

Laattasiltojen leikkaus- ja lävistyskestävyys

Siltatekniikan päivät 2026

10.2.2026, DI Juuso Auvinen

Betoni- ja
siltarakenteiden
tutkimusryhmä:

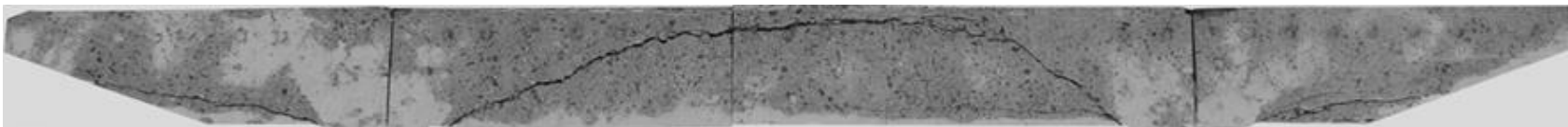


Tutkimusprojekti: Laattasillan leikkaus- ja lävistysmitoitus

- Tutkimus aloitettu syksyllä 2022, arvioitu valmistuminen 2027
- Osana Väyläviraston ja Tampereen yliopiston NOSERA ja TUTOR –hankkeita
- Tampereen yliopiston Betoni- ja Siltarakenteiden tutkimusryhmä, ohjaaja prof. Anssi Laaksonen

Tähän mennessä julkaistut vertaisarvioidut artikkelit:

- Auvinen J, Laaksonen A. Punching assessment of a slab bridge stock in Finland. Structural Concrete. 2025.
<https://doi.org/10.1002/suco.70036>
- Auvinen J, Laaksonen A. Experimental Setup for Investigating Shear and Punching Behaviour of Reinforced Concrete Slab Bridge on Columns. Proceedings of the 2025 fib International Symposium. 2025.

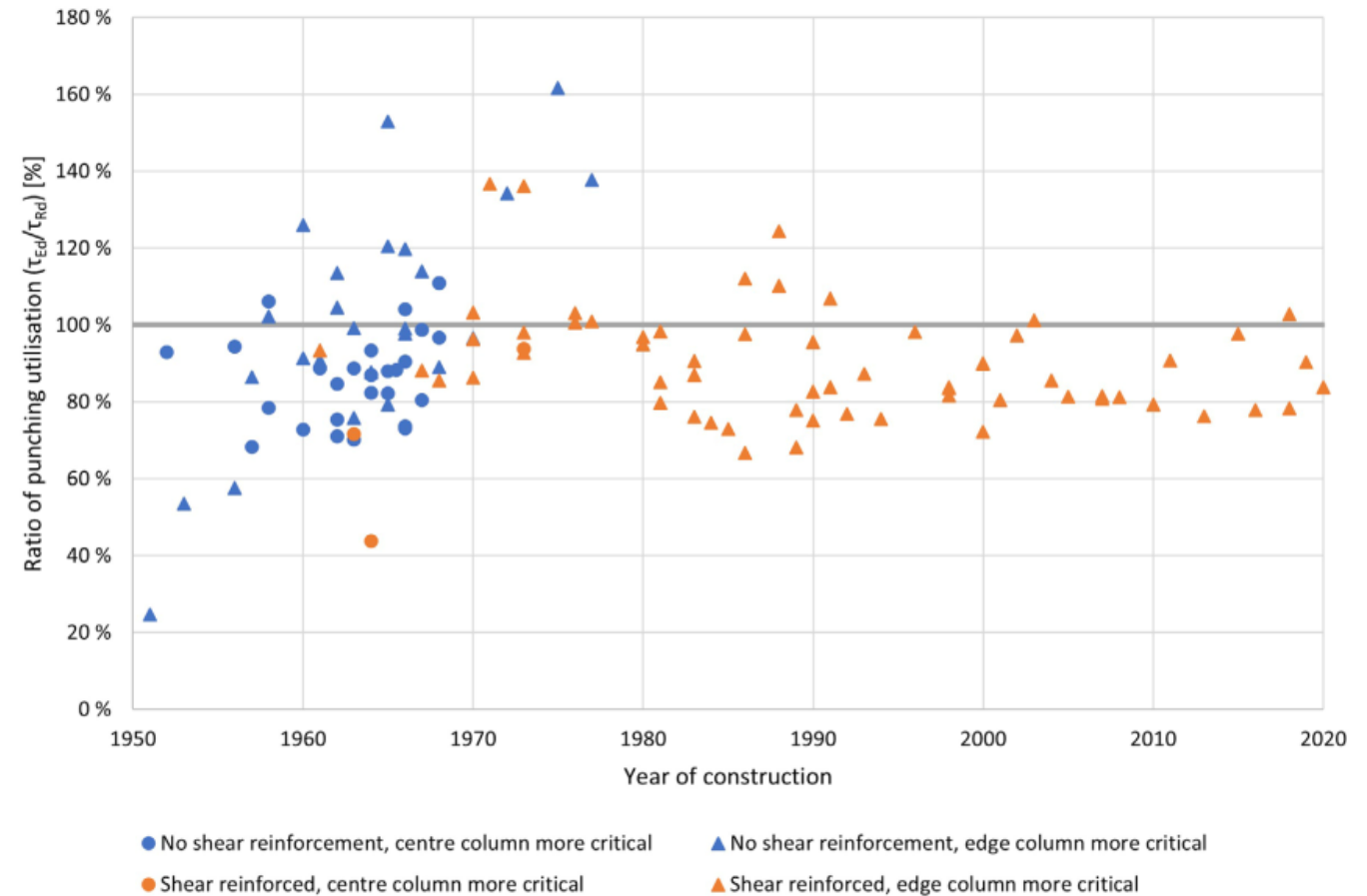


Johdanto

- Laattasiltojen leikkaus- ja lävistysilmiöihin liittyy paljon tekijöitä, jotka vaativat lisää tutkimusta
- Suomessa siltojen suunnittelu ja kantavuuslaskenta tehdään edelleen kansallisten ohjeiden pohjalta RakMk B4 (1980-luku)
 - Toisen sukupolven Eurokoodit tulevat käyttöön lähivuosina → leikkaus- ja lävistyskestävyyden laskenta muuttuu merkittävästi siltojen suunnittelussa
- Kantavuuslaskenta:
 - Laskennallisesti nykyiset laattasillat ovat usein kriittisiä leikkaus- ja lävistysilmiöiden suhteen, käytännössä ongelmia (onnettomuuksia) ei ole kuitenkaan vielä ilmennyt
 - 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

