

Kierrätyspuusta lastupohjaiseksi insinööri- puutuotteeksi

Tiivistelmä

| | | |
|--|--|-------------------------|
| Tekijä(t) Niki Aholin | Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 37 | Valmistumisaika 2023 |
| Työn nimi Kierrätyspuusta lastupohjaiseksi insinööripuutuotteeksi | | |
| Tutkinto ja koulutusala Insinööri AMK, Puutekniikka | | |
| Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli valmistaa prototyyppi lastupohjaisesta insinööripuutuotteesta, jonka materiaalina olisi kierrätyspuu. Tavoitteena oli laminated strand lumber (LSL) tyyppinen rakenne, jolle tehtäisiin standardinmukaisia testejä. Opinnäytetyön kokeellisessa osassa tehtiin paljon virheitä. Käytettävissä olevat laitteet eivät soveltuneet parhaalla tavalla kyseisen tekniikan hyödyntämiseen. Lisäksi käytettävissä olevat liimat pakottivat turvautumaan liimareseptiin, joka ei soveltunut ruiskulevitykseen. Myös lastujen suuri menekki tuli yllätyksenä. Kokeellisessa osassa saatiin kuitenkin valmistettua kolme 1:2 pienoismallia prototyypistä. Tuotteen haurauden vuoksi testeistä kuitenkin luovuttiin.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa käytiin läpi tuotekehityksen määritelmää. Puujätettä ja sen määrää sekä nykytilaa ja tulevaisuutta käsiteltiin eri lähteiden avulla. Lainsäädäntöä käsiteltiin lähinnä puujätteen mahdollisen hyödyntämisen näkökulmasta. Kas kadiperiaatteeseen ja sen hyötyihin puujätteen kohdalla luotiin katsaus. Teoriaosuudessa käytiin myös suhteellisen laajasti läpi eri lastupohjaiset insinööripuutuotteet: oriented strand board, oriented strand lumber ja laminated strand lumber.</p> | | |
| Asiasanat Jätepuu, kierrätyspuu, Lastupohjainen insinööripuutuote, OSB, LSL, OSL, | | |

Abstract

| | | |
|--|------------------------------------|-------------------|
| Author(s) Firstname Lastname | Type of Publication Thesis, UAS | Published 20xx |
| | Number of Pages 37 | |
| Title of Publication From recycled wood to a strand-based engineered wood product | | |
| Degree, Field of Study Bachelor of Engineering, Wood technology | | |
| Abstract <p>The aim of the thesis was to make a prototype of a strand-based engineered wood product, the material of which would be recycled wood. The goal was a laminated strand lumber (LSL) type structure, for which standard tests would be performed. Many mistakes were made in the experimental part of the thesis. The available devices were not optimally suited to utilizing the technology in question. In addition, the available adhesives made it necessary to resort to an adhesive recipe that was not suitable for spray application. The high consumption of chips also came as a surprise. However, in the experimental part, three 1:2 scale models of the prototype were produced. However, due to the fragility of the product, the tests were abandoned.</p> <p>The definition of product development was reviewed in the theory part of the thesis. Wood waste and its amount, as well as the current state and the future, were processed using different sources. The legislation was discussed mainly from the point of view of the possible utilization of wood waste. An overview of the cascade principle and its benefits for wood waste was created. In the theory part, different strand-based engineered wood products were also relatively extensively reviewed: oriented Strand board, oriented Strand lumber and laminated Strand lumber.</p> | | |
| Keywords Waste wood, recycled wood, Strand-based engineered wood product, OSB, LSL, OSL, | | |

Sisällys

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Johdanto..... | 2 |
| 2 | Tuotekehitys | 3 |
| 2.1 | Ideointi ja arviointi..... | 3 |
| 2.2 | Kehittely ja testaus..... | 3 |
| 2.3 | Tuotteistaminen ja lanseerauksen valmistelu..... | 4 |
| 2.4 | Lanseeraus..... | 4 |
| 3 | Puujätteen kierrätys ja sen liiketoimintamahdollisuudet..... | 5 |
| 3.1 | Jätepuu, määrä ja maantieteellinen sijoittuminen..... | 5 |
| 3.2 | Lainsäädäntö ja jätteen käytön ohjaus | 6 |
| 3.3 | Puun kaskadikäyttö..... | 7 |
| 3.4 | Jätepuun uusiokäyttö nykyään ja tulevaisuuden liiketoiminnan mahdollisuudet .. | 9 |
| 4 | Lastupohjaiset insinööripuutuotteet (strand-based EWP´s)..... | 11 |
| 4.1 | Raaka-aineet ja valmistus..... | 11 |
| 4.2 | Oriented strand board, OSB | 14 |
| 4.3 | Laminated strand lumber, LSL..... | 17 |
| 4.4 | Oriented strand lumber, OSL | 19 |
| 5 | Kokeellinen osa | 20 |
| 5.1 | Kokeellisen osan tavoite | 20 |
| 5.2 | Kierrätyspuun hankinta ja lastujen valmistus..... | 20 |
| 5.3 | Lastujen liimoitus ja sirottelu | 22 |
| 5.4 | Kuumapuristus..... | 25 |
| 5.5 | Sahaus, liimaus ja viimeistely | 27 |
| 5.6 | Testit..... | 29 |
| 5.7 | Kokeellisen osan tarkastelua | 32 |
| 6 | Yhteenveto ja pohdinta | 33 |
| | Lähteet | 35 |

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö sai jonkinlaisen alkunsa kaksi vuotta sitten, kun tekijä osallistui LUT-yliopiston ja LAB-ammattikorkeakoulun yhteiseen Rakennus- ja purkupuusta valmistettujen tuotteiden tuoteturvallisuus (RAPUPUU) -hankkeeseen projektityöntekijänä. Projektin osana tutkittiin ja mietittiin painekyllästetyn puujätteen uudelleenkäyttömahdollisuuksia. Projekti oli mielenkiintoinen ja projektin päätyttyä jäi kovasti mietintään.

Lastupohjaiset insinööripuutuotteet ovat Suomessa varsin tuntemattomia. Kattavaa suomenkielistä materiaalia aiheesta on niukasti. Euroopassa on useita OSB-tehtaita, mutta vain yksi LSL-tehdas Espanjassa. Kuitenkin Pohjois-Amerikassa kyseiset tuotteet ovat kasvaneet valtavan suosituiksi.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli valmistaa jättepuusta lastupohjaisen insinööripuutuotteen prototyyppi ja tehdä sille standartinmukaisia testejä, kuten selvittää sen lujusteknisiä ominaisuuksia. Suunnitelmana oli valmistaa LAB-ammattikorkeakoulun laboratoriossa 25 millimetriä paksuja levyjä, joissa lastut olisi orientoitu pituusakselin suuntaisesti. Näitä levyjä sitten liimaamalla neljä päällekkäin päästäisiin 100mm paksuun rakenteeseen. Tavoitteena oli siis LSL:n kaltainen tuote.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään lyhyesti läpi tuotekehityksen aihepiiriä. Tarkastellaan jättepuun hyödyntämisen nykytilaa ja tulevaisuutta sekä käydään läpi oleellinen lainsäädäntö. Lisäksi luodaan katsaus kaskadiperiaatteeseen ja sen tarkoitukseen. Lastupohjaiset insinööripuutuotteet käydään läpi aina raaka-aineista loppukäyttötuotteisiin.

Opinnäytetyö on ajankohtainen. Puupohjaisilla materiaaleilla katetaan Suomen energiankulutuksesta noin 30 prosenttia. Lähestulkoon kaikki jättepuu päätyy Suomessa poltettavaksi energian tuotannossa. Euroopassa on käynnissä energiakriisi Venäjän hyökkäyssodan takia. Fossiilisista polttoaineista pyritään eroon kovaa vauhtia ja tehdään vihreää siirtymää. Turpeen ja puun poltosta käydään kovaa keskustelua. Samaan aikaan on päällä ilmastokriisi.

2 Tuotekehitys

Tuotekehityksen tavoitteena on vastata asiakkaiden tarpeisiin. Nämä tarpeet muuttuvat ajan kuluessa ja ovat siten otettava huomioon. Yrityksen on pysyttävä ajan hermolla vastatakseen muutoksiin vallitsevissa trendeissä, taloudellisessa kehityksessä sekä myös ilmastomuutoksessa. Tuotekehityksen päätarkoituksena on joko luoda täysin uudenlaisia tuotteita eli innovaatioita tai parannella jo olemassa olevaa tuotetta. (Bergström & Leppänen 2021.)

Bergström & Leppänen (2021) jakavat tuotekehityksen seuraaviin vaiheisiin

- Ideointi ja arviointi
- Kehittely ja testaus
- Tuotteistaminen ja lanseerauksen valmistelu
- Lanseeraus.

2.1 Ideointi ja arviointi

Ideat syntyvät innostuksesta. Samoin tarvitaan uskallusta tehdä asioita eri tavalla kuin aiemmin. Uusia ideoita tarvitaan, jotta voitaisiin luoda kasvua. Yleensä ideoiden puute ei ole yrityksille ongelma, ne alkavat vasta siinä vaiheessa, kun ideat pitäisi muuttaa konkreettisiksi palveluiksi tai tuotteiksi. (Villanen 2016.)

Ideoita arvioitaessa käydään läpi kehitetyt ideat ja pyritään selvittämään niiden tekninen toteuttamiskelpoisuus ja markkinointimahdollisuus sekä samalla punnitaan näitä yhdessä käytettävissä olevien resurssien kanssa (Bergström & Leppänen 2021).

2.2 Kehittely ja testaus

Kehittelyvaiheessa uuden tuotteen eri ominaisuuksia jatkokehitetään sekä rakennetaan tuotteen ympärille tuotanto- ja markkinointistrategiaa. Tässä vaiheessa tuotteesta on jo olemassa prototyypit tai mallinnukset, ja tuote pyritään näkemään kokonaisena. Tuote positoidaan eli pyritään sijoittamaan markkinoille kilpailijoiden tuotteisiin nähden. Lisäksi tuote on tarkoitus positoida kuluttajien mieliin. Tällä tarkoitetaan kuluttajien näkemystä ja mielikuvaa uudesta tuotteesta muiden valmistajien vastaavien tuotteiden joukossa. Positioidinnissa mietitään uuden tuotteen ominaisuuksia ja mitä kuluttajat arvostavat. Yksi tavallisimmista kilpailukeinoista on hinta. Muita arvostuksen ulottuvuuksia ja samalla eroja kilpailijoihin voivat olla mm. laatu, brändi, toimitusnopeus tai standartin mukaisuus. (Bergström & Leppänen 2021.)

2.3 Tuotteistaminen ja lanseerauksen valmistelu

Tuotteistamisella tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla uusi tuote valmistellaan tietynlaiseen muotoon, jossa se on myytävissä joko kerran tai useampaan kertaan kuluttajille. Tuotteistamalla saadaan uusi tuote helpommin ostettavaksi ja myytäväksi sillä tuotteistaminen muuttaa tuotteen mielikuvasta todelliseksi. Uusi tuote voidaan tuotteistaa myös vertailukelvottomaksi kilpailijoihin nähden, näin siitä saa paremman hinnan. (Villanen 2016.)

Tuotteistamisvaiheessa valmistaudutaan tulevaan uuden tuotteen lanseeraukseen. Tässä vaiheessa mietitään ja suunnitellaan lanseerauksessa välttämättömät toimet. Uudelle tuotteelle päätetään nimi sekä pakkaus aiempien testien pohjalta. Lisäksi uuden tuotteen suojaus (patentti, tavaramerkki) hoidetaan kuntoon. Uusi tuote ja sen hinnoitteluperusteet päätetään valmiiksi, samoin kuin jälleenmyyntiverkosto ja markkinointi sekä muut saatavuusratkaisut. Yritys tekee tässä vaiheessa tärkeitä ja välttämättömiä investointeja sekä hankkii tarvittavia koneita ja laitteita vastatakseen uuden tuotteen valmistukseen. Tuotteistamisvaiheessa päätetään myös tulevan lanseerauksen aikataulu ja varataan siihen riittävä budjetti sekä pyritään kaikin toimin varmistamaan lanseerauksen onnistuminen. (Bergström & Leppänen 2021.)

2.4 Lanseeraus

Onnistuneen lanseerauksen takana on onnistunut viestintä. Uudesta tuotteesta tarvitaan paljon erilaista tietoa. Kuluttajat täytyy saada kiinnostumaan tuotteesta. Varsinainen lanseeraus tehdään aiemman suunnitelman mukaisesti huolellisesti ja sen edistymistä seurataan. (Bergström & Leppänen 2021.)

