



Suomalaisten laattasiltojen lävistyskestävyys liikennekuormille

Betonitutkimusseminaari 2024

20.11.2024, DI Juuso Auvinen

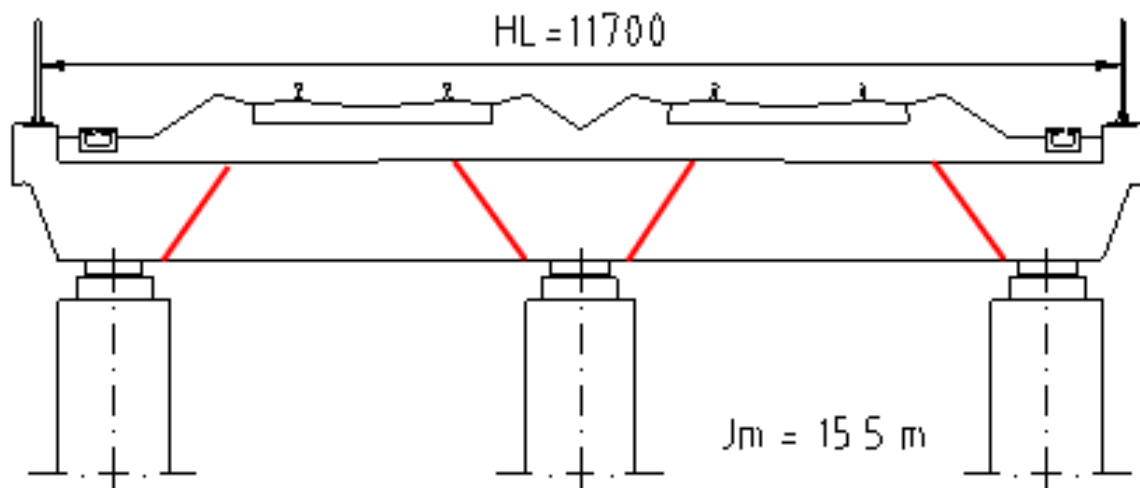


Sisältö

- 1) Tutkimusprojekti lyhyesti
- 2) Suomalaisten laattasiltojen lävistyskestävyys
- 3) Tutkimuksen seuraavat askeleet

Tutkimusprojekti: Laattasillan leikkaus- ja lävistysmitoitus

- Tutkimus aloitettu syksyllä 2022
- Väitöskirjaprojekti, Juuso Auvinen
- Osana Väyläviraston ja Tampereen yliopiston NOSERA –hanketta
- Tampereen yliopiston Betoni- ja Siltarakenteiden tutkimusryhmä
- Arvioitu valmistuminen 2028
- Tutkimuksen hyödyt sekä tieliikenteen että rautatieliikenteen laattasiltojen suunnitteluun ja kantavuuden arviointiin



