

TERÄS-PUU-LIITTORAKENTEET

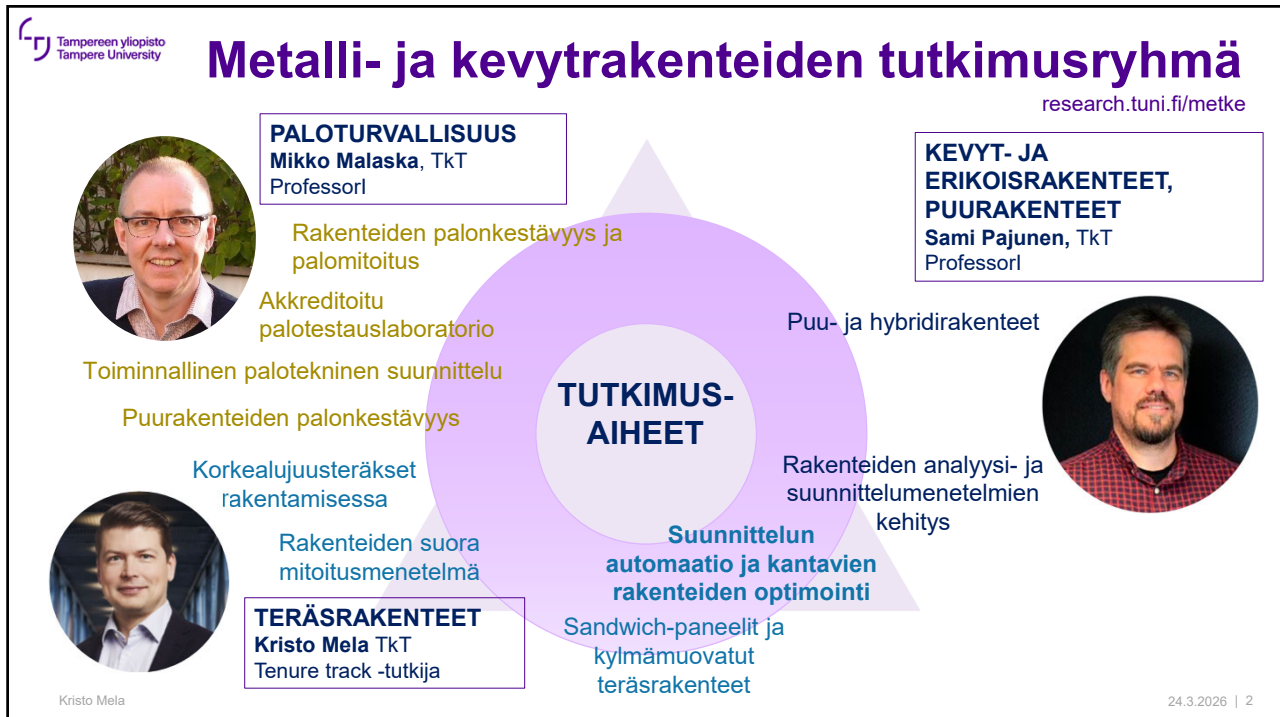
Katsaus kotimaiseen ja kansainväliseen tutkimukseen

Kristo Mela

Apulaisprofessori, teräsrakenteet
Metalli- ja kevytrakenteet
Rakennetun ympäristön tiedekunta
kristo.mela@tuni.fi
+358 40 849 0563

Rakennetekniikan päivä, Tampere
24.3.2026

1



2

TERÄS-PUU -LIITTORAKENTEET

Kristo Mela

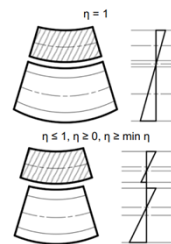
24.3.2026 | 3

3

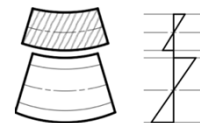
LIITTORAKENTEET

- **Hybridirakenne:** kahdesta tai useammasta materiaalista koostuva rakenne.
 - **Liittorakenne:** materiaaliolosat on kytketty toisiinsa siten, että niiden välinen pitkittäinen liukuminen on rajoitettu
 - **Kerrosrakenne:** materiaaliolosat toimivat toisistaan erillään.
- Liittorakenteen kehittämisen avainkysymykset:
 - Miten liittovaikutus järjestetään (leikkausliitos)?
 - Mikä on leikkausliitoksen aste?

