



Karelia-ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka (AMK)

Viilupuun sormijatkaminen

Hirvonen Juho, Kukkonen Kaapo ja Piipponen Ville
Opinnäytetyö, kesäkuu 2025

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2025
Rakennustekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)

Hirvonen Juho, Kukkonen Kaapo, Piipponen Ville

Nimeke

Viilupuun sormijatkaminen

Toimeksiantaja: Karelia-ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö tarkastelee sormijatkoksen käyttömahdollisuuksia viilupuun pituussuuntaisessa jatkamisessa. Työn pääpaino on eri liimatyyppien toimivuuden vertailu viilupuun sormijatkamisen osalta. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, paljonko sormijatketun kappaleen taivutuslujuus eroaa jatkamattomasta kappaleesta. Työtä varten saimme Metsä Groupilta lahjoituksen kertopuuta muodossa 39x90x3000 Kerto-S. Pohjois-Karjalan ammattioppilaitos Riveria tarjosi käyttöömmme sormijatkosten työstämiseen sekä liimaamiseen soveltuvat tilat. Moderno Oy tarjosi käyttöömmme sormijatkosterät.

Aiheesta ei löydy juurikaan julkista tietoa ja voidaan olettaa, että aihetta ei ole laajemmassa mittakaavassa tutkittu Suomessa. Viilupuun valmistuksesta ja sahatavaran sormijatkamisesta löytyi paljon käyttökelpoista tietoa, jota pystyimme hyödyntämään työssämme.

Käytännön työn tekeminen aloitettiin katkomalla Kerto-S palkeista aihioita, joihin työstettiin 10 mm pituiset sormet. Aihiot liimattiin valmistajan ohjeiden mukaan toisiinsa. Jatsettujen kappaleiden taivutuskestävyyttä testattiin syrjällään tapahtuvassa taivutuksessa. Taivutustestaukset tehtiin Karelia-ammattikorkeakoulun laboratoriotiloissa. Jatsettujen kappaleiden taivutuslujuutta verrattiin jatkamattoman kappaleen taivutuksesta saatuihin arvoihin.

Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta sormijatkoksen olevan potentiaalinen vaihtoehto myös viilupuun jatkamiseen. Sormijatkosten laajempi käyttöönotto teollisuudessa vaatii kuitenkin laajemmat testaukset, jotta sormiprofiili ja liimauksen vaikutukset jatkoksen lujuuteen saadaan optimoitu. Mahdollisia käyttökohteita sormijatketulle viilupuulle voisivat olla puisten seinäelementtien ylä- ja alasidepuut sekä väliseinätolpat.

Kieli
suomi

Sivuja 25
Liitteet 0
Liitesivumäärä 0

Asiasanat

sormijatkaminen, viilupuu, liimaus



THESIS
June 2025
Degree Programme in Civil Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author (s)
Hirvonen Juho, Kukkonen Kaapo, Piipponen Ville

Title
Finger jointing of laminated veneer lumber

Commissioned by Karelia University of Applied Science

Abstract

The aim of this thesis was to explore the possibilities of longitudinal finger joints in the manufacturing of LVL. In the thesis we focused on the feasibility of different glue types in finger jointed LVL. For our work we received 25 pieces of 39x90 LVL-S Beam from Metsä Group. North Karelia's vocational school Riveria offered us premises to conduct the finger jointing and glueing of the test beams. Moderno Ltd loaned us the finger joint router bid.

There were no former studies of this subject in Finland. So, this study relies on information about manufacturing LVL and finger jointing sawn timber.

The manual labor of the thesis began by cutting 370mm pieces from the LVL-S Beams. 10mm long fingers were machined to the end of the pieces. Then pieces were glued together using manufacturer's instructions. We tested the bending strength of the jointed pieces on edge bending. The tests were performed by applying the standard SFS-EN 408 + A1. We used Karelia University of Applied Sciences' laboratory for the loading test. Results from the finger jointed pieces were compared to regular LVL-beams of the same dimension.

Based on the results of the loading test, LVL seems to be suitable material to be finger jointed. Industrial production of finger jointed LVL would require more tests and optimization of cutting tools and the use of adhesives. Possible use cases for finger jointed LVL could be for example top and bottom railing for wooden wall elements and partition wall studs.

Language
Finnish

Pages 25
Appendices 0
Pages of Appendices 0

Keywords
fingerjoint, veneer, glueing

Sisältö

1	Johdanto	2
2	Viilupuu, sormijatkaminen ja liimaukseen käytettävät materiaalit.....	3
	2.1 Viilupuu (LVL)	3
	2.1.1 Viilupuun valmistus	3
	2.1.2 Viilupuun käyttö rakentamisessa.....	4
	2.2 Teolliset liimat puurakentamisessa sekä testauksessa käytetyt liimat	5
	2.2.1 Polyvinyylisetaatti-liima	6
	2.2.2 Polyuretaani-liima.....	6
	2.3 Sormijatkaminen	6
	2.3.1 Sormijatkoksen käyttökohteet	7
	2.3.2 Sormijatkoksen lujuuteen vaikuttavat tekijät	7
	2.4 Viilupuun jatkaminen.....	9
3	Toimintasuunnitelma.....	10
	3.1 Kappaleiden taivutuslujuuden testausmenetelmä	10
	3.1.1 Jatkamattoman kappaleen laskennallinen taivutuslujuus	10
4	Testikappaleiden valmistus ja testaus.....	12
	4.1 Testeissä käytetyt materiaalit.....	12
	4.2 Koekappaleiden valmistus	12
	4.3 Kappaleiden testaus	15
5	Tulokset	16
	5.1 Maksimivoima	16
	5.2 Taipumat.....	17
	5.3 Tulosten yhteenveto.....	18
6	Pohdinta.....	18
7	Tutkielman eettisyys ja luotettavuus	20

Käsitteet

LVL: Viilupuu eli useista ohuista viiluista liimattu puutuote

PVAc: Polyvinyyliasetaatti, testeissä käytetyn liiman pohja-aine.

PUR: Polyuretaani, testeissä käytetyn liiman pohja-aine.

RF: Resorsinoliformaldehydi, eli fenolipohjainen liima.

Sormijatkoskurso: Sormijatkoskoneessa käytetty teräpakka.