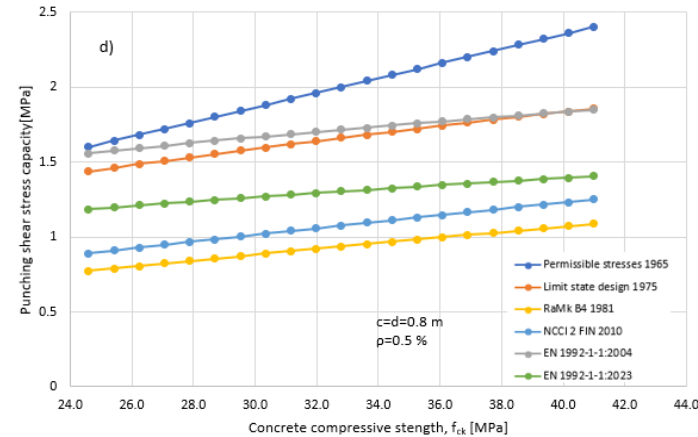
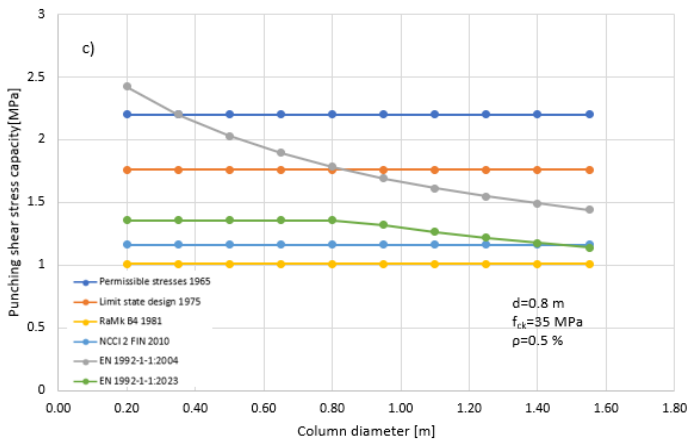
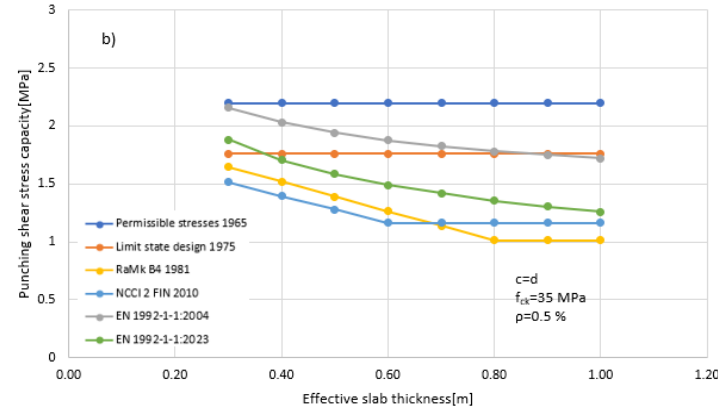
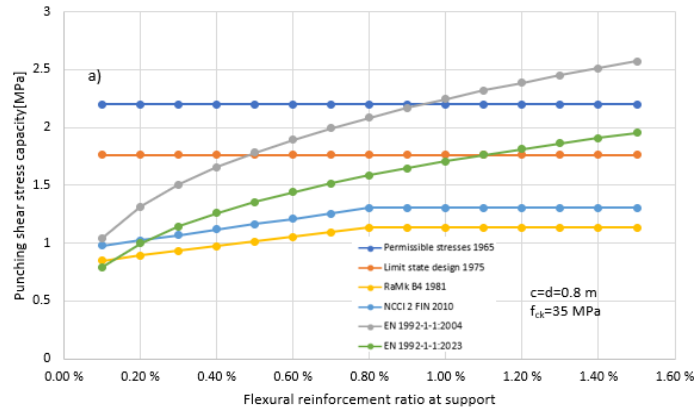
- Laattasiltojen leikkaus- ja lävistysilmiöihin liittyy paljon tekijöitä, jotka vaativat lisää tutkimusta
- Kantavuuslaskenta:
 - Laskennallisesti nykyiset laattasillat ovat usein kriittisiä leikkaus- ja lävistysilmiöiden suhteen, käytännössä ongelmia ei ole kuitenkaan vielä ilmennyt
 - Toisen sukupolven eurokoodien myötä tiettyjen siltojen laskennallinen kestävyys pienempi kuin vanhoilla ohjeilla. Myös kasvavat kuormat luovat paineita saada nykyisistä rakenteista enemmän laskennallista kapasiteettia
 - Tutkimuksen avulla voidaan löytää tekijöitä, joilla laskennallista arviota saadaan tarkennettua → Haluttu varmuustaso
- Uusien rakenteiden suunnittelu:
 - Kun ilmiö tunnetaan mahdollisimman hyvin, voidaan suunnittelussa ja toteutuksessa kohdistaa resursseja oikeisiin paikkoihin → tarkoituksenmukaiset rakenteet

