


TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

RIL 179-2018 Sillat – suunnittelu, toteutus ja ylläpito

Polcevera Viaduct – rakenneratkaisuista
prof. Anssi Laaksonen

Sisältö

- 1) Taustaa
- 2) Polcevera Viaduct et al
- 3) Rakentamism vaiheita
- 4) Esijännitetyt vetosauvat
- 5) Korjaustoimenpiteitä
- 6) Romahdus
- 7) Rakenteellisesti



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

prof. Anssi Laaksonen, www.tut.fi/vaativat-rakenteet
6.9.2018

Taustaa

- 14.8.2018 klo 11:36 paikallista aikaa sillasta sortui 210 m osuus
- Ihmishenkiä menetettiin 43, tapaus on erittäin ikävä katastrofi
- Toiselta puolelta pylonia silta sortui joen, osittain rakennusten ja tien päälle. Toiselta puolelta rakenne sortui junaradan päälle (Genova-Torino)
- Tämän esityksen tavoitteena on kertoa sitä tietoa mitä tapauksesta on saatavilla ja keskustella siitä asiantuntijoiden kanssa
- Kaikkia teknisiä tietoja ei ole voitu vahvistaa tai niitä ei ole saatavilla

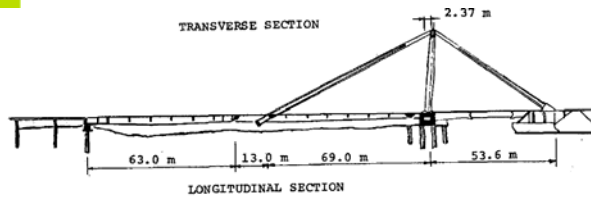
Polcevera Viaduct et al

- Silta on rakennettu 1960-1964 ja avattu liikenteelle 1967
- Sillan suunnittelija oli Riccardo Morandi
- Hyvin samankaltaisia siltoja on Venezuelassa 'Lake Maracaibo Bridge' (General Rafael Urdaneta Bridge) rakennettu 1957-1962
- Venezuelassa on aiemmin vaurioitunut yksi köysi selvästi 1979, kaikki käyset uusittiin köysiksi 1980. Alkuperäiset köydet olivat suljettuja ja sinkittyjä köysiä ja olivat erilaisia kuin Ponte Morandi:ssa.
- Lake Maracaibo Bridge on yksi ensimmäisistä isoista silloista missä pyloni ja kansi molemmat ovat betonisia, lisäksi silta on ensimmäisiä 'jatkuvia' vinoköysirakenteita, mutta koostuen staattisesti määrättyistä pääosista



Polcevera Viaduct et al

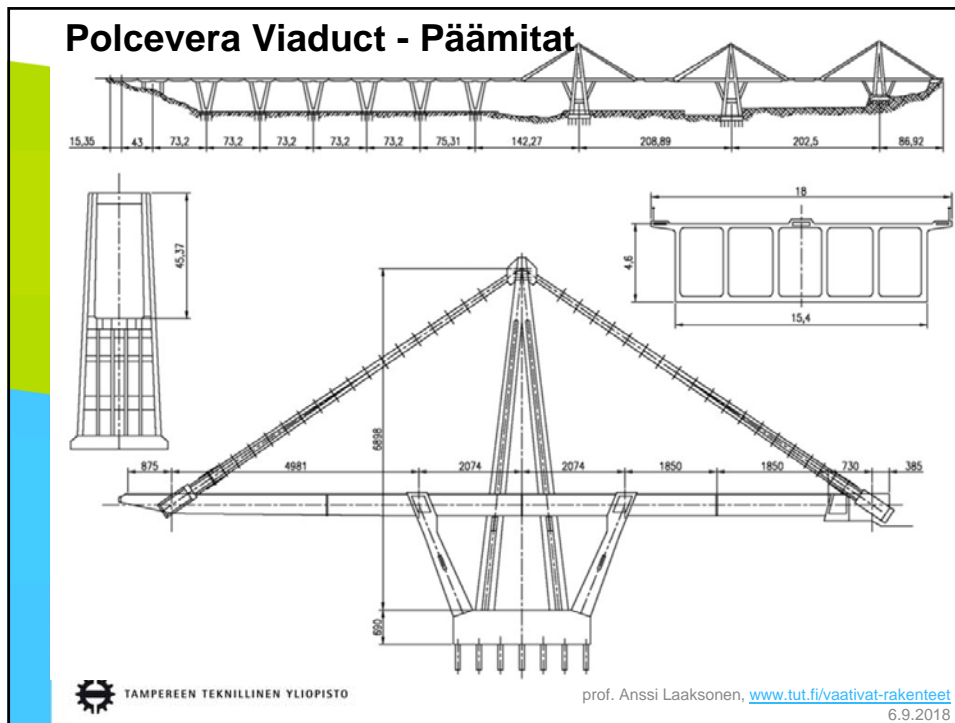
- Roomassa 'Ansa della Magliana' Bridge 1965-1967
- Libyassa 'Wadi Kuf Bridge' on rakennettu 1967-1971 (suljettu 2017).