Taivutuslujuus: Kappaleen poikittaismurtolujuus eli materiaalissa oleva jännitys, kun se antaa periksi taivutuskuormituksessa.

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee viilupuun sormijatkamista. Viilupuun on n. 3 mm paksuista päällekkäin liimatuista viiluista valmistettu puutuote. Sormijatkaminen on puutuotteiden pituussuuntaisen jatkamisen muoto. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, onko sormijatkamista mahdollista hyödyntää viilupuutuotteiden valmistuksessa ja näin mahdollistaa teollisuudessa syntyvien hukkamateriaalivirtojen käyttämisen kestäväällä tavalla. Sormijatkamisen potentiaalia tarkastellaan vertaamalla, paljonko sormijatkettujen kappaleiden taivutuslujuus eroaa jatkamattomasta kappaleesta.

Viilupuun sormijatkamista voitaisiin hyödyntää esimerkiksi LVL-tehtailla, jossa hukkakappaleita voi syntyä jopa 20 % prosenttia valmistetusta määrästä. Viilupuun sormijatkamisesta löytyi ainoastaan yksi tutkimus, joten sitä on aiheellista tutkia lisää. Työssä ei tavoitella teollista valmistusnopeutta, vaan lähinnä käsivalmistustapaa, jota voisi soveltaa pienessä kustannustehokkaassa tavassa. Opinnäytetyön kappaleet testattiin kevään 2025 aikana Karelia-ammattikorkeakoulun tiloissa. Opinnäytetyön toimeksiantajana on Karelia-ammattikorkeakoulu. Työhön tarvittavien materiaalien ja terien toimitukseen osallistuivat Kiilto Oy, Metsä Group ja Moderno Oy.

2 Viilupuu, sormijatkaminen ja liimaukseen käytettävät materiaalit

2.1 Viilupuu (LVL)

LVL on tekninen puumateriaali, jota käytetään laajasti rakennus- ja siltarakentamisessa. LVL-palkit, -pilarit ja -levyt ovat yleistyneet nykyaikaisessa puurakentamisessa niiden kestävyys-, monikäyttöisyyden ja rakenteellisen lujuuden ansiosta. (LVL Handbook 2020)

Vuonna 1975 Metsäliiton Teollisuus Oy (nykyinen Metsä Wood) perusti Euroopan ensimmäisen LVL-tuotantolinjan. Myöhemmin tätä työtä vei eteenpäin toinen suomalaisyritys, Raute Oyj, joka on maailman johtava LVL toimittaja. LVL:n tuotanto on kasvanut jatkuvasti, ja nykyisin sitä valmistetaan kymmenessä maassa, neljällä eri mantereella. Kokonaiskapasiteetti on noin 4 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, ja tuotantoa on yhteensä 30 eri laitoksessa. Viilupuuta valmistaa Suomessa Metsä Wood ja Stora Enso. (LVL Handbook 2020)

2.1.1 Viilupuun valmistus

Viilupuu on viiluista liimaamalla valmistettu rakenteellinen puutuote. Viilupuu valmistetaan 3 mm paksuista kuusiviiluista, joiden syysuunta voi olla kokonaan pituussuuntainen tai osittain ristiin liimattu. (Puuinfo 2020) Viilupuu soveltuu laajasti rakentamiseen ja teollisuuteen. Valmistustekniikan myötä on mahdollista valmistaa jopa 25 metrin pituisia viilupuuta. Viilupuun maksimileveys on 2,5 metriä, paksuus vaihtelee 27–75 mm välillä. Vakiokorkeudet määräytyvät valmistajan mukaan. LVL-viiluja voidaan myös kerrannaisliimata yhteen paksujen rakenteellisten levyjen valmistamiseksi. (Puuinfo 2020)

Viilupuun pinnat ovat tyypillisesti käsittelemättömiä, mutta niitä voidaan hioa ja pintakäsitellä asiakkaan toiveen mukaisesti. Viilupuuta on myös saatavilla

painekyllästettynä luokkaan AB. Tuotteen laatu ja ominaisuudet määritellään SFS-EN 14374 -standardissa. Viilupuussa on hyvät palonkesto-ominaisuudet. Sen nimellinen hiiltymisnopeus on 0,7 mm/min. (Puuinfo 2020)



Kuva 1. Viilujen valmistus (Kuva: Metsäwood)

2.1.2 Viilupuun käyttö rakentamisessa

Viilupuuta käytetään rakennuksissa esimerkiksi kantavina palkkeina, pilareina, ristikoina ja kehärakenteina. Vaakarakenteissa viilupuun tyypillinen jänneväli on 5–12 metriä, ja sitä hyödynnetään ala-, väli- ja yläpohjarakenteissa, sekä tukipalkkeina ja rakennuksen jäykistävinä osina. Sitä käytetään myös ikkuna- ja oviteollisuuden komponenteissa. (Puuinfo 2020)

LVL:n jäykkyys, lujuus ja tasalaatuisuus mahdollistavat sen, että sen ominaisuudet voidaan hyödyntää täysimääräisesti rakennesuunnittelussa. LVL:llä on tasalaatuinen, sen lujuus-painosuhte on erinomainen ja se on painoonsa nähden kaksi kertaa terästä vahvempaa. Laminoidun rakenteen ansiosta, LVL on mittapysyvä, eikä se kieroudu, tikkuunnu tai halkeile. LVL on tehtaalta lähtiessään kuivaa (kosteus 8–10 %). Tämä ehkäisee kutistumista rakentamisen aikana sekä rakennuksen elinkaaren aikana. LVL:ää voidaan valmistaa tarkkoihin mittoihin, joten katkaisujätettä ei juurikaan synny. Tämä myös parantaa tehokkuutta ja nopeuttaa työskentelyä, erityisesti teollisessa tuotannossa ja rakennuselementtien valmistuksessa. Keveys helpottaa myös kuljettamista. LVL:n yhdistäminen muihin puumateriaaleihin ja

rakennustuotteisiin on mahdollista. Rakennusmateriaalina se on myös ympäristöystävällistä, yksi kuutiometri LVL:ää sitoo noin 789 kg hiilidioksidia. (LVL Handbook 2020)



Kuva 2. LVL - kattopalkkeja (Kuva: puuinfo)

2.2 Teolliset liimat puurakentamisessa sekä testauksessa käytetyt liimat

Puun liimattavuuteen vaikuttaa puun erilaiset ominaisuudet kuten rakenne ja muotoviat, kosteus, eläminen ja liimattavan kappaleen pinnanlaatu. Erilaiset puulajit poikkeavat toisistaan rakenteellisilta ominaisuuksiltaan. Liimauksen näkökulmasta suuri vaikuttava tekijä on ilmankosteudesta johtuvat muodonmuutokset. Myös puun öljypitoisuus vaikuttaa merkittävästi liiman tarttuvuuteen. Öljyiseen puuhun liiman tartunta lähtökohtaisesti heikompaa, kuten myös sydänpuuhun johtuen uuteaineiden suuremmasta pitoisuudesta verrattuna pintapuuhun. Näihin tekijöihin voidaan vaikuttaa erityyppisillä liimatuotteilla.

