

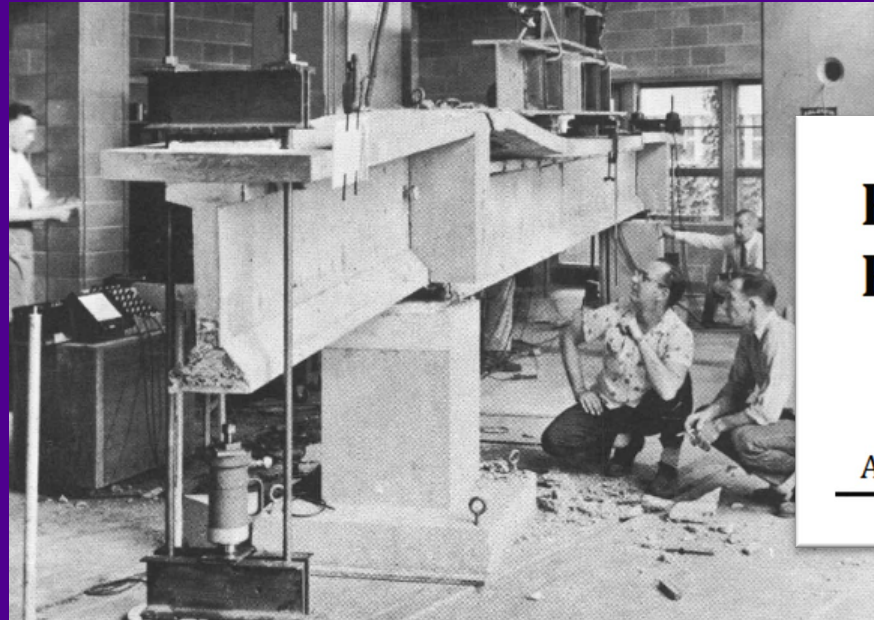
Jatkuvaksi kytkettyjen esijännitetyjen elementtipalkkien ajasta riippuvat pakkomomentit

Eurokoodiseminaari 2023

28.9.2023 DI Ulla Kytölä, A-Insinöörit suunnittelu Oy/Tampereen Yliopisto

Esityksen sisältö:

- 1) Taustaa
- 2) Mikä on jatkuvaksi kytketty esijännitetty elementtipalkki?
- 3) Virumasta ja differentiaalisesta kutistumasta aiheutuvat pakkomomentit
- 4) Momentin uudelleen jakaantuminen KRT:ssa



1960 - Portland Cement Association. USA

FINAL DRAFT
FprEN 1992-1-1

April 2023



2021 – Tampereen Yliopisto. Suomi

Taustaa

- Väitöskirjaprojekti Tampereen Yliopistossa: *Precast prestressed concrete beams made continuous as a deck structure*
- Toteutettu Betoni- ja siltarakenteiden tutkimusryhmässä
- Tutkimuksen yhteydessä toteutettu koekuormituksia Tampereen yliopiston laboratoriossa vuosina 2018-2021
- Rahoittajana Suomen Betoniteollisuus
- Väitöstilaisuus 24.11.2023 Tampereen Yliopisto