Nykyisten laattasiltojen lävistyskestävyys

- Artikkelin ”*Punching assessment of a slab bridge stock in Finland, 2025*”: 116 laattasilian lävistyskestävyyttä tarkasteltu taulukkolaskennalla nykyisille liikennekuormille (AA-kaaviot) EC2:2023 lävistyskaavoilla
- Ennen 1970-lukua rakennetut laattasilat on usein suunniteltu ja rakennettu ilman kunnollisia lävistysraudoitteita
- Karkealla laskennalla lävistyksen käyttöaste useilla silloilla yli 100 % nykyisille kuormille → haluttu varmuustaso alitettu, kapasiteettia erikoiskuljetuksille on hyvin rajallisesti
- Etenkin 1970 jälkeen rakennetuissa laattasilloissa pitkät reunaulokkeet → reunimmaisen pilarin lävistyskestävyys mitoittava

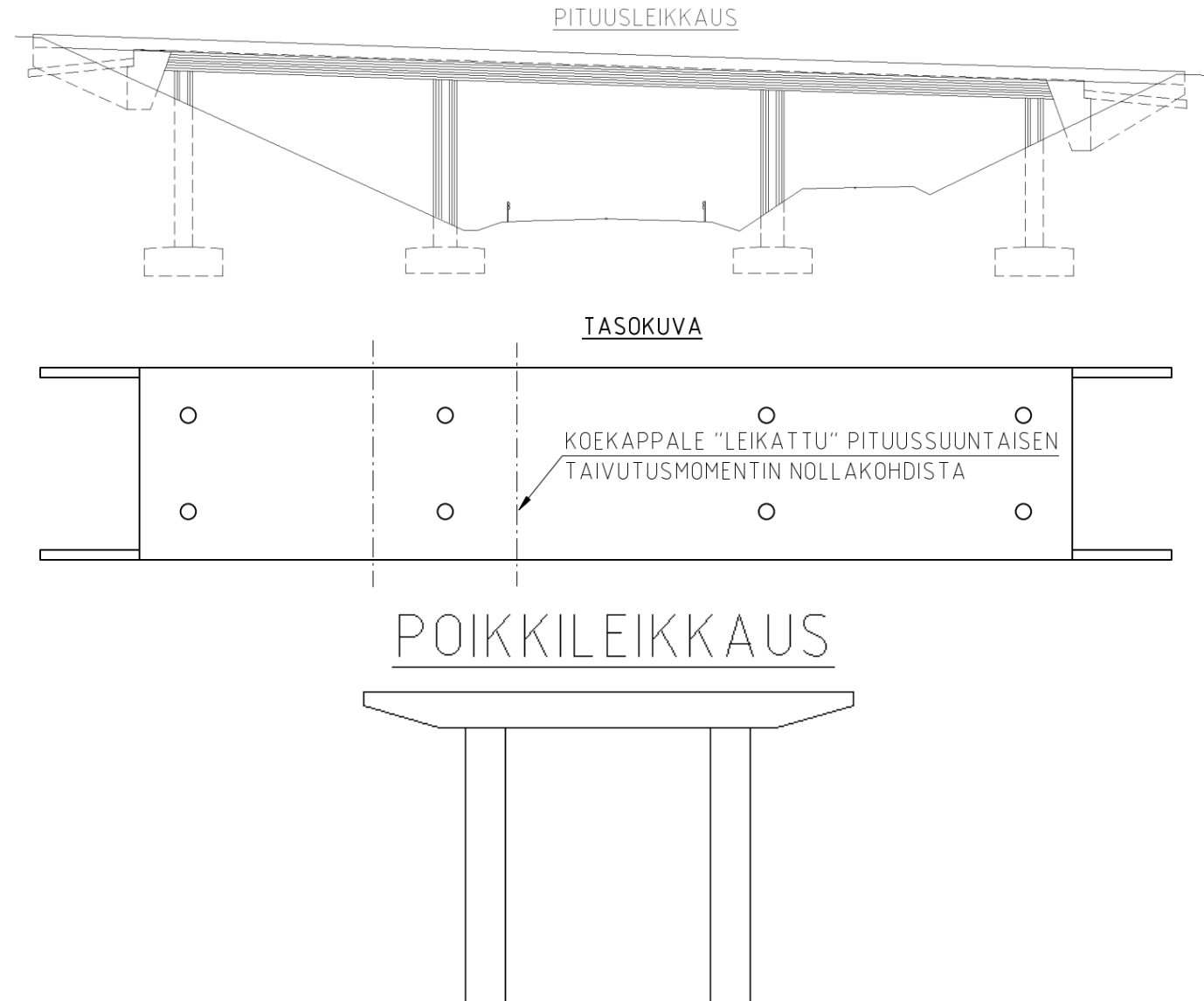
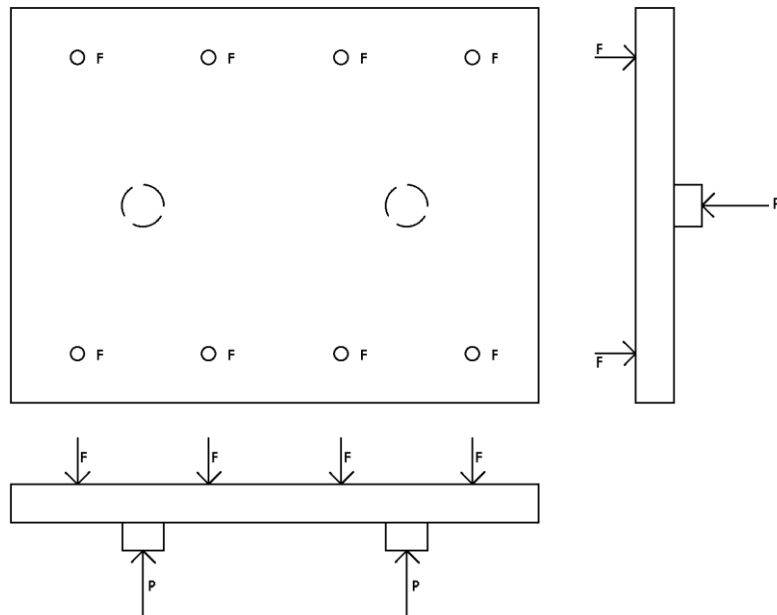