Suomalaisten laattasiltojen lävistyskestävyys

Lävistysmitoituksen standardeista

- Suomessa lävistysmitoituksen käytännöt ovat vaihdelleet historiassa
 - Ennen 1970 lukua lävistyskestävyyttä ei yleensä ole tarkasteltu
 - 1970-luvulla sallittujen jännitysten menetelmä
 - 1980-luvulta eteenpäin RakMk B4 (perustana Model Code 78)
 - 2010-luvulla suunnittelu siirtynyt Eurokoodeihin, mutta siltojen suunnittelussa ja kantavuuslaskennassa pysytty RakMk B4 leikkaus- ja lävistyskaavoissa (EC2 epävarmuuksia ja parannustarpeita)
 - 2020-luvulla voimaan tulee toisen sukupolven eurokoodit (EN 1992-1-1:2023)
 - Edellisen eurokoodin kehitystarpeisiin on puututtu, uusi standardi perustuu perusteellisiin tutkimuksiin leikkaus- ja lävistysilmiöistä ympäri maailmaa
 - Pohjana mekaaninen malli ja teoria (Critical shear crack theory), ja standardissa erilaisia mahdollisuuksia laskennan tarkentamiseen etenkin kantavuuslaskennassa

Standardivertailu



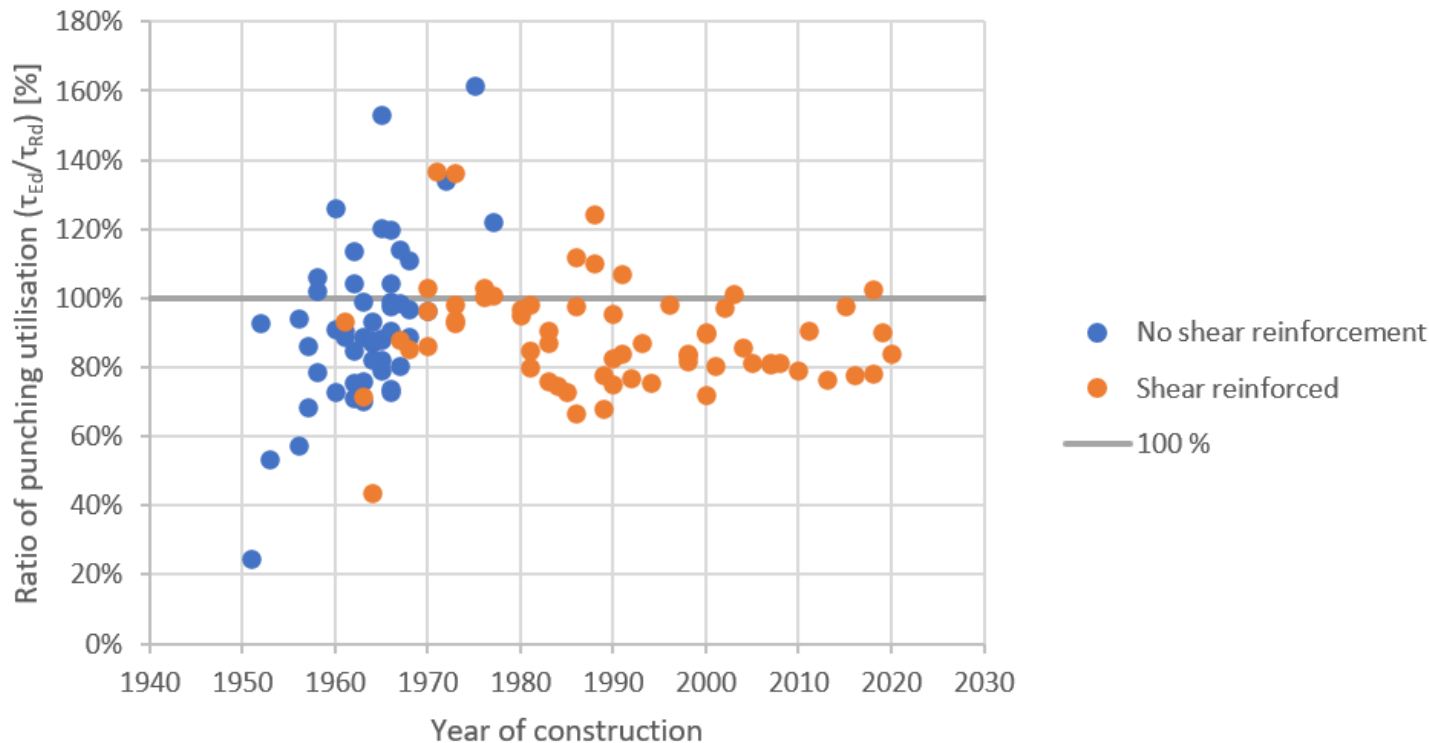
- Vertailtu lävistyskestävyyden ominaisarvoja ilman epäkeskisyyden vaikutuksia leikkausraudoittamattomille rakenteille
- Vanhimpien siltojen suunnittelu todennäköisesti epävarmalla puolella matalilla raudoitussuhteilla, korkeilla rakennepaksumuksilla, suurilla pilareilla ja korkeilla betonilujuuksilla
- Huom! Eri standardeissa erilaiset varmuusmenettelyt, esim. EC2:2004 betonin osavarmuusluku 1,5 ja EC2:2023 lävistyksen osavarmuusluku 1,4 (suositus) → Kuvaajat vain suuntaa-antavia todellisesta mitoituskestävyydestä

