

Käytöstä poistettujen liimapuupalkkien liimasaumojen työmaatestauksen jatkokehitys

1. Testauksen tausta

Klusteriohjelman puitteissa on aiemmin kehitetty purettujen uudelleen käytettäväksi tarkoitettujen liimapuupalkkien liimasauman työmaatestaukseen soveltuma testikehikko, jossa käsitunkin avulla painetaan liimapuupalkista otetut poranäytteet leikkautumaan liimasauman kohdalta. Leikkautuneen poranäytteen murtopintoja tarkastelemalla voidaan nähdä, miten suurelta osin leikkautuminen on tapahtunut liimasaumasta ja miltä osin puusta. Mitä suurempi on puusta leikkautuneen puun osuus, sitä parempi leikkauslujuus liimasaumalla todennäköisesti saavutetaan. Tarkempi kuvaus tästä kehityshankkeesta löytyy Helsingin kiertotalouden klusteriohjelman kotisivullaan julkaisemasta Finotrolin testiraportista 'Käytöstä poistettujen liimapuupalkkien liimasaumojen testaus', 22.9.2023.

2. Testauksen tavoite

Testien tavoitteena oli selvittää, voiko litteää kuorma-anturia (load-cell) käyttää työmaatestikehikossa siten, että liimasauman leikkauslujuus voidaan määrittää. Testikehikko ja siihen käsitunkin alle asetettu kuorma-anturi on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Liimasauman työmaatestikehikko, tunkki ja kuorma-anturi.

3. Testinäytteet

Testeissä käytetyt liimasaumoja sisältävät poranäytteet L ja H (halkaisija 32...34,9 mm) otettiin kahdesta liimapuupalasta, jotka oli sahattu seuraavista kohteista puretuista liimapuupalkeista (palkkeja kuvattu tarkemmin Finotrolin testiraportista 'Käytöstä poistettujen liimapuupalkkien liimasaumojen testaus', 22.9.2023) :

Liimapuupala poranäytteisiin L:

- Purkukohde: Jalkarannan Sale, Tapanilankatu 6, 15900 Lahti
- Rakennusvuosi: 1989–1990, purkuajankohta: syksy 2022
- Näytekappaleita haettu Romuta Oy:n (Vinkakatu 12, 15700 Lahti) ulkovarastosta heinäkuussa 2023
- Liimapuupalkkien käyttökohde: vesikaton kannatus
- Liimapuupalkkien mitat: 0,24 x 1,2 x 19 m
- Liima: fenoliresorsinoliimaa PRF

Liimapuupala poranäytteisiin H:

- Purkukohde: Etelärannan satamaterminaali
- Osoite: Satamaterminaali, Eteläranta 7, 01300 Helsinki
- Rakennusvuosi: 1959–1960, purkuajankohta heinäkuu 2023
- Näytekappaleita haettu purkutyömaalta heinäkuussa 2023
- Liimapuupalkkien käyttökohde: vesikaton kannatus kehärakenteena
- Liimapuupalkkien mitat: poikkileikkaus 0,24 x 055...1,2 m, kehän vaakaosa 16 m ja kehän pystyosat 5 m
- Liima: fenoliresorsinoliimaa PRF

Lisäksi poranäytteet S (halkaisija 34,7...35 mm) otettiin XAMKin Teollisen puurakentamisen hallissa olleesta aiemmin siellä koekuormitetusta liimapuupalkista 3, joka oli purettu Savonlinnan kaupungin varikosta.