Kuva: Auvinen J, Laaksonen A. Punching assessment of a slab bridge stock in Finland. Structural Concrete. 2025. <https://doi.org/10.1002/suco.70036>

Koesarjan tausta

- Yleisin välituki laattasillassa Suomessa on 2-pilarinen
- Käytännön rajoitteiden takia laattasillasta on otettu kokeellisesti tarkasteluun yhden välituen alue, joka koostuu kahdesta pilarista ja laatasta. Mittasuhte 1:3 oikeasta sillasta

KOEKAPPALE



Koekuormitusten suoritus

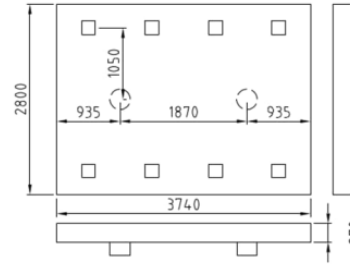
- 5 Laattaa

- 1 kpl yhden pilarin laatta
- 4 kpl kahden pilarin laattaa
- Muuttujana pilarien välinen etäisyys = kuinka lähellä reunaa pilari on → reunaetäisyyden vaikutus leikkaus- ja lävistyskäyttäytymiseen?
- Yhdessä laatussa laattasilloille tyypilliset reunaviisteet → viisteen vaikutus leikkaus- ja lävistyskäyttäytymiseen?