2.2.1 Polyvinyyliasetaattiliima

Dispersioliimat ovat tyypillisesti polyvinyyliasetaattiliimoja (PVAc). Näille liimoille tyypillisiä ominaisuuksia ovat kutistuminen liimattaessa, yksikomponenttisenä matala kosteudenkesto sekä kaksikomponenttisenä kosteudenkestävyys (Puuinfo 2019). Yleisiä hyötyjä on myös käyttöturvallisuus sekä terveellisyys. Yleisesti dispersioliimat ovat myös värittömiä sekä hajuttomia.

2.2.2 Polyuretaaniliima

Polyuretaaniliima (PUR) on yksikomponenttinen liima. PUR-liima on yleisesti käytetty hirsiteollisuudessa, sekä rakennuspuutavaran sormijatkamisessa. Se soveltuu myös hyvin kosteiden kappaleiden liittämiseen, ja se kovettuu kosteuden vaikutuksesta huonelämpötilassa muodostaen värittömän liimasauman (Puuinfo 2019).

2.3 Sormijatkaminen

Puutavaran sormijatkaminen on rakennus- ja puutuoteteollisuuden käyttöön kehitetty pääasiassa puutavaran pituussuuntaisen jatkamisen menetelmä, jossa kahden puukappaleen päihin leikataan tarkoitusta varten valmistetulla teräkursolla kiilamaisia ulokkeita, jotka sopivat lomittain yhteen (ks. Kuva 3.). Leikkauksen jälkeen kappaleiden päihin levitetään kulloinkin tarkoitukseen sopiva liima ja kappaleet puristetaan yhteen ja näin saadaan lyhyistäkin puukappaleista käyttökelpoista rakennusmateriaalia. Sormijatkoksia voi valmistaa yksinkertaisin menetelmin manuaalisesti tai kalliita investointeja vaativilla prosesseilla. Manuaalisesti jatkoksia tehdessä voi jyrsimisen suorittaa alajyrsinkoneella, ja liimoituksen voi tehdä käsin. Sormiliitoksen lujuus perustuu sormiprofiilin ansiosta kasvaneeseen liiman leikkauspinta-alaan. (Puuproffa 2025).



Kuva 3. Sormijatkos liimausvaiheessa (Kuva: Kaapo Kukkonen)

2.3.1 Sormijatkoksen käyttökohteet

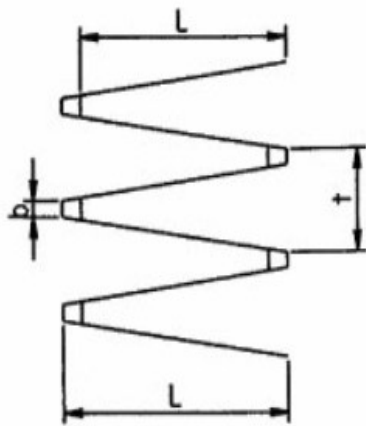
Sormijatkoksia käytetään, kun tarvitaan pitkää ja mittatarkkaa puutavaraa tai halutaan poistaa esimerkiksi oksien aiheuttamat heikot kohdat puutavarasta. Sormijatkoksen profiili ja käytetty liima vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Yhä enenevässä määrin sormijatkosta käytetään puusepänteollisuudessa, jossa pyritään parantamaan puutavaran ulkonäköä, kun taas rakenteellisen puutavaran jatkamisessa keskitytään lujuusominaisuuksien säilyttämiseen. (Puuproffa 2025).

2.3.2 Sormijatkoksen lujuuteen vaikuttavat tekijät

Sormijatkoksen lujuuteen vaikuttaa monia eri tekijöitä. Yksi näistä tekijöistä on kiilakulma, jossa sormien suunnittelu on toteutettu siten, että leikkauskuorma, jonka kyljet kestävät, on melkein yhtä suuri kuin sormen pohjan vetokuorma.

Tämän avulla liitos hyödyntää puun lujuutta hyvin. Toisaalta on hyvä huomioida, että eri sormityypeillä kiilamaisuus hieman vaihtelee, joka johtaa teoreettisen lujuuden vaihtelevuuteen. (Puuproffa 2025).

Toinen sormijatkoksen lujuuteen vaikuttava tekijä on heikennysaste, eli sormen pään leveyden suhde sormijakoon. Mitä kapeampi sormen pää (b) on suhteessa sormijakoon (t), sitä pienempi on heikennysaste ja sitä suurempi liitoksen lujuus on (ks. Kuva 4.). (Puuproffa 2025).



Kuva 4. Sormijatkoksen mitoitusparametrit, Kuva: (Puuproffa 2025)

Heikennysasteen lisäksi myös puristuspaineen kestävyydellä on vaikutusta sormijatkoksen lujuuteen. Jatkos on sitä lujempi, mitä enemmän se kestävä päittäispuristusta. Puristuspaineen kestävyys on sormipituuden funktio. Lyhyet sormet tuottavat parhaan tuloksen, sillä ne eivät aiheuta puun halkeilua samalla tavalla kuin pitkät sormet. Sormi toimii kiilana, kun sitä painetaan sormiloveen, jonka vuoksi mitä pidempi sormi on, sen suurempi on kiilausvoima, josta pohjan halkeaminen johtuu. Pituutta ei voi käytännön syistä lyhentää alle 4 mm, joskin sahatavaran teollisessa sormijatkamisessa tydytään yleensä 10 mm pitkään sormeen, sillä sen kohdistaminen on vielä suhteellisen helppoa. (Puuproffa 2025).