- Purkukohde: Savonlinnan Kaupungin varikko, Schaumannintie 28–30, 57220 Savonlinna
- Rakennusvuosi: 1974, purkuajankohta toukokuu 2024
- Näytekappaleet toimitettu Savonlinnan Puulaboratorioon toukokuussa 2024
- Liimapuupalkkien käyttökohde: vesikaton kannatus pääkannattimina harjapalkkeina
- Lämpimistä sisätiloista ja olleet sään armoilla 3 viikkoa purkamisen jälkeen, ei purettu erityisen varovaisesti
- Liimapuupalkkien mitat: korkeus 333 mm, leveys 85 mm ja pituus 4,64 m.
- Liima: fenoliresorsinoliimaa PRF

Yhteenveto liimapuupalkin 3 koekuormituskokeen tuloksista on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Liimapuupalkin 3 koekuormituskokeen tulokset

Kokonaiskimmokerroin			
Palkin korkeus	$h=$	333 mm	
Palkin leveys	$b=$	85 mm	
Palkin pituus	$l=$	4640 mm	
Kuormituspisteen etäisyys lähimmälle tuelle	$a=$	1546,666667 mm	1
Testikappaleen neliömomentti	$I=$	17041968,75 mm ⁴	p
Liukumoduuli	$G=$	650 N/mm ²	t
Arvioitu maximi kuormitus	$F_{\max,est}=$	99525 N	
0,1 Maximi kuormituksesta	$F_1=$	4000 N	2
0,4 Maximi kuormituksesta	$F_2=$	22440 N	k
Taipuma F_1 kuormituksessa	$W_1=$	1,65 mm	s
Taipuma F_2 kuormituksessa	$W_2=$	11,8 mm	e
Paikallinen kimmokerroin taivutuksessa (sisältää leikkausmuodonmuutoksen)	$E_{m,g}=$	13556,30645 N/mm ²	3
Paikallinen kimmokerroin taivutuksessa (ilman leikkausmuodonmuutosta)	$E_{m,g}=$	12314,06014 N/mm ²	4

Taivutuslujuus			
Palkin korkeus	$h=$	333 mm	
Palkin leveys	$b=$	85 mm	
Palkin pituus	$l=$	4640 mm	
Kuormituspisteen etäisyys lähimmälle tuelle	$a=$	1546,666667 mm	
Murtohetken kuormitus	$F_{\max}=$	99525 N	
Taivutuslujuus	$F_m=$	48,99 N/mm ²	

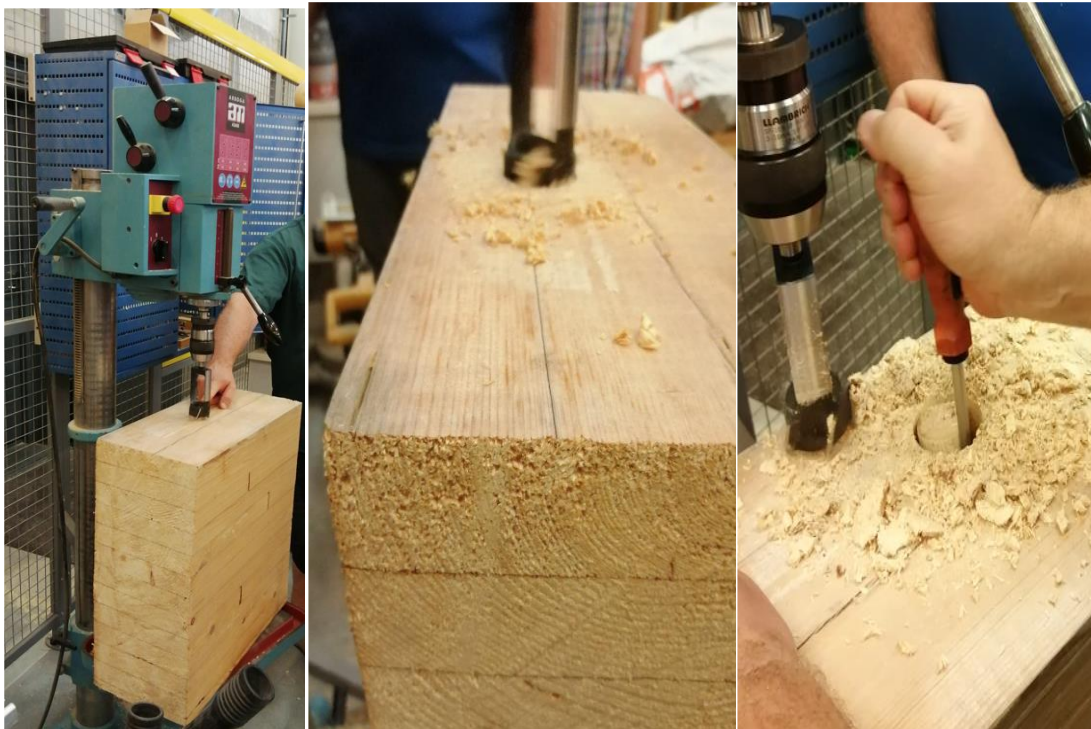
Huom. Yhdistetyn liimapuupalkin lujuusluokalle GL30c tulee ominaistaivutuslujuuden $f_{m,g,k}$ olla 30 N/mm² ja kimmokertoimen keskiarvon $E_{0,g,mean}$ olla 13000 N/mm².