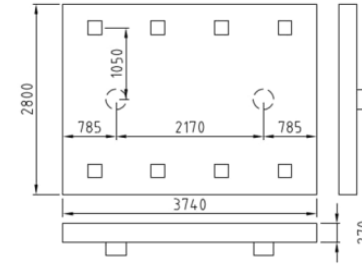
KK0



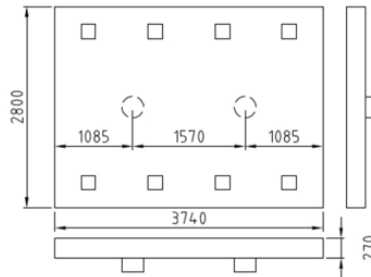
KK1



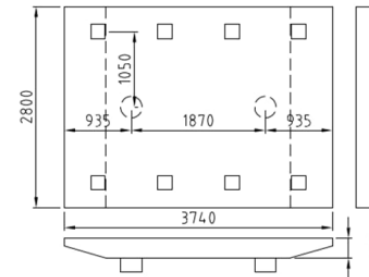
KK2



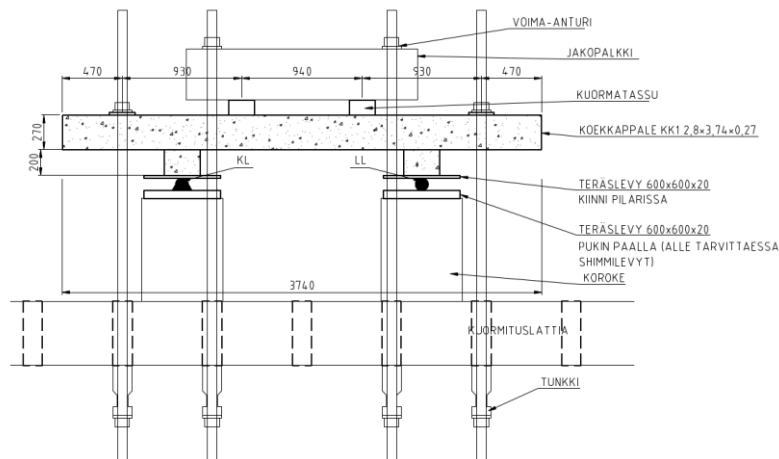
KK3



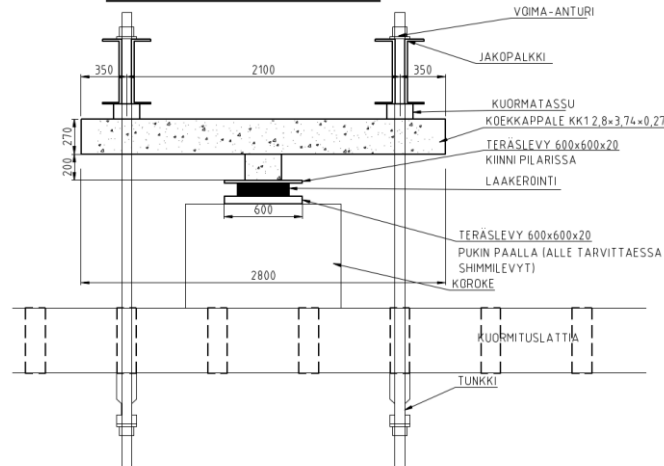
KK4



A-A KOEJÄRJESTELY 1:20



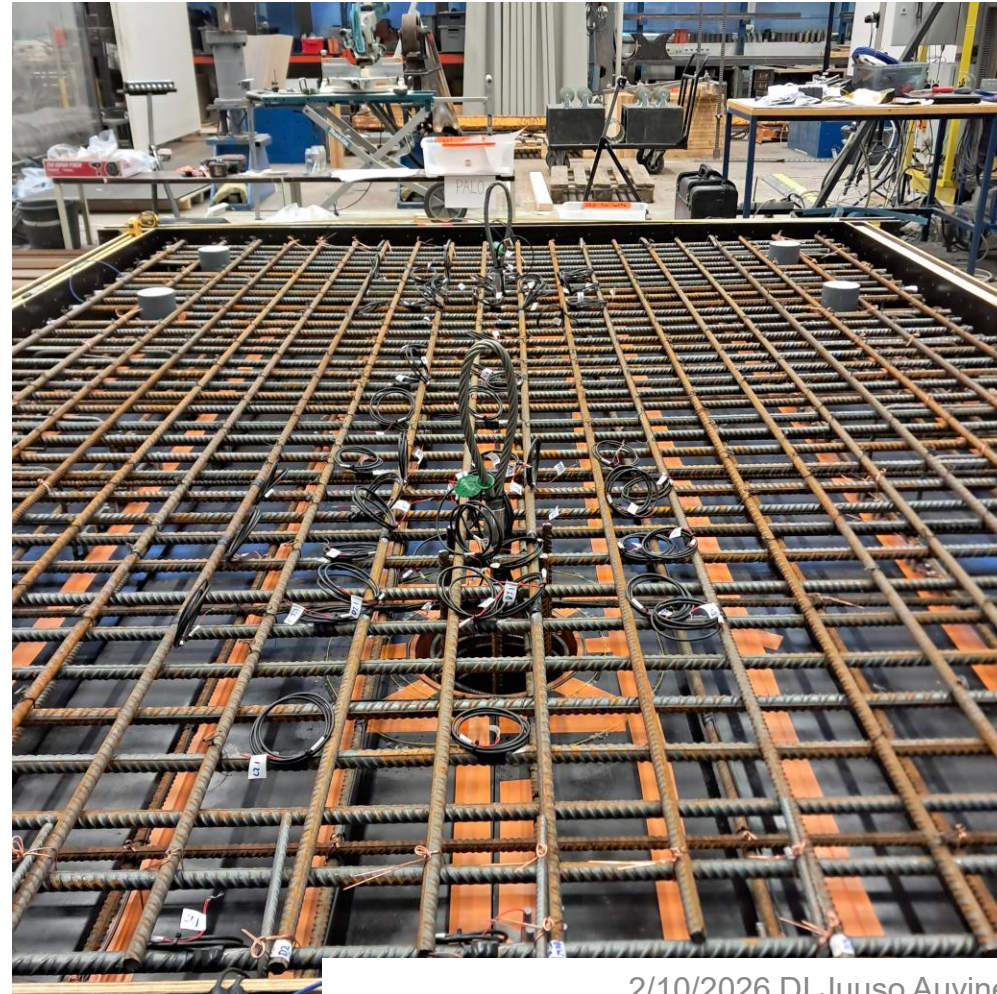
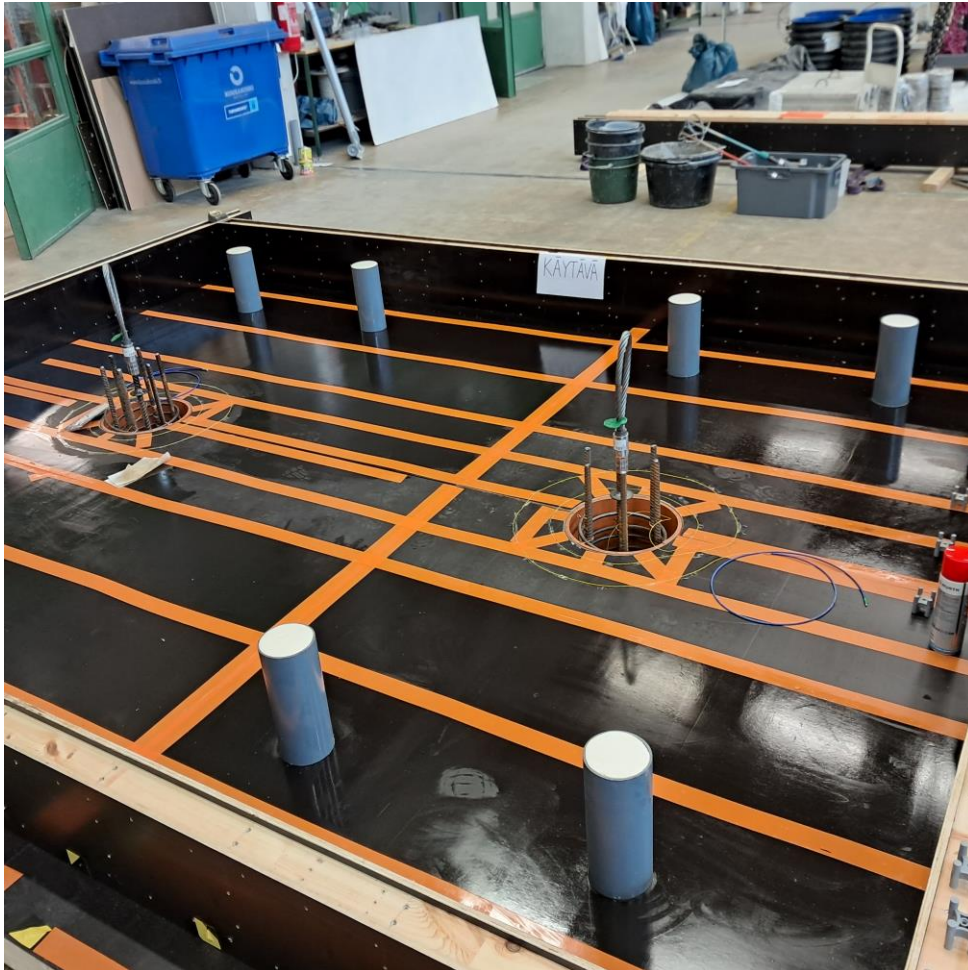
B-B KOEJÄRJESTELY 1:20