Neljäntenä lujuuteen vaikuttavana tekijänä pidetään sormenpäiden oikeaa leveyttä. Jos sormet työstetään kahdella eri leikkauksella, saattaa sormen pää jäädä tavoiteltua paksummaksi, mikä aiheuttaa liitoksen mahdollista halkeamista yhteen puristettaessa. Tätä ongelmaa ei synny, jos liitos tehdään terällä, joka työstää sormen molemmat kyljet yhtä aikaa. (Puuproffa 2025).

Viides lujuuteen vaikuttava tekijä on liiman levitys koko liitokseen. Sormijatkoksen profiilin muoto on haasteellinen ja liiman levityksessä onkin riskinä mahdolliset kuivat kohdat, joita voi syntyä etenkin sormenpohjiin. Liimaamattomat kohdat luonnollisesti heikentävät liitoksen lujuutta. (Puuproffa 2025).

Viimeinen lujuuteen vaikuttava tekijä on sormijatkosten perusmuoto. Muoto nimittäin vaihtelee käyttökohteen perusteella. Esimerkiksi puusepäneliitoksessa liitoksen tulee olla näkymätön, kun taas kantavaan rakenteeseen tarkoitetun liitoksen tulee olla muotoiltu niin, etteivät sormet pohjaa loviin. Tämä johtuu siitä, että kiilavaikutuksen aikaansaaman riittävän puristuksen täytyy varmistua. Tällöin sormenpäiden ja lovien pohjien väliin jää pieni liimalla täyttynyt kolo. (Puuproffa 2025).

2.4 Viilupuun jatkaminen

Viilupuun pituussuuntaiseen jatkamiseen löytyy LVL-käsikirjasta muutamia perusratkaisuja, joita voidaan toteuttaa myös työmaaolosuhteissa. Sormijatkoksen käyttämistä viilupuun rakenteellisiin jatkoksiin ei ole Euroopassa julkisesti tutkittu, joten myöskään standardeja aiheeseen liittyen ei löydy. Asiasta on kuitenkin hiljattain julkaistu raportti australialaisesta tutkimuksesta, jossa on saatu lupaavia tuloksia sormijatkosten toimivuudesta myös LVL:n jatkamisessa.

Gilbert et al. (2024) tutkimuksessa testattiin erilaisten sormijatkospituuksien ja liimojen yhdistelmiä ja verrattiin niiden taivutuslujuuksia yleisesti käytössä olevan viistejatkeen, sekä jatkamattoman kappaleen lujuuksiin. Testeissä sormijatketun kappaleen lujuudeksi oli saatu jopa 99 % verrattuna jatkamattoman kappaleen lujuuteen. Sormi- ja viistejatkoksiin käytetyt liimat olivat polyuretaani (PUR) ja resinoliformaldehydi (RF). Sormien pituudet vaihtelivat 20–25 mm välillä ja sormet ajettiin testikappaleisiin pitkittäin ja poikittain. Parhaat tulokset saatiin käyttämällä 20 mm sormenpituutta ja pitkittäistä leikkausta.

3 Toimintasuunnitelma

3.1 Kappaleiden taivutuslujuuden testausmenetelmä

Jatketut kappaleet testataan soveltaen standardin SFS-EN 408 + A1 mukaista neljän pisteen taivutusta Karelian ammattikorkeakoulun laboratoriossa.

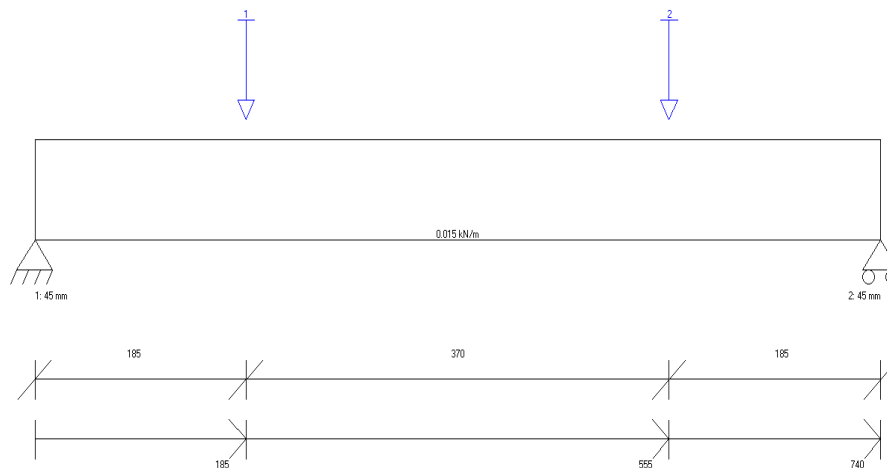
Kappaleen alla käytimme rullatukia. Jokainen koekappale numeroitiin ja jokaisesta otettiin yksilödyt tulokset talteen. Kaikki koekappaleet oli säilytetty samoissa olosuhteissa sekä niiden liimaukset ovat kuivuneet saman aikaa, joten tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään.

3.1.1 Jatkamattoman kappaleen laskennallinen taivutuslujuus

Tässä opinnäytetyössä jatkamattomien rakenteiden mitoitus tehtiin Finnwood 2.4 -suunnitteluohjelmistolla, joka on Metsä Woodin työkalu puurakenteiden mitoitukseen. Ohjelma mitoittaa rakenteet Eurokoodi 5:n (EN 1995-1-1) mukaisesti, ja ottaa huomioon myös A1:2008 ja A2:2014. Lisäksi ohjelmistossa huomioidaan Suomen kansalliset liitteet sekä suunnitteluohjeet RIL 205-1-2017 ja RIL 205-2-2009 (Metsägroup 2025).

Finnwood soveltuu erilaisten puurakenteisten osien mitoitukseen. Sen avulla voidaan suunnitella muun muassa palkkeja, pilareita sekä erilaisia laattaelementtejä, kuten ala-, väli- ja yläpohjat. Ohjelmaan voi syöttää rakenteeseen kohdistuvat kuormat, joiden pohjalta ohjelmisto suorittaa laskennalliset tarkastelut automaattisesti (Metsägroup 2025).

