

Pyökkiviilupuun (LVL) tuotantoprosessin vaiheet

FOREST4EU - hankkeessa on tarkasteltu maaseudun innovaatioryhmien viime vuosina kehittämiä metsäalan innovaatioita Euroopassa. FOREST4EU-hankkeessa on priorisoitu kerättyjä innovaatioita yhdessä alan sidosryhmien kanssa ja näiden priorisointiprosessien kautta on valittu 20 sidosryhmien valitsemaa kiinnostavinta innovaatiota metsäalan tiedonsiirtoa varten. Maaseudun innovaatioryhmä GO FAGUS on kehittänyt innovaation pyökkiviilupuuhun (LVL) liittyen ja FOREST4EU-hankkeen maaseudun innovaatioryhmien innovaatioiden priorisointiprosessissa tämä innovaatio on arvioitu merkitykselliseksi tiedonsiirtoa varten Espanjassa. Lisätietoja on saatavilla hankkeen verkkosivuilla <https://www.forest4eu.eu/>.

Viilupuun (LVL) on tuote, joka valmistetaan pinoamalla ohuita sorvaamalla tuotettuja puukerroksia (kuva 1). Sorvauksessa on seuraavia vaatimuksia raaka-aineelle:

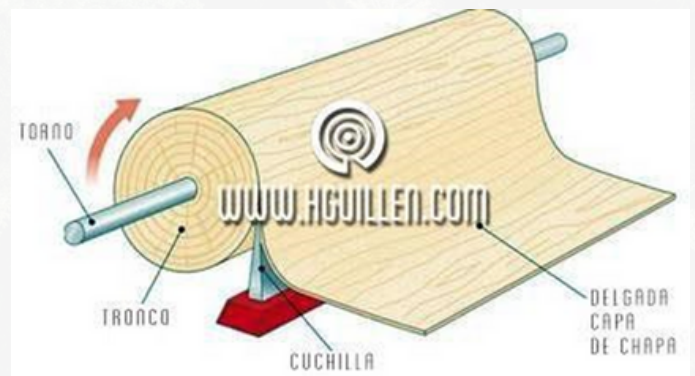


Kuva 1. Viilupuun valmistukseen käytettäviä pyökkiviiluja.

Tuotantoprosessin raaka-ainetta ovat korkealaatuiset tukit. Tukien paksuus, suoruus, pieni tukin kapeneminen ja pieni määrä oksankohtia ovat tärkeitä prosessin tehokkuutta, tuotettua määrää ja laatua varten. Tämän vuoksi on oletettavissa, että rakenteellisten materiaalien valmistaminen tukista sorvatusta viilusta tarjoaa parempia ominaisuuksia kuin sahatavara samasta puulajista.

Mitä on sorvaus ja minkälainen on sorvausprosessi?

Sorvauksessa tukki muutetaan sylinteristä levyksi. Visuaalisesti esitettynä sorvausprosessia voidaan verrata paperirullaan, jossa tukki on rulla ja paperi on viilu (kuva 2). Prosessi etenee seuraavasti:

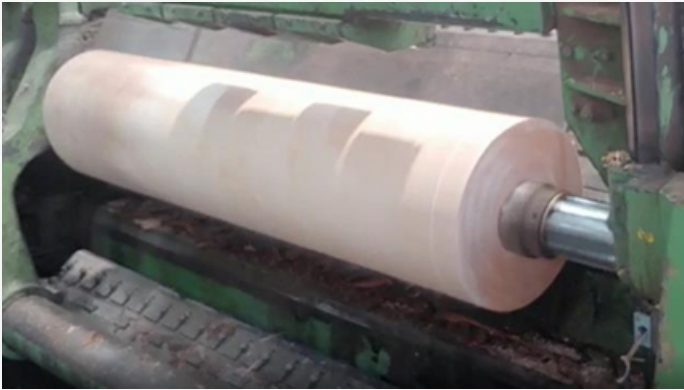


Kuva 2. Sorvausjärjestelmä. Lähde: Maderas Hermanos Guilen

Ensin tukit kuoritaan roskien tai muiden metsästä tulleiden jäämien poistamiseksi. Seuraavaksi tukit skannataan metallinpaljastimella, koska tukeissa oleva metalli voi rikkoa sorvauksessa käytetyn koneen.

