reinforced concrete beams after bar yielding
- Julkaisu arviolta 1 kk kuluttua, linkki artikkeliin lisätään tutkimusryhmän nettisivuille



Test results and comparison to code equations on lap splice strength of reinforcement in RC beams

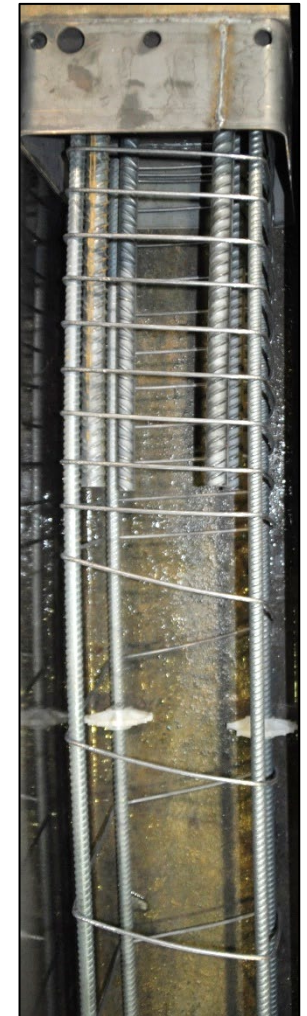
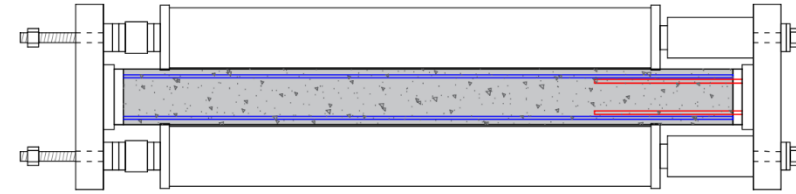
Jukka Haavisto, Researcher  
Anssi Laaksonen, Professor

Research group of Concrete and Bridge Structures, Tampere University, Tampere, Finland  
<https://research.tuni.fi/betonirakenteet/>



# Seuraava tutkimushanke jo käynnissä

- Alkuvuodesta 2022 käynnistetyssä monivaiheisessa kokeellisessa tutkimushankkeessa selvitetään tb-paalujen limijatkosten toimintaa staattisesti ja lyöntitilanteessa
- Staattisissa kokeissa pääpaino on suorissa vetokokeissa
  - Eri poikkileikkauksen parametreja varioidaan yli 20 koekappaleen avulla, koetuloksia verrataan laskennallisiin limijatkosmalleihin
- Lyöntikokeiden tavoitteena on saada tietoa limijatkoksen toiminnasta iskumaisessa vetorasituksessa
- Valtaosa staattisista kokeista marraskuussa 2022
- Projektin tuloksia julkaistaan v. 2023



- [1] SFS-EN 1992-1-1:2004. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
- [2] FprEN 1992-1-1:2022 (CEN/TC 250/SC 2 N 2034). Eurocode 2: Design of concrete structures.
- [3] Wang, X. & Muttoni, A. statistical and reliability analysis of Formulae (11.2-3) in prEN 1992-1-1:2021 (21.6.2021)

# Kiitoksia!

Kysymyksiä?