Ohjelman materiaalivaihtoehtoihin sisältyvät Kerto® LVL-tuotteet, liimapuu, rakennepuutavara sekä Kerto-Ripa® -elementit. Finnwood- ohjelmisto on lisäksi riippumattomasti tarkastettu, mikä lisää sen luotettavuutta. Ohjelmiston käyttö nopeuttaa mitoitusprosessia ja varmistaa, että rakenteet täyttävät eurokoodin ja kansallisten ohjeiden vaatimukset. (Metsägroup 2025).



Kuva 5. Rakennemalli (Kuva: Kaapo Kukkonen).

Pistekuormana oli kohdissa 237 mm ja 467 mm 2.8kN voima, jolloin määrääväksi tuli taivutus (100 %)

KOKONAISKÄYTTÖASTE = 99.6 %

[-] [i] [+]

- [-] **RAKENNEMITOITUS (100 %)**
 - [-] **MURTORAJATILA (MRT): (100 %)**
 - Leikkaus (Vz): 3.90 kN, (95 %), x = 20 mm
 - Taivutus (My): 0.95 kNm, (100 %), x = 467 mm
 - Tukipaine, tuki 1: (62 %), tukipainekerroin = 2.70
 - Tukipaine, tuki 2: (59 %), tukipainekerroin = 2.70

Kuva 6. Finnwood- laskentaohjelman tulokset (Kuva: Kaapo Kukkonen).

4 Testikappaleiden valmistus ja testaus

4.1 Testeissä käytetyt materiaalit

Opinnäytetyötä varten saimme materiaalilahjoituksena Metsä Woodilta yhteensä 25 kappaletta Kerto-S-palkkeja, joiden mitat olivat 39 x 90 x 3000 mm. Nämä kertopuu palkit toimivat tutkimuksen koekappaleina. Lisäksi Kiilto Oy toimitti koekäyttöön kaksi erilaista liimaa: polyuretaanipohjaisen Kiilto Pro D4 Polyuretaani-liiman (PUR) ja Kiilto Kestokol D4700 UV (PVAc) -liiman.

Kiilto Pro D4 on yksikomponenttinen, kosteuden vaikutuksesta kovettuva liima. Se on suunniteltu erityisesti vaativiin sisä- ja ulkotiloissa tehtäviin puuliimauksiin. Tuote täyttää D4-luokan vedenkestävyyksivaatimukset, ja se kestää hyvin lämpöä, jopa 70 °C asti. Liima tarttuu puun lisäksi useisiin muovi- ja metallipintoihin. Se tekee siitä monipuolisen vaihtoehdon rakenteisiin, joissa vaaditaan hyvää säänkestävyyttä. (Kiilto Oy 2025)

Toinen käytetty tuote, Kestokol D4700 UV, joka on EN 204 D4 -luokan PVAc-dispersioliima. Se soveltuu erityisesti puukappaleiden sormijatkamiseen, ja sen korkea vedenkesto mahdollistaa käytön myös ulkokohteissa pintasuojattuna. Liima on yksikomponenttinen ja sisältää UV-merkkiaineen, joka helpottaa levitysjäljen tarkastelua. Lopullinen lujuus ja vedenkesto saavutetaan seitsemän vuorokauden kuluessa. (Kiilto Oy 2025)

4.2 Koekappaleiden valmistus

Koekappaleet valmistettiin 39 × 90 × 3000 mm Kerto-S-palkeista. Aluksi liimattavat kappaleet katkaistiin 370 mm pituisiksi kappaleiksi, yhteensä 80 kappaletta, sekä 10 kappaletta jatkamattomia 740 mm pituisia kappaleita.

Tämän jälkeen koekappaleet siirrettiin Riverian ammattioppilaitoksen tiloihin, joissa niiden leveyttä kavennettiin mittaan 75 mm leveys suunnassa. Kavennus tehtiin, jotta koekappaleiden leveys olisi yhteensopiva sormijatkosterän kanssa. Oikea leveys oli välttämätön sormijatkosten yhteensopivuuden kannalta.

Kaventamisen jälkeen koekappaleiden päihin työstettiin syrjänsuuntaiset sormet käyttäen Modernolta saatua sormijatkosterää. Työstettyjen sormien pituus oli 10 mm. Syrjänsuuntaiset sormet varmistavat riittävän liimapinnan ja mekaanisen lujuuden liitoksessa, mikä parantaa liitoksenkestävyyttä.



Kuva 7. Sormiliitos (Kuva: Kaapo Kukkonen).

Liimausvaiheet suoritettiin Karelia-ammattikorkeakoulun laboratoriotiloissa. Koekappaleita valmistettiin 40 kappaletta liimatyyppiä kohden.

Ensimmäisessä liimauksessa käytettiin polyuretaanipohjaista PUR-liimaa. PUR-liimalla liimatut koekappaleet puristettiin yhteen hydraulisella prässillä. Puristusvoimaksi asetettiin 5 kg/cm^2 , ja puristusaika oli kaksi tuntia.



Kuva 8. Puristettu sormiliitos PUR-liimalla (Kuva: Kaapo Kukkonen)



Kuva 9. Puristettu sormiliitos PVAc-liimalla (Kuva: Kaapo Kukkonen)