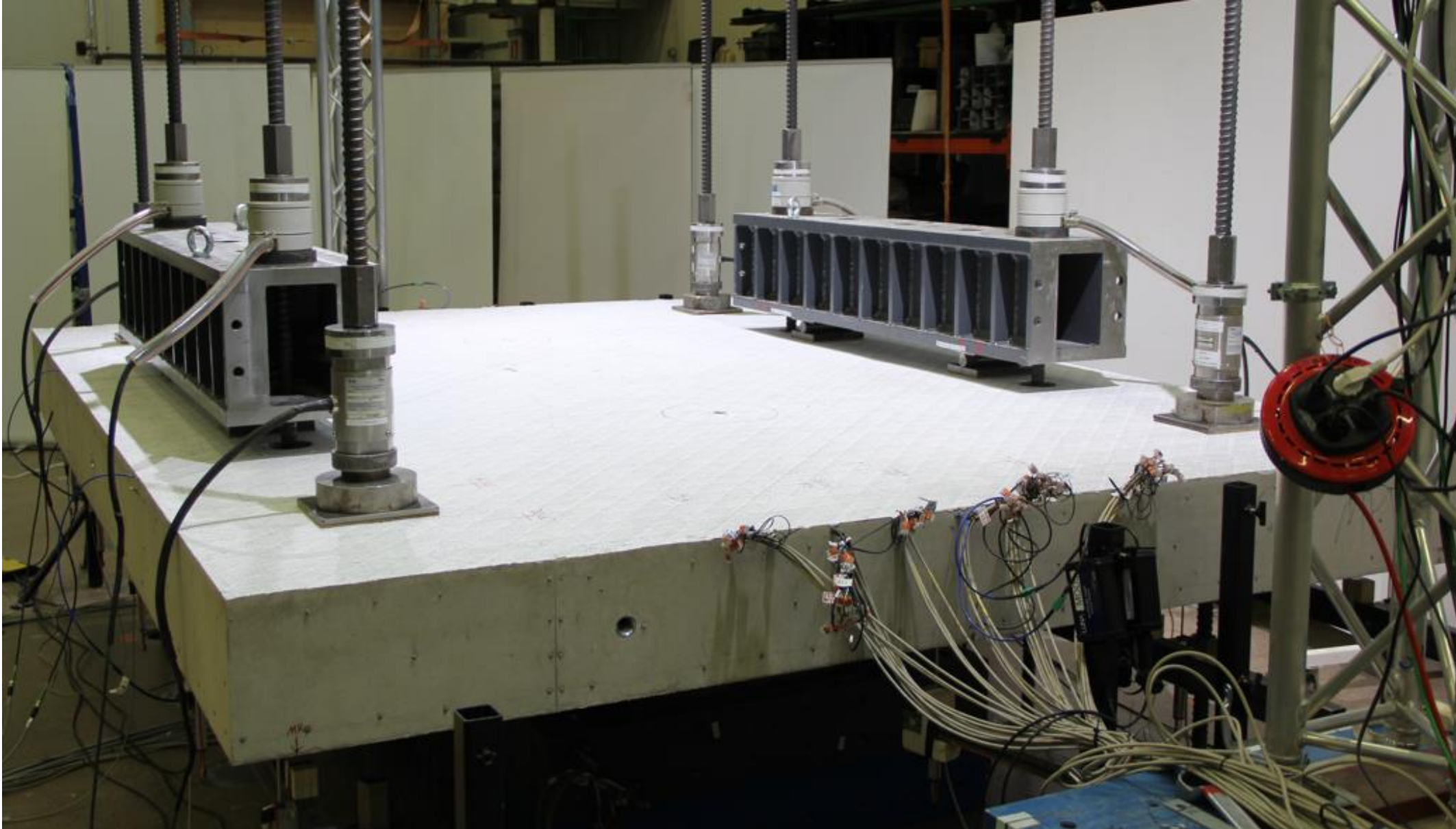
Raudoitus ja instrumentointi

5 Laattaa, jokaisessa n. 90 venymäliuskaa ja 5 kuituoptista mittausta, 30 siirtymäanturia, yläpinta kuvattu DIC mittauksella

Huom! Laatat leikkausraudoittamattomia

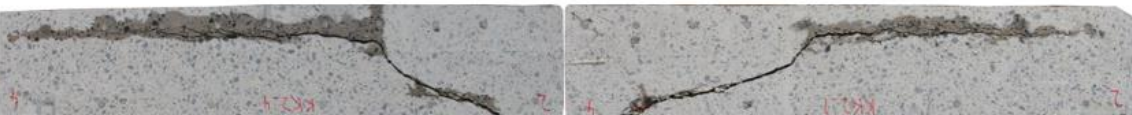
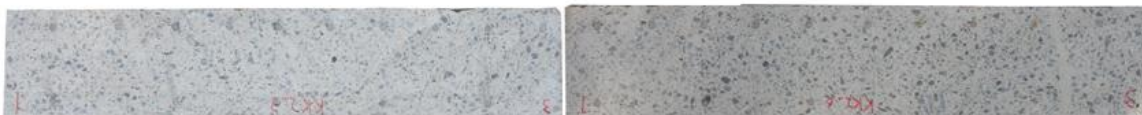
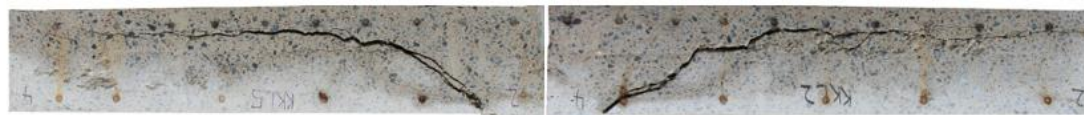
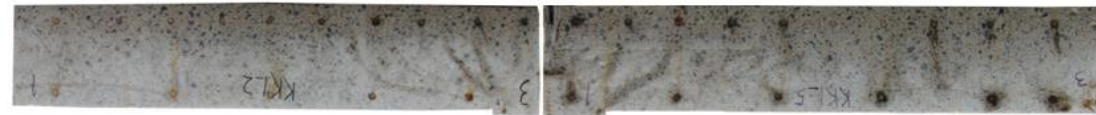