LIITTORAKENNE



KERROSRAKENNE



Kristo Mela

24.3.2026 | 4

4

TERÄS-PUU -LIITTORAKENTEET

MIKSI?

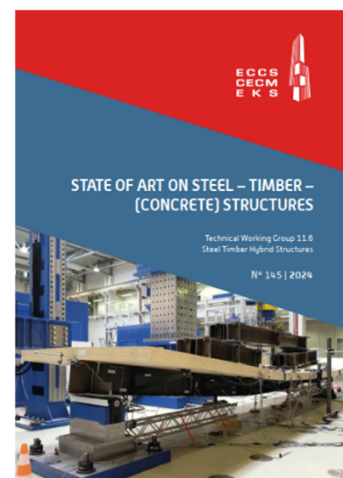
- Liittovaikutuksen ansiosta terästä tarvitaan rungossa vähemmän.
- Puiset rakenneratkaisut pienentävät rungon hiilijalanjälkeä.
- Teräs mahdollistaa pitkät jännevälit pienillä rakennemitoilla.

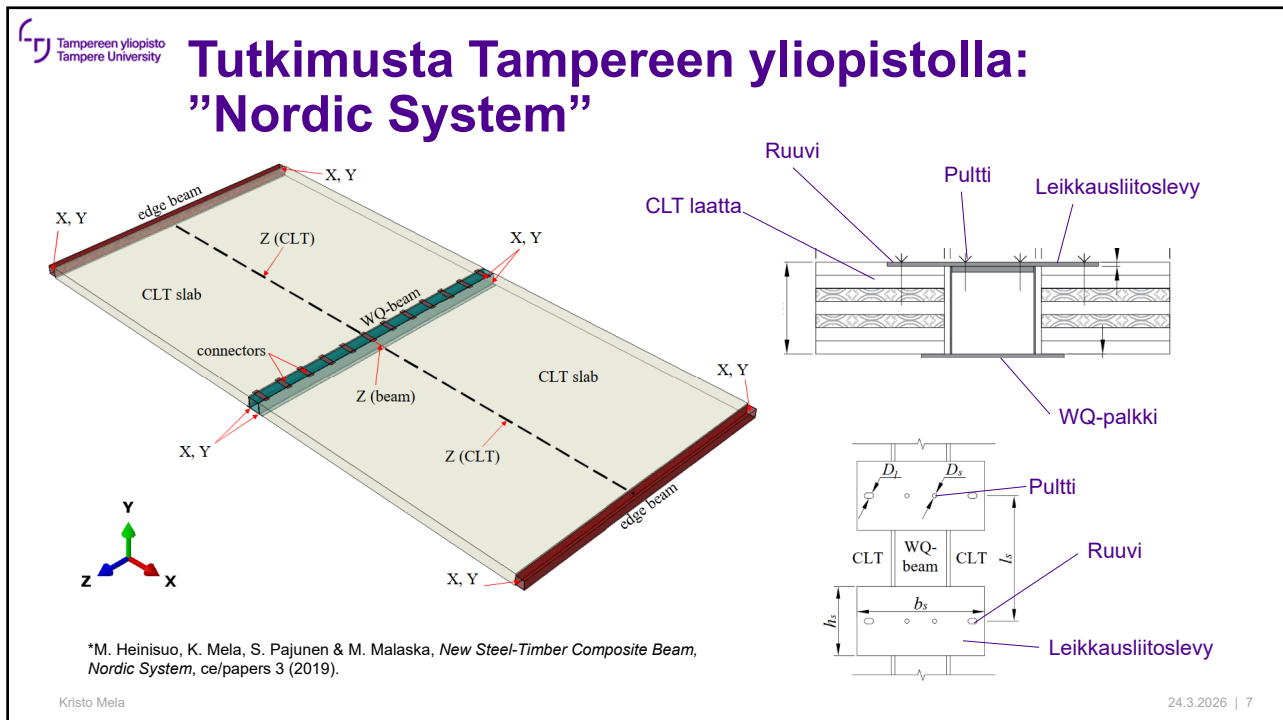


TERÄS-PUU -LIITTORAKENTEET

TUTKIMUS EUROOPASSA

- **ECCS** (*European Convention for Constructional Steelwork*) on perustanut eurooppalaisen työryhmän **TC11/WG6**, joka kokoaa yhteen alan tutkijat.
 - Työryhmän julkaisu P145 esittelee tuoreen tutkimuskatsauksen.
- Tutkimustoiminta on käynnistynyt 2010-luvun jälkipuoliskolla ja on parhaillaan hyvin aktiivista.