Suomen laattasiltakannan pika-analyysi

- Koska suuri osa suomalaisista laattasilloista on leikkausraudoitettuja, ed. Sivun vertailulla ei voida tehdä johtopäätöksiä koko siltakannan lävistyskestävyydestä.
- Osana tutkimusta on kerätty dataa laattasilloista Väyläviraston Taitorakennerekisteristä, jonka avulla tehty karkea lävistysanalyysi satunnaisesti valituille 116 laattasillalle
 - Laskenta tehty tieliikenteen silloille, mutta ilmiöt täysin samat rautatiesilloilla
- Karkeassa lävistysanalyysissä lasketaan yksinkertaistetuilla rakennemalleilla välituen pilarin lävistyskuorma (omat painot ja liikennekuormat) keskipilarille ja reunapilarille
 - Liikennekuormana käytetty laskennassa kantavuuslaskentaohjeen AA-kaavioita (+pintakuorma 4,5 kPa), jotka vastaavat nykyisiä sallittuja liikennekuormia ilman erikoiskuljetuslupaa
- Lävistyskapasiteetti on tulevan 2. sukupolven betonieurokoodin avulla (EN 1992-1-1:2023). Vertailun vuoksi myös laskettu myös nykyohjeilla (NCCI 2 / RakMk B4)
- Pika-analyysissä mukana normaalit osavarmuusluvut: Kuorman osavarmuusluvut Siltojen kantavuuslaskentaohjeen mukaiset, materiaalivarmuus kunkin standardin mukaan.