4. Testauksen ajankohta, paikka ja osanottajat

Testaus suoritettiin 28.11.2025 Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun XAMK Teollisen puurakentamisen laboratoriossa Savonlinnassa. KIRA CIRCULARIS projektipäällikkö Saku Penttinen ja tutkimusinsinööri Fanny Malmstedt osallistuivat laboratorion edustajina koejärjestelyjen valmisteluun, testaukseen ja tulosten raportointiin. Kari Kuhmonen, Timber Wolves toimi testikehikon käyttäjänä ja hän osallistui Saku Penttisen ohella poranäytteiden valmisteluun. Antti Koponen, Rasek Consulting Oy Ltd toi poranäytteiden ottoon soveltuvat liimapuupalat Jalkarannan Salen liimapuupalkista ja Helsingin Satama terminaalin liimapuupalkista sekä seurasi testejä testiraportin laatimista varten.

5. Testin kulku ja järjestelyt

Testiä varten otettiin kuvassa 2 esitetyn mukaisesti kahdesta liimapuupalasta pylväsporalla poratappinäytteet L1, L2, L3 ja L4 sekä H1, H2, H3 ja H4 sekä liimapuupalkin yläpinnasta poratappinäytteet SY1 ja SY2 ja alapinnasta poratappinäytteet SA1 ja SA2.



Kuva 2. Poranäytteiden otto liimapuupalasta

Poranäytteet asetettiin kuvan 1 liimasauman työmaatestikehikkoon, jossa käsitunkin alle sijoitetulla litteällä kuormitusanturilla mitattiin käsitunkilla kasvatettu leikkausvoima aina poranäytteen leikkausmurtoon saakka. Osasta poranäytteistä kyettiin tekemään kaksi leikkaustestiä, kun niissä oli kaksi liimasaumaa. Nämä testitulokset eroteltiin lisämerkinnällä A ja B.

Liimapuupaloista ja liimapuupalkista määritettiin kalibroidulla ns. piikkimittarilla puun suuntaa-antava kosteuspitoisuus paino-prosentteina noin 2 cm ja noin 4,5 cm syvyydeltä pinnasta. Mittauksessa käytettiin ns. junta-anturia, jossa elektrodien varret on eristetty ja mittaus tapahtuu haluttuun syvyyteen lyötyjen piikkien kärjistä. Piikit lyötiin puuhun puun syiden suunnan vastaisesti.

6. Tulokset

Liitteessä 1 on esitetty yhteenveto testituloksista ja liitteessä 2 on esitetty kuvat poranäytteiden murtopinnoista leikkaustestin jälkeen.

Kolmea testin tulosta (H3B, SA1A ja SA2B) ei perustelluista syistä (oksa, väärä leikkauskohta ja pehmeältä vaikuttava puu) otettu mukaan tarkasteluun.

Poranäytteiden L leikkauslujuustulokset (4 kpl) vaihtelivat välillä 5,684...7,523 N/mm² ja puusta murtumisprosentti vaihteli välillä 40...100 %. Liimapuupalan kosteuspitoisuuden todettiin olevan 2 cm syvyydellä 20 % ja 4,5 cm syvyydellä 17,8 %.