Tämän jälkeen tukit keitetään tai höyrytetään pehmeämmän ja joustavamman raaka-aineen aikaansaamiseksi sorvausta varten. Tällä pyritään saavuttamaan useita tavoitteita: estetään puun halkeilu rullausjännityksessä, vähennetään terän vastusta ja pidennetään sorvaustyökalujen käyttöikää.

Prosessin lopussa tehdään sorvaus, jossa tukki keskitetään ensin akselille ja rullataan paikalleen kuvan 2 osoittamalla tavalla. Sorvausprosessissa terällä sorvataan halutun paksuista viilua (kuva 3), kunnes terä saavuttaa pienimmän tukin halkaisijan, jossa viilua voidaan vielä sorvata. Sorvauksesta tulee kolme lopputuotetta lastuja, viilu (kuva 4) ja puun keskusosa, josta viilua ei voida enää sorvata (kuva 5). Testauksessa käytetyt viilunäytteet valmistettiin tällä sorvausprosessilla.



Kuva 3. Tukki valmiina sorvausta varten



Kuva 4. Tukista sorvattu viilu



Kuva 5. Sorvauksesta jäljelle jääneet puiden keskusosat.

VIILUPUUN (LVL) VALMISTUSPROSESSI

Hankkeessa valmistettiin kahdenlaisia tuotteita:

- 125x30x2500mm palkit;
- 500x500mm paneelit, joista otettiin pieniä näytteitä.

Kosteustasapaino

Viilujen saapumisen jälkeen Ceseforin tiloihin, ne jätettiin tasoittumaan muutamaksi päiväksi, jotta vältettäisiin kosteusongelmia viiluissa sahan ja Ceseforin tuotantotilojen ilmastoerojen takia. Kosteutta seurattiin kosteusmittarilla (kuva 6).



Kuva 6. Viilujen kosteuden seuraamista kosteusmittarilla.

Huomio viilun asemointiin

Viilupuuta (LVL) valmistettaessa kaikilla viiluilla on oltava sama syysuunta, joka varmistettiin tuotannon aikana. Syysuunnan tarkistaminen on erityisen tärkeää pienissä 500x500 mm:n näytteissä, joissa saatetaan epähuomiossa viilua kiertää ja tuottaa vahingossa vaneria (kuva 7).



Kuva 7. Viilujen liimausta ja asemointia.

Prosessin lopussa tehdään sorvaus, jossa tukki keskitetään ensin akselille ja rullataan paikalleen kuvan 2 osoittamalla tavalla. Sorvausprosessissa terällä sorvataan halutun paksuista viilua (kuva 3), kunnes terä saavuttaa pienimmän tukin halkaisijan, jossa viilua voidaan vielä sorvata. Sorvauksesta tulee kolme lopputuotetta lastuja, viilu (kuva 4) ja puun keskusosa, josta viilua ei voida enää sorvata (kuva 5). Testauksessa käytetyt viilunäytteet valmistettiin tällä sorvausprosessilla.

Liimaa koskevat vaatimukset

Pyökki on haastava puulaji liimauksen kannalta, koska liimasaumojen osalta on haastavaa täyttää määräysten vaatimukset. Haasteet liimasaumojen kanssa voivat johtua myös pyökin korkeasta lujuudesta, kuten jotkut kirjoittajat ovat aiemmin tuoneet esille. Näissä testeissä käytettiin AkzoNobelin kaksikomponenttiliimaa, MUF-liimaa kaupalliselta nimeltään GripPro™ Design.

Liiman käyttö suunniteltiin valmistajan teknisen tietolomakkeen avulla ottaen huomioon puun ja tuotantotilan kosteuspitoisuus ja lämpötila, käyttöaika, sekoitussuhde, puristusaine kovettumisen aikana ja lyhyin kovettumisaika.

Osa valmistuksessa käytetyistä parametreista on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Osa viilupuun valmistuksessa käytetyistä parametreista.

| Liiman ja kovetteen suhde | Neliömassa (g/m ²) | Käyttöaika (min) | |
|---------------------------|--------------------------------|------------------|--------------|
| | | Erikseen | Sekoitettuna |
| 2/1 | 350 | 30-40 | 15-20 |

Viilupuunäytteiden valmistaminen

Tuotantoprosessi aloitettiin materiaalien ja tilojen valmistelun jälkeen. Prosessi oli samalainen suurille ja pienille näytteille. Ainoat erot olivat tuotantoprosessin tuloksena saatavan näytteen koolla ja puristimella, jota käytettiin.