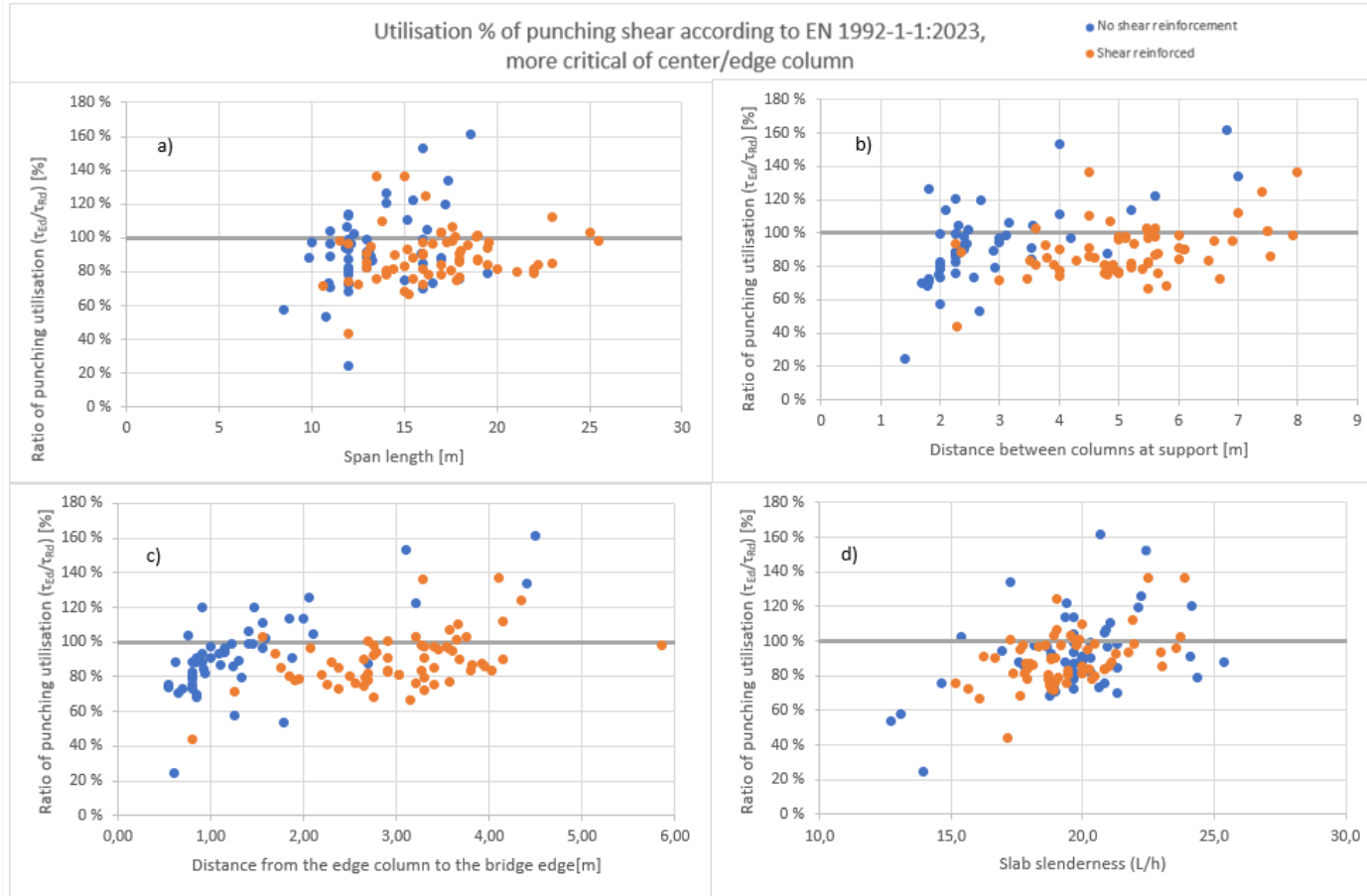
Suomen laattasiltakannan pika-analyysi

Utilisation % of punching shear according to EN 1992-1-1:2023, more critical of center/edge column



- Sillat pääosin leikkausraudoittamattomia ennen 1970 ja leikkausraudoitettuja sen jälkeen
- 26 sillassa käyttöaste lävistykselle yli 100 %
- 44 sillassa käyttöaste yli 90 %
- 86 sillassa käyttöaste yli 80 %
- Sillaston kyky kantaa suurempia kuormia (erikoiskuljetukset tai tulevaisuudessa kasvavat kuormat)?
- Sillaston varmuustaso hauraille murtotavoille kuten leikkaus- ja lävistys?