Poranäytteiden H leikkauslujuustulokset (7 kpl) vaihtelivat välillä 9,008...11,047 N/mm² ja puusta murtumisprosentti vaihteli välillä 70...100 % yhtä poikkeusta lukuun ottamatta, joka oli 5 %. Liimapuupalan kosteuspitoisuuden todettiin olevan 2 cm syvyydellä 12,4 % ja 4,5 cm syvyydellä 10,8 %.

Poranäytteiden SY ja SA leikkauslujuustulokset (5 kpl) vaihtelivat välillä 7,851...12,890 N/mm² ja puusta murtumisprosentti vaihteli välillä 90...100 % yhtä poikkeusta lukuun ottamatta, joka oli 10 %. Liimapuupalan kosteuspitoisuuden todettiin olevan 2 cm syvyydellä 13,1 %.

7. Yhteenveto

Liimapuun harmonisoidun tuotestandardin EN 14080 kohdan 5.5.5.2.3 mukaan leikkauslujuustuloksille EN 14080 Liitteen D testillä asetetaan sitä kovempi vaatimus, mitä pienempi puusta murtumisprosentti on. Uusille liimapuupalkeille (tasapainokosteudessa) liimasauman yksittäisten leikkauslujuustulosten on oltava:

- vähintään 4 N/mm² kun vähimmäispuustamurtumisprosentin keskiarvo on vähintään 100 %
- vähintään 6 N/mm² kun vähimmäispuustamurtumisprosentin keskiarvo on vähintään 74 %
- vähintään 10 N/mm² kun vähimmäispuustamurtumisprosentin keskiarvo on vähintään 20 %.

Osa poranäytteistä L ei täyttänyt (eli näytteet L2 ja L4) uusille liimapuupalkeille asetettua liimasauman yksittäistulosten leikkauslujuusvaatimusta. Mutta niiden kosteuspitoisuus oli huomattavasti yli sisätilan tasapainokosteuden. Mahdollista, että jos testi toistetaan 10 – 12 % tasapainokosteudessa, niin leikkauslujuustulokset täyttävät vaatimuksen, koska kosteuspitoisuus vaikuttaa huomattavasti puun lujuusominaisuuksiin.

Poranäytteiden H voidaan katsoa täyttävän uusille liimapuupalkeille asetetun yksittäistulosten leikkauslujuusvaatimuksen.

Poranäytteiden SY ja SA voidaan katsoa reilusti täyttävän uusille liimapuupalkeille asetetun yksittäistulosten leikkauslujuusvaatimuksen.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että litteää kuorma-anturia (load-cell) voidaan käyttää työmaatestikehikossa siten, että liimasauman leikkauslujuus voidaan riittävällä tarkkuudella määrittää.