Tuotekehitys ei kuitenkaan pääty lanseeraukseen vaan uutta tuotetta kehitetään jatkuvasti. Nyt nähdään kuluttajien suhtautuminen uuteen tuotteeseen. Lisäksi kehitetään erilaisia lisäpalveluita sekä tehdään tarvittaessa muutoksia tuotantomalliin. Tuotteen elinkaari alkaa lanseerauksesta. (Bergström & Leppänen 2021.)

3 Puujätteen kierrätys ja sen liiketoimintamahdollisuudet

3.1 Jätepuu, määrä ja maantieteellinen sijoittuminen

Suomessa syntyy joka vuosi useita miljoonia tonneja jätepuuta. Tuoreimmat tiedot jätepuun määrästä (Taulukko 1) löytyy tilastokeskuksen jätetilastoista ja ne ovat vuodelta 2020. Puujätteen kokonaismäärä oli noin 3 135 000 tonnia, josta 273 000 tonnia on peräisin rakentamisesta ja rakennusten purkamisesta. Puujätteestä ylivoimainen enemmistö on metsä- ja puuteollisuuden sivuvirtoja. (Tilastokeskus 2023, a.)

| Puujäte, 1000 tonnia | 2018 | 2019 | 2020 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | |
| Teollisuus | 3 559 | 2 582 | 2 743 |
| Rakentaminen ja purkupuu | 401 | 381 | 273 |
| Kotitaloudet ja palvelut | 98 | 76 | 103 |
| Yhteensä | 4 317 | 3 152 | 3 135 |

Taulukko 1. Jätepuun synty toimialoittain 2018–2020.

Suomessa syntyvä puujäte käytetään lähes kokonaan energiahyödyntämisessä (Taulukko 2). Teollisuuden sivutuotteet, ns. jätteet, ovat arvokasta raaka-ainetta. Teollisuudessa syntyvät puupohjaiset sivutuotteet ja biohajoava jäte hyödynnetään lähes kokonaan teollisuuden omissa prosesseissa, kuten tehtaiden energiantuotannossa. Varsinaista puujätettä, joka ohjautuu jätteenkäsittelyyn, syntyy eniten rakentamisessa ja purkamisessa. (Kokkonen ym. 2019; Suomen metsäyhdistys ry 2011, 35–36.)

| Puujäte, 1000 tonnia | 2018 | 2019 | 2020 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | |
| Energiahyödynnys | 3 143 | 2 535 | 2 319 |
| Hävityspoltto | 0 | 3 | 3 |
| Materiaalihyödynnys | 125 | 181 | 124 |
| Kaatopaikka tai muu hävitys | 2 | 3 | 1 |
| Yhteensä | 3 269 | 2 722 | 2 447 |

Taulukko 2. Jätepuun käsittely 2018–2020.

Suomessa rakennetaan eniten siellä missä on eniten ihmisiä eli kasvukeskuksissa ja eteläisen Suomen alueella. Rakennus- ja purkupuun määrät ja virrat ovat hyvin erilaisia eri puolilla maata. Rakennus- ja purkupuu ohjautuu pääsääntöisesti alueellisille jätehuoltoyhtiöille ja kierrätyslaitoksille. (Hyvärinen ym. 2021, 11.)

Rakentaminen, palvelut ja kotitaloudet tuottavat arviolta lähes 90 prosenttia kokonaispuujätteestä ja tästä lähes puolet syntyy Uudenmaan, Varsinais-Suomen, Kanta-Hämeen ja Pirkanmaan maakuntien väestökeskittymässä. (Pirhonen ym. 2011, 32-33.)

VTT:n tutkimusraportin pohjalta on otettu käyttöön käytetyn puun luokitukset laatuluokkiin A, B, C ja D puun kemiallisten ja mekaanisten epäpuhtauksien mukaisesti. Puhtain laatuluokka A käsittää puhtaan ja kemiallisesti käsittelemättömän puun, metsä- ja puutuoteteollisuuden sivutuotteet kuten sahateollisuuden jätteet ja teollisuuden puupakkaukset. Laatuluokkaan B määritellään kuuluvaksi kemiallisesti käsitelty puujäte, kuten maalattu tai lakattu puu. Tyypillisesti tähän luokkaan kuuluu esimerkiksi rakennustyömaiden puujäte. Käytännössä kaikki purkupuuta sisältyy laatuluokkaan C. Se on kemiallisesti käsiteltyä puuta, joka sisältää metallia, muovia tai muita epäpuhtauksia. Luokkaan C kuuluvasta puujätteestä täytyy voida analysoida epäpuhtauksien pitoisuudet asetettujen raja-arvojen alittamiseksi. Laatuluokka D on ongelmajätteeksi luokiteltua jätepuuta eli kyllästettyä puujätettä. (Häkämies ym. 2019, 8-9.)

Käytännössä puujätteen käsittely tapahtuu lähes poikkeuksetta C-jakeena. Puhtaampia A- ja B-jakeita ei eritellä erikseen vastaanottolaitoksilla sen vaatiman työvoiman ja resurssien takia. Näin biomassaksi luettava puhtaampi puuaineesiirryy C-luokan jätepuuksi. (Kokkonen ym. 2019.)

3.2 Lainsäädäntö ja jätteen käytön ohjaus

Euroopan unionin tasolla jätedirektiivi edellyttää, että rakennus- ja purkujätteistä 70 prosenttia on kierrätettävä materiaalina. Suomessa ei kuitenkaan ole tällä hetkellä yhtään toimijaa, joka käsitelisi merkittäviä määriä rakennus- ja purkupuuta materiaalina. EU-maissa keskimäärin rakennus- ja purkujätteen kierrätysaste on 47 prosenttia kun taas Suomessa jäädyään 26 prosenttiin. (Hyvärinen ym. 2021, 7; Kokkonen ym. 2019.)

Lainsäädäntö vaikuttaa merkittävästi kierrätyspuun mahdolliseen hyödyntämiseen rakentamistarkoituksessa. Suomessa on tiukat laatuvaatimukset rakennusmateriaaleille, joiden takia rakentamisen puujäte päätyy polttoon. On huomattavaa, että kantaviin rakenteisiin voidaan käyttää ainoastaan lujuusluokiteltua puuta. Kierrätyspuulle ei ole olemassa lujuusluokitusta ja sen hankkiminen myös on kallista. Lisäksi rakennustuoteasetus edellyttää kaikilta rakennustuotteilta rakentamisessa CE-merkintää. Tämä hankaloittaa osaltaan rakennusmateriaalien uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. (Häkämies ym. 2019, 2; Myller 2015, 22.)

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999

Laki sisältää määräyksiä koskien kierrätystä ja uudelleenkäyttöä. Rakennusten purussa tulee huolehtia syntyvän rakennusjätteen käsittelystä. Käyttökelpoinen rakennusmateriaali tulisi uudelleen käyttää. (Pirhonen ym. 2011, 15.)

Jätelaki 646/2011

Lain tarkoituksena on vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta, luonnonvarojen kestävä käytön edistäminen, toimivan jätehuollon varmistaminen ja roskaantumisen ehkäisy. Kaikessa toiminnassa tulisi noudattaa etusijajärjestystä. Ensisijainen velvoite on vähentää syntyvää jätettä ja sen haittaa. Ensisijaisesti syntyvä jäte tuli valmistella uudelleenkäyttöä varten. Toissijaisesti syntyvä jäte tulisi kierrättää. Kierrätysmahdollisuuden puuttuessa, on jätteenhaltijan hyödynnettävä jäte energiantuotannossa. Viimeisenä vaihtoehtona on jätteen kaatopaikkasijoitus tai poltto ilman energiahyödynnystä. (Hyvärinen ym. 2021, 22.)

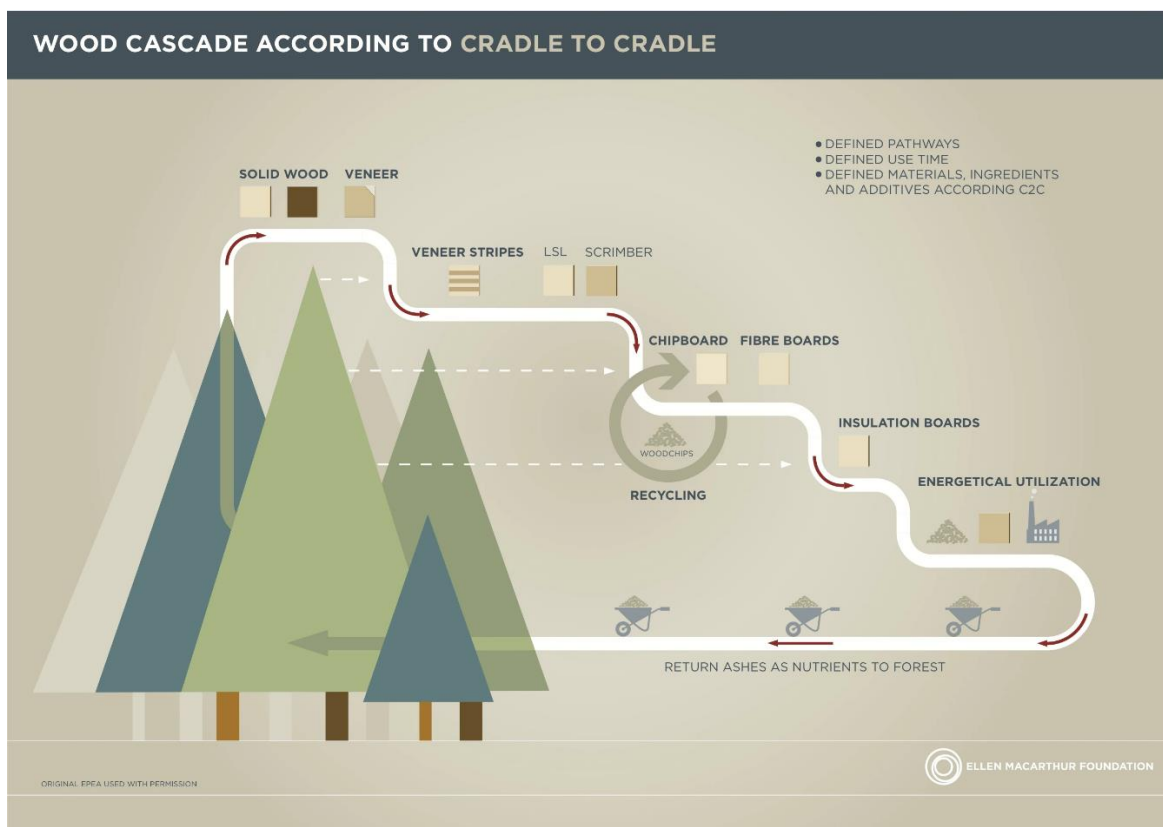
Ympäristönsuojelulaki 527/2014

Laissa määritetään tavoitteet ja toimenpiteet ympäristön pilaantumisen ehkäisyksi. Toimintaan, jossa vaarana on ympäristön pilaantuminen, tarvitaan ympäristölupa. Käytännössä ympäristölupaa edellytetään kaikessa ammattimaisessa jätteenkäsittelyssä mm. uudelleen käytön valmistelussa ja kierrätystuotteiden valmistuksessa. (Hyvärinen ym. 2021, 22-23; Pirhonen ym. 2011, 11-12.)

3.3 Puun kaskadikäyttö

Kaskadiperiaatteella tarkoitetaan raaka-aineiden käytön priorisointia eli tärkeysjärjestykseen asettamista, jonka tavoitteena resurssitehokkuuden aikaansaaminen. Puunkäytön kohdalla (kuva 1) tämä tarkoittaa aluksi jalostamista korkeamman asteen tuotteiksi, jotka uudelleen käytetään tai kierrätetään ja vasta viimeisenä hyödynnetään energiantuotannossa. (Sjöstedt 2018.)

Kaskadiperiaate voi viemällä käytäntöön edistää kiertotalouden ja kestävä käytön tavoitteita. Näitä tavoitteita ovat vähentää neitseellisten luonnonvarojen käyttöä ja samalla pienentää ympäristövaikutuksia, jotka johtuvat niiden hyödyntämisestä. Samoin materiaalien arvo kasvaa. Materiaali tulee hyödynnettyä jalostuksen lisäksi uudelleen käytön ja kierrätyksen muodostamissa ketjuissa. (Heponiemi, 2021.)



Kuva 1. Puun kaskadikäyttö. (Yemm 2014.)