Jatkuvaksi kytketty esijännitetty elementtipalkki

ESIJÄNNITETTY LIITTOPALKKI

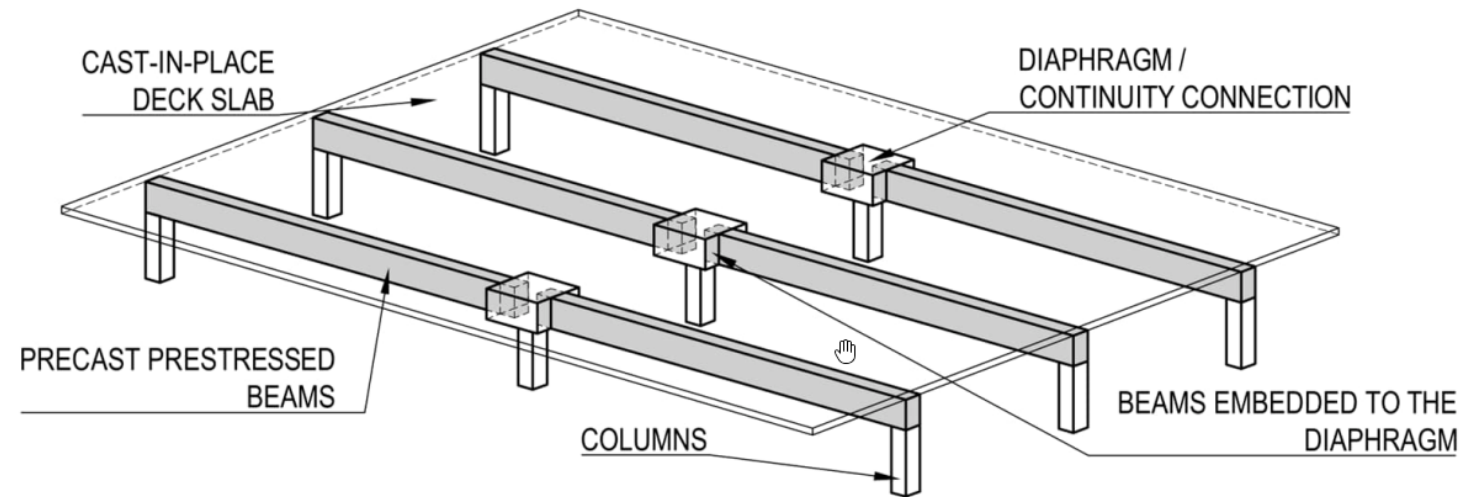
Yläpinta karhennettu
+ Liittohaat

Paikalla valettu
liittolaatta

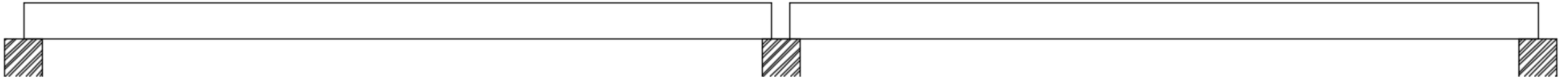
Esijännitetty
elementtipalkki

Suorat jännepunokset
Poikkileikkauksen
alareunassa

LIITTOPALKIT KYTKETÄÄN JATKUVAKSI RAKENTEESI VÄLITUELTaan

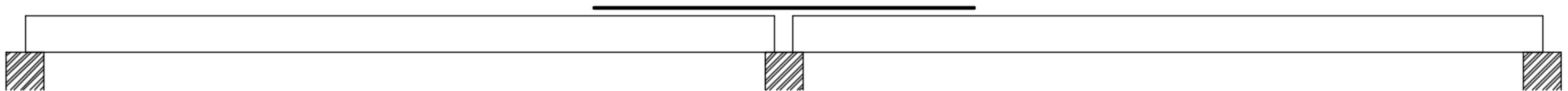


VAIHE 1 – Esijännitetyt palkit asennetaan tuilleen



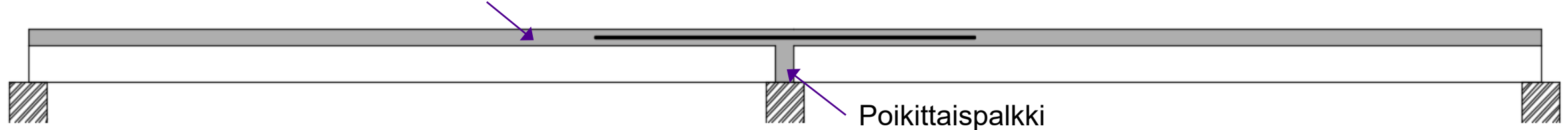
VAIHE 2 – Rauditus lisätään välituelle laattaan poikkileikkauksen yläpintaan

Jatkoksen rauditus



VAIHE 3 – Valetaan kansilaatta ja jatkoksen poikittaispalkki

Paikalla valettu kansilaatta/liittolaatta



- ✓ Suomessa jatkuvaksi kytkettyjä elementtipalkkeja on käytetty yksittäisissä hankkeissa
- ✓ Suunnitteluohjeistuksen puute on ollut esteenä rakenteen yleistymiselle
- ✓ Kuorilaatta - rakenne jossa samoja piirteitä - on suomalaisessa rakentamisessa paljon käytetty