7

Tampereen yliopisto
Tampere University

Nordic System – etuja

- Matala välipohja
- WQ-palkilla on korkea vääntöjäykkyys
 - Vähemmän tarvetta rakentamisen aikaiselle tuennalle
- CLT-laatat antavat teräkselle palonsuojaa.
 - Vielä todistettava...
- Leikkausliitokset voidaan asentaa yläpuolelta.

AVOIMIA KYSYMYKSIÄ:

- 1) Rakenteen edut mitoituksessa?
- 2) Saavutetaanko täydellinen leikkausliitos?
- 3) Mikä on CLT-laatan tehollinen leveys?

Kristo Mela

24.3.2026 | 8

8

TERÄS-PUU –LIITTORAKENTEET

leikkausliitos

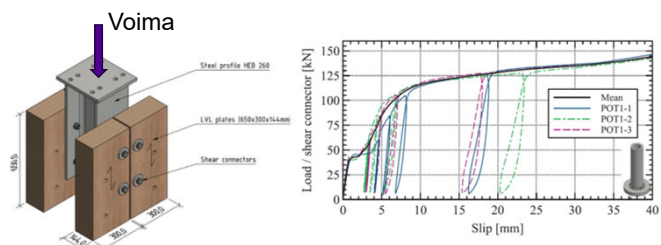
Kristo Mela

24.3.2026 | 9

9

LEIKKAUSLIITOS

- Leikkausliitos toteutetaan mekaanisilla liittimillä.
- Liitoksen ominaisuudet selvitetään kokeellisesti ns. *push-out* –kokeella
 - Selvitetään jäykkyys, kestävyys ja sitkeys
- Liitoksen ominaisuuksiin vaikuttavat käytettyjen liittimien tyyppi sekä puulaatan materiaali ja konfiguraatio.



A. Romero, J. Yang, F. Hanus, H. Degée, C. Odenbreit, "Push-out tests on connections for demountable and reusable steel-timber composite beam and flooring systems", WCTE – World Conference on Timber Engineering, 2023.

Kristo Mela

24.3.2026 | 10

10

LEIKKAUSLIITOS – MUUNNELMIA



Itsekierteittävät ruuvit



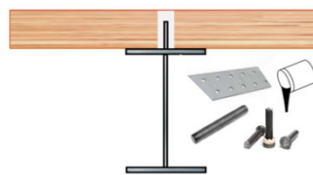
Kansiruuvit



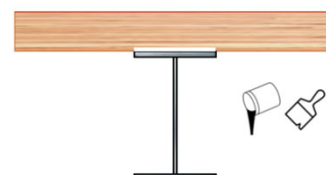
Teräsruuvit (pultti),
holkilla tai ilman



Pultit ja juotosbetoni



Tappivaarna ja juotosbetoni



Liimaliitos

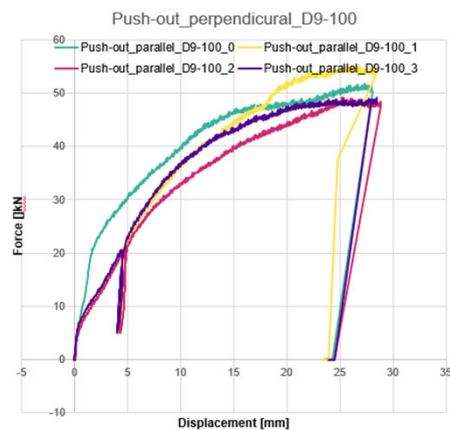
Kristo Mela

Lähde: R. Pimentel, "Hybrid Steel Frames with Mass Timber Panels", Pell Frischmann, 900000-PEF-T-S-003001, 2023.

24.3.2026 | 11

11

LEIKKAUSLIITOS – NORDIC SYSTEM



Kristo Mela

Lähde: A. Aspila et al., "Collected data on bending, vibration, and push-out tests of shallow steel-timber composite beams—Nordic system, Data in Brief 57 (2024).