Suomen laattasiltakannan pika-analyysi

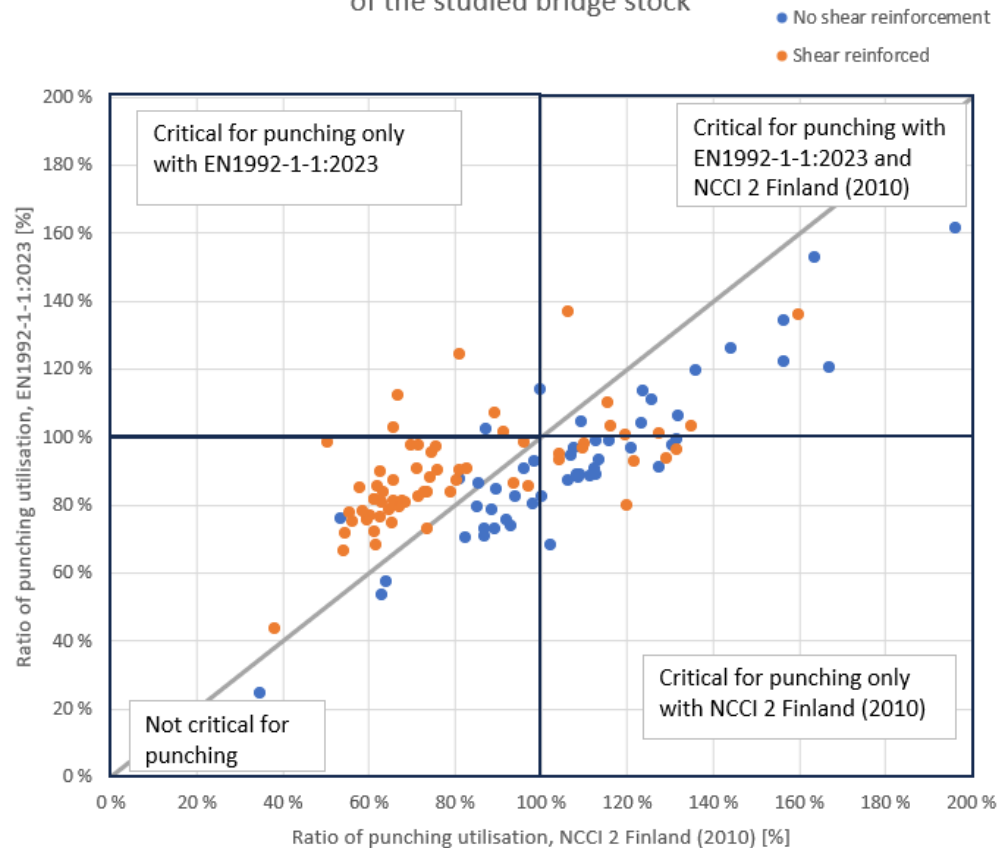


Lävistyksen kannalta kriittisimmiltä vaikuttaa:

- Laattasillat, joissa pilarien välinen etäisyys on suuri sillan poikkisuunnassa
- Laattasillat, joiden reunimmainen pilari on kaukana sillan reunasta
- Sillat, joiden hoikkuus on suuri (jännemitan ja laatan paksuuden välinen suhde)