Sivuvirtojen hyödyntäminen on kaskadikäyttöä ja samalla se edistää resurssitehokkuutta ja kiertotaloutta. Sivuvirtoja hyödyntämällä voidaan valmistaa sekundaarisia tuotteita, jotka ovat mahdollisesti vähemmän arvokkaita kuin itse päätuote. Yhtenä esimerkkinä sahateollisuudessa syntyvää sahanpurua, joka on sivuvirta, voidaan käyttää paitsi lastulevyjen ja pellettien valmistukseen, myös uusien, innovatiivisten materiaalien, kuten puupolymeerikomposiittien valmistukseen. (Heponiemi, 2021.)

Kaskadiperiaatteen noudattaminen materiaalikäytössä hyödyttää sekä suorasti että välillisesti. Suoria hyötyjä syntyy puunjalostuksen kaskadeissa, missä puumateriaaliin varastoitunut hiili pysyy kierrossa tuotteisiin sitoutuneena kaskadin eri portailla mahdollisimman pitkään ennen polttamista. Poltettaessa puupohjaisia materiaaleja lämmöksi ja energiaksi niihin varastoitunut hiili vapautuu takaisin ilmakehään hiilidioksidina. Välillisiä hyötyjä kaskadikäytöstä saadaan siten, että tuotteiden valmistuksen vaatima energiankulutus pienenee. Jos erilaisten tuotteiden koko elinkaaren aikaiset päästöt ja resurssien kokonaiskäyttö vähenevät, ekologista kestävyyttä voidaan parantaa. (Heponiemi, 2021.)

Vaikka kaskadikäytöstä saatavat ilmastolliset ja ympäristölliset hyödyt ovat merkittäviä, sen käyttö ei ole vielä kovin yleistä. Puuaines kiertää Suomessa materiaalina keskimäärin hie- man yli puolitoista kertaa, eli ei edes kaskadin toiselle portaal- le, ennen sen polttoa

energiaksi. Tämä vastaa myös hyvin lähelle EU:n keskiarvoa. Resurssien materiaali- ja energiakäytön kilpailuasetelma on suurin yksittäinen este kaskadikäytön yleistymiselle. Energiakäytöstä maksettava korvaus voi olla materiaalikäytöstä saatua markkinahintaa suurempi, vaikka materiaalilla olisi korkeampi jalostusarvo. Lisäksi myös paikallisuus, energiaomavaraisuus sekä työllistävyys voivat kannustaa energiakäyttöön. (Heponiemi, 2021.)

3.4 Jätepuun uusiokäyttö nykyään ja tulevaisuuden liiketoiminnan mahdollisuudet

Suomessa ei ole tällä hetkellä toimijaa, joka isossa mittakaavassa kierrättäisi jättepuuta uusien tuotteiden valmistukseen. Muualla Euroopassa, erityisesti Etelä-Euroopassa, on jo pitkään ollut yleinen tapa käyttää syntynyttä puujätettä lastulevyn valmistuksessa. Tämä ei kuitenkaan sovellu Suomen olosuhteisiin, sillä täällä on runsaasti käytettävissä olevaa sahateollisuuden sivuvirtaa, jota voidaan hyödyntää lastulevyn valmistuksessa. (Myller, 2015, 26.)

Rakennusjättepuuta syntyy merkittäviä määriä ja se on haasteellinen materiaalivirta, jonka kierrättämisen edistäminen vaatii uudenlaisia innovaatioita. Jätepuun kierrätysasteen nostaminen entisestään auttaisi EU:n jätedirektiivin vaatimusten täyttämässä ja samalla se edistäisi kiertotalouden toteutumista. Arvioidaan yleisesti, että jättepuun energiahyödyntäminen on hyvin perusteltua, kun yritetään välttää fossiilisia polttoaineita ja samalla jättepuun uudelleenkäyttö kierrättämällä hyväksikäyttäen olemassa olevia toimintatapoja ja tekniikoita ovat huonot. (CircHubs, 2018.)

Rakennuspuujätteen hyödyntäminen edellyttäisi huomioimaan seuraavia innovaatiotarpeita. Puujätteen laatua tulisi parantaa epäpuhtauksien, kuten metallien ja muiden ei-toivotujen partikkeleiden tehokkaalla poistamisella. Samalla puujätteen varastointia ja säilytystä rakennustyömailla tulisi kehittää. Lisäksi puujätteelle tulisi pyrkiä luomaan laadun standardointimenetelmät. Tarvitaan myös kierrätysteknologioiden kehitystyötä. (CircHubs, 2018.)

Jätepuun kierrätys Suomessa on tällä hetkellä pienimuotoista ja tapahtuu kierrättämällä puujäte alkuperäistä heikompileatuiksi tuotteiksi, tätä kutsutaan downcycling-ratkaisuksi. Maassamme ei ole suurtakaan kiinnostusta jättepuun uudelleenkäyttöön tai sen kehittämiseen kannattavaksi liiketoiminnaksi. Jätepuun kysyntä energiahyödyntämiseen on voimakasta. Lisäksi Suomessa on saatavilla runsaasti edullista ja helposti hyödynnettävää neitseellistä puuraaka-ainetta ja puuteollisuuden sivuvirtoja. On myös huomattavaa, että jättepuun laatuun liittyy usein hyödyntämistä rajoittavia ongelmia kuten epäpuhtauksia ja kosteusvaurioita. Lisäksi ihmisten mielikuvissa voi jättepuun käyttöön olla ennakkoluuloja. (CircHubs, 2018.)

Ilman uusia innovaatioita jätepuun lajittelu kierrätyskelpoiseksi vaatii paljon käsityötä, joka nostaa materiaalin hintaa. On myös syytä huomioida, että lainsäädäntö omalta osaltaan vaikeuttaa puujätteen uudelleenkäyttöä tai kierrätystä uusiksi tuotteiksi. Esimerkiksi rakennusmateriaaleille on laissa tiukat laatuvaatimukset. Kierrätyspuuta ei voi käyttää kantavissa rakenteissa sillä niille vaaditaan CE-hyväksyntä, jota ei kierrätyspuulle ole saatavilla. (CircHubs, 2018; Puutuoteteollisuus, 2022.)

Suomen kaltaisessa harvaanasutussa maassa etäisyydet ovat pitkiä, mikä omalta osaltaan vaikeuttaa puujätteen kierrätyksen mahdollisuuksia. Kuljetuskustannukset nostavat toiminnan helposti kannattamattomalle tasolle. Puujätteen murskaaminen pienemmäksi palakooksi auttaisi pienentämään kuljetuskustannuksia, mutta samalla se rajaisi pois joitakin hyödyntämisvaihtoehtoja, joissa tarve olisi suuremmalle partikkelikoolle. (CircHubs, 2018.)

4 Lastupohjaiset insinööripuutuotteet (strand-based EWP's)

4.1 Raaka-aineet ja valmistus

Insinööripuutuotteet (EWP) on erilaisista puumateriaaleista ja liima-aineista ja/tai kiinnikkeistä (kuten nauloista) valmistettu tuote, joka on tarkoitettu pääasiassa rakenteellisiin sovelluksiin. Pitkällisen tuotekehityksen ansiosta insinööripuutuotteet ovat kasvaneet suureksi perheeksi, jota on kuvattu kuvassa 2. Insinööripuutuotteilla on monia etuja perinteisiin massiivipuutuotteisiin verrattuna: insinööripuutuotteita voidaan valmistaa sellaisia kokoja, jota puun rungon koko ei rajoita. Insinööripuutuotteissa pystytään hyödyntämään monenlaisia puulajeja ja -kokoja, mikä mahdollistaa puuraaka-aineiden tehokkaamman käytön kuitujen, lastujen, viilujen ja puutavaran muodossa. EWP:lla on tasalaatuisia ja luotettavampia ominaisuuksia kuin massiivipuulla, koska massiivipuussa esiintyvät lujuutta vähentävät viat voidaan poistaa suuressa määrin tai sijoittaa tuotteissa vähemmän kriittisille vyöhykkeille. EWP:lla on parempi mittapysyvyys ja toleranssit kuin sahatavaralla, koska niiden valmistusprosessissa käytetään liimoja, kuivia puuelementtejä, lämpöä ja painetta. Lisäksi EWP:t voivat olla paljon helpompia mukauttaa markkinoiden vaatimuksiin kuin massiivipuun niiden suunnittelun ansiosta. (Gong 2021.)



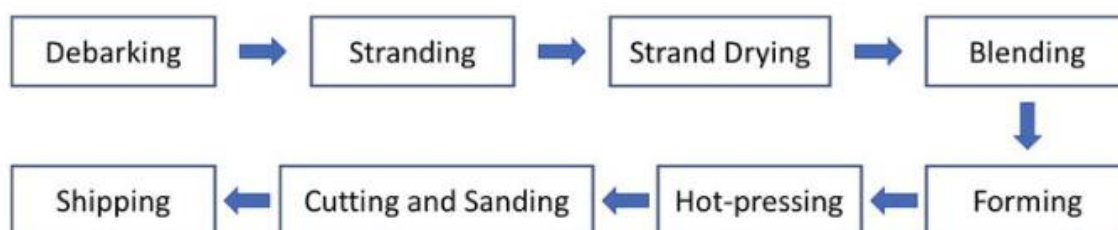
Kuva 2. Insinööripuutuotteiden perhe.

Globalissa näkökulmassa lisääntynyt väestönkasvu ja puun kysynnän kasvu sekä samalla kasvanut tietoisuus ympäristönäkökulmista on johtanut siihen, että lastupohjaisista insinööripuutuotteista on tullut tärkeä osa markkinoita muiden insinööripuutuotteiden rinnalle. Lastupohjaisten insinööripuutuotteiden yhtenä etuna verrattuna muihin insinööripuutuotteisiin on matalat raaka-aineen laatuvaatimukset. Valmistukseen soveltuu hyvin monenlainen puuaines ja useimmat puulajit, kuten taulukossa 3 on kuvattuna. Raaka-aineena pystytään hyödyntämään halvempaa pienikaliiberista ja nopeasti kasvavaa puuta, sahateollisuuden tai vanerin valmistuksen tähdettä sekä hakkuutähdettä. Raaka-aineeksi käy hyvin myös vi-not tai monihaaraiset puunrungot. Lastupohjaisista insinööripuutuotteista tunnetuin on Oriented strand board (OSB). Samankaltaista teknologiaa ja valmistustapaa hyödyntäen on kehitetty Laminated Strand Lumber (LSL) ja Oriented Strand Lumber (OSL), jotka voidaan nähdä OSB:n laajenuksena. Tuotteissa on enemmän yhtäläisyyksiä kuin eroja. (Forest Products Laboratory 2010, 11–21; Gao&Gong 2021.)

| Products | Generic raw material requirements | Preferred feedstock |
|---|---|---|
| Lumber-based EWPs such as GLT and CLT | Adequate strength, stiffness, and stability; small knots | Lumber from mature trees, but low-grade lumber for central layers |
| Veneer-based EWPs such as plywood and LVL | Large diameter logs; easy of being peeled | Mature trees with a large diameter |
| Strand-based EWPs such as OSB, LSL, and OSL | No specific requirements in mechanical properties and dimension of logs | Mature or juvenile logs, wood derived from small-diameter logs, forest residues, and wastes from the production of lumber or veneer |

Taulukko 3. Insinööripuutuotteiden raaka-aineiden laatuvaatimukset. (Gao&Gong 2021.)

Käytännössä lastupohjaisten insinööripuutuotteiden valmistuksessa voidaan käyttää lähes mitä tahansa matala- ja keskitiheyksisiä puulajeja (300–600 kg/m³). Valmistusprosessia on kuvattu kaaviossa 1. Kaikkien lastupohjaisten insinööripuutuotteiden valmistus on hyvin samankaltaista. (Beck ym.2009, 267–268; Gao&Gong 2021.)



Kaavio 1. Lastupohjaisten insinööripuutuotteiden prosessikaavio. (Gao&Gong 2021.)

Puut liotetaan ensin kuumavesialtaassa ennen kuorimista. Tämä auttaa irrottamaan puun kuorta ja pehmentämään puuainesta lisäämällä tukkien kosteuspitoisuutta. Näin halutun lastukoon saavuttaminen on helpompaa. Tuoreet puut lastutaan rumpu- tai laikkahakkurilla niin, että lastu leikkautuu tangentiaalisesti säilyttäen puun lujuusominaisuudet. Yleensä valmiit lastut ovat 75–300 mm pitkiä, 15–25 mm leveitä ja 0,3–0,8 mm paksuja. Lastun geometrialla on olennainen vaikutus valmiiden tuotteiden ominaisuuksiin. Näin ollen lastujen lajittelu seuloilla on tärkeää erottamaan lastut, jotka eivät täytä laatuvaatimuksia. (Gao&Gong 2021; Varis 2017, 189.)