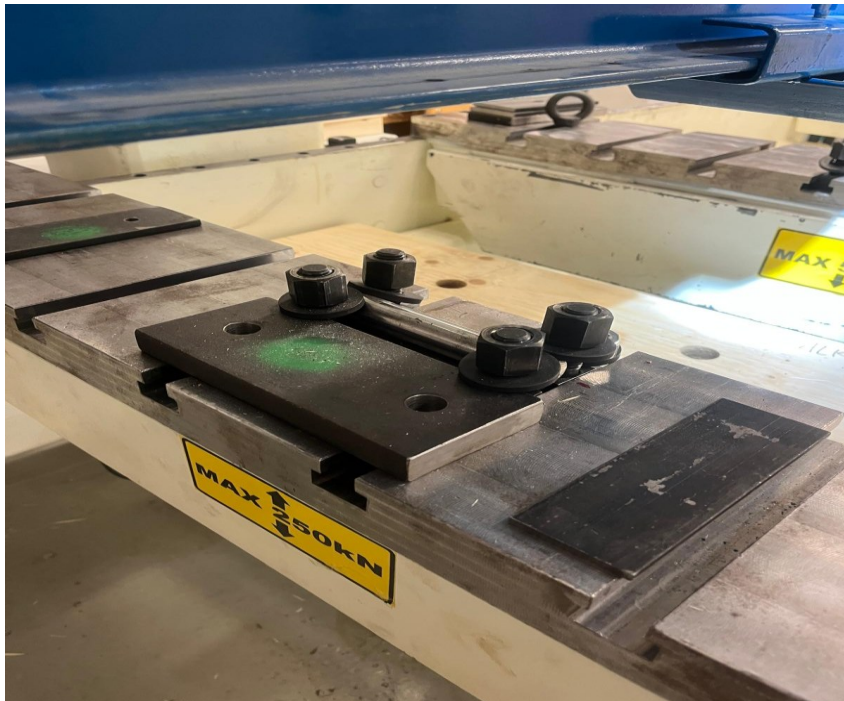
Toisessa liimauksessa käytettiin PVAc-liimaa. PVAc-liimalla liimatut koekappaleet puristettiin yhteen samalla tavalla, mutta puristusaika oli 15 minuuttia liiman nopeamman kovettumisen vuoksi.

Liimausten kuivumisen jälkeen kaikki koekappaleet oikaistiin syrjän puolelta ensin oikohöylällä, jonka jälkeen kappaleet höylättiin 72 mm paksuisiksi tasohöylällä. Tällä varmistettiin kappaleiden tasalaatuisuus. Molemmissa liimausvaiheissa pyrittiin säilyttämään samanlaiset puristusolosuhteet ja varmistamaan liitosten toistettavuus. Tavoitteena oli tehdä koekappaleita, joiden sormiliitos kestäväää mahdollisimman paljon mekaanista kuormitusta testausvaiheessa.'

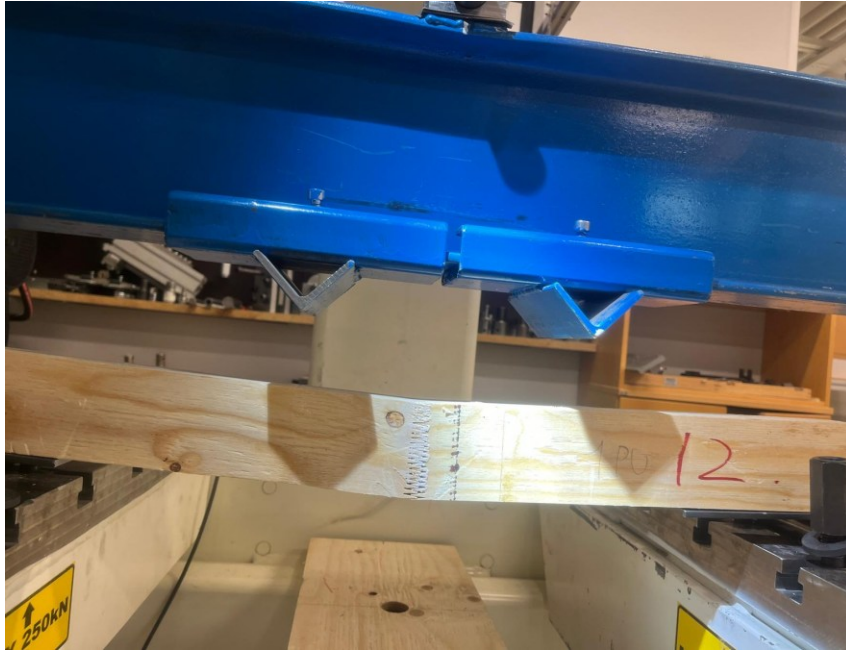
4.3 Kappaleiden testaus

Jatketuille ja jatkamattomille koekappaleille suoritettiin testaus soveltaen standardin SFS-EN 408 + A1 mukaista neljän pisteen taivutusta. Koekappaleet asetettiin testauslaitteeseen siten, että ne olivat rullatukien päällä. Rullatukien käyttö varmistaa, että tukiin ei synny merkittävää kitkaa, joka voisi vaikuttaa taivutusvastukseen. Jotta puumateriaalin mahdollinen painuminen rullatukea vasten ei vääristäisi mittaustuloksia, rullatukien ja koekappaleen väliin asetettiin teräslevyt. Näiden levyjen tehtävänä oli jakaa tukivoimat tasaisemmin ja estää puun pinnan painuminen tukipisteisiin, mikä puolestaan parantaa mittaustulosten tarkkuutta.

Tämä testaustapa varmistaa, että koekappaleiden tulokset taivutuskokeessa vastaavat mahdollisimman hyvin todellista käyttötilannetta. Täten sormiliitoksen vaikutus rakenteen taivutuskestävyyteen voidaan todeta.



Kuva 10. Rullatuen kiinnitys (Kuva: Kaapo Kukkonen)