Polcevera Viaduct et al

- Puente Laureano Gómez, Kolumbia, rakennettu 1970-1974. Korvattu uudella sillalla 2015-2019
- Carpineto-Brücke, Italia, valmistunut 1977





Polcevera Viaduct- rakentamisvaiheita

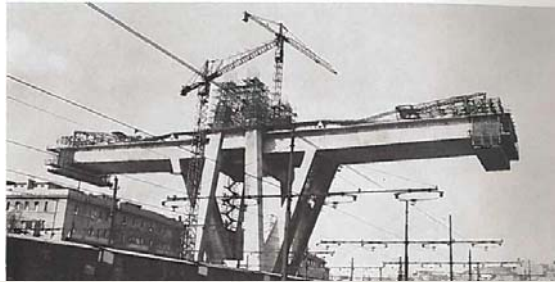
- Kannen 5-koteloisen rakenne on rakennettu ulokkeena pyloneilta 5.5 m segmenteissä. Rakenne oli lopputilanteessa esijännitetty kotelo.
- Rakentamisaikana kotelo oli tuettu ulkopuolisin jäntein ja erillisillä vetoansarakenteella pylonille. Viimeisen 10 metrin matkalla on poikittainen köysien ankkurointi, joka ensivaiheessa tehtiin osittain painon minimoimiseksi.
- Vetosauvojen primäärijänteet kannattelevat käytännössä rakenteen oman painon. Näissä kussakin oli yhteensä 16 punosten jännekuljuja 16 kpl ja 12 punosten jännekuljuja 8 kappaletta. Punokset 0,5" eli 140 mm².
- Seuraavaksi väliaikainen ansas voitiin poistaa ja rakentaa poikittainen ankkurointi loppuun ja esijännittää.
- Kotelorakenne esijännitettiin ja väliaikaiset kotelon ulkopuoliset jänteet poistettiin
- Lopuksi jännekuljujen suojaputkien ympärille valettiin betonipoikkileikkaus, johon oli sijoitettu myös sekundäärijänteet 4 punoksen nippuja 28 kpl
- Sekundäärit jänteet jännitettiin sauvojen alapäästä kahdessa vaiheessa
- Lopuksi kaikki jännekulut injektointiin