Laikkahakkuri on yksinkertaisempi ja edullisempi sekä sillä on hyvä tuotantotehokkuus. Lisäksi halutun lastukoon muuttaminen on helppoa. Laikkahakkurin raaka-aineena voi kuitenkin käyttää vain suurikokoisia tukkeja. Toisin kuin laikkahakkurit, rumpuhakkurit soveltuvat erilaisiin raaka-aineiden muotoihin, mikä tarkoittaa alempia lastun tuotantokustannuksia. (Gao&Gong 2021.)

Lastun pituus sekä paksuus-pituus-suhde, korreloivat vahvasti valmiin tuotteen taivutus- ja vetolujuusominaisuuksiin sekä lujuuteen. Pidemmällä lastulla on paremmat taivutusominaisuudet, samoin kuin parempi vetolujuus. Paksuus-pituus-suhteen kasvaminen parantaa taivutusominaisuuksia aina suhdelukuun 1:300 saakka. Ohuemmista lastuista saadaan vahvempia tuotteita. Tämä johtuu lastujen paremmasta kontaktista toisiinsa ja samalla lastujen väliin jää vähemmän aukkoja. (Beck ym. 2009, 268; Mirski ym. 2019, 6686;6693.)

Lastujen kosteuspitoisuus vaikuttaa myös suuresti lastujen väliseen sidoslaatuun. Tyypillisesti lastujen kuivaamiseen käytetään rumpukuivainta tavoitteena 2–6 %:n lopullinen kosteuspitoisuus. (Gao&Gong 2021; Varis 2017, 189.)

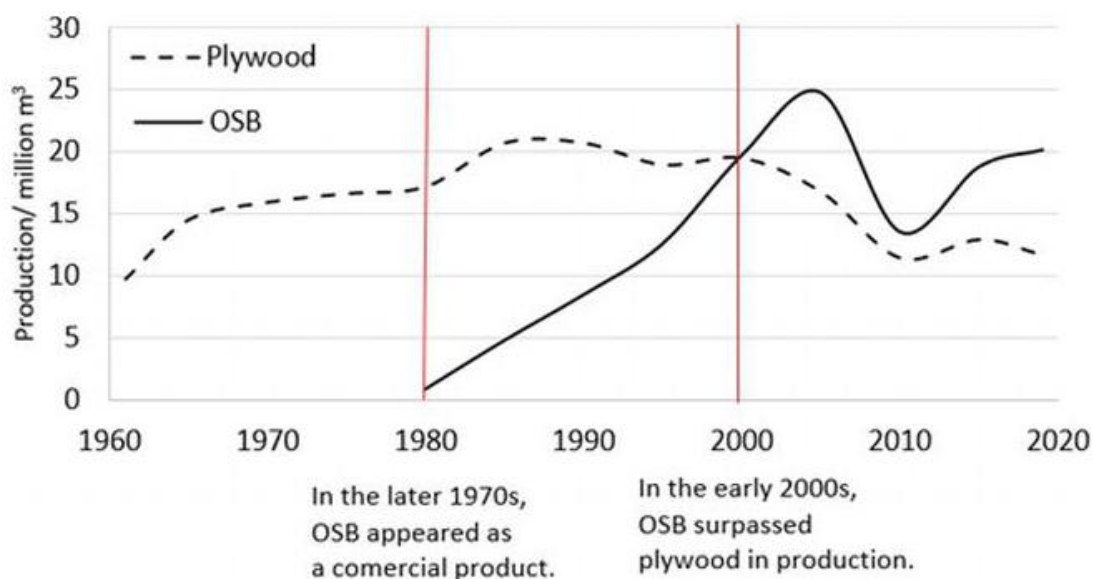
Lastun geometrian lisäksi suuri vaikutus valmiin tuotteen ominaisuuksiin on liimalla. Liimoina käytetään fenoliformaldehydi- (PF) melamiiniureaformaldehydi- (MUF) tai isosyanaatti- (PMDI) hartsia. Nämä ovat kaikki kosteudenkestäviä liimoja. Kovettuneet hartsit kestävät lämpötilan ja kosteuden vaihteluita ja näin tuotteet säilyttävät mekaanisen lujuutensa ja mittatarkkuutensa. Liimoitus suoritetaan rummussa ja liiman lisäksi lastuihin sekoitetaan vahaa parantamaan lopullisen tuotteen kosteudenkestoa. (Gao&Gong 2021; Varis 2017, 189.)

Fenoliformaldehydihartsi (PF) on laajimmin käytössä oleva liima. Sillä on kovettuaan erinomaiset ominaisuudet. Sen suurin haittapuoli on kuitenkin pitkä kovettumisaika mikä johtaa valmistuksessa pidempiin puristusaikoihin ja kovempaan puristuslämpötilaan. Isosyaniittihartsia (PMDI) käytetään fenoliformaldehydihartsin vaihtoehtona ja PMDI:n käyttö on lisääntymässä. Vaikka PMDI on kalliimpaa, sen etuna on nopea kovettuminen ja suurempi toleranssi lastujen kosteuspitoisuudelle. Tyypillisesti PMDI- hartsia käytetään tuotteen

keskikerroksissa ja PF- hartsia levyn pintakerroksissa. PMDI- hartsin käyttö tuotteen pinta-kerroksissa voi olla ongelmallista, koska hartsi luo erittäin tiukan tartunnan puristimen levyihin. (Gao&Gong 2021.)

4.2 Oriented strand board, OSB

Pohjois-Amerikassa, Oriented strand board (OSB)-levyn tuotanto on kasvanut erittäin nopeasti. OSB- levy saavutti toisen insinööripuutuotteen ja pahimman kilpailijansa vanerin vuosittaisen tuotannon parissa kymmenessä vuodessa ja meni kirkkaasti ohi, kuten kuvasta 3 on nähtävissä. (Gao&Gong 2021.)



Kuva 3. OSB:n ja vanerin tuotanto Pohjois-Amerikassa. (Gao&Gong 2021.)

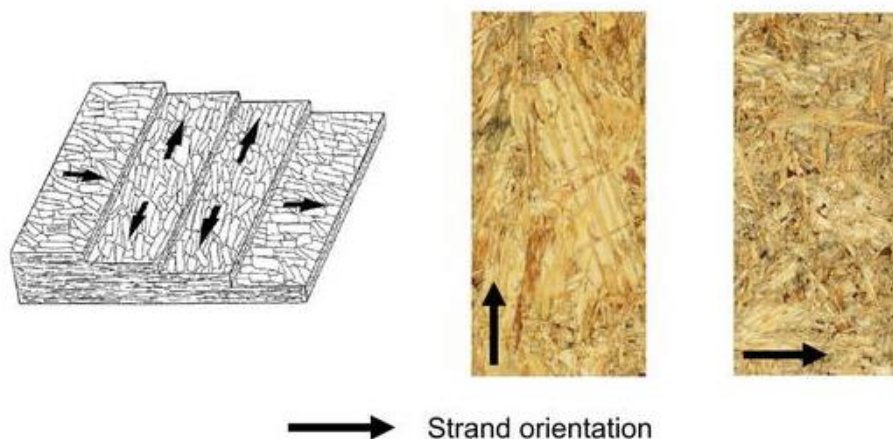
OSB on rakenteellinen puulevy, joka on valmistettu liimaamalla pitkiä suunnattuja lastuja. Tällä tavoin valmistettu levy on sileä ja siinä näkyy kuvan 4 mukaisesti puunlastujen ominaispiirteet. OSB-levyn valmistustekniikka on lähellä lastulevyn valmistusta, sen sijaan tuotteen ominaisuudet muistuttavat läheisesti viilupohjaisia levyjä. OSB-levyn valmistuksessa lastujen pituus on noin 75 mm, leveys 25 mm ja paksuus 0,4–1,0 mm (Varis 2017, 189.)



Kuva 4. Oriented strand board (OSB). (APA – The Engineered Wood Association a.)

Levyjen valmistuksessa on tärkeää saada riittävä tartuntasidos lastujen välille. Pintakerroksissa käytetty liimapitoisuus on 3–6 % ja keskikerroksessa 4–8 %. Keskikerroksissa käytetään yleensä pienempää lastukokoa kuin pintakerroksissa. Tästä syystä keskikerroksissa on enemmän tartuntapinta-alaa, joten vastaavasti tarvitaan enemmän liimaa. Liimoituksessa liiman sekaan sekoitetaan vahaa 0,25–2 %. Vaha lisää levyn kosteudenkestoa ja vähentää kosteuden aiheuttamaa reunaturvotusta. Lastujen pinta- ja keskikerrosten liimoitus tehdään käytännössä erikseen eri rummuissa liiman ja vahan levitysmäärän, lastun koon ja liima-aineen tyyppien erojen vuoksi. Siksi tuotantolinjaan tarvitaan vähintään kaksi liimoitusrumpua, toinen pintakerroksen lastuille ja toinen keskikerroksen lastuille. (Gao&Gong 2021.)

OSB-levyjen ominaisuuksia voidaan muokata teknisesti muuttamalla lastun kokoa, suuntausta ja kerrosrakennetta, jolloin OSB sopii eri käyttötarkoituksiin. Pitkien lastujen suuntaus ja osuus pintakerroksissa vaikuttavat merkittävästi OSB:n taivutusominaisuuksiin. Yleensä noin 80 % lastuista on suunnattu levyn pituussuuntaisesti ominaisuusvaatimusten täyttämiseksi. Lastut sirotellaan yleensä mekaanisesti kuljetushihnalle ja samalla suunnataan lastut oikein levyn eri kerroksiin kuvan 5 mukaisesti. Pitkät isokoisemmat lastut suunnataan levyn pituussuuntaisesti pintakerrokseen ja pienikokoisemmat lastut keskikerrokseen. (Gao&Gong 2021.)



Kuva 5 Lastujen suuntaus OSB-levyssä. (Gao&Gong 2021.)

Sirottelun jälkeen käytetään usein lastumaton esipuristusta ennen kuumapuristusta, vaikka tämä vaihe ei olekaan pakollinen. Esipuristus voi tehokkaasti vähentää reunan romahtamisen riskiä kuumapuristuksen aikana. Lisäksi esipuristus voi myös lyhentää puristusjakson aikaa ja vähentää hartsin liian aikaisen kovettumisen riskiä, koska esipuristus puristaa paljon ilmaa matosta. (Gao&Gong 2021.)

Kuumapuristus on tärkein prosessi, joka kovettaa lastujen väliset liimat lämmön ja paineen alaisena. Monivälipuristinta käytetään laajalti OSB:n valmistuksessa Pohjois-Amerikassa. Monivälipuristimen puristuslevyjen koko on yleensä $3,66 \times 7,63$ m (12×25 jalkaa), mutta se voi olla jopa $3,66 \times 12,2$ metriä (12×40 jalkaa). Lämmitetyt puristuslevyt riittävät tuottamaan ja siirtämään lämpöä maton pinnoilta ytimeen liimojen kovettamiseksi. (Gao&Gong 2021.)

Lämpötila on kuumapuristuksen aikana $175\text{--}205$ °C välillä PF-liimoille. Puristus kestää yleensä 3–6 minuuttia. Puristusaika riippuu suuresti liimatyyppistä, levyn tiheydestä ja paksuudesta. Teoreettisesti puristusajan ja OSB-levyn paksuuden välinen suhde on nelinkertainen, kun tiheydet ovat samanlaiset. Esimerkiksi 18 mm paksun OSB-levyn kuumapuristusaika on noin neljä kertaa 9 mm paksuisen. Tämä tarkoittaa, että OSB-levyjen käsittelyaika ja -kustannukset kasvavat huomattavasti paksuuden kasvaessa. Paksuja OSB -levyjä valmistettaessa onkin monissa tehtaissa siirrytty käyttämään korkeataajuista puristinta tai höyryinjektiopuristinta puristusajan lyhentämiseksi ja kustannusten pienentämiseksi. Tavallisesti kuumapuristuksessa käytettävä paine on $4800\text{--}5500$ kPa ($4,8\text{--}5,5$ MPa). Kun liima on täysin kovettunut, OSB-levyt leikataan haluttuihin mittoihin ja hiotaan nimellispaksuuteen. Lopuksi jokaisen paneelin reunat on päällystetty sinkkiboraatilla ja oksiinikuparilla sen kestävyden parantamiseksi. (Gao&Gong 2021.)