Elementtipalkkien jatkuvaksi kytkemisen plussat ja miinukset



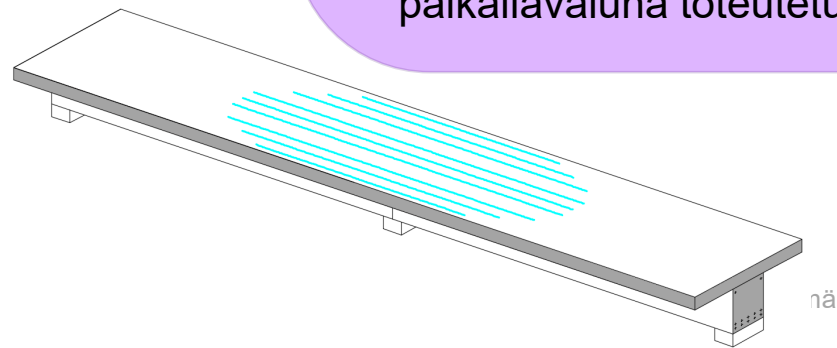
PLUSSAT

- ★ Rasitukset jakautuvat tasaisemmin. Koetuksessa jatkuvalla rakenteella saavutettiin jopa 42% korkeampi murtokuorma verrattuna yksiaukkoiseen rakenteeseen
- ★ Taipumat pienenevät
- ★ Materiaalisäästöt > CO₂ päästövähennykset
- ★ Ylimääräisten liikuntasauvojen eliminointi > säästöt ylläpitokustannuksissa
- ★ Parempi toiminta onnettomuustilanteessa
- ★ Elementtirakentamisen hyödyt tavanomaisesti paikallavaluna toteutetuissa hankkeissa

VS

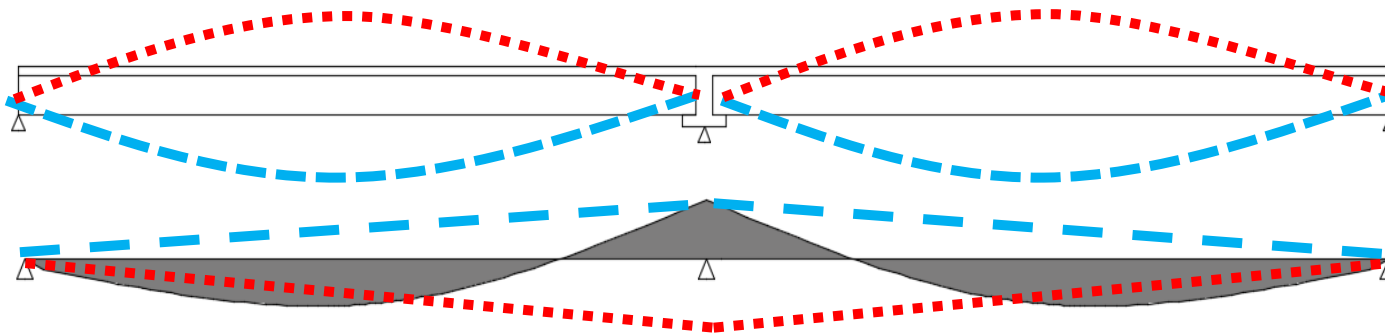
MIINUKSET

- ★ Jatkuvaksi kytketyn rakenteen suunnittelussa tulee ottaa virumasta & kutistumasta sekä mahdollisista lämpöliikkeistä & tukipainumista aiheutuvat pakkovoimat huomioon
- ★ Jatkoksen jäykkyys heikkenee halkeilun vaikutuksesta, jonka johdosta rakenteen ”jatkuvuus” muuttuu kuormituksen edetessä



Jatkuvaksi kytketyn elementtipalkin ajasta riippuvat pakkomomentit

- Esijännitetty palkki pyrkii taipumaan ylöspäin **jännevoiman ja betonin viruman** vaikutuksesta
- Paikalla valettu laatta ja elementtipalkki ovat eri ikäisiä. Liittorakenteessa tapahtuu **differentiaalista kutistumaa**, joka voi aiheuttaa rakenteeseen taipumaa alaspäin
- Näistä taipumista aiheutuvat päädyn kiertymät on jatkosalueella estetty.
 - Sekä **positiivista** että **negatiivista** pakkomomenttia kehittyi rakenteeseen ajan kuluessa, joka tulee ottaa suunnittelussa huomioon.

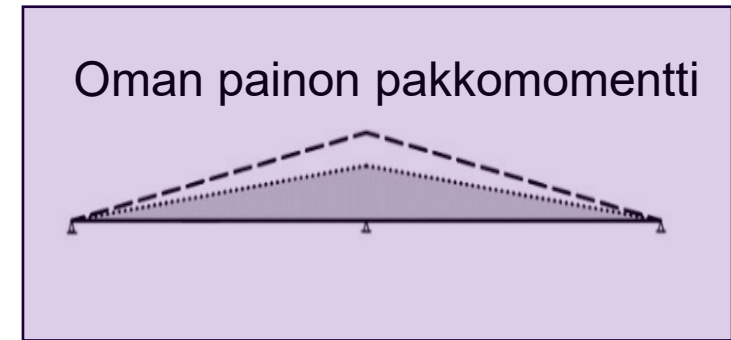
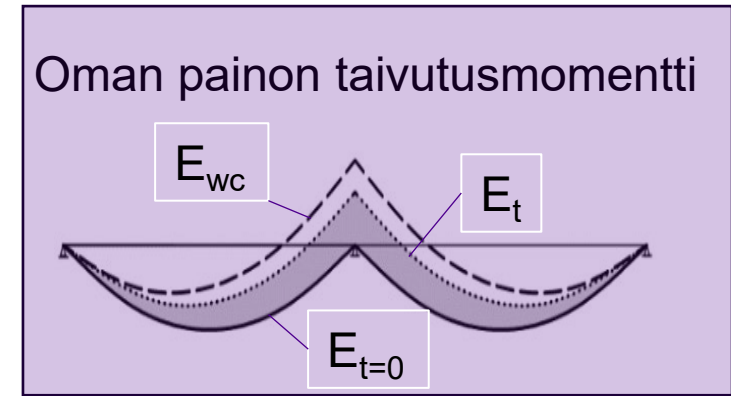