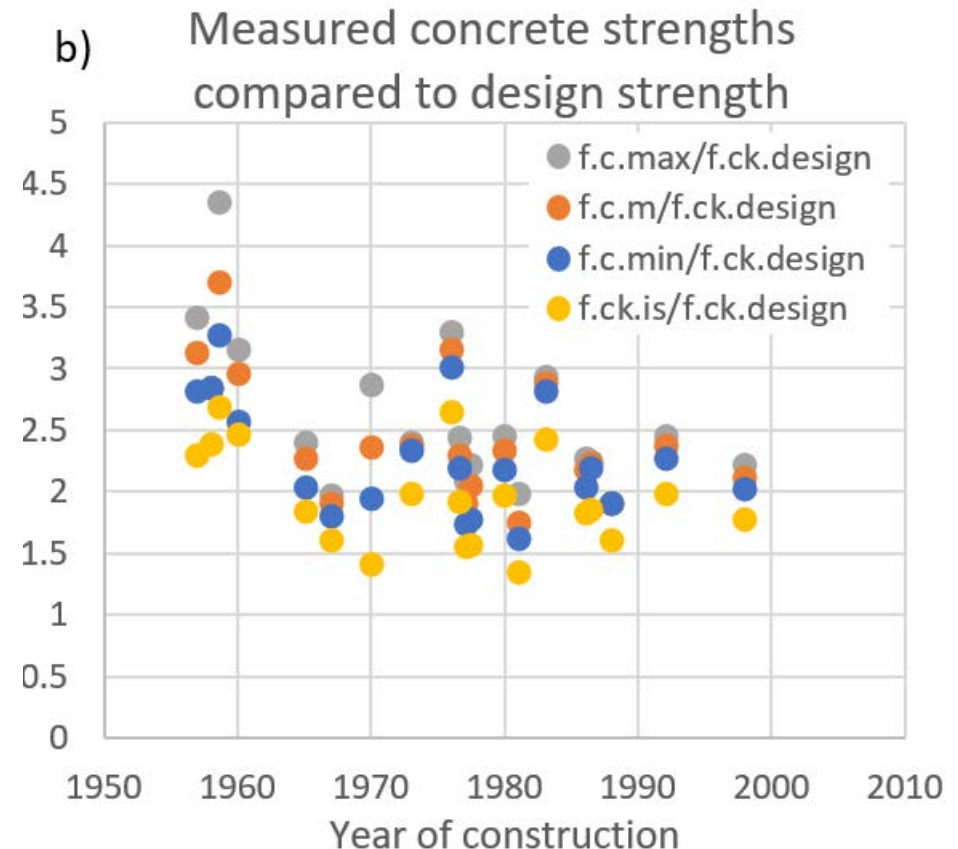
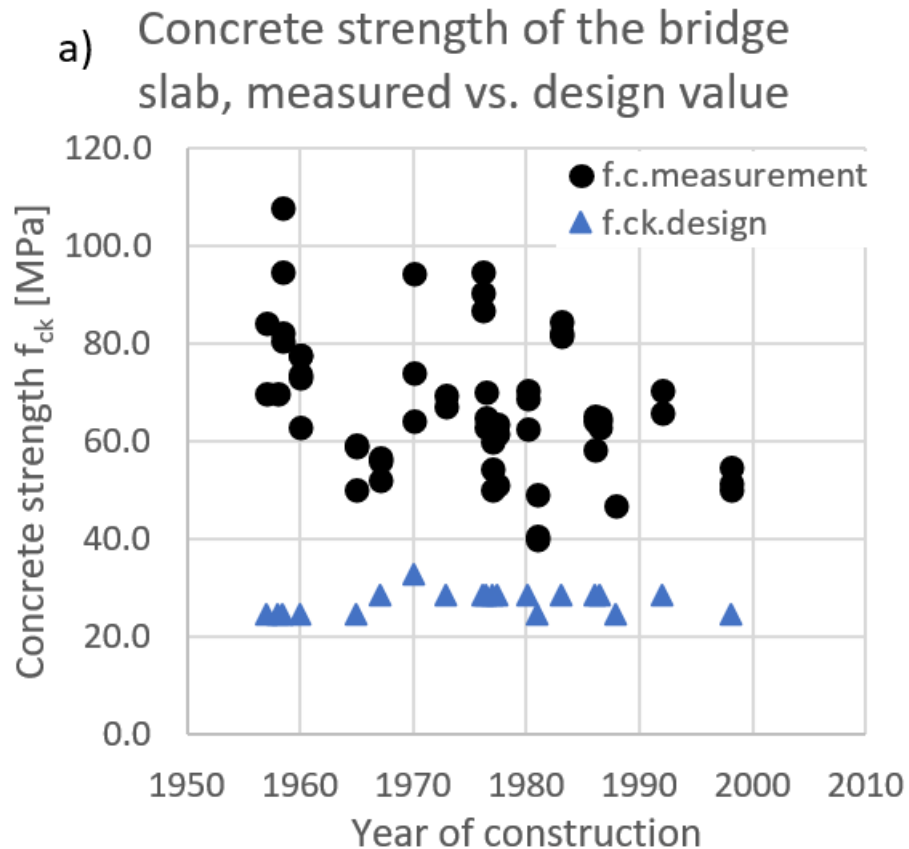
RakMk B4 vs EN 1992-1-1:2023

Comparison of NCCI 2 Finland (2010) vs. EN 1992-1-1:2023 punching utilization % of the studied bridge stock