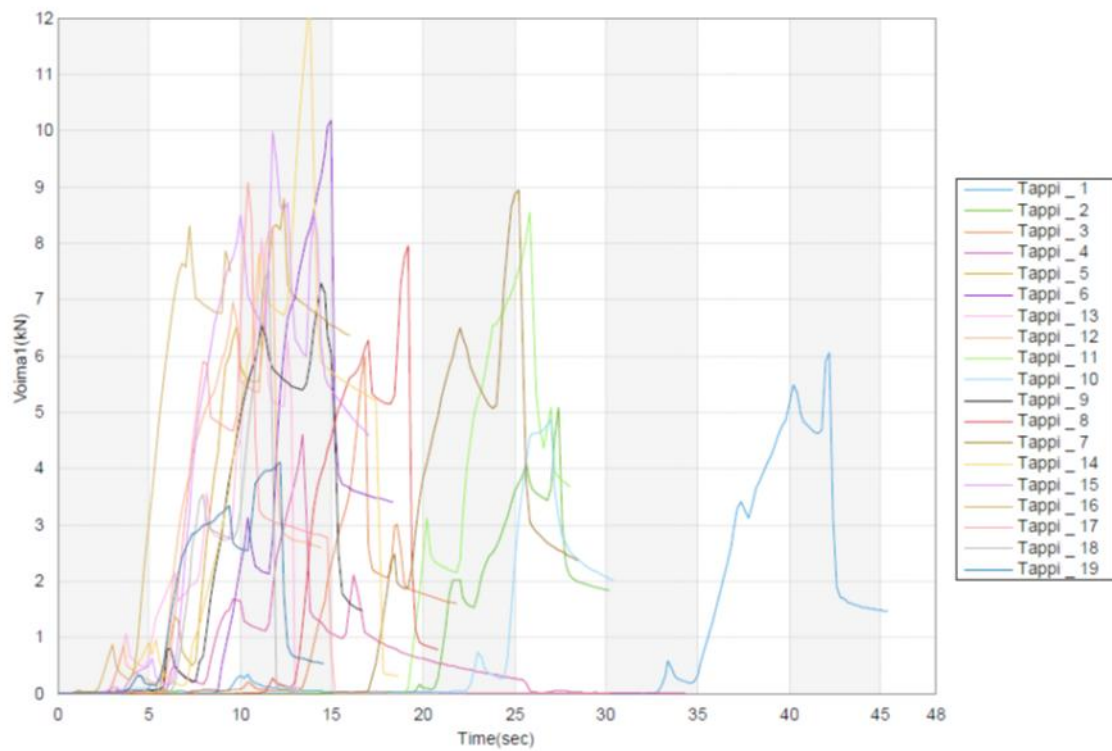
LIITE 1

Yhteenveto liimapuun poratappien leikkauslujuuksista

Helsingin kiertotalousklusteri, liimapuupalkkien liimasaumanäytteet											28.11.25	
Näytteet: Lahti HKI SLN												
	Liima tyyppi	Valmisosan tunnus	Liima-sauma	testaus päivä	testaaja/ vuoro	poratapin Ø mm	pinta-ala mm ²	murtumis kohta	tikkaisuus %	murtumis- voima N	leikkauslujuus N/mm ²	
Tappi 1	PRF	L1	A	28.11.25	KK	32	804	puu	100	6050	7,523	
Tappi 2	PRF	L2	A	28.11.25	KK	32	804	liima	40	5070	6,304	
Tappi 3	PRF	L3	A	28.11.25	KK	32	804	liima	50	5970	7,423	
Tappi 4	PRF	L4	A	28.11.25	KK	32,1	809	liima	50	4600	5,684	
Tappi 5	PRF	H1	A	28.11.25	KK	34,9	957	puu	95	8780	9,178	
Tappi 6	PRF	H1	B	28.11.25	KK	34,9	957	puu	70	10170	10,631	
Tappi 7	PRF	H2	A	28.11.25	KK	32,1	809	puu	80	8940	11,047	
Tappi 8	PRF	H2	B	28.11.25	KK	32,1	809	liima	5	7950	9,824	
Tappi 9	PRF	H3	A	28.11.25	KK	32,1	809	puu	100	7290	9,008	
Tappi 10	PRF	H3	B	29.11.25	KK	32,1	809	liima	20	4870	6,018	oksa
Tappi 11	PRF	H4	A	30.11.25	KK	32,1	809	puu	100	8530	10,540	
Tappi 12	PRF	H4	B	1.12.25	KK	32,1	809	puu	75	8190	10,120	
Tappi 13	PRF	SY1	A	28.11.25	KK	34,7	946	liima	10	8080	8,544	
Tappi 14	PRF	SY2	A	28.11.25	KK	34,8	951	puu	100	12260	12,890	
Tappi 15	PRF	SY2	B	28.11.25	KK	34,8	951	puu	100	9980	10,493	
Tappi 16	PRF	SA1	A	28.11.25	KK	35,1	968	puu		8290	8,567	väärä kohta
Tappi 17	PRF	SA1	B	28.11.25	KK	35	962	puu	90	9070	9,427	
Tappi 18	PRF	SA2	A	28.11.25	KK	34,9	957	puu	95	7510	7,851	
Tappi 19	PRF	SA2	B	28.11.25	KK	35,1	968	puu	95	4120	4,258	

Yhteenveto liimapuun poratappien leikkausvoima-aikakuvaajista, josta mm. näkyy käsitunkin käytön vaikutus.

Poratappitesti



LIITE 2

Poratappien murtopinnat leikkauskokeen jälkeen