Viruman aiheuttava pakkomomentti jatkuvaksi kytketyissä elementeissä

- FprEN 1992-1-1 esittelee menetelmän viruman aiheuttaman pakkomomentin laskentaan
- Tulee huomioida kun rakenteen tuentaolosuhteet muuttuvat rakenteen käytön aikana (esim. rakentamisen aikana)
- Menetelmä perustuu Trostin vuonna 1967 esittelemään Age-Adjusted Effective Modulus Methodiin (AAEM).
- Jatkuvaksi kytketyssä elementissä sekä omapaino että jännevoima tulee huomioida
- Esitetyssä menetelmässä lasketaan rasitukset
 - 1) Yksiaukkoiselle rakenteelle (= $E_{t=0}$)
 - 2) Jatkuvalle rakenteelle (= E_{wc})
 → Ajasta riippuva rasitus (E_t) löytyy rasitusten ($E_{t=0}$) ja (E_{wc}) välistä

$$E_t = E_{t=0} + (E_{wc} - E_{t=0}) \frac{\varphi(t, t_0) - \varphi(t_c, t_0)}{1 + \chi \varphi(t, t_c)}$$

Kerroin ~0...1:n välillä



t	Ajan hetki, jota tarkastellaan
t_0	Elementin ikä kuormituksen alkaessa (esim. jännevoiman päästö)
t_c	Elementin <u>ikä kun rakenne kytketään jatkuvaksi</u>
χ	Ikääntymiskerroin. Yleensä 0,8

Differentiaalisen kutistuman aiheuttama pakkomomentti jatkuvaksi kytketyissä elementeissä

- Differentiaalisen kutistuma kasvattaa betoni-betoni liittopalkin taipumaa alaspäin
 - Kutistumaerosta $\Delta\varepsilon_{cs}$ syntyy liittolaattaan sisäisen vakiomomentin M_{cs}
- Sisäisestä momentista M_{cs} aiheutuva lineaarinen kimmoteorian mukainen pakkomomentti ($E_{t=0}$) voidaan määrittää esimerkiksi ykkösvoimamenetelmällä.
- Pakkomomentti muodostuu kuitenkin ajan kuluessa betonin kutistuessa. Tästä johtuen viruma vapauttaa syntyviä rasituksia.
- FprEN 1992-1-1 esittelee menetelmän, jonka perusteella ajasta riippuvien rasitusten (E_t) suuruudessa voidaan ottaa betonin viruma huomioon.
- Samaa menetelmää voidaan käyttää myös tukipainumasta aiheutuvien rasitusten redusointiin

