



# Kantavuudenlaskentamenetelmä jännitetyn sillan turvallisuuden määrittämiseksi punosvaurion tapauksessa

*Betonitutkimusseminaari, Messukeskus  
31.10.2018*

# Tutkimushanke: Jännepunosvaurion vaikutus betonisen sillan rakenteelliseen turvallisuuteen

- Osana Liikenneviraston ja Tampereen teknillisen yliopiston ”Elinkaaritehokas väylänpito (ETEVÄ): Sillat” – tutkimusohjelmaa.
- Tausta:
  - Jännitetyt sillat Suomessa rakennettu pääosin 1970-luvun jälkeen, yhteensä noin 1800 kpl (betonisiltoja n. 20 300 kpl)
  - Suuria siltoja, keskipituus 50,4 m (betonisillat 13,7 m)
  - Maailmalla havaittu puutteita ja ongelmia jänneterästen pitkäaikaiskestävyydessä
- Tavoitteet:
  - Selvittää JB-rakenteen toimintaa ja vaurionsietokykyä tilanteissa, joissa osa jänneteräksistä on vaurioitunut tai katkennut
  - Kehittää olemassa olevien jännitettyjen siltojen kantavuuden arviointiin soveltuvia menetelmiä
  - Mahdollisesti vaikutusta myös uudissuunnitteluun

# Sisältö

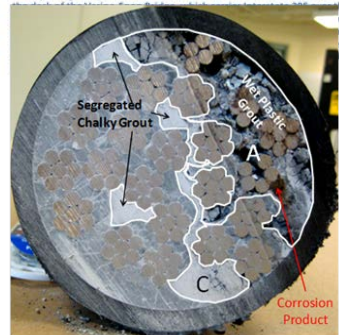
- Jänneterästen vaurioituminen ja rakenteiden vaurionsietokyky
- Jännitettyjen siltojen ominaisuuksista
- Jännitetyn rakenteen vaurionsietokyvystä
  - Poikkileikkaustasolla
  - Koko rakenteen toiminnassa

# Jänneterästen vauriot ja rakenteiden vaurionsietokyky

- Jänneteräkset avainasemassa rakenteen kantavuuden takaamisessa.
- Injektointi välittää voimaa betonirakenteen ja jänneteräksen välillä sekä takaa jänneterästen säilyvyyden
- Epäonnistuneen injektoinnin aiheuttamia jännevaurioita on havaittu maailmalla 80 –luvulta lähtien
  - Ongelmana tyhjätilat suojaputken sisällä ja injektointilaastissa käytetyt kloridit
  - Lisäksi tietyt teräslaadut erityisen herkkiä säröilemään korroosion vaikutuksesta
  - Jänneteräksen hauras murtuminen voi olla mahdollista
- Joitakin siltoja on sortunut ja useita siltoja on täytynyt korjata tai uusia



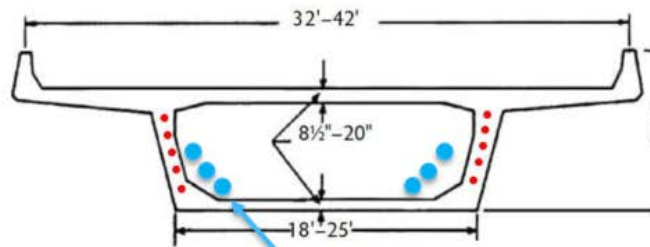
In May bridge inspectors discovered that one of the tendons beneath



# Jännitetyt sillat Suomessa

## Ulkoisin jäntein jännitetty rakenne

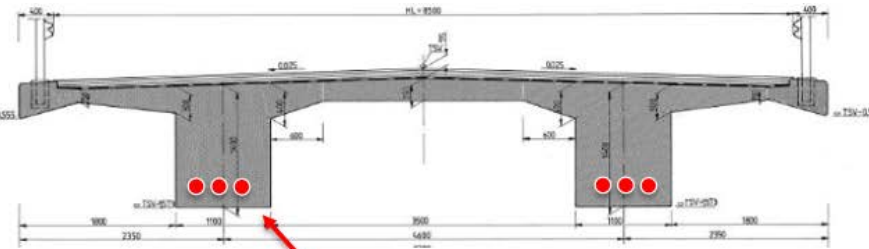
- + Jänteet tarkastettavissa
- + Injektoinnin laadusta voidaan varmistua
- + Jänteet jopa vaihdettavissa
- Ei tartuntaa rakenteeseen → katkennut jännekulku tehoton koko matkalla