Liima-annokset valmistettiin sekoittamalla ne juuri ennen levittämistä käyttöajan varmistamiseksi, koska tuotantotilat ovat prototyyppiluonteisia ja koska liiman ja kovetteen levittämiseen säädetyllä suhteella toisistaan riippumatta ei ollut järjestelmää. Liiman sekoittamisen jälkeen sillä täytettiin liiman levityksessä käytettävän rullatelan säiliö. Valmistettiin kahta erilaista tuotetta: viilupuupalkkeja (LVL) kooltaan 125x30x2500mm (kuva 8) ja levypuristimella valmistettuja 500x500mm kokoisia paneeleita, joista otettiin pienikokoisia näytteitä testausta varten (ks. kuvat 9 ja 10). Tuotteiden ominaisuuksia verrattiin samoissa tuotantotiloissa valmistettuun sahatavaraan ja rakenteellisiin palkkeihin.



Kuva 8. Rakenteelliset palkit.



Kuva 9. Pienten näytteiden valmistuksessa käytetty 500x500 mm paneeli.



Kuva 10. Pienet näytteet taivutuslujuuskokeita (ylempi osa kuvassa) ja kohtisuorassa syitä vastaan tehtäviä vetolujuuskokeita varten (alempi osa kuvassa).

VIILUPUUN (LVL) VALMISTUSPROSESSI

Valmistettujen tuotteiden kestävyysominaisuuksia arvioitiin kolmella eri testillä:

1. Taivutuslujuustestit 10 rakenteellisella palkilla;
2. Taivutuslujuustestit 50 pienikokoisella näytteellä;
3. Vetolujuustestit kohtisuoraan syitä vastaan 60 pienellä näytteellä.

Taivutuslujuustesti

Näytteen koosta riippumatta taivutuslujuustesti toteutettiin tukemalla kappaletta sen päistä kahtena tukipisteenä ja männän avulla, joka kohdisti pystysuoran voiman kahteen pisteeseen siten, että kuormituspisteiden välisessä osassa palkki altistui vain taivutukselle eikä jännitykselle. Täten murtumat palkin tässä osassa olivat vain taivutusvoimien seurauksena. Testit suoritettiin sahatavaraa ja liimapuuta koskevan EN 408 -standardin menetelmien mukaisesti, kuten standardissa EN 14374 esitetään. Kuvassa 11 toteutetaan taivutuslujuustestiä rakenteellisille palkeille ja kuvassa 12 pienikokoisille näytteille.



Kuva 11. Taivutuslujuustesti rakenteellisesti mitoitetuille näytteille.



Kuva 12. Taivutustesti pienikokoisille näytteille.

Vetolujuustesti kohtisuoraan syitä vastaan

Viilupuun vetolujuus määriteltiin puulle epäsuotuisimmassa jännityksessä eli kohtisuoraan syitä vastaan erityisesti testiä varten suunnitellulla metallisella laitteella.

Tämä laite koostuu kahdesta metallipuristimesta, jotka pitävät näytteestä kiinni vahingoittamatta sitä. Testin aikana nämä puristimet erkanevat toisistaan vetostressin luomiseksi. Kuvassa 13 toteutetaan yhtä vetolujuustestiä.



Kuva 13. Vetolujuustesti kohtisuoraan syitä vastaan.

Nämä testit on suoritettava standardin mukaisessa ajassa, koska puu käyttäytyy eri tavoin kuormitukselle altistumisen pituuden mukaan. Lisäksi standardissa on myös määriteltä, miten kuormaa tulisi kohdistaa, jotta voidaan vaihdella ohjausta voiman tai siirtymän välillä aikayksikköä kohden (kg/min tai mm/min).

TULOKSET

Tässä osassa esitetään suoritetuista testeistä saadut tulokset.