OSB- levyjä valmistetaan 6–40 mm:n paksuisina. Levyjen vakiintuneet mitat ovat 2440 mm x 1200 mm, 2440 mm x 1220 mm ja 2500 mm x 1250 mm. Levyt ovat käyttötarkoituksen mukaan suorareunaisia tai pontattuja. Levyt jaotellaan standardin EN 300 mekaanisten ominaisuuksien ja kosteudenkeston mukaan neljään luokkaan:

- OSB/1 Yleiskäyttöön sopiva levy, sopii sisustukseen ja huonekaluihin kuiviin olosuhteisiin
- OSB/2 Kuormitusta kestävä levy kuiviin olosuhteisiin
- OSB/3 Kuormitusta kestävä levy kosteisiin olosuhteisiin
- OSB/4 Raskasta kuormitusta kestävä levy kosteisiin olosuhteisiin.

Euroopassa valmistetaan pääasiallisesti OSB/3- ja OSB/4- levyjä. OSB:n fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet riippuvat suoraan puulajista, lastun koosta, liimatyypistä ja valmistuksen parametreista. OSB- levy on erittäin monikäyttöinen levy. Levyllä on samankaltaiset fyysiset ja mekaaniset ominaisuudet kuin vanerilla ja siksi käyttökohteetkin ovat samankaltaisia. Yksi OSB:n tärkeimmistä käyttökohteista on rakennusten verhoilu, kuten katto, lattia ja seinä kevytrunkorakenteessa. Toinen merkittävä käyttökohde on I-palkkien uumalevynä. (Gao&Gong 2021; Varis 2017, 189.)

4.3 Laminated strand lumber, LSL

Laminated strand lumber (LSL) ja Oriented strand lumber (OSL) kehitettiin vastauksena mitallistetun sahatavaran kasvavaan kysyntään. LSL:stä ja OSL:stä on tullut massiivipuun ja LVL:n korvikkeita monissa sovelluksissa, kuten parruissa, palkeissa ja pilareissa. LSL:n ja OSL:n merkittäviä etuja esimerkiksi LVL:ään verrattuna ovat alhaisemmat materiaalivaihtimukset, parempi materiaalihyödynnettävyys ja vakaat ominaisuudet. (Gao&Gong 2021.)

LSL (kuva 6) muistuttaa ulkonäöltään OSB- levyä, koska ne on molemmat valmistettu samanlaisista puulajeista ja lastuttu samantalaisella tekniikalla. LSL on hyvin ennustettava, yhtenäinen puutuote, koska luonnolliset viat, kuten oksat, syyn kaltevuus ja halkeamat, ovat levinneet koko materiaaliin tai ne on poistettu kokonaan valmistusprosessin aikana. LSL:lla on luotettavat ja tasalaatuiset lujuus- ja jäykkyysominaisuudet, jotka minimoivat kiertymisen ja kutistumisen ja tarjoaa hyvän mittavakauden. Laminated strand lumber on patentoitu tuote, ja siksi kunkin valmistajan tekniset ominaisuudet ja koot ovat yksilöllisiä. Näin ollen LSL:llä ei ole yhteistä tuotantostandardia ja yhteisiä suunnitteluarvoja. (Canadian wood council 2022a.)



Kuva 6. Laminated Strand Lumber (LSL). (APA – The Engineered Wood Association b.)

Laminated strand lumber (LSL) ja Oriented strand lumber (OSL) ovat OSB:n johdannaisia, sillä ne kaikki on valmistettu lastuista. Tästä johtuen tuotteilla on hyvin paljon yhtäläisyyksiä. Suurin ero on, että LSL:ssä käytetyt lastut ovat pidempiä kuin OSL:ssä ja OSB:ssa. LSL:ssä käytettävien lastujen pituus-paksuussuhde on noin 150, lastun mitat ovat pituudeltaan 230–356 mm ja leveydeltään 15–25 mm. Lisäksi toisin kuin OSB:ssä, LSL:ssä ja OSL:ssä lastut suunnataan pituusakselin suuntaisesti. (Gao&Gong 2021.)

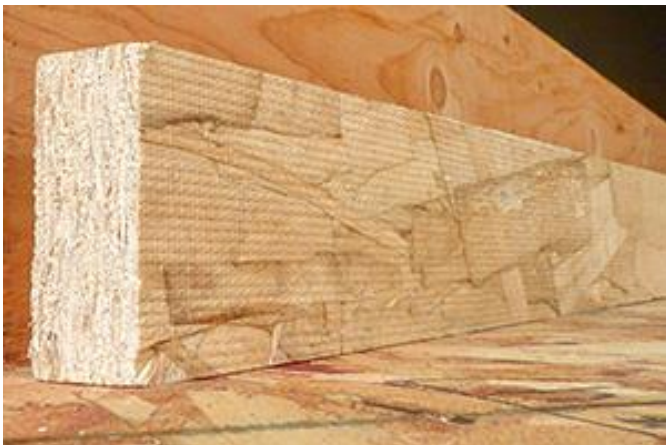
LSL:n paksuus on suurempi kuin OSB:n; näin ollen fenoliformaldehydihartsia (PF) ei sovellu LSL:n valmistukseen. Sen sijaan käytetään isosyanaattiliimaa (PMDI), joka voi lyhentää puristusaikaa merkittävästi PF:ään verrattuna. LSL-valmistuksen liimoitus- ja sirotteluprosesit ovat samanlaisia kuin OSB-valmistuksen, lukuun ottamatta lastujen suuntausta. LSL:ssä lastut on aina suunnattu pituussuuntaisesti koko sen paksuuden läpi. Tämä voi auttaa aikaansaamaan suhteellisen korkeat mekaaniset ominaisuudet akselin suuntaisesti lopputuotteissa. LSL-maton paksuus voi olla 406 mm (16 tuumaa) ja 2440 mm (8 jalkaa) leveä. LSL:n valmistuksessa käytetään yksinomaan yksiväliapuristinta, koska sen etuna on puristusjakson lyhentäminen ja yhtenäisen pystysuoran tiheysprofiilin saaminen. Joskus höyryinjektiota käytetään kuumapuristuksen aikana nostamaan nopeasti ydinkerrosten lämpötilaa, lyhentämään puristusaikaa, pitämään tasaisen tiheysprofiilin koko paksuuden läpi ja minimoimaan vääntymistä. Puristetut LSL-levyt leikataan mittoihin ja testataan ennen reunasuojauksia. LSL-tuotteiden kosteuspitoisuus vaihtelee välillä 7–10 %. (Gao&Gong 2021.)

Pohjois-Amerikassa LSL:n nimellimitat ovat yleensä samanlaiset kuin markkinoilla olevan puutavaran. Jotkut valmistajat tarjoavat myös erikoiskokoisia tuotteita erikoissovelluksiin. LSL:n tiheys on noin 15 % korkeampi kuin OSB:n, ja se vaihtelee välillä 640–670 kg/m³. LSL:n jäykkyys on suurempi kuin LVL:n ja LSL:n vetolujuus on samanlainen kuin mitallistetulla rakennepuutavaralla. (Gao&Gong 2021.)

Koska LSL on patentoitu tuote, jokaisen LSL- tuotteen erityiset suunnitteluarvot, kuten sallitut jännitykset, liitosten välinen etäisyys ja sallittu jännityskuorma, löytyvät valmistajien toimittamista ohjeista. LSL-tuotteita käytetään esimerkiksi asuinrakennusten puurunkorakentamisessa päätyinä, palkkeina ja kattokannakkeina. Jotkut tutkijat ovat alkaneet kehittää uusia LSL:n sovelluksia. Esimerkiksi New Brunswickin yliopisto ja Albertan yliopisto Kanadassa ovat kehittäneet hybridi -CLT:tä (hybrid cross-laminated timber, HCLT) paneelituotteen, joka on valmistettu LSL/OSL:stä ja mitallistetusta puutavarasta. (Gao&Gong 2021.)

4.4 Oriented strand lumber, OSL

Orieted strand lumber (OSL) valmistetaan lastuista, joiden pituus-paksuussuhde on noin 75. OSL:ssä käytetyt lastut ovat lyhyempiä kuin LSL:ssä, yleensä 100–150 mm pitkiä ja 15–25 mm leveitä. Lastut liimoitetaan ja suunnataan ja sirotellaan suureksi matoksi ja puristetaan. OSL muistuttaa ulkonäöltään OSB- levyä (kuva 7), mutta toisin kuin OSB:ssä, OSL:n (sekä LSL:n) lastut on suunnattu yhdensuuntaisesti pituusakselin kanssa. OSL on patentoitu tuote, tästä syystä tuotteiden tekniset ominaisuudet ja mitat ovat uniikkeja jokaiselle valmistajalle. Tuotteelle ei ole olemassa yhteisesti sovittuja standardeja. (Canadian wood council. 2022b.; Gao&Gong 2021.)



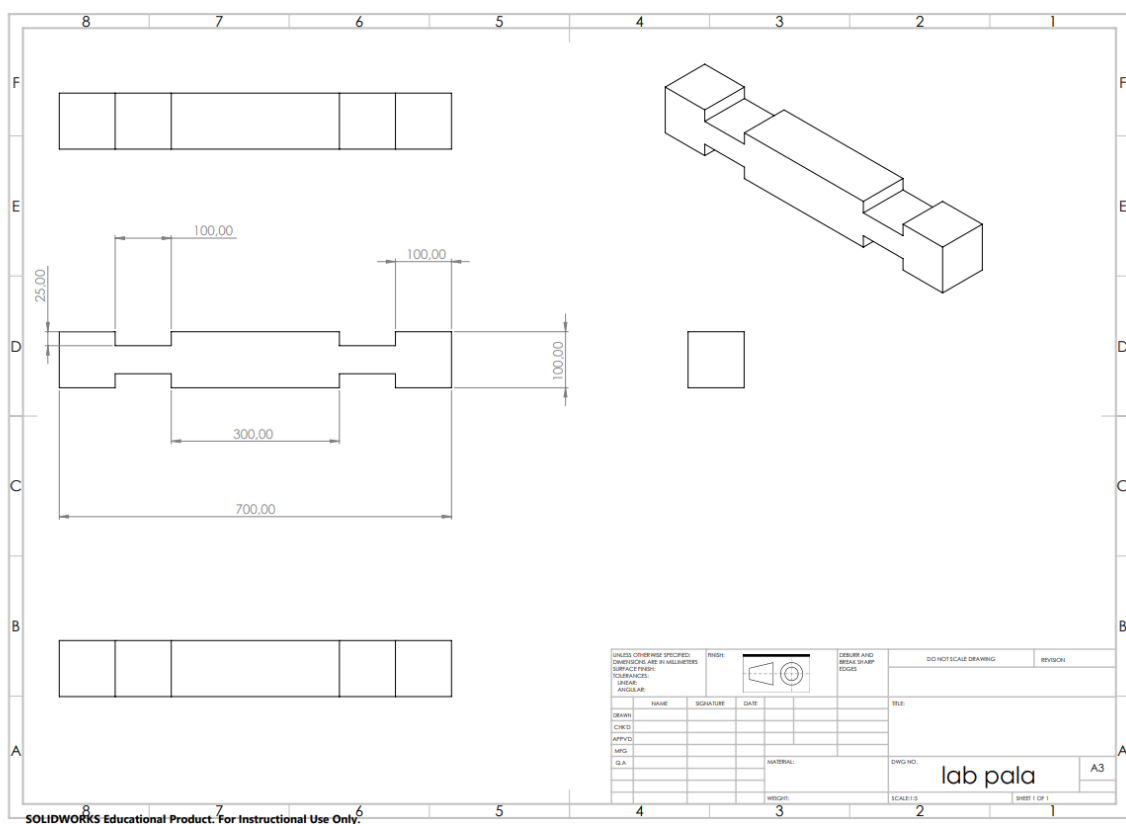
Kuva 7. Oriented Strand Lumber (OSL). (APA – The Engineered Wood Association c.)

OSL:ää käytetään ensisijaisesti asuin-, liike- ja teollisuusrakentamisen rakennerunkoina. OSL:n yleisiä sovelluksia rakentamisessa ovat päädyt ja palkit, korkeat seinäparrut, kattokannakkeet, ja ikkunoiden puitteet. (Canadian wood council. 2022b.)