Tarkastettavissa

## Rakenteen sisäisin jäntein jännitetty ja jälki-injektoitu rakenne

- + Oletettavasti tartunta rakenteeseen → vaurionsietokyky
- Injektoinnin laatu/onnistuminen vaikeasti selvitetävissä
- Jänneterästen kunto vaikeasti tarkastettavissa



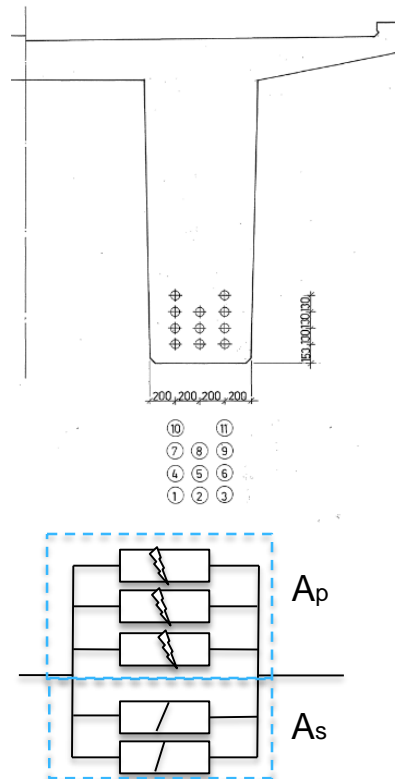
Ei tarkastettavissa

# Menetelmä jännitetyn poikkileikkauksen vaurionsietokyvyn arviointiin

- Epäsuora laskennallinen menetelmä vaurionsietokyvyn arvioimiseen
- Vastaava käytössä myös esim. Saksassa sikäläisille rakenteille
- Perustuu jännitetyn rakenteen halkeilun havainnoimiseen jännekulkujen vaurioitumisen merkinä:

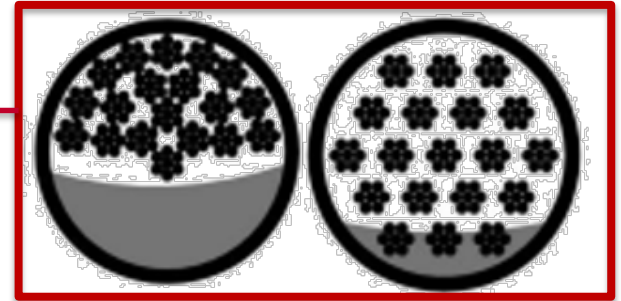
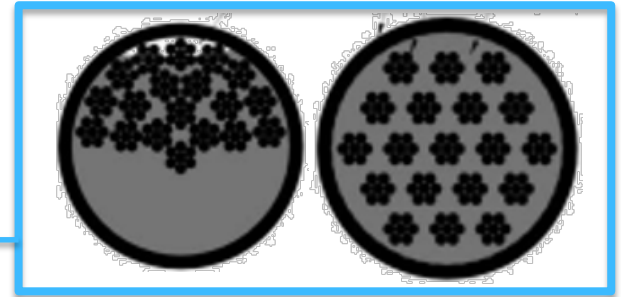
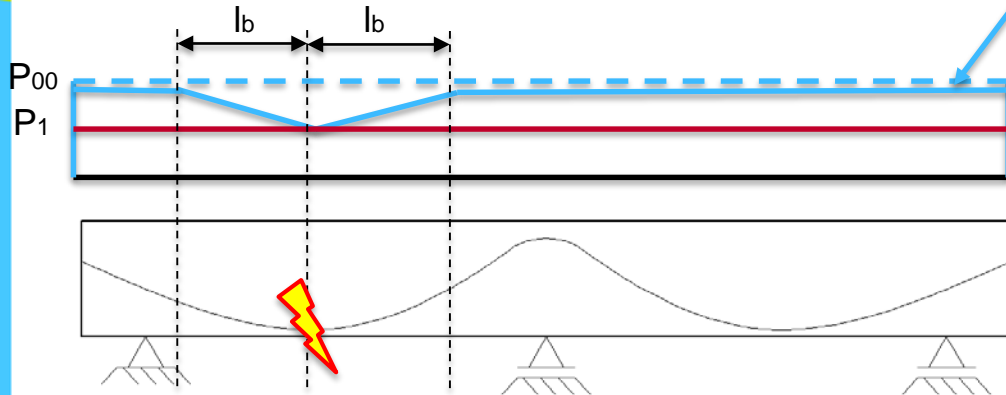
Yksinkertaistettuna:

- 1) Tutkitaan kuinka paljon jänneterästä pitää poistaa, jotta vedetyssä pinnassa esiintyy **halkeilua** tavallisella yhdistelmällä
  - 2) Selvitetään **murto kapasiteetti** tällä teräsmäärällä ja verrataan harvinaisen yhdistelmän aiheuttamaan rasitukseen.
- Menetelmä kalibroitu vassa vastaamaan kantavuuslaskennassa vaadittua luotettavuustasoa
    - Rakenteen tulisi selvästi halkeilla ennen murtoa
    - Halkeilun havainnointi voi olla kuitenkin haastavaa
  - Vetoketjumaisen murtotavan mahdollisuus selvitettävä



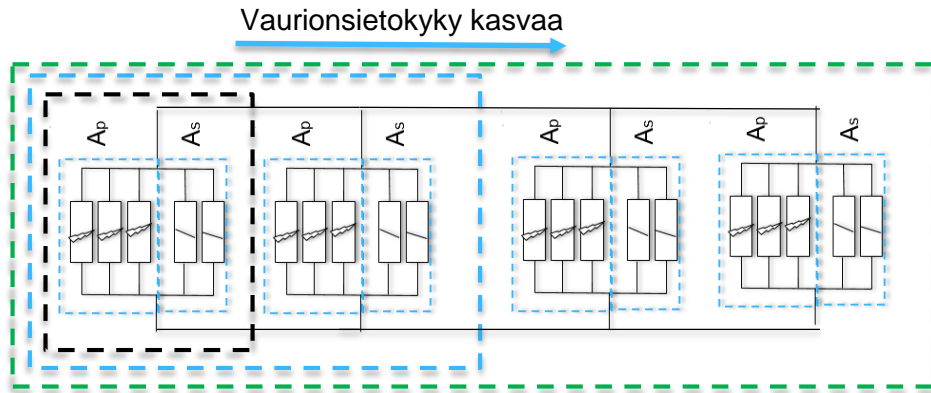
# Tartunnan merkitys vaurionsietokykyyn

- Lokaali (poikkileikkaus)tarkastelusta → globaalin vaurionsietokykyyn tarkasteluun.
- Puutteellisen injektoinnin seurauksena jänneteräsala pienenee korroosion johdosta ja teräs voi lopulta katketa:
  - Miten katkennut jänneteräs toimii osana rakennetta?
  - **Katkenneen jänneteräksen uudelleenankuroituminen**
  - **Koko jännekulun menetys**
- Rakenteen jälkikriittisen tilan kapasiteetti
  - Paikallinen vaurio → kuorman lisäys → globaali murto
  - Lähestyvä murto mahdollista havaita.