Rakenteellisesti mitoitettujen näytteiden taivutuslujuustestit

Rakenteellisesti mitoitetuille palkeille tehdyistä testeistä saadut tulokset on esitetty taulukossa 2. Testattavat palkit olivat poikkileikkaukseltaan 120x30 mm² ja jänneväli 2160 mm. Suoritettiin 10 testiä standardin EN 14358 mukaisesti mekaanisten ominaisuuksien määrittämiseksi. Määritettiin näytteen keskimääräinen ja ominaistiheys, keskimääräinen ja ominaistaivutuslujuus sekä globaali ja paikallinen kimmokerroin.

Taivutuslujuuden arvo asetettiin 300 mm:n vertailukorkeudelle standardin EN 14358 mukaisesti.

Taulukko 2. Rakenteellisesti mitoitettujen viilupuupalkin (LVL-palkin) taivutuslujuustestien tulokset.

| Taivutuslujuustesti | CH (%) | ρ_m (kg/m ³) | ρ_k (kg/m ³) | $f_{m,m}$ (MPa) | $F_{M,K}$ (MPa) | $E_{m,g}$ (MPa) | $E_{m,l}$ (MPa) |
|---------------------|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| LVL-palkit | 10.7 (9%) | 704 (4%) | 641 | 65.4 (10%) | 46 | 10992 (3%) | 13425 (7%) |

*Suluissa olevat arvot vastaavat variaatiokerrointa

- CH (%) - Kosteuskerroin.
- ρ_m (kg/m³) - Keskimääräinen tiheys;
- ρ_k (kg/m³) - Ominastiheys, joka vastaa 5%;
- $f_{m,m}$ (MPa) - Taivutuslujuus, keskiarvo;
- $f_{m,k}$ (MPa) - Taivutuslujuus, ominaisarvo;
- $E_{m,g}$ (MPa) - Globaali kimmokerroin (jännityksellä);
- $E_{m,l}$ (MPa) - Paikallinen kimmomoduuli (ilman jännitystä).

Pienikokoisten näytteiden taivutuslujuustestit

Tulokset pienikokoisille palkeille tehdyistä testeistä esitetään taulukossa 3. Pienikokoisten palkkien poikkileikkaus oli 25x20 mm² ja jänneväli 450 mm. Suoritettiin yhteensä 50 testiä standardin EN 14358 mukaisesti. Taivutuslujuustesteistä saatiin keskimääräinen ja ominaistaivutuslujuus ja globaali kimmokerroin. Taivutuslujuuden arvo säädettiin 300 mm:n vertailukorkeudelle standardin EN 14358 mukaisesti.

Taulukko 3. Pienikokoisen viilupuupalkin (LVL-palkki) taivutuslujuustestien tulokset.

| Taivutus testi | $f_{m,m}$ (MPa) | $F_{M,K}$ (MPa) | $E_{m,g}$ (MPa) |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| LVL-palkit | 91.0 (9%) | 77 | 15702 (8%) |

*Suluissa olevat arvot vastaavat variaatiokerrointa

- $f_{m,m}$ (MPa) - Taivutuslujuus, keskiarvo;
- $f_{m,k}$ (MPa) - Taivutuslujuus, ominaisarvo;
- $E_{m,g}$ (MPa) - Globaali kimmokerroin (jännityksellä).

Vetolujuustestit kohtisuoraan syitä vastaan

Pienille näytteille tehdyistä testeistä saadut tulokset esitetään taulukossa 4. Testattiin näytteitä, joiden poikkileikkaus oli 55x50 mm² ja paksuus 20 mm. Suoritettiin 30 testiä standardin EN 14358 mukaisesti mekaanisten ominaisuuksien määrittämiseksi. Tuloksena määriteltiin keskimääräinen ja ominaisvetolujuus.

Taulukko 4. Pienten viilupuunäytteiden kohtisuoraan syitä vastaan toteutettujen vetolujuustestien tulokset

| Vetolujuustesti | $f_{t,90,m}$ (MPa) | $f_{t,90,k}$ (MPa) |
|---------------------|--------------------|--------------------|
| Pieni viilupuunäyte | 2.5 (35%) | 0.94 |

*Suluissa olevat arvot vastaavat variaatiokerrointa

- $f_{t,90,m}$ (MPa) - Kohtisuora vetolujuus, keskiarvo;
- $f_{t,90,k}$ (MPa) - Kohtisuora vetovastus, 5. persentiili.