$$E_t = \frac{E_{t=0}}{1 + \chi\varphi(t, t_0)}$$

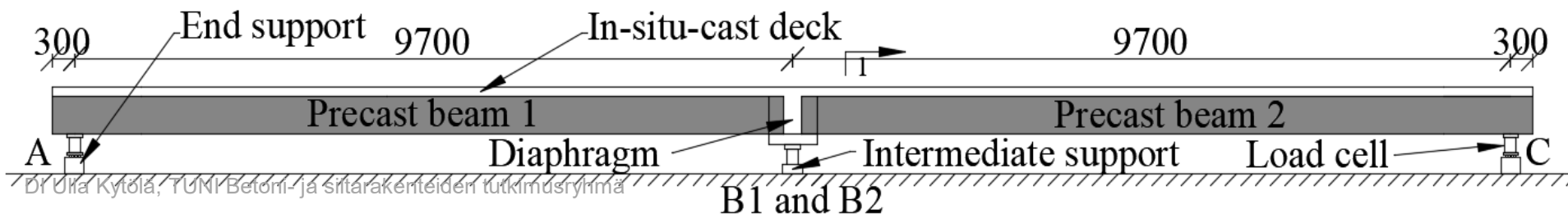
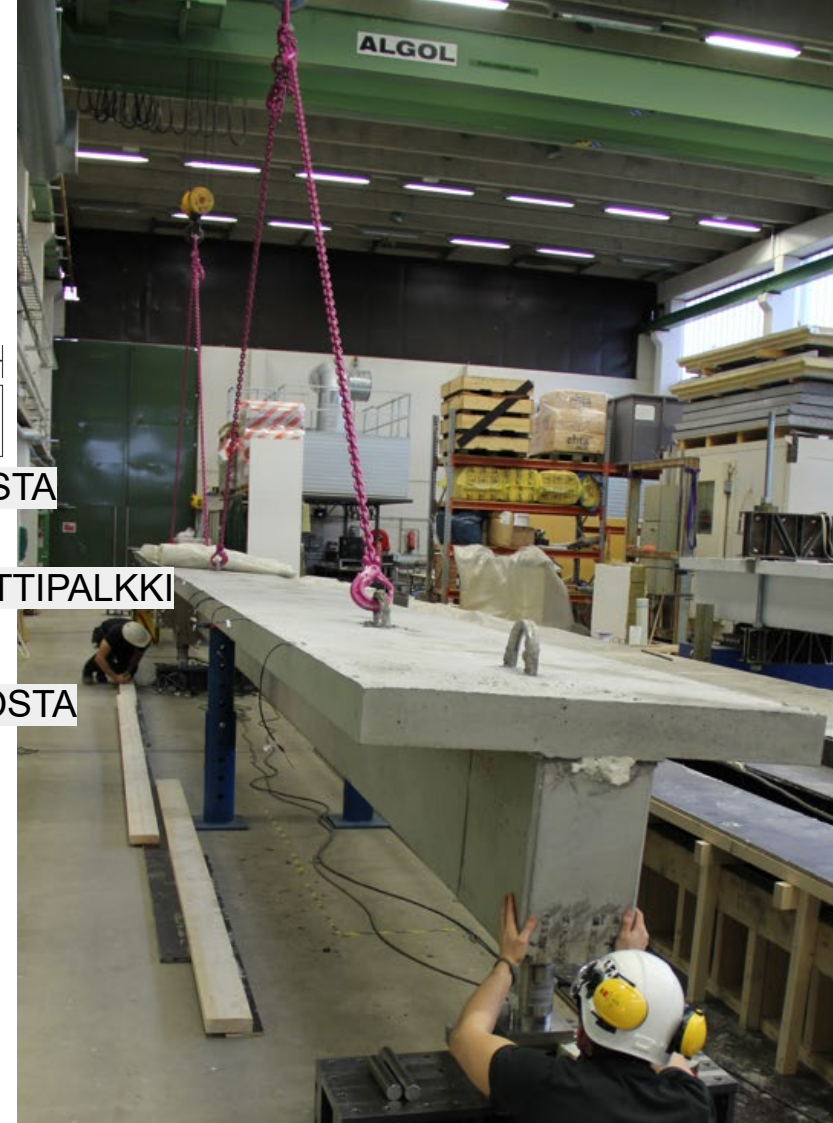
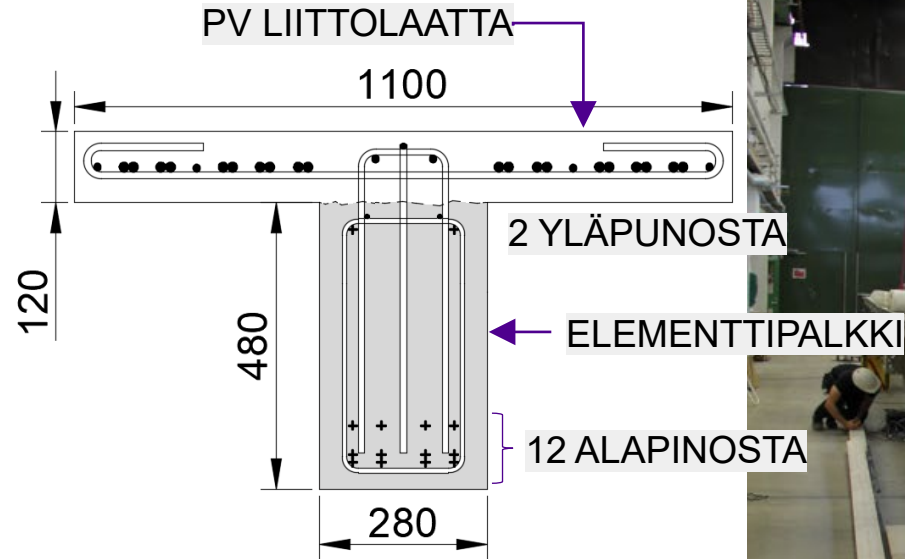
t	Ajan hetki, jota tarkastellaan
t_0	Jälkihoidon päättymishetki
χ	Ikääntymiskerroin. Yleensä 0,8