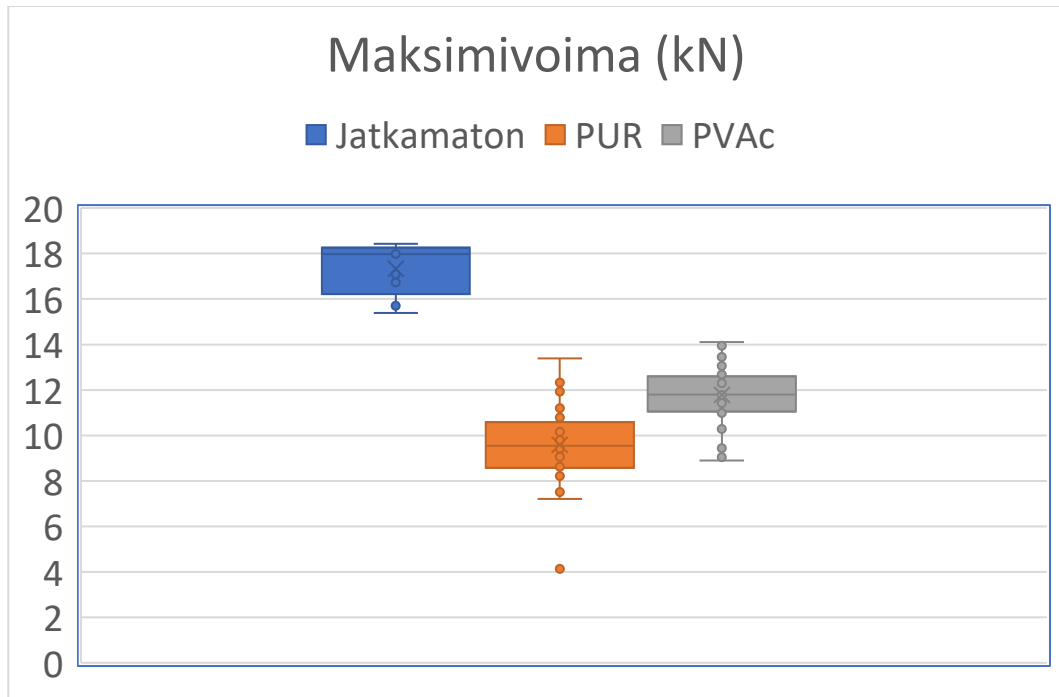


Kuva 11. Ratkennut sormiliitos, PUR. (Kuva: Kaapo Kukkonen)

5 Tulokset

5.1 Maksimivoima

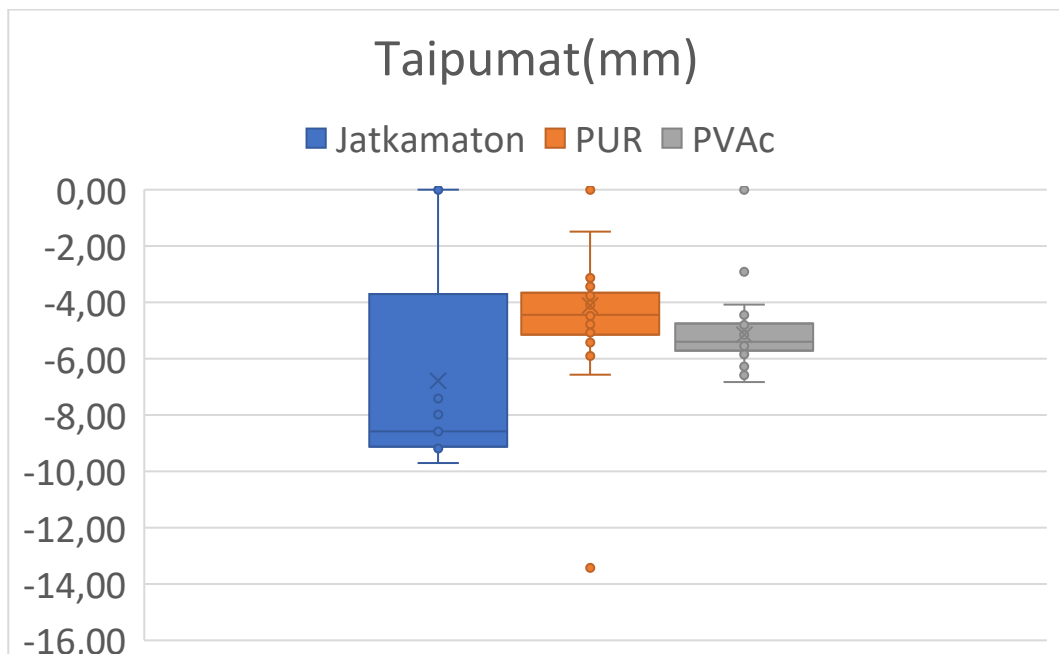
Taulukossa on esitetty jokaisen koekappaleen suurin kestävä voima koestuksen aikana ennen taivutusmurtoa. Kahden liimatyyppin väliset kestävyyserot ovat nähtävissä selkeästi (ks. kuva 12).



Kuva 12. Maksimivoimien jakaantuminen eri liimatyyppien välillä.

5.2 Taipumat

Koekappaleiden taipuma on mitattu kappaleen pohjaan kohdistetulla laseretäisyysmittarilla. Taipuman suurin arvo (ks. kuva 13) vastaa kappaleen kestävästä maksimivoimaa (ks. kuva 12).



Kuva 13. Taipumien jakaantuminen eri liimatyyppien välillä.

5.3 Tulosten yhteenveto

Testausvaiheessa koestimme yli 100 koekappaletta. Vertailukelpoisia koetuloksia näistä tuli 83 kappaletta.

Vertailukelpoiset koetulokset jakautuivat seuraavasti:

- Jatkamaton: 9kpl
- PUR: 40kpl
- PVAc: 31kpl.

Mittaustuloksista laskimme keskiarvot, joita vertailemalla nähdään erot eri liimatyypin ja jatkamattoman kappaleen kestävyiden välillä.

Saatujen tulosten keskiarvot taivutuksen maksimivoimalle:

- Jatkamattomat kappaleet: 17,4 kN
- PUR-liimalla liimatut jatkokset: 9,6 kN → 40 % jatkamattomasta
- PVAc-liimalla liimatut jatkokset: 11,8 kN → 68 % jatkamattomasta

6 Pohdinta

Matka tästä opinnäytetyöstä siihen pisteeseen, että sormijatkettua viilupuuta olisi mahdollista käyttää kantavissa rakenteissa on pitkä. Jatkosprosessia tulisi optimoida reilusti, jotta oikea sormiprofiilin, työstöterän ja liimatyypin yhdistelmä löytyisi. Saamiemme tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta sormijatkamisessa olevan potentiaalia myös viilupuun jatkamiseen, mikäli siihen tarvetta teollisuudessa tai kotiverstaassa ilmenee.