24.3.2026 | 12

12

TERÄS-PUU –LIITTORAKENTEET

palkit

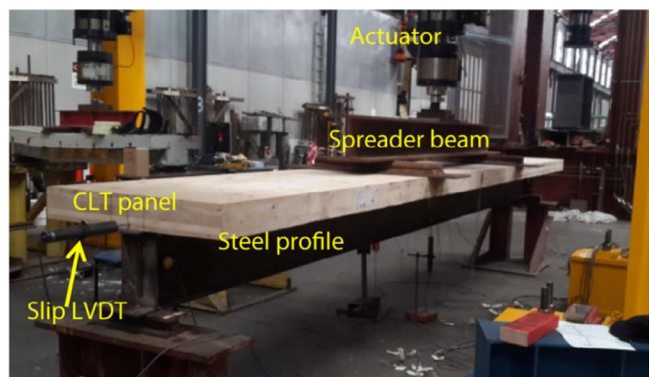
Kristo Mela

24.3.2026 | 13

13

PALKIT

- Tyypillisimmässä konfiguraatiossa puulaatta on teräspalkin (valssattu I-profiili) päällä.
- Taivutuskokeissa tutkitaan vauriomuotoja sekä selvitetään liittovaikutuksen laatua.
- Myös värähtelyominaisuuksia ja pitkäaikaisvaikutuksia on tutkittu.
- Liittopalkkia voidaan analysoida klassisella kerrospalkkiteorialla*.



A. Hassanieh, H.R. Valipour, M.A. Bradford, "Experimental and numerical investigation of short-term behaviour of CLT-steel composite beams", Engineering Structures, 2017.

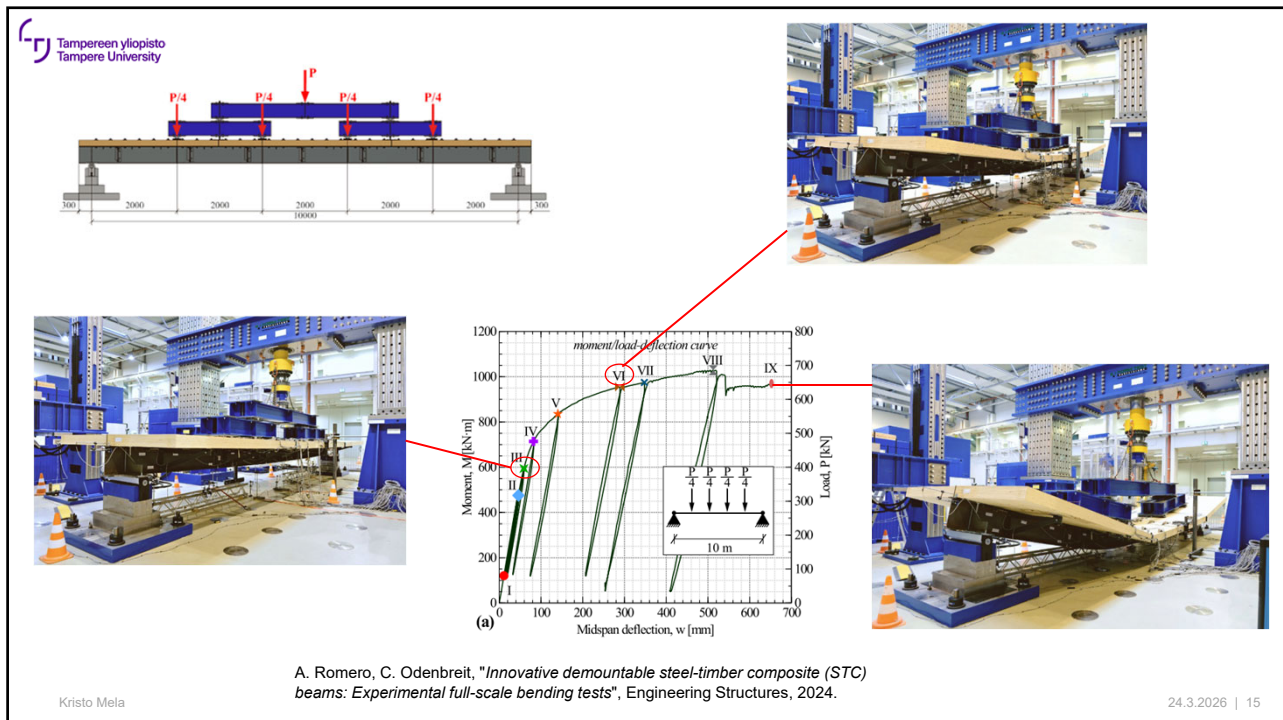
*Heinisuo M., Mela K., Pajunen S., Malaska M., *New steel-timber composite beam, Nordic system*, ce/papers 3 (2019)