# Rakennejärjestelmän vaurionsietokyky

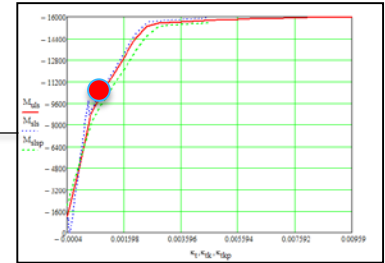
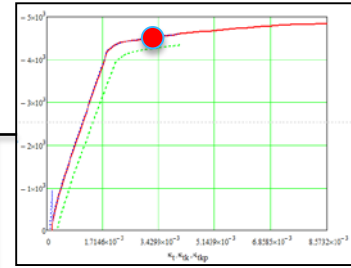
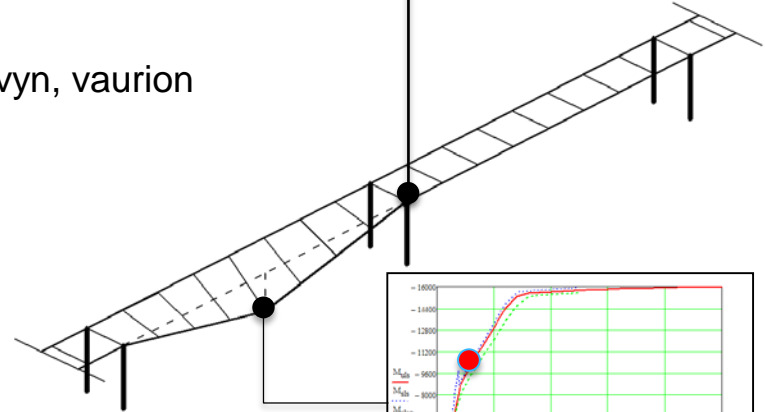
- Rakennejärjestelmätasolla ensimmäisen nivelen syntyminen ja vaurion havaittavuus → erityisesti yläpinnan halkeilu ongelmallinen
- Rakenteen kiertymäkyky ja jälkikriittinen kapasiteetti
  - Kuormien jakautuminen rakenteen pitittäissuunnassa
  - Kuormien jakautuminen rakenteen poikkisuunnassa
- Vaadittava varmuustaso voidaan asettaa vaurionsietokyvyn, vaurion havaittavuuden ja seurausten mukaiseksi
  - Eri varmuus jokaiselle poikkileikkaukselle ja murtotavalle



1 palkki,  
isostaattinen

1 palkki,  
hyperstaattinen

2 palkkia,  
hyperstaattinen





# Päätelmät

- Jännebetonirakenteen sitkeyttä murtotilassa voidaan poikkileikkaustasolla arvioida edellä kuvatulla menetelmällä.
  - Vaatii kalibrointia betonin vetolujuuden hajonnan sekä halkeamamomentin epävarmuuden huomiomiseksi
- Olemassa olevien rakenteiden vaurionsietokyvyn arvioinnilla on suora vaikutus vaaditun tavoiteluotettavuuden määräytymiseen ja sitä kautta vaadittaviin toimiin rakenteen turvallisuuden takaamiseksi
- Vaurion havaittavuuden mahdollisuuksia sekä rakenteen globaalia vaurionsietokykyä pyritään selvittämään koejärjestelyin teoreettisen tarkastelun lisäksi



*Kiitoksia!*  
Kysyttävää?

# Kuvalähteet

"Tendon failure raises questions about grout in posttensioned bridges" ,Civil Engineering, November 2007

Wang, L., Zhang, X., Zhang, J., Ma, Y., Xiang, Y., Liu, Y., 2014. Effect of insufficient grouting and strand corrosion on flexural behavior of PC beams. *Construction and Building Materials* 53 (2014) p. 213-224.

Zghayar, E.E. et. Al. Secondary anchorage in post-tensioned Bridge. *ACI Structural Journal*, July/August 2013

Trejo, D et. Al. Parameters influencing corrosion and tension capacity of post-tensioning strands. *ACI Materials Journal* March/April 2009

Federal Highway Administration, Office of Research, Development, and Technology: Infrastructure Research and Development. 2013. Guidelines for Sampling, Assessing, and Restoring Defective Grout in Prestressed Concrete Bridge Post-Tensioning Ducts. Publication no. FHWA-HRT-13-028