$$N_c = \Delta\varepsilon_{cs} A_d E_{cm}$$

$$M_{cs} = N_c z_{cp}$$

Kokeellinen tutkimus

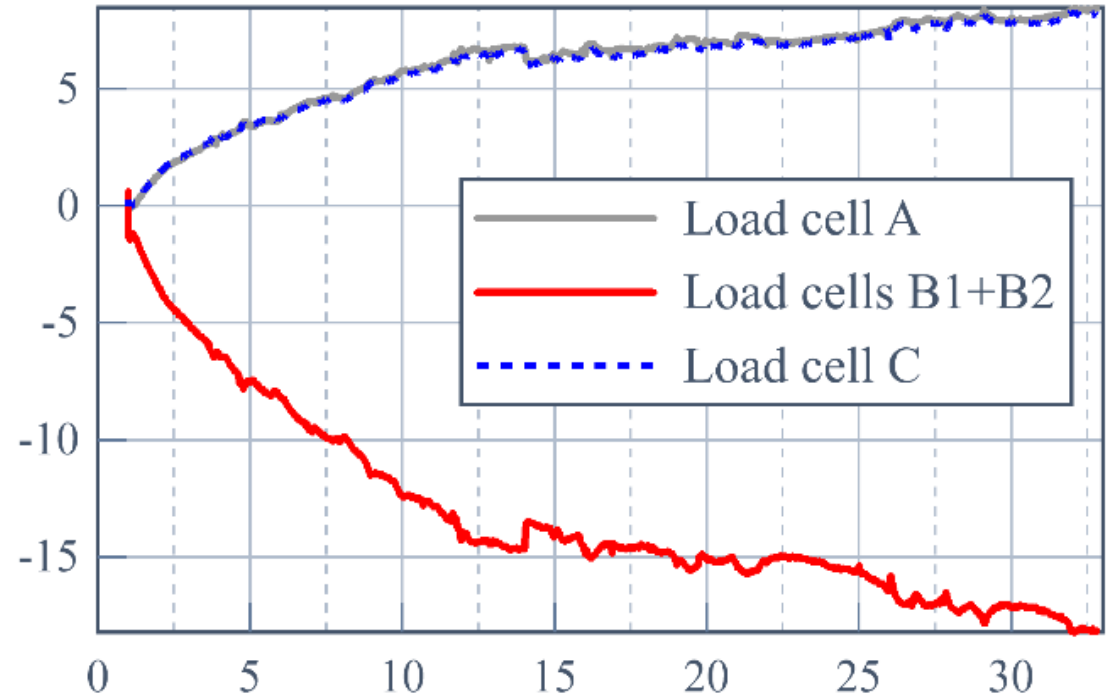
- 20m (10m+10m) jatkuvaksi kytketty elementti liittopalkki
- Elementtipalkit kytkettiin jatkuvaksi nuorella iällä (8 vrk). Jatkuva palkki nostettiin voima-antureiden päälle pitkäaikaisseurantaan 1vrk laatan ja jatkoksen valamisen jälkeen.
- Tukireaktioita A, B1, B2 ja C seurattiin 32 vuorokautta.
- Muutos tukireaktioissa merkitsee pakkovoimien muodostumista