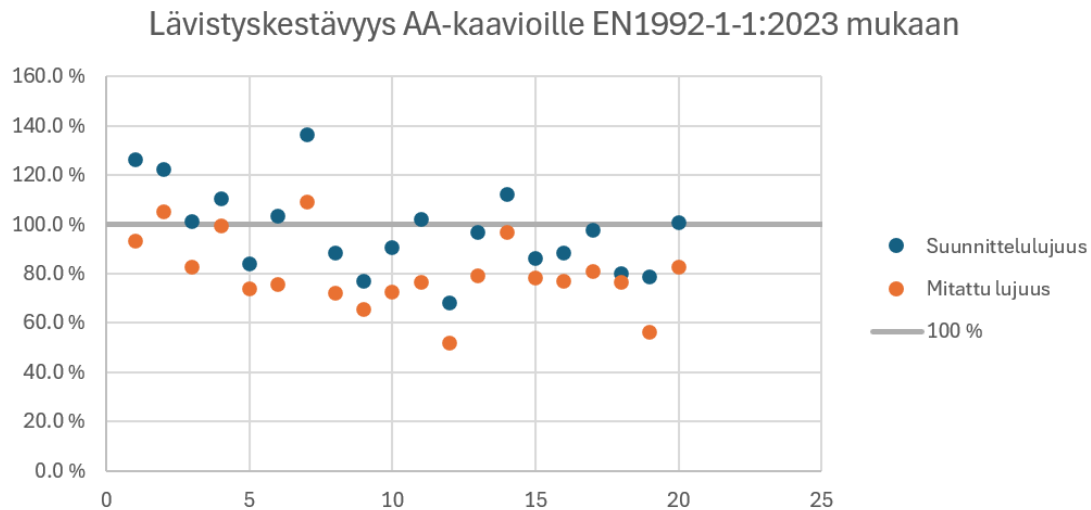
- Tulevan standardin mukaan laskettuna leikkausraudoittamattoman rakenteen kapasiteetti on suurempi kuin nykyohjeilla
- Toisaalta leikkausraudoitettujen rakenteiden kapasiteetti on pienempi
- Suuruusluokka kuitenkin lähes kaikissa tapauksissa sama.

Laattasiltojen mitattuja betonilujuuksia



Poratuista lieriönäytteistä on määritetty lieriöpuristuslujuuden mitoitusarvo standardien EN13791:2019 ja SFS7508:2021 mukaisesti, poikkeuksena vaadittu koekappalelukumäärä (alle 8), koska data saatu siltojen erikoistarkastusraporteista.

Mitatun betonilujuuden vaikutus lävistyskestävyyteen



- 20 sillan otoksessa 9 sillan tapauksessa lävistyksen käyttöaste nykykuormille on yli 100 % suunnittelulujuudella
- Samassa otoksessa vain 2 sillan käyttöaste on yli 100 % näytteistä määritetyllä puristuslujuudella
- → Jos silta vaikuttaa lävistyksen suhteen kriittiseltä, riittävä parannus kapasiteettiin voidaan saavuttaa mittaamalla rakenteen todellinen puristuslujuus ja huomioimalla se lävistyslaskennassa
 - Vaatii kuitenkin laajamittaisesti koekappaleiden poraamista, jotta saadaan luotettava arvio koko sillan betonin kunnosta ja lujuudesta

Tutkimuksen seuraavat askeleet

- Pika-analyysin perusteella laattasiltojen reunapilarit osoittautuivat lähes kaikissa tapauksissa kriittisimmäksi lävistymisalueelle → Tutkimuksen painopiste
- Koekuormitukset 2025
- Tavoitteena kehittää lävistyskestävyyden laskentamalleja soveltumaan paremmin laattasiltojen kantavuuslaskentaan ja suunnitteluun
 - Puutteita etenkin reunapilarin käyttäytymiseen liittyvissä asioissa
- Tavoitteena myös löytää betonilujuuden lisäksi muita tekijöitä, joilla voidaan huomioida tarkemmin rakenteen todellinen toiminta ja kasvattaa arviota kantavuudesta

Kiitos!