A. Aspila, M. Heinisuo, K. Mela, M. Malaska, S. Pajunen, "Elastic design of steel-timber composite beams", Wood Material Science & Engineering, vol. 18, 2022.

Kristo Mela

24.3.2026 | 14

14



15

Tampereen yliopisto
Tampere University

Tutkimusta Tampereen yliopistossa

Teräsrakenteet sponsoroi **NORDEC**

Kristo Mela

24.3.2026 | 16

16



17

Tampereen yliopisto
Tampere University

Taivutuskokeet – tulokset ja havaintoja

- Murtokuormaa ei saavutettu
 - WQ-palkissa ja liitoslevyissä havaittiin merkittävää plastisoitumista
 - CLT:ssä nähtiin suuria muodonmuutoksia.
- Liitoslevyt osallistuvat voimien siirtämiseen (taivutusta)
 - CLT-laatan ja WQ-palkin välinen liitos ei ollut nivelellinen.

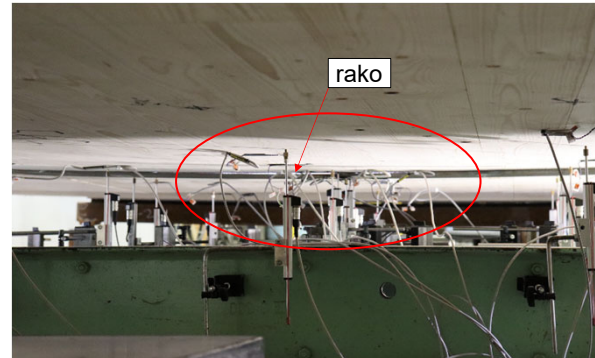
Kristo Mela

24.3.2026 | 18

18

Taivutuskokeet – tulokset ja havaintoja

- CLT:n ja WQ-palkin alalaipan välille syntyy rako palkin keskijänteellä
 - Palkien tukien kitka vaikutti raon suuruuteen
 - CLT-laatta kantaa kuormaa kahteen suuntaan (vrt. ontelolaatta)
 - WQ-palkin ja CLT-laatan välisen kontaktivoiman jakautuma palkin akselin suunnassa poikkeaa totutusta
 - Lisää tutkimusta!



Taivutuskokeet – tulokset ja havaintoja

- WQ-palkin ja CLT:n välisissä ruuveissa ei nähty sanottavia muodonmuutoksia
- Vierekkäisten CLT-laattojen välisissä kiinnittimissä ei havaittua pysyviä muodonmuutoksia.



Taivutuskokeet – tulokset ja havainnot

- CLT-laattaan ei jäänyt pysyviä muodonmuutoksia
- CLT-laattaan syntyvät halkeilut eivät edenneet laatan sisään
 - CLT:n vaurioitumista on vaikea arvioida vain näkyvien säröjen perusteella



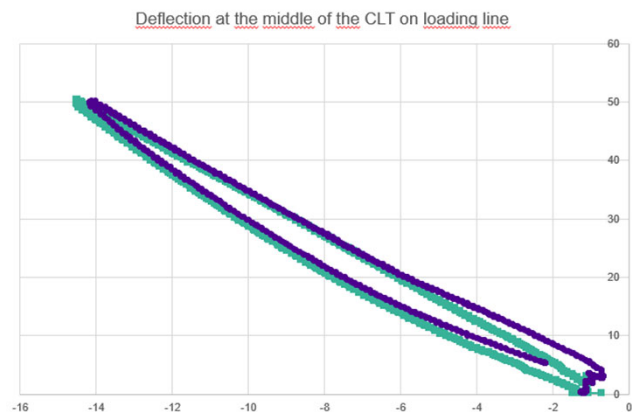
Kristo Mela

24.3.2026 | 21

21

Taivutuskokeet – tulokset ja havainnot

- Liittovaikutuksen suuruutta arvioitiin kevyellä kuormituksella ilman leikkasliitosta ja leikkausliitoksen kanssa
- Liittovaikutuksella on pieni vaikutus siirtymiin
 - CLT:n siirtymä oli 4% pienempi liittovaikutuksessa kuormituslinjalta mitattuna