Sormijatkamiseen sisältyy lukuisia pieniä yksityiskohtia, jotka vaikuttavat lopputuloksen ulkonäköön ja kestävyYTEEN. Sormijatkosten tekemiseen käytettävällä terällä, sen profiililla ja sormien työstösuunnalla on suuri merkitys lopputulokseen. Tässä työssä terään ja puun työstöön liittyvät seikat eivät olleet

pääosassa, joten nämä asiat jäivät pohdintaosioon. Aloittaessamme sormien työstämistä koekappaleisiin kokeilimme ensin työstää sormet viilujen suuntaisesti. Käyttämämme sormijatkosterä työsti sormen sivut vuoron perään, joka aiheutti viilun taipuilua työstämisen aikana. Tämän takia työstetty sormen pää oli epätasainen ja kahden työstetyn kappaleen yhteensovittaminen oli hankalaa. Kokeiltuamme työstää sormet viilunsyitä vasten huomasimme vuoron perään leikkaavan terän negatiiviset vaikutukset vähäisemmiksi lopputuloksen kannalta. Terän tasainen teroitus on myös hyvin tärkeää tasalaatuisen työstöjäljen ja kappaleiden yhteensovittamisen kannalta. Liian paksut sormet aiheuttavat halkeilua liitosta yhteen puristettaessa ja liian kapeat sormet jättävät liitoksen väljäksi.

Liimatyyppin valinta vaikuttaa olennaisesti niin kestävyteen kuin työhön kuluvaan aikaan. Erilaisilla liimatyypeillä on monia toisistaan poikkeavia ominaisuuksia. Liimatyyppien eri ominaisuudet vaikuttavat myös niiden levitykseen, kuivumiseen ja kappaleiden yhteen liimaamisen käytettäviin tapoihin. Meidän työssämme tämä näkyi yhden viikon viivästyksenä suunnitellusta aikataulusta, kun emme olleet ottaneet huomioon PVAc-liiman vaatimaa 7 päivän kuivumisaikaa. Käyttämämme kahden liimatyyppin toimivuudessa oli huomattavat erot koestettaessa kappaleita. PUR:lla liimatut kappaleet katkesivat lähes poikkeuksetta liimasauman kohdalta, kun taas PVAc:lla liimatut katkesivat useammin liimasauman vierestä, mikä kertoo liimauksen onnistuneen ainakin toisen liiman osalta. PUR-liiman vaatima kovempi puristusaine ja pidempi liimausaika tuottivat toteutusellisia haasteita, joiden seurauksena on mahdollista, että PUR:lla liimattujen kappaleiden käyttäytyminen koestettaessa johtuu osaltaan tästä.

Tällaisenaan manuaalisesti sormijatkettua viilupuuta voisi käyttää esimerkiksi rakennusteollisuudessa puuelementtien ylä- ja alasidepuina sekä väliseinätolpissa, sekä muihin sovelluksiin, joissa ei suuria kantavuusvaatimuksia ole. Näin saataisiin hyödynnettyä teollisuudessa syntyvää kallista hukkamateriaalia kestäväällä tavalla. Aiheesta olisi kiinnostavaa tehdä lisätutkimusta ja nähdä kuinka paljon manuaalisen sormijatkosprosessin lopputulosta voidaan parantaa hienosäätämällä opinnäytetyön aikana huomaamiemme kehityskohteita.

7 Tutkielman eettisyys ja luotettavuus

Tutkimuseettisen neuvottelukunnan (TENK) mukaan vain hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti suoritettu tutkimus voi olla eettisesti hyväksyttävä ja luotettava (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2024). Tämä tutkimus on suoritettu mukailen tätä hyvää tieteellistä käytäntöä. Tutkimuksen teko aloitettiin suunnittelusta, jonka aikana tutkimuksen aihe rajattiin selkeästi. Tätä seurasi aiheeseen perehtyminen etsimällä ja lukemalla ajankohtaisia aineistoja. Teoriaan tutustumisen jälkeen ryhmämme pystyi testaamaan sormijatkoksen soveltuvuutta viilupuun jatkamiseen nojaten aiempaan teorian tietoon. Tulokset raportoitiin opinnäytetyössämme huolellisesti sekä avoimesti, mikä mahdollistaa työmme toisinnan. Olemme pohtineet työhön liittyviä kompastuskiviä, jonka avulla samojen erheiden toistaminen voidaan estää, mikäli tutkimus toisinnetaan. Tutkimuksen luotettavuutta lisää lisäksi se, että tutkijaryhmämme koostui kolmesta henkilöstä. Täten tuloksista tehdyt johtopäätökset eivät nojaudu vain yhden henkilön pohdintaan. Pohdinta on myös onnistuneesti kytketty tutkimuksen tuloksiin sekä aiempaan teoriaan, jolloin sitä voidaan pitää luotettavana. Tutkimuksemme tavoite oli selvittää sormijatkoksen käyttömahdollisuuksia LVL:n pituussuuntaisessa jatkamisessa ja onnistuimme tämän saamaan selville tutkimuksemme myötä.

Lähteet

- Gilbert, B., Davies, T., McGavin, R. & Dowse, C. 2024. Towards Reducing the Capital Cost of Manufacturing Laminated Veneer Lumber: Investigating Finger Jointing Solutions. *Construction and Building Materials*, 411.
- Kiilto Oy. 2025. Kiilto Pro D4 Polyuretan.
<https://www.kiilto.fi/tuote/kiilto-pro-d4-polyuretan/>
- Kiilto Oy. 2025. Kestokol D 4700 UV.
<https://www.kiilto.fi/tuote/kestokol-d-4700-uv/>
- Metsägroup. 2020. European LVL Handbook.
<https://www.metsagroup.com/metsawood/products-and-services/technical-information/european-lvl-handbook/>
- Metsägroup. 2025. Finnwood® mitoitusohjelmisto.
<https://www.metsagroup.com/fi/metsawood/tuotteet-ja-palvelut/digitaaliset-tyokalut/finnwood>
- Metsägroup. 2017. Kerto LVL valmistus
<https://www.metsagroup.com/globalassets/metsawood/attachments/kerto-lvl-manual/fi/kerto-kasikirja-lvl-valmistus.pdf>
- Puuinfo. 2020. Viilupuu (LVL). <https://puuinfo.fi/insinööri tuotteet/viilupuu-lvl/>
- Puuinfo. 2029. Puurakentamisen liimat. [Puurakentamisen liimat - Puuinfo](#)
- Puuproffa. 2025. Sormijatkos. [Sormijatkos – Puuproffa](#)
- Tutkimuseettinen neuvottelukunta (TENK). 2024. Hyvä tieteellinen käytäntö (HTK). [Hyvä tieteellinen käytäntö \(HTK\) | Tutkimuseettinen neuvottelukunta](#)