5 Kokeellinen osa

5.1 Kokeellisen osan tavoite

Kokeellisessa osassa oli tarkoitus valmistaa kierrätyspuusta lastupohjainen insinööripuutuote. Tavoitteena oli laminated strand lumber -tekniikalla valmistettu uuden tuotteen prototyyppi (kuva 8). Tuote oli tarkoitus valmistaa LAB-ammattikorkeakoulun puutekniikan laboratoriossa. Laboratorion kuumapuristimen maksimimitat olivat 700mm x 700mm, ja tämä määritteli myös valmistettavan prototyypin mittoja. Tavoitteena oli valmistaa 25mm paksuisia mattoja, joista sahattaisiin 100mm leveitä suikaleita ja näitä liimaamalla päällekkäin saataisiin 100mm paksu prototyypin rakenne.



Kuva 8. Prototyypin piirustus.

5.2 Kierrätyspuun hankinta ja lastujen valmistus

Ideoidun tuotteen prototyypin valmistusta varten tarvittava materiaali saatiin Etelä-Savosta Juvalta vuonna 1961 valmistuneesta vanhasta tallirakennuksesta, joka oli romahtanut talvella 2022 katolla olleen lumikuorman seurauksena. Rakennus oli puurakenteinen, rakennettu mäntysahatavarasta. Prototyypin valmistukseen valittiin rakennuksen kantavissa rakenteissa käytettyä 50mm x 100mm lankkua ja 22mm x 125mm ulkoverhouslautaa.

Sopivan laitteen löytäminen tarvittavien lastujen valmistusta varten osoittautui haastavaksi. Kaikki kartoitetut laitteet oli tarkoitettu hakkeen tai murskeen valmistusta varten, joten ne eivät soveltuneet tasalaatuisen pitkän lastun valmistukseen. Lastuamisessa päädyttiin testien jälkeen höyläämään tarvittavat lastut käsin.

Laudat ja lastut sahattiin sirkkelillä tavoitepituuteen 120 mm. Sahaus suoritettiin niin, että naulat, ruuvit ja muut epäpuhtaudet, samoin kuin suurimmat oksat sahattiin pois. Tämän jälkeen sahatut laudan- ja lankunpätkät laitettiin suureen saaviin lämpimään veteen upoksiin pariiksi päiväksi.

Täysin vedellä kyllästyneet puukappaleet kiinnitettiin työtasoon ja höylättiin tavallisella käsihöylällä lastuiksi. Lastuamisen aikana lastuista valikoitiin visuaalisesti parhaimmat ja yhtenäisimmät lastut prototyypin valmistukseen (kuva 9). Lastuamisen tuloksena saatiin riittävän tasalaatuista lastua. Lastujen keskimääräinen koko oli noin 120mm x 15–40mm x 0,5–0,8mm. Lastuamisen jälkeen lastut siroteltiin kuivumaan lattialämmitetylle tasolle.



Kuva 9. Valmiita lastuja.

Prototyypä varten kasattiin 25mm x 150mm sahatusta laudasta neliön kokoinen muotti, joka oli mitoiltaan puristimen maksimikoko 700mm x 700mm . Lisäksi tehtiin rimoista ja narusta sekä teipistä apuvälinen liimoitettujen lastujen sirottelu varten (kuva 10).



Kuva 10. Lastujen sirotteluväline.

Lastut siroteltiin kokeeksi muottiin ennen liimoitusta. Lastuja aseteltiin muottiin noin 70mm paksuinen kerros ja sitten lastumäärä punnittiin. Yhteen muotilliseen menisi lastuja noin 1600 grammaa. Tämä riitti yhteensä kolmen levyn puristamiseen.

5.3 Lastujen liimoitus ja sirottelu

Lastujen liimoitusta varten oli käytettävissä ureaformaldehydihartsia sekä fenoliformaldehydihartsia, joiden käyttöikä oli tulossa päätökseen. Liimoitukseen valittiin fenoliformaldehydihartsia, jota yleisesti käytetään lastupohjaisen insinööripuutuotteiden valmistuksessa.

Liiman reseptinä käytettiin samaa reseptiä kuin vanerikurssilla vanerin valmistukseen käytetään:

- Prefere 14J021, 1000g
- Prefere 24J662, 200g
- Vesi, 235g.

Liima valmistettiin ja sekoitettiin ohjeen mukaisesti (kuva11).



Kuva 11. Valmista liimaa.

Liimoitus oli tarkoitus suorittaa laboratorion liimoitusrummussa. Rumpu ei kuitenkaan soveltunut pitkien lastujen liimoitukseen, sillä lastut tahtoivat koekäytössä jäädä jumiin rumpun akselin ympärille ja vaarana olisi ollut jopa laitteen rikkoontuminen. Lastut päätettiin liimoittaa betonirummussa (kuva 12).



Kuva 12. Lastujen liimoitusta betonimyllyssä.

Betonimyllyllä tehtiin koeajoja ja päädyttiin siihen, että oli järkevintä liimoittaa puolet (800g) yhteen levyyn tarvittavista lastuista kerralla. Liimamääräksi arvioitiin 10% sopivaksi lastujen määrästä. Liima oli tarkoitus sumuttaa paineilman avulla myllyyn. Tässä kohdattiin haasteita, liima ei levinnyt ruiskusta tarkoituksenmukaisesti sumuna vaan lähinnä yskien. Valittu liimaresepti oli tarkoitettu telalla tapahtuvaan levitykseen, ei sumutukseen. Liimoitus betonimyllyllä oli myös haastavaa, lastut eivät pyörineet kunnolla ja sekoittamista piti avustaa käsin. Liimoitus jäi hyvin epätasaiseksi, jotkut lastut liimoittuivat tyydyttävästi, kun taas toiset jäivät kokonaan ilman liimaa.

Lastut siroteltiin käsin muottiin apuvälineen avulla. Lastut oli tarkoitus suunnata pituusakselin myötäisesti. Sirottelu käsityönä osoittautui hyvin hitaaksi. Aikaa kului paljon

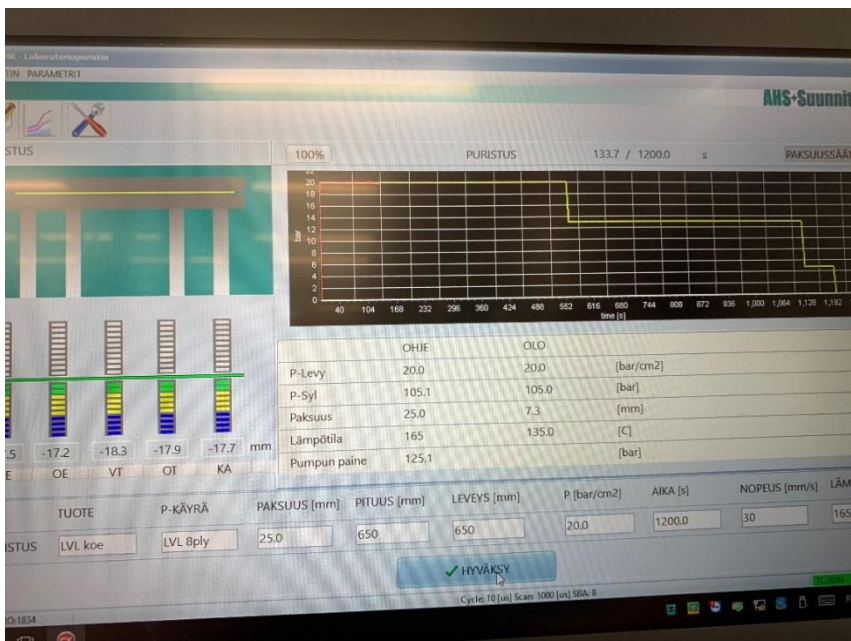
poikittaisten ja pystyssä olevien lastujen oikaisemiseen. Sirottelulla saatiin kuitenkin suurin osa lastuista suunnattua haluttuun muotoon (kuva 13).



Kuva 13. Siroteltuja lastuja.

5.4 Kuumapuristus

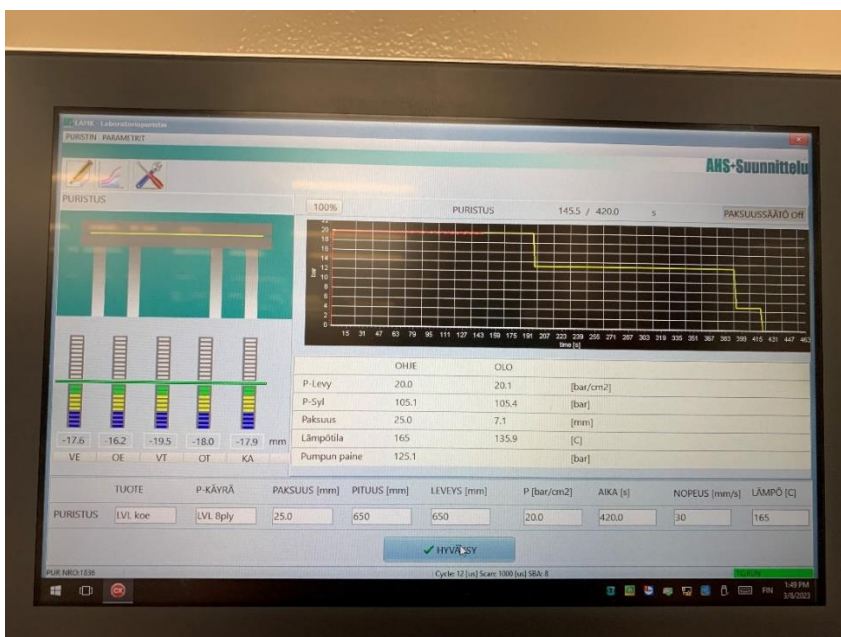
Levyjä lähdettiin puristamaan ajatuksella, että valmiin levyn paksuus olisi noin 25mm. Laboratorion puristimen puristusohjelmaksi valittiin kahdeksan viulun LVL-levy. Kokonaispuristusajaksi tuli 1200 sekuntia eli 20 minuuttia. Tämä aika verrattuna lähdemateriaaleissa mainittuihin puristusaikoihin vaikutti hyvältä. Puristusdiagrammi näkyy kuvassa 14. Puristus aloitettiin 20 barin (2 MPa) paineella, josta oli tarkoitus pudottaa paine 13 bariin (1,3MPa) ja lopulta 5 bariin (0,5MPa).



Kuva 14. Kuumapuristimen puristusdiagrammi.

Hyvin nopeasti puristuksen alettua huomattiin, että levy painuu paineen vaikutuksesta nopeasti kasaan. Levy painui 6,1mm paksuksi ja 8 minuutin kohdalla puristusohjelma päätettiin ajaa alas.

Lastumäärällä mikä oli käytettävissä ei ollut mahdollista saavuttaa 25mm paksuista levyä. Päädyttiin pysymään alkuperäisessä suunnitelmassa ja tekemään kolme levyä, joihin lastumäärä riittää. Puristusaikaa vähennettiin seuraavia levyjä varten 7 minuuttiin, muut parametrit pidettiin ennallaan (kuva 15).



Kuva 15. Korjattu puristusdiagrammi.

Lastuista saatiin puristettua kolme levyä, jotka olivat kaikki 6,1mm paksuja. Puristamisen jälkeen havaittiin levyjen kiertyvän kaarelle jonkin verran johtuen levyn ohuesta rakenteesta ja lastujen sirottelusta yhdensuuntaisesti, nähtävissä kuvassa 16.



Kuva 16. Valmis levy taipuu hieman kaarelle.

5.5 Sahaus, liimaus ja viimeistely

Levyistä päädyttiin valmistamaan pienoismalleja aiemmin ideoidusta prototyypistä. Pyrittiin noin 1:2 mittasuhteeseen. Levyt sahattiin tarkkuuspyörösahalla 50mm levyisiksi kappaleiksi (kuvissa 17 ja 18). Kappaleiden päät sahattiin suoraksi niin, että prototyypin kokonaispituus on 500mm. Prototyypin keskiosaan sahattiin 300mm pitkät kappaleet ja päihin 50mm x 50mm kokoiset kappaleet. Pienoismalleja valmistettiin kolme kappaletta.



Kuva 17. Prototyypin pienoismallin hahmottelua.



Kuva 18. Prototyypin pienoismallin hahmottelua.

Prototyyppi kasattiin niin, että keskelle tuli neljä 500mm x 50mm x 6,1mm kappaletta. Näiden molemmille puolille keskelle tuli kaksi 300mm x 50mm x 6,1mm kappaletta sekä kaksi 50mm x 50mm x 6,1mm molempiin päihin. Sahatut kappaleet liimattiin Kiilto Pro D4 polyuretan -säänkestävällä liimalla ja asetettiin puristukseen vuorokauden ajaksi (kuva 19).