Kristo Mela

24.3.2026 | 22

22

Tutkimukset jatkuvat

• Ensimmäiset johtopäätökset

- Liittovaikutus voi parantaa välipohjan värähtelyvastetta
- Maltillisilla kuormituksilla liittovaikutuksella ei ole suurta vaikutusta siirtymiin
- CLT osoittautui arvioitua huomattavasti lujemmaksi ja kestävämmäksi.

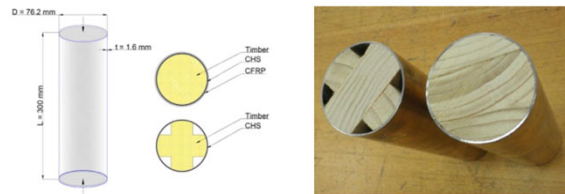
• Menossa:

- Simuloidaan taivutuskoetta, jolloin päästään laskennallisesti kiinni ilmiöihin ja varmistamaan teoriaa
- Tutkitaan CLT:n ja WQ-palkin välistä kontaktivoimaa.
- Määritetään CLT-laatan toimiva leveys
- Tutkitaan tarkemmin värähtelyvastetta ja selvitetään, voiko sitä parantaa entisestään leikkausliitosta muuttamalla

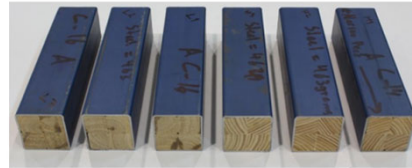
TERÄS-PUU –LIITTORAKENTEET *pilarit*

PILARIT

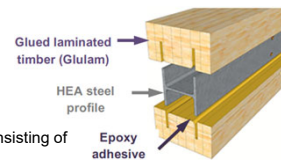
- Kahdenlaisia konfiguraatioita:
 - Puulla (ja betonilla) täytetty teräsputki
 - Puun ympäröimä teräspilari
- Liittovaikutus voidaan järjestää liiman avulla tai mekaanisesti.
- Tutkimusta aiheesta on vielä melko vähän.



T. Ghanbari-Ghazijahani, H. Jiao and D. Holloway, "Timber filled CFRP jacketed circular steel tubes under axial compression," Construction and Building Materials, vol. 94, pp. 791-799, 2015.



H. Karampour, et al., "Compressive behaviour of novel timber-filled steel tubular (TFST) columns," Construction and Building Materials, vol. 238, p. 117734, 2020.



Q. Hu et al., "Axial compression of steel-timber composite column consisting of H-shaped steel and glulam," Engineering Structures, , 2020.

Kristo Mela

24.3.2026 | 25

25

TERÄS-PUU –LIITTORAKENTEET

Yhteenveto ja näkymiä

Kristo Mela

24.3.2026 | 26

26

YHTEENVETO JA NÄKYMÄ

- Aihepiiri on tuore, ja käyttökelpoisia ratkaisuja etsitään edelleen.
 - Avoimia kysymyksiä on enemmän kuin tuloksia.
- Palkkien osalta tutkimus on pisimmällä.
 - Tutkituilla rakenteilla saadaan usein osittainen liittovaikutus.
- Liittorakenteiden analysointimenetelmien lisäksi tarvitaan mitoitussäännöt, jotka tunnistavat erilaiset vauriomuodot.
 - Voidaanko mitoituksessa hyödyntää plastista materiaa-
limallia?
- Murtorajatilan lisäksi on selvitettävä puun pitkäaikaiskäyttämisen vaikutukset (käyttörajatila), värähtelyominaisuudet sekä rakenteen toiminta palossa.
- Puun lisäksi voidaan käyttää betonia, jolloin rakenteessa on kolmea materiaalia!