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

prof. Anssi Laaksonen, www.tut.fi/vaativat-rakenteet
 6.9.2018

Polcevera Viaduct- rakentamisvaiheita

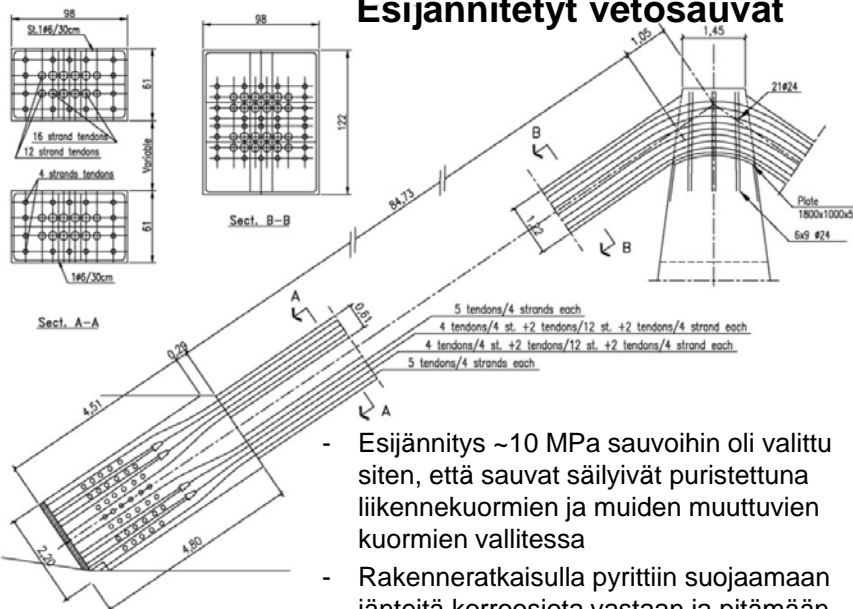


TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

prof. Anssi Laaksonen, www.tut.fi/vaativat-rakenteet

6.9.2018

Esijännitetyt vetosauvat



- Esijännitys ~10 MPa sauvoihin oli valittu siten, että sauvat säilyivät puristettuna liikennekuormien ja muiden muuttuvien kuormien vallitessa
- Rakennerratkaisulla pyrittiin suojaamaan jäniteitä korroosiota vastaan ja pitämään jäniteiden jännitysvaihtelu liikennekuormista hyvin pienenä



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

prof. Anssi Laaksonen, www.tut.fi/vaativat-rakenteet

6.9.2018

Korjaustoimenpiteitä

- Jo 1970-luvulla rakenteissa todettiin ongelmia aggressiivisen ympäristön seurauksena, meren suolan ja teollisuuden päästöjen aiheuttamana
- 1990-luvun alussa vetosauvojen kuntoa on selvitetty useilla eri menetelmillä, tuolloin havaittiin ainakin yksittäisten lankojen/punosten olevan merkittävästi ruostuneet ja osittain poikki etenkin pylonin yläpäästä.
- Lisäksi betonista ja suojaputkista löydettiin tyhjätiloja.
- Yhtenä merkittävämpinä korjaustoimenpiteenä 1992-1994 viimeisen pylonin, T11, köydet korvattiin ulkopuolisin jäntein. Alkuperäisessä rakenteessa
- Pylonilla T10 todettiin pienempiä vaurioita ja sauvojen yläosaa vahvistettiin teräsosilla

Korjaustoimenpiteitä

- Viruma on aiheuttanut laakerien liikevarojen täyttymistä ajan saatossa
- Sillalle on tehty lukuisia muita korjaustoimenpiteitä elinkaaren aikana, ilmeisesti tukien T11 tai T10 perustuksia on vahvistettu
- Romahduksen aikaan sillan toiselle reunalle oltiin tekemässä (uusimassa?) betonikaiteita, toiselle reunalle kaiteet oli jo aiemmin uusittu

Romahdus

- S



Romahdus



Rakenteellisesti

- Karkeasti on laskettavissa että sauvojen esijännitys sekundäärisillä jänteillä on noin 12 MN (~10 MPa esijännitys)
 - Primäärijänteillä vetorasitus on noin 27 MN
 - Jos betonin vetolujuus on 5 MPa, niin sauvan betonin vetokestävyys on 6 MN
 - Liikenteestä on karkeasti arvioitavissa noin 0,5-1 MN rasitus kuorma-autoliikenteellä
 - Koska sauvaan muodostuisi ensimmäinen vetohalkeama jänteiden poikkipinta-alan vähennyttyä?
 - Sekundäärijänteitä vastaava pinta-ala tulisi olla pois
 - Lisäksi primäärijänteistä tulisi olla pois osuus 5/27
 - Tämä tarkoittaisi että jänteistä olisi käytössä 62 %
- => Suhteellisen iso osuus olisi vaurioitunut merkittävästi ensimmäisen halkeaman avauduttua

Rakenteellisesti

- Miksi silta ei sortunut täydellä liikennekuormalla?
 - Jännitysvaihtelu betonissa isoimmillaankin 0,5 MPa
- Tuulen ja lämpötilaerojen vaikutus?
 - Staattisesta tuulesta 0,5 kN/m² jännitysvaihtelu 1,5 Mpa. Dynaamisessa tarkastelussa varmasti kaksinkertainen.
 - Ennen sortumista lämpötila yli 30 C, myrskyn aikana varmasti luokkaa 15 C
- Vaurionsietokyky?