Tuloksia: Tukireaktiot



a) Change in support reactions [kN], $t = 1...33d$

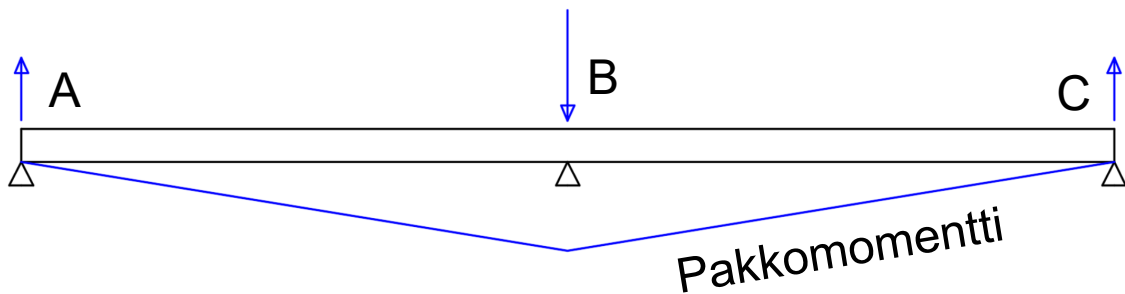


32 päivää kestäneen mittauksen aikana

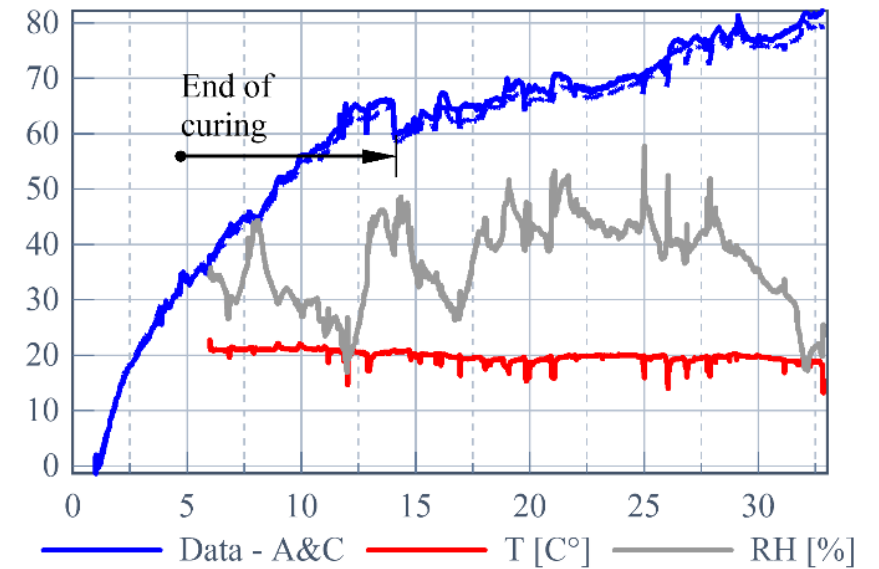
- Päädyn tukireaktiot A & C kasvoivat 9kN (24kN \rightarrow 33kN \sim 40%). Voima-anturien A & C data oli
- Keskituen tukireaktio laski 18kN (98kN \rightarrow 80kN \sim 20%)

Tuloksia: Pakkomomentin arvo välituella

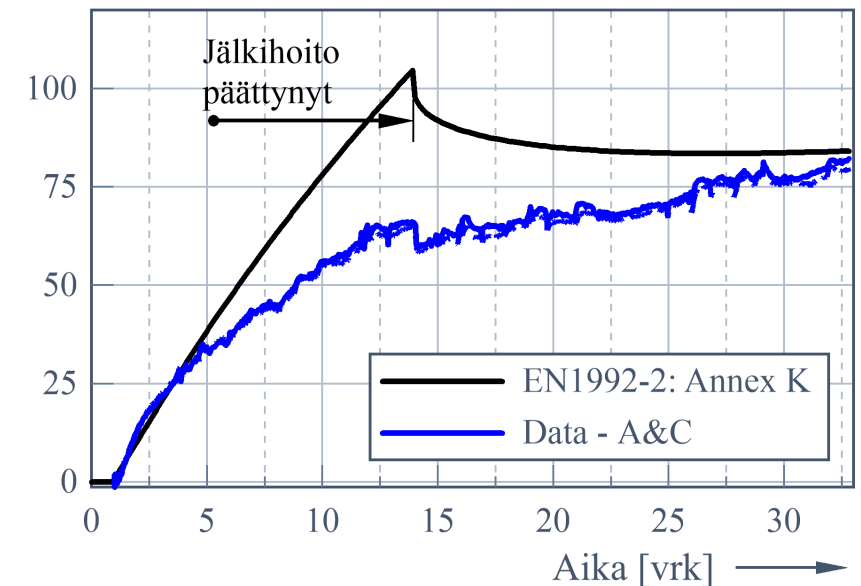
- Kun kyseessä on symmetrinen kaksiaukkoinen jatkuva rakenne, pakkomomentti välituella on päätytuen tukireaktion muutos kerrottuna jännevälillä.
- Positiivinen pakkomomentti kasvoi pitkäaikaismittauksen aikana 80kNm:iin asti
- Jälkihoidon päättyminen näkyy momentissa punotuksena
- Lämpötilan vaihtelut laboratoriossa näkyvät myös pakkomomentin arvossa
- Laskennalliset pakkomomentit on määritelty EN 1992-2 liitteessä K esitetyin menetelmin, jotka ovat lähes samat kuin FprEN 1992-1-1:n uudet kaavat.