Kokeiden tulokset



KK0

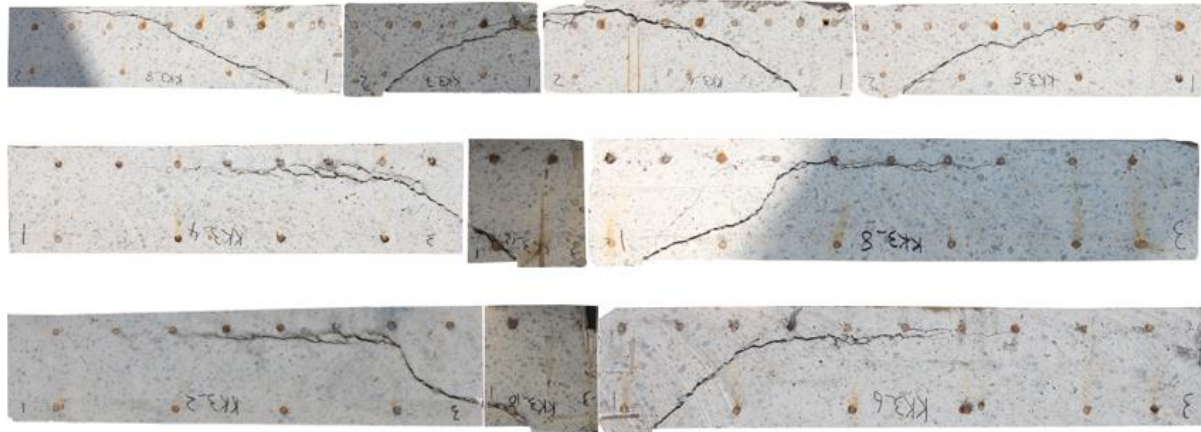
- Yhden pilarin laatta
- Suhteellinen kestävyys 100 %

KK1

- Kahden pilarin laatta
- Suhteellinen kestävyys 100 %
- Lävistysmurto toisen pilarin ympäri

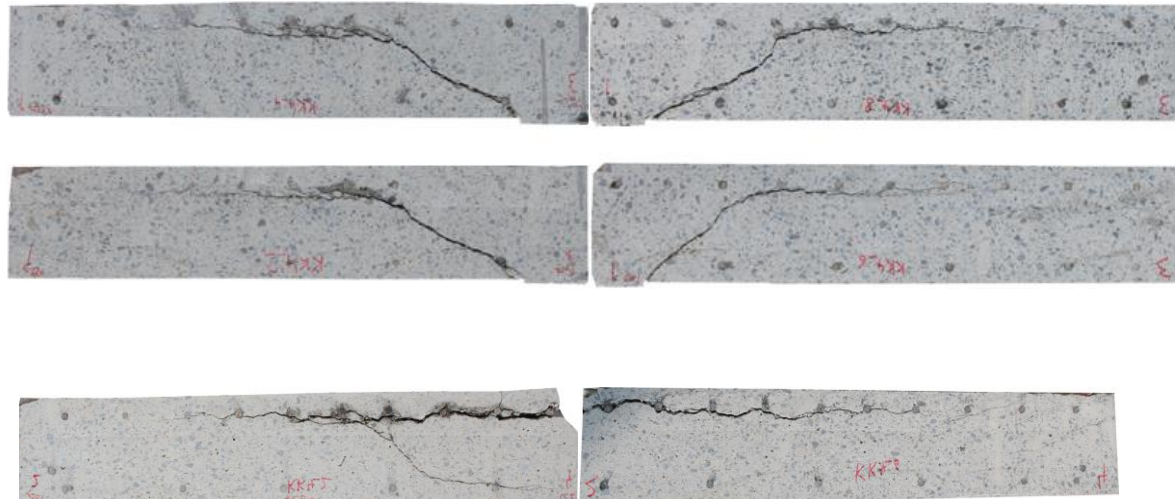
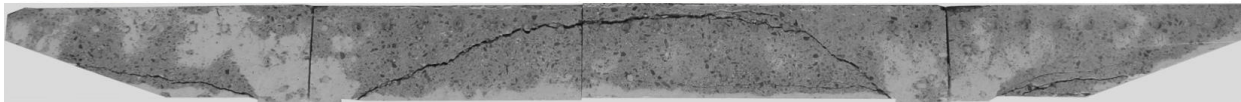
KK2

- Kahden pilarin laatta, pilarit lähempänä reunaa
- Suhteellinen kestävyys 93 %
- Lävistysmurto toisella pilarilla, lävistyskartio rajautuu laatan ulkoreunaan (U-lävistyspiiri)



KK3

- Kahden pilarin laatta, pilarit kauempana reunasta
- Suhteellinen kestävyys 101 %
- Lävistysmurto molempien pilarien ympäri