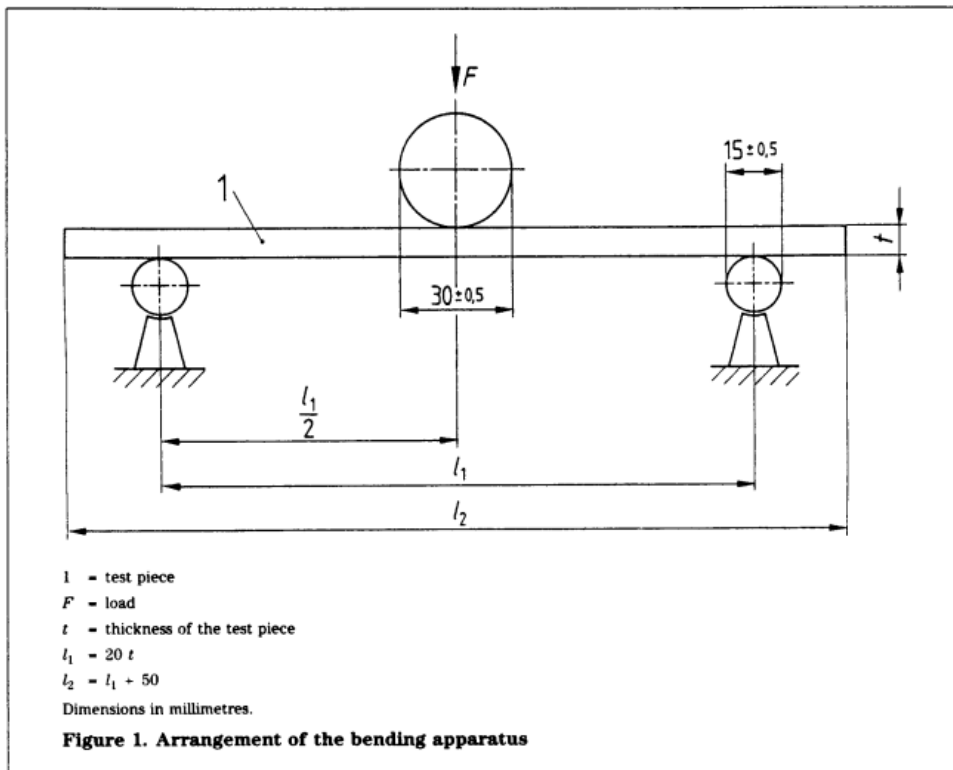
Kuva 19. Prototyypin pienoismallit puristimessa.

5.6 Testit

Alkuperäinen tarkoitus oli tehdä valmistuvalle prototyypille standartinmukaisia testejä, jotta voitaisiin arvioida tuotteen lujuusteknisiä ominaisuuksia. Erityisen kiinnostavaa olisi ollut tietää ja arvioida käytetyn puumateriaalin lujuus. Käytetyn liiman liimausominaisuudet tunnetaan ja liimalle on tehty myös liimauskokeita kierrätyspuulle.

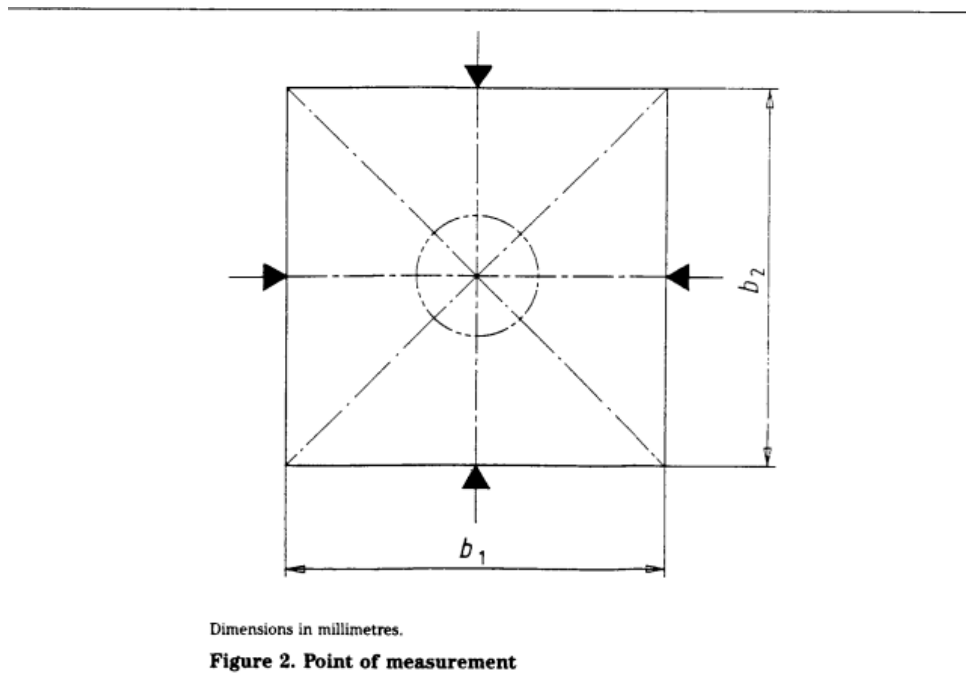
Kokeellisen osion epäonnistuminen kuitenkin teki mahdottomaksi testien tekemisen. Valmistetut levyt olivat hauraita johtuen liiman erittäin epätasaisesta levittymisestä eri lastujen pintoihin. Lisäksi lastut olivat erittäin ohuita, vaikka levyjen rakenne olikin hyvin tiivis.

SFS-EN 310 -standardin mukaisella testillä oli tarkoitus määrittää kolmipistetaivutuksella (kuva 20) prototyypille taivutuslujuus tason suuntaisessa taivutuksessa.



Kuva 20. Taivutuskimmomodulin ja taivutuslujuuden määrittäminen. (SFS-EN 310. 1993.)

SFS-EN 323 -standardin (kuva 21) mukaisella testillä oli tarkoitus määrittää prototyypin tiheys sahaamalla 50mm x50mm paloja ja punnitsemalla ne ja laskemalla tiheys kaavasta (Kaava 1).

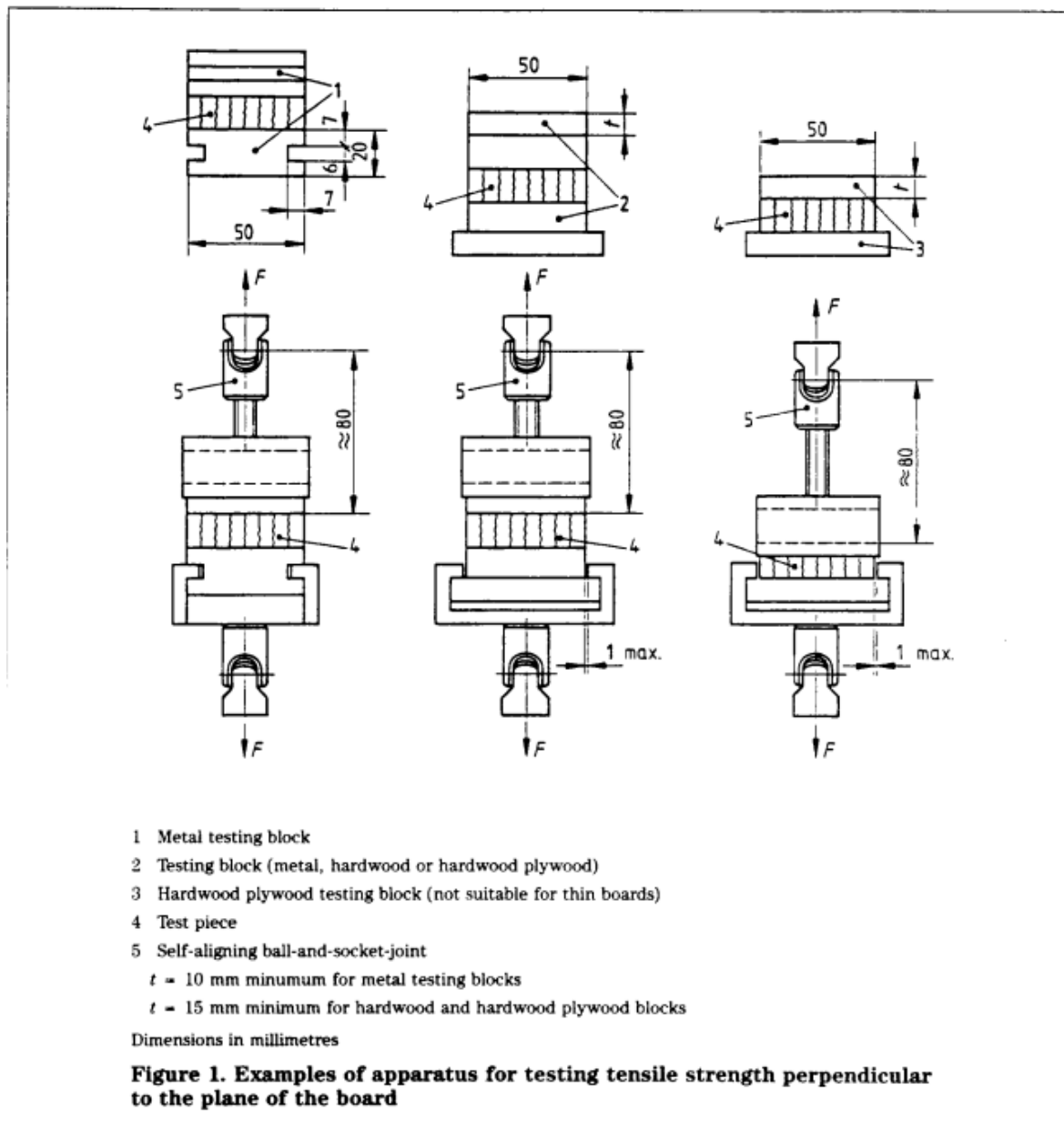


Kuva 21. Puulevyt. Koekappaleet. Tiheyden määrittäminen. (SFS-EN 323. 1993.)

$$\rho = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \times 10^6$$

Kaava 1. Tiheyden kaava. (SFS-EN 323. 1993.)

Standartin SFS-EN 319 (kuva 22) avulla määritetään poikittaisvetolujuus. Kyseinen standardi on tarkoitettu lähinnä kuitulevyille ja lastulevyille, mutta se kuuluu myös SFS-EN 300 -standartiin, jolla määritetään OSB-levyn ominaisuuksia.



Kuva 22. Poikittaisvetolujuus. SFS-EN 319. 1993.)

5.7 Kokeellisen osan tarkastelua

Kokeellinen osa osoitti, että uuden ennen kokeilemattoman valmistusmenetelmän soveltaminen käytäntöön on haasteellista, vaikka teoretietoa olisi hankittu ennalta. Kokemuksen puutteesta vastaan voi tulla yllätyksiä, vaikka niihin yrittäisi parhaansa mukaan valmistautua. Tässä kokeellisessa osassa juuri mikään ei mennyt ennakkokaavailujen mukaisesti.

Kokeellinen osa oli kuitenkin erittäin opettavainen ja lisäsi näkemystä valmistustekniikoista. LAB-ammattikorkeakoulun puutekniikan laboratorion laitteet eivät sovellu parhaalla mahdollisella tavalla lastupohjaisten töiden valmistamiseen. Liimoitusrumpu on vanha eikä sovellu pitkien lastujen liimoitukseen. Lastujen menekki on erittäin suurta ja siihen tarvittaisiin paljon isompi liimoitusrumpu.

Huonoa valmistautumista osoitti turvautuminen liimoituksessa käyttämään vanerinvalmistukseen tarkoitettua liimareseptiä, joka oli tarkoitettu telalevitykseen, ei ruiskulevitykseen. Lastujen sirottelu käsin oli erittäin työlästä ja hidasta. Tämä tulisi ehdottomasti tarkastella uudestaan, mikäli uusia kokeita joskus tehdään.

Ylivoimaisesti suurimpana yllätyksenä tuli lastujen suuri menekki, ja se oli suurin syy miksi kokeellisen osion alkuperäisiä tavoitteita ei saavutettu. Lastut menivät puristettaessa kasaaan yllättävän paljon. Esipuristimen käyttö olisi välttämätöntä paksumman levyn valmistamiseen, muutoin paksumpi lastumatto ei todennäköisesti kestäisi kasassa uuniin asti.