b) Restraint moment [kNm], t = 1...33d

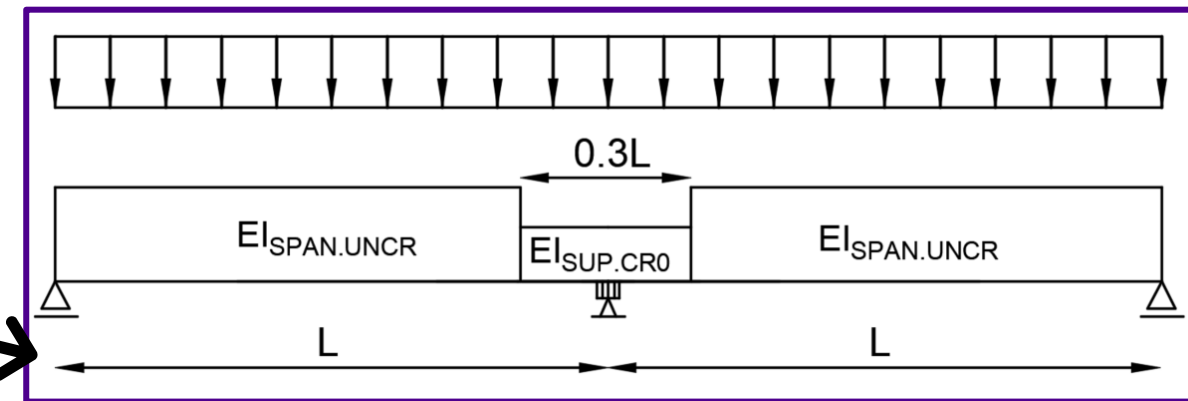
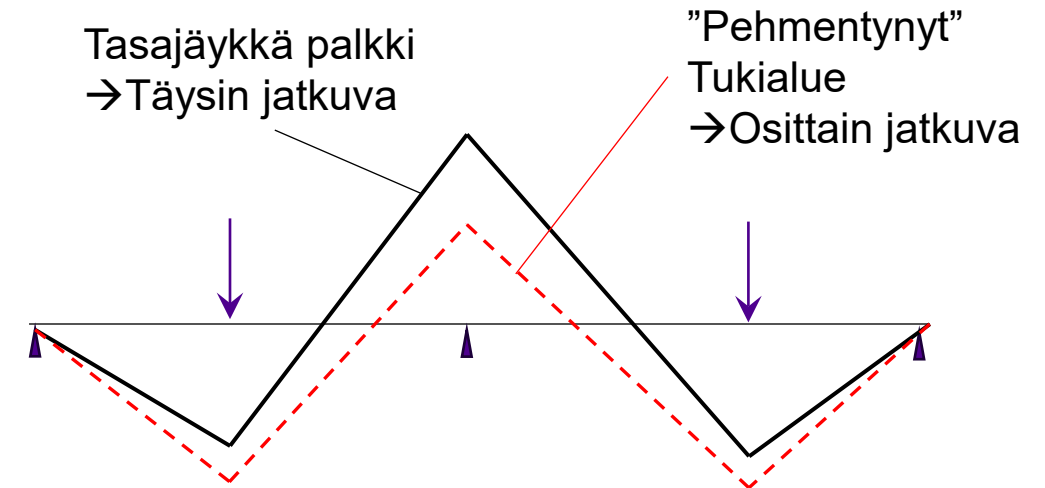


Pakkomomentti [kNm], t = 1...33 d



Onko jälkikäteen jatkuvaksi kytketty rakenne täysin vai osittain jatkuva rakenne?

- Jatkuvaksi kytketty elementtipalkki **ei ole** pituussuunnassa tasajäykkä
 - Välituen alue halkeilee muuta rakennetta herkemmin
- Jännitetyistä ja jännittämättömistä osioista muodostuvan rakenteen jäykkyyden muutos palkin matkalla pitää FprEN 1992-1-1:n mukaan huomioida rasiusten laskennassa KRT:ssa (esitetty kohdassa 7.3.1(3))
 - Rasiusten laskennassa ei voida nojata perinteiseen tasajäykän palkin kimmoteorian mukaiseen menettelyyn, kun välituki halkeilee selkeästi muuta rakennetta herkemmin
 - Kokeissa havaittu momentin uudelleen jakaantumisesta KRT:ssa jopa 30%
 - Väitöskirjassa ehdotettu yksinkertaistettua käytännön suunnitteluun soveltuvaa menetelmää osittaisen jatkuvuuden huomioimiseen



Kiitos!
Kysymyksiä?