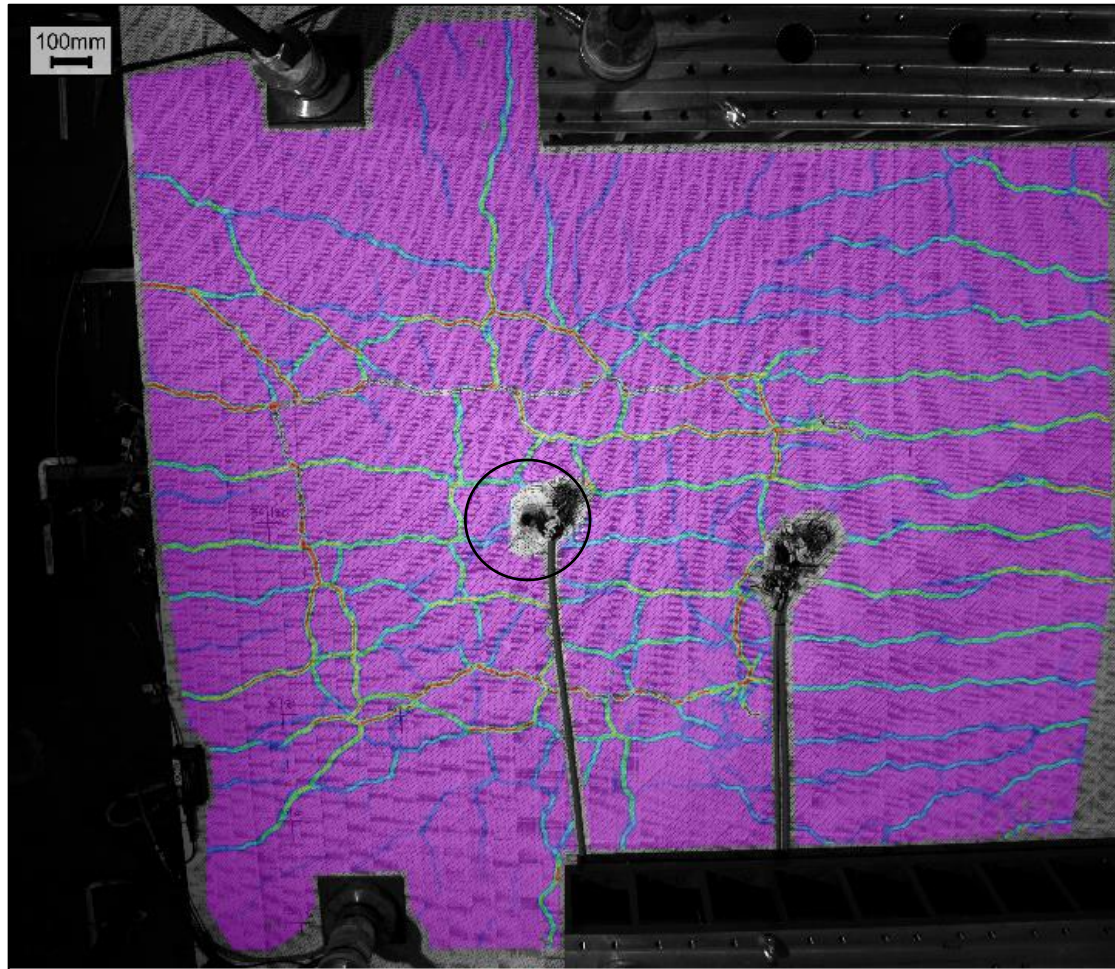


KK4

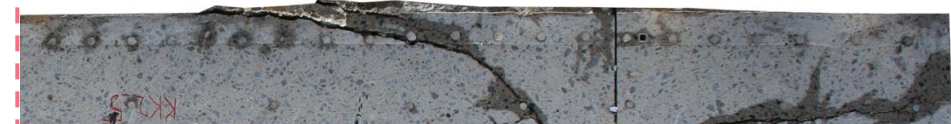
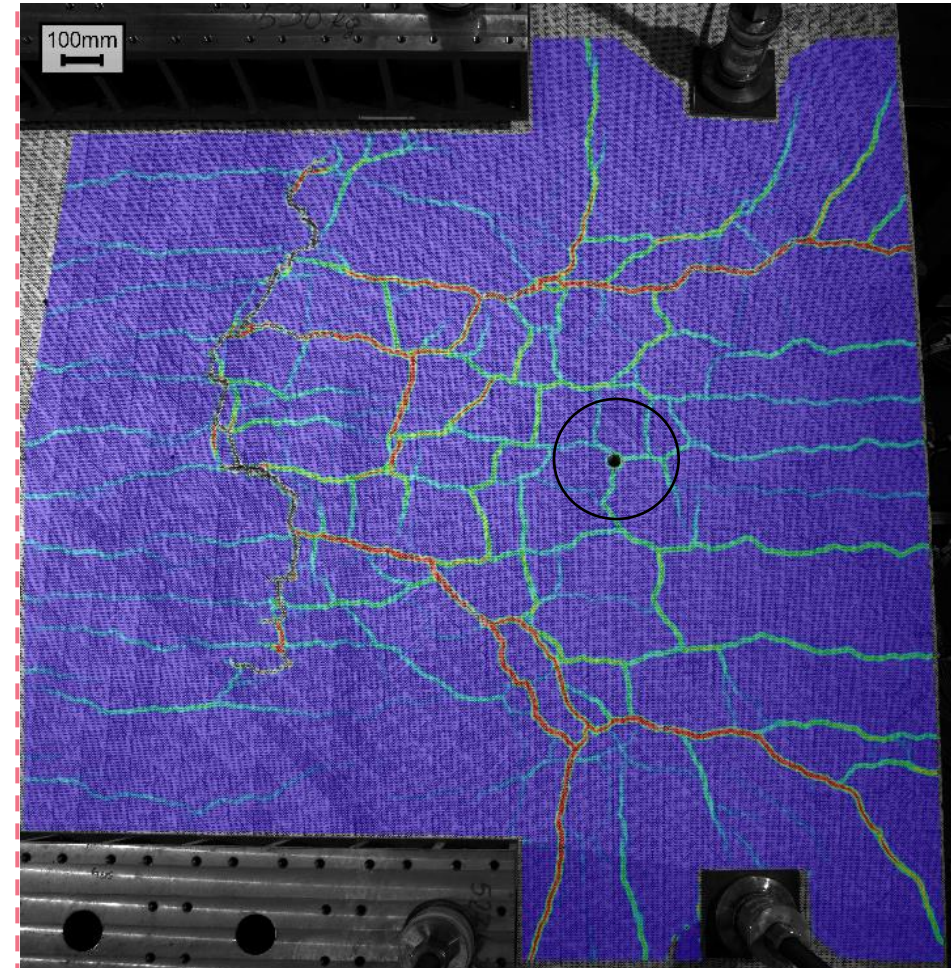
- Kahden pilarin laatta, reunoilla viisteet
- Suhteellinen kestävyys 93 %
- Lävistysmurto molemmilla pilareilla, lävistyskartiot rajautuvat laatan ulkoreunaan (U-lävistyspiiri)
- Laatan keskeltä otettu pitkittäissuuntainen sahaus (alimpana) näyttää merkkejä alkavasta leikkausmurrosta