Onnistumisiakin tuli kokonaisuutta tarkastellessa. Laboratoriossa pystyttiin valmistamaan kolme tasalaatuista levyä. Kaikista tuli samalla liimamäärällä ja lastumäärällä sekä puristusohjelmalla yhtä paksuja levyjä.

Kokeellista osaa tehdessä käytössä oli 4800 grammaa eli 0.06665 m³ kuivia lastuja. Teoriassa käytettäessä kokeellisen osan tuloksia, jos nämä kaikki olisi käytetty yhden levyn valmistamiseen, olisi lastukerros ennen puristusta ollut n. 210mm korkea ja valmiin levyn paksuus n. 18mm. Alkuperäiseen tavoitteeseen eli 25mm paksuisen levyn valmistukseen olisi siis näillä teoreettisilla parametreilla vaadittu n. 287mm korkea kerros esipuristamatonta lastua. Käytännössä kuitenkin paksumpi levy ei käyttäydy puristimessa kuten ohuempi levy. Puristusaika olisi moninkertainen liiman kovettumisen takia. Lopullinen paksuus ja onnistuminen selviäsi vain kokeilemalla.

Oikeastaan onnistuminen edellyttäisi näiden kaikkien pieleen menneiden asioiden onnistumista. Se, että saadaan jatkuvasti paljon hyvin sopivalla reseptillä liimoitettuja lastuja, jotka saadaan helposti suunnattua muottiin. Esipuristimen käyttö olisi välttämätöntä.

6 Yhteenveto ja pohdinta

Vihreät arvot ja ekologisuus sekä rajallisten luonnonvarojen säästäminen ovat jatkuvasti nousevia arvoja niin globaalissa näkökulmassa kuin paikallisesti Euroopassa ja Suomessa. Uudet kasvavat sukupolvet tiedostavat ympäristö- ja ilmastouhat aiempia vahvemmin ja tekevät valintojansa myös ympäristön näkökulmia entistä enemmän painottaen.

Euroopan unionin tasolla käydään tiivistä keskustelua energiapolitiikasta. Tämä johtuu tietyt Venäjän aloittaman hyökkäyssodan vaikutuksista ja sen kiihdyttämän vihreän siirtymän tehostamisesta. Fossiilisista polttoaineista halutaan eroon. Keskustelua on käyty myös puun poltosta energiaksi ja sen mahdollisesta verottamisesta sekä luetaanko puun poltto jatkossa päästöttömäksi energiaksi. On mielenkiintoista seurata mihin suuntaan ympäristöarvot ja -politiikka muuttuvat tulevina vuosina. Ulottuuko mahdolliset rajoitukset puun polttamisessa energiaksi koskemaan myös jättepuuta? Asetetaanko jatkossa kaskadiperiaate suurempaan rooliin ja edellytetään puujätteen kierrätystä kaskadin eri tasoilla ennen sen polttamista.

Kaikesta puujätteestä ratkaisevassa roolissa hyödyntämisen ja uudelleenkäytön suhteen on rakennus- ja purkupu. Jo jätteen syntypaikalla tapahtuva lajittelu on avainasemassa. Nykyinen käytäntö, jossa kaikki puujäte kerätään lajittelemattomana C- jakeeseen aiheuttaa paljon ongelmia hyödyntämisen näkökulmasta. C-jakeeseen kohdistuu paljon ankarammat ympäristönsuojelutoimet kuin puhtaampiin A- ja B- jakeeseen. Tämä heijastuu väistämättä yritystoiminnan pyörittämiseen tarvittaviin investointeihin.

Kaskadiperiaatetta tutkimalla selviää, että puujätteen hyödyntämisessä ja uudelleenkäytössä tarvitaan uudenlaista ajattelua. Tällä hetkellä vakiintuneina toimintatapoina ovat Pohjois-Euroopassa jätepuun murskaus ja polttaminen energiaksi. Etelä-Euroopassa, jossa ei ole jatkuvaa lämmitystarvetta, eikä myöskään käytettävissä niin paljon neitseellistä puuta, puujäte murskataan ja hienonnetaan sekä puhdistetaan ja syntyneestä purusta tehdään lastulevyä.

Edellä kuvattu ei ole kaskadiperiaatteen mukaista. Jätepuusta tulisi pyrkiä saamaan korkeamman jalostusasteen tuotteita. Niin, että päästään useammalle portaalle kaskadissa ennen materiaalin lopullista polttoa. Suuremmista partikkeleista saadaan aina tehtyä pienempiä, mutta pienemmistä ei pysty tekemään suurta. Tästä syystä puujäte tulisi saada hyötykäyttöön isompina partikkeleina kuin puru. Lastupohjaiset insinööripuutuotteet voisivat tässä olla apuna uudenlaisessa ajattelussa.

Tämänkaltainen uusi toiminta edellyttäisi erittäin kalliita laiteinvestointeja ja pitkällistä tuotekehitystyötä. Kehittyvä teknologia, erityisesti konenäkö ja röntgenteknologia, pystyisi

havaitsemaan jätetuossa olevat epäpuhtaudet, kuten esimerkiksi metalli, muovi ja lasi. Nämä kontaminoituneet osat puumateriaalissa voitaisiin sahata pois, jolloin päästäisiin hyödyntämään itse puuta.

Opinnäytetyön kokeellisessa osassa tehtiin paljon virheitä ja kokeellinen osa epäonnistui ja kaavailut testit jäivät tekemättä. Tekniikka on kuitenkin olemassa lastupohjaisiin insinööripuutuotteisiin. Kiinnostavana kehitysideana olisi kokeen uusiminen jossain muodossa, jotta saataisiin selvitettyä puujätteestä valmistetun lastupohjaisen insinööripuutuotteen lujuus- ja kestävyysominaisuuksia.

Lähteet

APA – The Engineered Wood Association. 2018 - 2023a. Oriented Strand Board (OSB) VERSATILE PANEL WITH CONSISTENT QUALITY. Viitattu 11.1.2023. Saatavissa <https://www.apawood.org/osb>

APA – The Engineered Wood Association. 2018 - 2023b. Structural Composite Lumber (SCL) MAKING THE BEST USE OF RESOURCES. Viitattu 11.1.2023. Saatavissa <https://www.apawood.org/structural-composite-lumber#laminated-strand-lumber>

APA – The Engineered Wood Association. 2018 - 2023c. Structural Composite Lumber (SCL) MAKING THE BEST USE OF RESOURCES. Viitattu 11.1.2023. Saatavissa <https://www.apawood.org/structural-composite-lumber#laminated-strand-lumber>

Beck, K., Cloutier, A., Salenikovich, A., Beaugard, R. 2009. WOOD AND FIBER SCIENCE, JULY 2009, V. 41(3). 267–278. Viitattu 13.1.2023. Saatavissa <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/1325>

Bergström, S & Leppänen, A. 2021. Yrityksen asiakasmarkkinointi. E-kirja. Helsinki: Edita. Primo.

Canadian wood council. 2022a. Laminated Strand Lumber. Viitattu 22.2.2023. Saatavissa <https://cwc.ca/en/how-to-build-with-wood/wood-products/structural-composite/laminated-strand-lumber/>

Canadian wood council. 2022b. Oriented Strand Lumber. Viitattu 22.2.2023. Saatavissa <https://cwc.ca/en/how-to-build-with-wood/wood-products/structural-composite/oriented-strand-lumber/>

CircHubs. 2018. Puinen rakennusjäte. Viitattu 16.4.2023. Saatavissa <https://circhubs.fi/tie-topankki/puinen-rakennusjate/>

Forest Products Laboratory. 2010. Wood handbook—Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Viitattu 22.2.2023. Saatavissa https://www.precisebits.com/PDF/fpl_gtr190.pdf

Gao, Z & Gong, M. 2021. Strand-Based Engineered Wood Products in Construction. E-kirja. Lontoo: IntechOpen Limited. Intechopen.

Gong, M. 2021. Wood and Engineered Wood Products: Stress and Deformation. E-kirja. Lontoo: IntechOpen Limited. Intechopen.

- Heponiemi, K. 2021. Materiaali pidempään kierrossa kaskadikäytöllä. Viitattu 10.4.2023. Saatavissa <https://www.labopen.fi/lab-pro/materiaali-pidempaan-kierrossa-kaskadi-kaytolla/>
- Hyvärinen, M., Kärki, T., & Lillqvist, K. 2021. Rakennus- ja purkupuusta valmistettujen tuotteiden tuoteturvallisuus (RAPUPUU) LOPPURAPORTTI. Viitattu 23.3.2023. Saatavissa <https://www.hankeportaali.fi/assets/files/uploads/208.pdf>
- Häkämies, S, Lähdesmäki-Josefsson, K, Pitkämäki, A & Lehtonen, K. 2019. Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous. Gaia Consulting Oy & Ytekki Oy. Loppuraportti. Viitattu 28.3.2023. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B03D4B199-2FF6-43DA-93A3-96C19B5B78E0%7D/155463>
- Kokkonen, N., Ruusunen, A. & Kupari, S. 2019. Mitä tapahtuu puujätteelle? HAMK Unlimited Professional. Viitattu 23.3.2023. Saatavissa <https://unlimited.hamk.fi/biotalous-ja-luonnonvara-ala/mita-tapahtuu-puujatteelle>
- Mirski, R., Derkowski, A., & Dziurka, D. 2019. Influence of strand size, board density, and adhesive type on characteristics of oriented strand lumber boards manufactured from pine strands. BioResources 14(3), 6686-6696. Viitattu 13.1.2023. Saatavissa https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2019/07/BioRes_14_3_6686_Mirski_DD_Infl_Techn_Characteristics_OSb_Pine_Strands_15846.pdf
- Myller, E. 2015. Sekalaisen puujätteen testaus erilaisten lopputuotteiden valmistuksessa, projektin ohjaus-ryhmän loppuraportti. Ympäristöministeriön raportteja 28/2015. Viitattu 9.4.2023. Saatavissa https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/158956/YMra_28_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pirhonen, I., Heräjärvi, H., Saukkola, P., Rätty, T., & Verkasalo, E. 2011. Puutuotteiden kierrätys. Finnish Wood Research Oy:n osarahoittaman esiselvityshankkeen loppuraportti. Metlan työraportteja 191. Viitattu 28.3.2023. Saatavissa <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/536100/mwp191.pdf>
- Puutuoteteollisuus. 2022. Puun kiertotalous. Viitattu 16.4.2023. Saatavissa <https://puutuoteteollisuus.fi/juuri-nyt/kiertotalous>
- SFS-EN 310. 1993. Puulevyt. Taivutuskimmomodulin ja taivutuslujuuden määrittäminen. Viitattu 16.4.2023. Saatavissa <http://www.sfs.fi>
- SFS-EN 323. 1993. Puulevyt. Koekappaleet. Tiheyden määrittäminen. Viitattu 16.4.2023. Saatavissa <http://www.sfs.fi>

SFS-EN 319. 1993. Lastulevyt ja kuitulevyt. Poikittaisvetolujuuden määrittäminen. Viitattu 16.4.2023. Saatavissa <http://www.sfs.fi>

Sjöstedt, T., 2018. Mitä nämä käsitteet tarkoittavat? Sitra. Viitattu 10.4.2023. Saatavissa <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarkoittavat/>

Suomen Metsäyhdistys ry. 2011. PUUN MONET MAHDOLLISUUDET. Viitattu 23.3.2023. Saatavissa <https://smy.fi/materiaali/puun-monet-mahdollisuudet/>

Tilastokeskus. 2023a. Jätetilasto. Jätteiden synty toimialoittain. Viitattu 23.3.2023. Saatavissa https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_jate/stat-fin_jate_pxt_12qw.px/table/tableViewLayout1/

Tilastokeskus. 2023b. Jätetilasto. Jätteiden käsittely. Viitattu 23.3.2023. Saatavissa https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_jate/stat-fin_jate_pxt_12qy.px/table/tableViewLayout1/

Varis, R. 2017. Puulevyteollisuus. Jyväskylä: Kirjakaari Oy.

Villanen, J. 2016. Tuotteista tähtituotteita: tarinoita, tehtävää, teoriaa. E-kirja. Helsinki : Kauppakamari. Primo.

Yemm Hart, D., 2014. Cradle to Cradle. What`s new in eco-materials. Wordpress.com. Viitattu 10.4.2023. Saatavissa <https://whatisnewinecomaterials.wordpress.com/2014/07/06/cradle-to-cradle/>