TULOSTEN KÄSITTELY

Rakenteellisten palkkien taivutuslujuustestistä saatuja tuloksia voitiin verrata sahatavaran (EN 338) tai liimapuun (EN 14080) lujuusluokille määritelyihin arvoihin, vaikka jälkimmäinen soveltuu havupuulajeihin.

Jos taivutuslujuustestien tuloksia verrataan sahatavaran lujuusluokkiin, vertailukohdaksi voidaan ottaa lujuusluokat D40 ja D45. Samalla tässä testissä saatuja tuloksia voidaan verrata tuloksiin EGURALT-hankkeen puitteissa tehdyistä taivutustesteistä, joissa käytettiin 38 kappaletta 2-laadun pyökkisahatavaraa poikkileikkaukseltaan 120x30mm². Taulukossa 5 verrataan viilupuun ja sahatavaran lujuusluokkien ominaisuuksia.

Taulukko 5. Viilupuun (LVL) ja sahatavaran lujuusluokkien ominaisuuksia ja vertailu lujuusluokkiin D40 ja D45.

| Ominaisuus | D40 | D45 | LVL | Sahatavara |
|-------------------------------|------|------|------|------------|
| ρ_k (kg/m ³) | 550 | 580 | 641 | 616 |
| $f_{m,k}$ (MPa) | 40 | 45 | 46 | 34 |
| $E_{m,l}$ (MPa) | 13.0 | 13.5 | 13.4 | 13.1 |

*Suluissa olevat arvot vastaavat variaatiokerrointa

Havaitaan, että viilupuun taivutuslujuus on suurempi kuin testatun sahatavaranäytteen, vaikka toteutettiin vain 10 LVL-palkkien testiä (vaikuttaen negatiivisesti ominaisarvoon). Tämä on yhdenmukaista sen kanssa, että insinööripuutuotteet, kuten LVL, parantavat sahatavaran ominaisuuksia materiaalien paremman hyödyntämisen ja rakenteellisten elementtien sisältäminen virheiden vähenemisen ansiosta.

Analysoidessamme pienikokoisille näytteille suoritettujen taivutuslujuustestien tuloksia, havaitaan odotetusti, että nämä näytteet ovat vahvempia ja jäykempiä kuin rakenteellisesti mitoitettut palkit. Erytisesti vastusten välinen suhde on 1,67 ja yleinen kimmomoduuli 1,43, joka selittyy vähemmällä virheiden määrällä pienikokoisessa tuotteessa kuin rakenteellisessa tuotteessa. Toisaalta puristusprosessi kuumalevyipuristimella pienikokoisten testikappaleiden tuottamista varten on paremmin kontrolloitavissa kuin puristusprosessi suurella puristimella rakenteellisesti mitoitettujen palkkien tuottamista varten. Tämä voi vaikuttaa siihen, että pienillä koekappaleilla saatiin parempia tuloksia.

Kohtisuoraan syitä vastaan suoritettujen vetolujuustestien tulosten osalta voidaan todeta, että saatu ominaislujuus 0,94 MPa on korkeampi kuin EN338-standardissa kaikille lehtipuulajeille ilmoitettu lujuusluokka D (0,6 MPa).

PÄÄTELMÄT

Tässä työssä valmistettiin ja testattiin 2-laadun pyökkiviiluista valmistettua viilupuuta.

Taivutuslujuustestejä ja vetolujuuskokeita kohtisuoraan syitä vastaan tehtiin pienikokoisille ja rakenteellisesti mitoitetuille näytteille. Testeistä saatiin tyydyttäviä ja rohkaisevia tuloksia raaka-aineen mekaanisten ominaisuuksien osalta osoittaen sen soveltuvan pyökkiviilupuun tuotantoon. Taivutuslujuus ja jäykkyys olivat korkeammat viilupuussa kuin samaa alkuperää olevassa sahatavarassa.

Further information

<https://gofagus.es/>

Contacts

joseluis.villanueva@cesefor.com

FOREST4EU partners:



Funded by the European Union (Grant n. 101086216). Views and opinions expressed are however those of the authors only and do not necessarily reflect those of the European Union or REA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