Halkeamakuvi DIC keski- ja reunälävistys

KK1



KK2



Tulosten analysoinnista

Lävistyksen laskentamallit (P_{exp}/P_{calc})

Tutkimusmalli (critical shear crack theory)

Tuleva betonieurokoodi

Nykyohjeistus, betonin vetolujuus analyyttisesti mitatusta puristuslujuudesta

Nykyohjeistus, betonin vetolujuus mitatusta halkaisuvetolujuudesta

Koekappale (murtotapa kokeessa)	CSCT (mitoitettava murtotapa)	EC2 ₂₀₂₃ (mitoitettava murtotapa)	NCCI2, $f_{ct} \sim f_c$ (mitoitettava murtotapa)	NCCI2, $f_{ct} = 0.9 f_{ct.spl}$ (mitoitettava murtotapa)
KK0* (keski)	1.16 (keski)	0.99 (keski)	1.04 (keski)	1.11 (keski)
KK1 (keski)	1.10 (keski)	1.32 (reuna)	1.09 (reuna)	1.13 (reuna)
KK2 (reuna)	1.00 (keski)	1.23 (reuna)	1.10 (reuna)	1.12 (reuna)
KK3 (keski)	1.12 (keski)	1.24 (reuna)	1.07 (keski)	1.01 (keski)
KK4 (reuna)	1.04 (keski)	1.20 (reuna)	1.04 (reuna)	0.92 (reuna)
Keskiarvo	1.08	1.20	1.07	1.06
Variaatiokerroin	0.06	0.10	0.02	0.08

Jos $P_{exp}/P_{calc} > 1.00$
→ laskentamalli varmalla puolella

Hajonta hieman suurempi, kun käytetään halkaisuvetolujuutta

*Yhden pilarin laatta, vain keskilävistystapaus laskettu
Vihreällä merkitty, kun laskentamalli ennustaa murtotavan oikein

Hyvä tarkkuus, ei kykene ennustamaan reunalävistysmurtoja

Konservatiivinen, etenkin reunalävistysmitoituksessa

Tarkkuus hyvä, murtotapa väärä vain yhdessä laatussa (KK1)

Tulosten analysoinnista

Ensimmäiset johtopäätökset:

- Pilarin siirtäminen 150 mm kohti reunaa pudotti lävistyskestävyyttä 7 % → reunapilarin asettelu huomioidaan suunnittelussa ja kantavuuslaskennassa
- Reunan viistäminen pudotti lävistyskestävyyttä 7 % → huomioitava suunnittelussa ja kantavuuslaskennassa?
- Laskennalliset lävistyskestävyydet olivat pääosin suhteellisen lähellä koetuloksia
- Leikkauskestävyys ei tullut vastaan missään laatassa, vaikka nykymenetelmillä arvioituna leikkauskestävyyden piti olla pienempi kuin lävistyskestävyyden → leikkausmenetelmät pilarilaatoille vaikuttavat tämän perusteella konservatiivisilta
- Reunalle rajautuva lävistyspiiri voi olla mitoittavampi kuin pilarin ympäri menevä piiri, vaikka reunapiiri olisikin pidempi → tämä huomioitava mitoituksessa
- Nykyohjeistus (NCCI2 / RakMk B4) toimi hyvin koekappaleiden murtokuorman ja murtotavan arvioinnissa. Ovat kuitenkin empiirisiä malleja, joilla on tapana toimia hyvin koekappaleiden analysoinnissa, mutta skaalautuvuus todellisiin rakenteisiin epävarmempaa kuin mekaanisiin malleihin pohjautuvissa mitoitusavoissa (kuten EC2:2023)

Tulosten analysoinnista

Projekti jatkuu näiden tulosten analysoinnilla. Tavoitteita:

- Lävistyksen ja leikkauksen teoreettisten laskentamallien toiminnan varmistaminen laattasilloille, tarvittaessa hienosäätö
- Uusien eurokoodien käyttöönotto → mitä asioita huomioitava laattasiltojen suunnittelussa ja kantavuuslaskennassa, kun leikkaus- ja lävistyskestävyyden laskentakaavat muuttuvat Suomessa merkittävästi ensimmäistä kertaa sitten 1980-luvun. Onko tarvetta hienosäätää EC2:2023 leikkaus- ja lävistyslaskentaa?
- Kansalliset ohjeet ja valinnat tulevaisuuteen laattasiltojen leikkaus- ja lävistyskestävyyden laskentaan

Kiitos!